

## **EVALUACIÓN DEL RIEGO DISCONTINUO EN PAPA EN COLONIA TIROLESA, PROVINCIA DE CÓRDOBA**

Ing. Agr. Carlos Augusto Roqué <sup>(1)</sup> y <sup>(2)</sup>, Ing. Agr. Alicia Susana Heredia <sup>(1)</sup>, Ing. Agr. María Eugenia del Franco <sup>(1)</sup>, Ing. Agr. Nicolás Benedetto <sup>(1)</sup>, Ing. Agr. Mgter. Daniel Di Giusto <sup>(1)</sup>. Estud. Martín Bóveda <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias., Universidad Nacional de Córdoba.

<sup>(2)</sup> Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos, Gobierno de la Provincia de Córdoba.

### **Introducción**

El método de riego más difundido en los distritos gravitacionales en nuestra provincia, es el correspondiente a surcos. En el caso del cultivo de papa, la modalidad es trabajar con unidades de riego largas (400 a 600 m), debido a la mayor eficiencia operativa lograda en todas las labores culturales y manejo sanitario que demanda este cultivo. Pero al trabajar con estas longitudes de surco, se acentúan las pérdidas por percolación profunda en la cabecera de los mismos. Por otra parte el escurrimiento superficial al pie de los surcos es inevitable, pudiéndose encontrar desagües que alcanzan el 60 % del caudal ingresado a la parcela (Fernández Eugenio, 2011, Segundas Jornadas Nacionales de Riego Discontinuo).

Frente a la crisis hídrica que afronta cíclicamente nuestra provincia, el riego por pulsos promete ser la solución a la ineficiencia en el uso del recurso. Por otra parte crea las condiciones para la implementación del fertirriego fraccionado, que significará un ahorro notable de fertilizantes, sobre todo los nitrogenados.

### **Objetivos**

- Generar la información necesaria para permitir la adaptación de la técnica del riego discontinuo a las condiciones productivas locales.
- Comparar la eficiencia del uso del agua de riego en el método de riego por pulsos respecto al riego tradicional.
- Cuantificar para ambos métodos los parámetros correspondientes a la distribución del agua en la parcela regada.
- Validar la estimación del tiempo de avance y remojo mediante algoritmos.
- Lograr un cambio sustantivo en la modalidad de riego gravitacional actual, que permita ahorrar agua sin energía externa, en nuestros distritos de riego.

## **Material y métodos**

Se trabajó en un establecimiento con papa en la localidad de Colonia Tirolesa, específicamente en un lote de variedad Spunta, sembrada a fines de febrero de 2012.

El origen del agua es superficial contando con una represa de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de Ha, disponiéndose de una perforación destinada a complementar las necesidades de riego del cultivo, cuando escasea el recurso hídrico superficial.

En la parcela evaluar se delimitaron 26 surcos, con espaciamiento 85 cm, a regar por surcos tradicional (testigo) y 52 surcos (26 surcos a cada lado de la válvula) correspondientes al riego discontinuo (tratamiento) a fin de compararlos. La longitud de surcos medida fue de 474 m. La superficie regada en forma tradicional fue de  $10.475 \text{ m}^2$  y la regada por pulsos fue  $20.950 \text{ m}^2$ .

Se utilizó una válvula automática de riego discontinuo de 8" y mangas de polietileno bicapa con las respectivas compuertas para surcos. El tamaño de la válvula y la carga disponible en acequia (35 cm) determinaron del número de surcos a trabajar.

La carga de agua en la acequia se reguló con una llave esclusa a la salida de la represa, a fin de mantener constante el suministro de agua.

El caudal unitario en el testigo se evaluó mediante el uso de sifones de polietileno de 1" de diámetro usados por el productor. El promedio de caudal arrojado por 5 sifones operando con una carga en la acequia de 35 cm., fue de 0,415 l/s.

Para aforar los surcos correspondientes al tratamiento (riego discontinuo), se utilizaron 2 canaletas WSC colocadas a 30 m del inicio de la cabecera de los surcos.

Como la pendiente longitudinal promedio de los surcos medida en las parcelas tratamiento y testigo fue de 0,86 % el caudal máximo no erosivo estimado (fórmula de Criddle) resultó en 0,73 l/s. Se definió como caudal unitario de trabajo en caudal discontinuo un valor intermedio entre el aforado en sifones y el máximo no erosivo, resultando el mismo de 0,54 lts/s. Se adoptó este criterio para disminuir el tiempo de avance, con la finalidad de mejorar la uniformidad y mantener el tiempo de aplicación en 12 hs. para ambos tipos de riego.

La textura del suelo, las constantes hídricas y la densidad aparente, se determinaron mediante análisis de muestras tomadas a 2 profundidades (0-20 cm y 20-40 cm), y en tres posiciones a lo largo del surco (cabeza, medio y pie). La textura es franco limosa. Considerando la misma y la longitud de los surcos, se optó por trabajar con 4 pulsos en la etapa de avance dentro del tratamiento (riego discontinuo). Con el objeto de realizar las mediciones correspondientes a los mismos, se dividió la longitud del surco en 4 tramos de 118 m.

