

Resultados de los ensayos de AIMCRA 2003-2005

## Optimización del riego de la remolacha de siembra de otoño

R. Morillo-Velarde, A. Moreno • AIMCRA



**Una programación de riego donde se aplique una cantidad de agua inferior a la ETc en ciertos periodos donde el cultivo sea menos sensible al déficit de agua podría tener un efecto beneficioso**

Actualmente la programación de riegos en el cultivo de la remolacha azucarera en Andalucía se basa en el método del balance de agua, donde el valor de  $ET_0$  lo suministra la red de tanques evaporimétricos de Azucarera Ebro (AE) y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) empleado es el recomendado por la FAO (nº 56, 1998) modificado por Azucarera Ebro y AIMCRA para condiciones locales. Estos valores son muy similares a los obtenidos en el lisímetro de Córdoba (Berengena y col, 2005). Los valores del consumo semanal son puestos a disposición de los agricultores y técnicos por Azucarera Ebro, ARJ (Azucareras Reunidas de Jaén) y AIMCRA a través de Internet, avisos locales o mensajes personales SMS a teléfonos móviles.

Existen antecedentes en algunos cultivos, referentes a que la aplicación de una cantidad de agua equivalente a la  $ET_c$  maximiza la producción pero a veces, no la calidad. En este sentido, una programación de riego donde se aplique una cantidad de agua inferior a la  $ET_c$  en ciertos periodos donde el cultivo sea menos sensible al déficit de agua podría tener un efecto beneficioso. Esta técnica se ha denominado riego deficitario controlado (Behdoudian y Mills, 1997) y ha tenido un gran éxi-

to en frutales (Girona, 1997) en hortalizas, en algodón, en cereales (por ejemplo en maíz, Kang y col, 2000) y en vid (donde ha aumentado el contenido en sacarosa). El beneficio de esta estrategia de riego se deriva de aumentar la eficiencia del agua, reducir los costes del riego y a veces la calidad.

En las tres campañas 2003-2004-2005 se han llevado a cabo cuatro ensayos de campo por año con el objetivo de optimizar el riego de la remolacha de siembra de otoño. Se ha aplicado una cantidad de agua inferior a la  $ET_c$  en épocas donde esta es menos crítica para el cultivo (al final del ciclo de cultivo) con el objetivo de mejorar la riqueza y la calidad tecnológica sin que el rendimiento final disminuya significativamente a la vez que se aumente la eficiencia del riego y se consiga ahorrar agua y energía.

### Material y métodos

Los 12 experimentos se han ubicado en la provincia de Sevilla (localidades de Aznalcázar, Los Palacios, Lebrija, Las Cabezas y Ecija) y en ellos se han comparado tres tratamientos diferentes de riego. Los suelos son arcillosos, profundos y relativamente uniformes en profundidad con una capacidad de retención entre 145 y 185 mm/m de profundidad. Las características físicas del suelo, el análisis físico-químico y las coordenadas de las localidades, están disponibles en la dirección de correo electrónico [aimcra@aimcra.com](mailto:aimcra@aimcra.com).

Los tratamientos ensayados han sido:

**T = Testigo:** se aplica el 100% de la  $ET_c$  en todo el periodo de cultivo (a partir del déficit de lluvia, febrero-julio). Es la recomendación actual.

**DM = Déficit moderado:** se aplica el 100% de la  $ET_c$  en febrero, marzo y abril, un diez por ciento menos en mayo y un 15% menos en junio y julio.

**DS = Déficit severo.** Se aplica el 100% de la  $ET_c$  en febrero y marzo, un diez por ciento menos en abril y un 20% menos en mayo, junio y julio.

En cada ensayo, todos los tratamientos recibieron el mismo número de riegos, variando la canti-

dad de agua por riego. El nivel de agua en el suelo se ha medido semanalmente por el método gravimétrico.