Las evaluaciones se realizaron sobre 2 riegos consecutivos (segundo y tercero). Las mismas fueron: tiempo insumido en cada pulso tanto de avance como de remojo, aforos de surcos tanto en sifones como en compuertas usando las canaletas WSC y humedad de suelo previo al riego. No se pudo cuantificar el escurrimiento al pie, dado que la topografía no permitió separar el tratamiento del testigo.

Para la estimación del tiempo de los pulsos de avance y de remojo, se utilizó la metodología propuesta por Romay, Catalina 2011, usando el factor de pulsos de avance y factor de pulsos de remojo.

## **Resultados**

La medición del tiempo de avance del primer pulso, en 10 unidades de riego, con caudal unitario de 0,54 lts/s, arrojó un valor promedio de 27 minutos.

Para estimar el tiempo de avance, se usaron las mismas fórmulas propuestas por Romay siendo 1,53 el valor del exponente que más se aproximó a lo medido a campo.

$$FPA = PN_i^{1,53} - (PN_i - 1)^{1,53}$$

donde FPA es el factor de pulsos de avance y  $PN_i$  es el pulso N° i. Por lo tanto los FPA para cada uno de los 4 pulsos del ensayo, fueron:

$$FPA \text{ primer pulso} = 1^{1,53} - (1 - 1)^{1,53} = 1$$

$$FPA \text{ segundo pulso} = 2^{1,53} - (2 - 1)^{1,53} = 1,888$$

$$FPA \text{ tercer pulso} = 3^{1,53} - (3 - 1)^{1,53} = 2,483$$

$$FPA \text{ cuarto pulso} = 4^{1,53} - (4 - 1)^{1,53} = 2,969$$

Usando el tiempo de avance del primer pulso, medido a campo, 27 minutos, y los factores antes determinados, se proyectaron los tiempos de avance de cada de los restantes pulsos:

$$\text{Tiempo de avance del pulso 1} = 27 \text{ min} \times 1 = 27 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de avance del pulso 2} = 27 \text{ min} \times 1,888 = 51 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de avance del pulso 3} = 27 \text{ min} \times 2,483 = 67 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de avance del pulso 4} = 27 \text{ min} \times 2,969 = \underline{80 \text{ min}}$$

$$\text{Suma} = 225 \text{ min}$$

Como el riego discontinuo abarca 2 franjas en pulsos alternos, para completar el avance en los 20.950 m<sup>2</sup> del tratamiento, se estimaron 450 minutos (7,5 hs), que fue coincidente con lo medido a campo.

Para el factor de pulsos de remojo (FPR), se usó el mismo exponente 1,53 pero un factor de remojo (FR) de 0,18 correspondiente a una textura más arenosa (Romay, 2011, Segundas Jornadas Nacionales de Riego Discontinuo).

$$FPR = NPA^{1,53} \times FR$$

$$FPR = 4^{1,53} \times 0,18 = 8,3397 \times 0,18 = 40,5 \text{ min}$$

donde NPA es el número de pulsos establecidos para el tiempo de avance en el riego discontinuo (tratamiento).

El ajuste del tiempo de remojo, permitió igualar el tiempo total de aplicación de riego del tratamiento, al insumido en el testigo (12 hs) y minimizar los desagües. El avance duró 7,5 hs y el remojo 4,5 hs. Esta condición fue igual para los dos riegos evaluados.

Cálculo de la lámina bruta en el testigo:

$$\text{Caudal utilizado:} = \frac{0,45 \text{ l/s} \times 26 \text{ sur} \times 3600 \text{ seg/hora}}{1000 \text{ l/m}^3} = 38,844 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Volumen utilizado:} = 38,844 \text{ m}^3/\text{h} \times 12 \text{ hs} = 466,128 \text{ m}^3$$

$$\text{Lámina bruta en el testigo:} = \frac{466,128 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ mm/m}}{10475 \text{ m}^2} = 44,50 \text{ mm}$$

Cálculo de la lámina bruta en el tratamiento:

$$\text{Caudal utilizado:} = \frac{0,54 \text{ l/s} \times 26 \text{ sur} \times 3600 \text{ seg/hora}}{1000 \text{ l/m}^3} = 50,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Tiempo total de riego: Avance } 7,5 \text{ hs} + \text{Remojo } 4,5 \text{ hs} = 12 \text{ hs}$$

$$\text{Volumen utilizado:} = 50,44 \text{ m}^3/\text{h} \times 12 \text{ hs} = 606,528 \text{ m}^3$$

$$\text{Lámina bruta en el tratamiento:} = \frac{606,528 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ mm/m}}{20950 \text{ m}^2} = 28,95 \text{ mm}$$

Cálculo del ahorro de agua al comparar los métodos de riego:

$$\text{Testigo: } 44,50 \text{ mm} = 445 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

$$\text{Tratamiento: } \underline{28,95 \text{ mm}} = 289,5 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

$$\text{Diferencia: } 15,55 \text{ mm} = 155,5 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

$$\text{Porcentaje de ahorro de agua: } 15,55/44,50 = 35 \% \text{ de ahorro}$$

El porcentaje de ahorro de agua determinado (35 %), es coincidente con lo reportado por Coupal y Wilson (Agricultural Water Management, 18 (1990) 15-28), correspondiente a esta textura de suelo franco limosa.