El diseño estadístico individual ha sido de bloques simples con 12 muestras por tratamiento. La comparación de tratamientos en los ensayos individuales se ha hecho por un análisis de la varianza de una vía, comparando las medias de los tratamientos por el test de Tukey HSD a  $p=0.05$ . Previamente se han comprobado los requisitos de homogeneidad de varianzas (test de Levene) y normalidad (test de Kolmogorov-Smirnov). El análisis global se ha realizado por un análisis combinado de la varianza parcialmente jerarquizado (por ser las localidades diferentes cada año) tomando como factor aleatorio los años y fijos las localidades y los tratamientos, siguiendo el modelo propuesto por McIntosh (1983). El paquete estadístico empleado ha sido SPSS (v12.0). La precisión de los ensayos se ha medido por el coeficiente de variación. Todos los ensayos se han realizado en riego por aspersión fija. Las características del sistema de riego utilizado, los principales datos de cultivo, la descripción de los experimentos, de las variables de producción y calidad analizadas, así como los datos de recolección, resultados individuales y análisis estadísticos están disponibles en la anterior dirección de correo electrónico.

En todos los experimentos se ha analizado el agua de riego en el mes de mayo, resultado nulo el contenido en nitratos. La cantidad de agua recibida por el cultivo (precipitación y riego) se ha medido en pluviómetros (seis pluviómetros/parcela). Las instalaciones se han evaluado por el coeficiente de uniformidad (CU), conforme al protocolo de Merriam y Keller (1978). La eficiencia en el uso del agua (WUE de sus siglas en inglés, kg azúcar/m<sup>3</sup> agua) se ha calculado dividiendo la producción de azúcar por el agua recibida (precipitación más riego) según propuestas de Power (1983), Bolton (1991) y Cooper y col, (1987).

## Resultados y discusión

### Régimen de agua

Las evaluaciones de riego, realizadas siempre en el mes de junio, han mostrado unos coeficientes de uniformidad adecuados para riego por aspersión en todos los ensayos, de media  $85.9 \pm 3.1\%$  (media + desviación estándar).

En los 12 experimentos, la ETo (evaporímetro clase A, FAO 1977) media desde el mes de noviembre al mes de julio ha sido de 897 mm y la precipitación media de 367 mm. Se pueden considerar normales los dos primeros años y muy seco el último año 2005.

En relación con el agua aplicada, el riego se inició siguiendo el balance hídrico, es decir cuando la precipitación es inferior a la ETc acumulada semanal. Coincidió con el mes de febrero en el año más seco y en marzo en los años normales. El número de riegos varió entre diez en años normales y 16 en el año seco. El volumen medio por riego ha sido aproximadamente de 33 L/m<sup>2</sup>. Los volúmenes medios de agua aplicada en el testigo han sido de 365 L/m<sup>2</sup> en años normales y de 613 L/m<sup>2</sup> en el año de sequía. Los tratamientos de déficit moderado y déficit severo han recibido un diez y 15 % menos de agua respectivamente. Los resultados se exponen en la **tabla 1**.

**Tabla 1**

Datos de inicio de riego, número de riegos por localidad, agua aplicada y porcentaje que representa sobre la ETc en los ensayos de riego 2003-2005

Año	Tratamiento	Inicio del riego	Número de riegos por localidad	Agua aplicada (mm)	% sobre ETc (testigo)
2003	Testigo	Marzo(1)	14-7-10-11	365±61	100
	Moderado			325±55	89
	Severo			299±52	82
2004	Testigo	Marzo (2)	11-9-10-11	366±65	100
	Moderado			332±61	91
	Severo			310±56	86
2005	Testigo	Febrero	16-13-18-18	613±78	100
	Moderado			565±72	92
	Severo			520±75	85

(1) En Piñón empezó en abril; (2) En Sotillo empezó en febrero

## Producción y calidad

Las diferencias entre parcelas en relación con el número de raíces no han sido estadísticamente significativas, por lo que se puede considerar que no han afectado a las diferencias en rendimiento. No ha sido preciso un análisis de la covarianza. Dos ensayos (Sotillo 2004 y Sotillo 2005) no se han considerado válidos por ser poco representativos por las bajas riquezas obtenidas (menos de 14 grados). El rendimiento medio de raíz en el testigo en los ensayos válidos ha sido de 105.2 t/ha y la polarización media de 15.8 grados polarimétricos.

En el análisis de la varianza combinado año ocupa la mayor parte del reparto de varianzas y su efecto es muy significativo para todas las variables excepto la polarización. Las diferencias entre tratamientos son significativas para peso y polarización pero no para el resto de variables analizadas.

Los valores medios de los tratamientos en los ensayos realizados, ver **tabla 2**, muestran que la aplicación de riegos inferiores a la ETc en el periodo final del cultivo se traducen en una pérdida significativa de producción de raíz (aproximadamente 5 t/ha) y un aumento, también significativo, de la polarización (aproximadamente 0.6 grados) sin diferencias importantes (ni significativas) en la producción de azúcar ni en ingresos brutos (IEA= Índice Económico Agricultor) ni en calidad industrial (VTIR= Valor Tecnológico Industrial).

Estos resultados confirman lo indicado por FAO (1998), son totalmente coincidentes con los obtenidos por Bazza (1999) en Marruecos con riego por gravedad en siembra de otoño y también con los señalados recientemente en siembra de primavera en España (Velicia y Morillo-Velarde, 2001; Fabeiro y col, 2003).

**Tabla 2**

Valores medios de producción y calidad

Tratamiento	Peso (t/ha)	Polariz (°P)	Azúcar/ha (t/ha)	IEA	VTIR
Testigo	105.6 a	15.80 b	16.66	102.3	86.3
Moderado	100.3 b	16.44 a	16.41	102.6	86.2
Severo	100.7 b	16.38 a	16.47	103.4	86.0
Signific. (p)	0.004	0.003	0.645 NS	0.887 NS	0.912 NS

Letras diferentes indican diferencias significativas según el test Tukey HSD  $p=0.05$

**Tabla 3**  
Eficiencia en el uso del agua (WUE) en kg azúcar /m<sup>3</sup> agua recibido

Tratamiento	WUE(kg/m <sup>3</sup> ) 2003	WUE(kg/m <sup>3</sup> ) 2004	WUE(kg/m <sup>3</sup> ) 2005	WUE(kg/m <sup>3</sup> ) 2003
Testigo	3,3 c	3,7 b	2,1 c	3,08 c
Moderado	3,5 b	3,9 a	2,2 b	3,30 b
Severo	3,8 a	4,0 a	2,4 a	3,53 a
Signific. (p)	0,000	0,004	0,000	0,000

Letras diferentes indican diferencias significativas según el test Tukey HSD p=0,05

**Tabla 4**  
Ingresos brutos, coste del riego e INA ensayos de riego 2003-2005

Tratamiento	Ingresos brutos (euros/ha)	Coste del riego (euros/ha)	INA (euros/ha)
Testigo	4986.2	347.6	4638.6
Moderado	5113.0	316.0	4797.0
Severo	4984.1	290.5	4693.6
Signific. (p)	0.984 NS	0.505 NS	0.997 NS

## Eficiencia del agua

La eficiencia en el uso del agua se define como la relación que existe entre la producción obtenida y la cantidad de agua recibida (Sinclair y col. 1982). En la eficiencia del agua en la producción de azúcar no se ha considerado la contribución del agua del suelo por considerarse esta pequeña en toda la estación de riegos (febrero-julio) ya que el primer riego se inició tras las lluvias de febrero y el último se aproximó a la recolección. En ambas situaciones el suelo estaba muy próximo a la capacidad de campo.

Las diferencias en la eficiencia, **tabla 3**, son muy significativas dentro de los años y en el análisis conjunto. A mayor déficit aumenta significativamente la eficiencia. De media el déficit moderado aumenta la eficiencia del agua en la producción de azúcar en un 7% en tanto el severo lo hace en un 14 %.

Se ha realizado un análisis económico sobre los tratamientos con un análisis de la varianza de una vía, empleando como repeticiones los diez ensayos. Como precio medio de la remolacha se ha considerado el de la campaña 2005 (polarización de 16° = 48.19 euros/t, sin compensaciones) y como coste directo del riego 0.08 euros/m<sup>3</sup> de agua, valor medio proporcionado por los agricultores implicados en los ensayos en el que se incluye el coste del personal (colocación de la cobertura y vigilancia), el canon de riego y el coste de la energía.

Los resultados de ingresos brutos, coste del riego e INA (Índice Neto Agricultor equivalente a ingresos brutos menos coste del riego) se presentan en la **tabla 4**. Sin existir diferencias estadísticamente significativas, el tratamiento de riego moderado produce ligeramente los mayores ingresos y beneficios.

## Conclusiones

Los resultados de estos experimentos indican que con la dosis de agua que se recomienda actualmente para el riego de la remolacha (la ETc, con la ETo calculada por el método del tanque de clase A y el Kc modificado) se obtiene la mayor producción de raíz pero no la mayor riqueza ni la mejor eficiencia del agua con el mismo IEA e INA.

Si se aplica menos agua en los últimos meses (a partir de mayo o de abril, que es cuando menos crítica para el cultivo es), se pueden ahorrar un 10-15% de agua (sobre 500 m<sup>3</sup>), conseguir más riqueza y mayor eficiencia en el uso del agua sin que disminuya significativamente la producción de azúcar, los ingresos brutos o la calidad industrial de la remolacha azucarera de siembra de otoño.

## Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Junta de Andalucía, IFA-PA por la financiación parcial de estos trabajos dentro del programa RAEA (proyecto 1999000798).

## Referencias

- Berengena.J, Morillo-Velarde.R y Martinez.J.J. (2005). "Crop evapotranspiration coefficient for fall sown sugar beet". IIRB 68th Congress. Maastrich. The Netherlands.
- Behdoudian. M.H and Mills T.M. (1997) "Deficit irrigation in deciduous orchards". Hort. Rev., 21: pág 105-131.
- Girona.J (1997). "Estrategia de riego deficitario en árboles frutales: más producción con poca agua". Rev. Riegos y drenajes nº 86, pág 34-35.
- Power. J.F. 1983. "Soil Management for Efficient Water Use: Soil Fertility". In H.M. Taylor et al. (ed.) Limitations to efficient water use in crop production. ASA, Madison, WI. pág 461-470
- M.S.McIntosh (1983). "Analysis of combined experiments". Agronomy Journal nº 75. pág 153-155.
- Merriam.J.L. y J.Keller.1978. "Farm irrigation systems evaluation. A guide for management", Utah. State University. USA. 235 pp
- Bolton. F.E. 1991. "Tillage and stubble management". In: Harris, H., Cooper, P. and Pala, M. (Eds.). Soil and crop management for improved water use efficiency in rainfed areas. ICARDA, Syria. pág 34-47.
- Cooper. P.J., Gregory, P.J., Tully, D. y Harris, H.C. 1987. "Crop water use and water use efficiency in West Asia and North Africa". Expl. Agric. 23: pág 113-158.
- FAO (1977). "Crop Water Requirements". Irrigation and drainage Paper nº 24. Roma.
- FAO (1998). "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements". Irrigation and drainage Paper nº 56. Roma.
- Velicia.H y Morillo-Velarde.R. (2001). "les strategies d'irrigation dans la culture de la betterave sucriere en semis de printemps". Advances in Sugar Beet Research nº 3. IIRB pág 15-42.
- Fabeiro.C, Martin de santa Olalla.F, Lopez.R y Dominguez.A (2003) "Production and quality of the sugar beet cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate". Agricultural Water management 62. pág 215-227.
- Bazza.M (1999) "Improving irrigation management practices with water deficit irrigation". In C.Kirda et al Eds. Crop Yield Response to deficit Irrigation. Kluwer Ac.Publisher. The Netherlands. Pág 49-71.
- Kang.S, Shi.W y Zhang.J (2000) "An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation". Field Crop Research, 67. pág 207-214
- Sinclair.T.R, Tanner.C.B y Bennett.J.M. (1982) "Water use efficiency in crop production". Biol. Science 34 pág 36-40
- Ruiz Holst.M, Martin F, Dominguez .P, Burba. M y Diener. G. (2003) "Technological industrial value of autumn sown beet in southern Spain". CITS 22nd General Assembly. Madrid.