Las constantes hídricas determinadas en laboratorio, arrojaron los siguientes valores:

**CAPACIDAD DE CAMPO (CC)**

Test./Tratam.	Cabecera	Medio	Pie	Promedio
0-20	20,1	17,8	25,1	21,00
20-40	22,6	18,4	26,8	22,6

**CAPAC. A LA MARCHITEZ PERMANENTE (CMP)**

Test./Tratam.	Cabecera	Medio	Pie	Promedio
0-20	7,1	7,6	9,9	8,2
20-40	7,8	7,3	11	8,7

La densidad aparente fue medida en 1,2 Tm/m<sup>3</sup>, coincidente con los valores de tabla para la textura reinante. Las humedades presentes o actuales tomadas las muestras minutos antes de realizar los riegos, fueron las siguientes:

Segundo riego:

Humedad Actual %	Cabecera	Medio	Pie	Promedio
0 a 20 cm	13	13	18,6	14,86
20 a 40 cm	13,7	12,2	19	14,97

Tercer riego:

Humedad Actual %	Cabecera	Medio	Pie	Promedio
0 a 20 cm	19,5	12,2	15,5	15,73
20 a 40 cm	17,4	15,3	15,5	16,07

Es importante destacar que en el segundo riego las raíces de la papa llegaban a 30 cm, mientras que en tercer riego a 40 cm aproximadamente.

- Cálculo de la lámina de reposición o dosis neta a aplicar en cada riego:

$$\text{Lámina. Neta} = \frac{CC - H \text{ Actual prom}}{100} \times \text{Dens. aparente} \times \text{prof. de raíces} =$$

Segundo Riego:

$$\text{Lámina Neta (0 a 20 cm)} = \frac{21 - 14,86}{100} \times 1,2 \text{ t/m}^3 \times 0,20 \text{ m} = 14,74 \text{ mm}$$

$$\text{Lámina. Neta (20 a 30 cm)} = \frac{22,6 - 14,97}{100} \times 1,2 \text{ t/m}^3 \times 0,10 \text{ m} = 9,16 \text{ mm}$$

Dosis neta a aplicar en el Segundo Riego 23,9 mm

Tercer Riego:

$$\text{Lámina Neta (0 a 20 cm)} = \frac{21 - 15,73}{100} \times 1,2 \text{ t/m}^3 \times 0,20 \text{ m} = 12,65 \text{ mm}$$

$$\text{Lámina Neta (20 a 40 cm)} = \frac{22,6 - 16,07}{100} \times 1,2 \text{ t/m}^3 \times 0,20 \text{ m} = 15,67 \text{ mm}$$

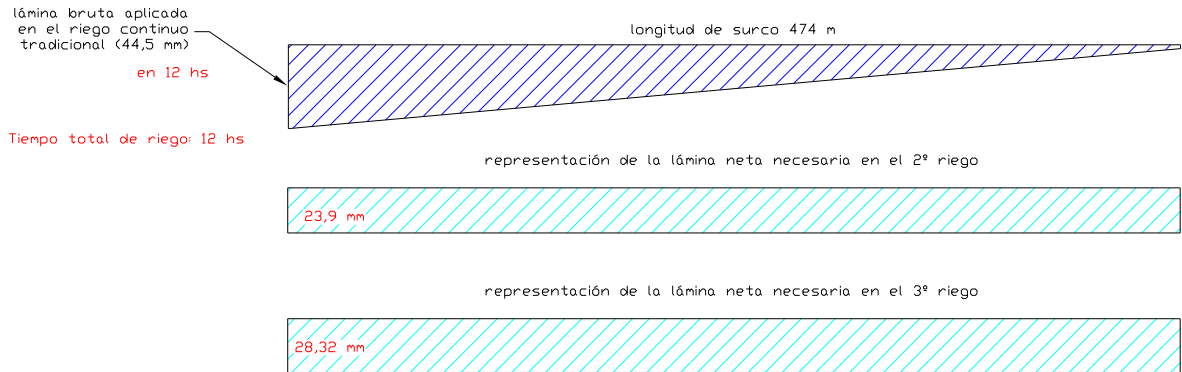
Dosis neta a aplicar en el Tercer Riego 28,32 mm

La humedad presente promedio antes del segundo riego de un 14,86 %, entre 0 a 20 cm, representa un consumo de un 47,9 % del Agua Útil, mientras que 14,97 % (20 a 30 cm) representa un 54,8 %. En el tercer riego, 15,73 % entre 0 a 20 cm., representa un 41 % y 16,07 % (20 a 40 cm) indica un 46,9 % de consumo de Agua Útil.

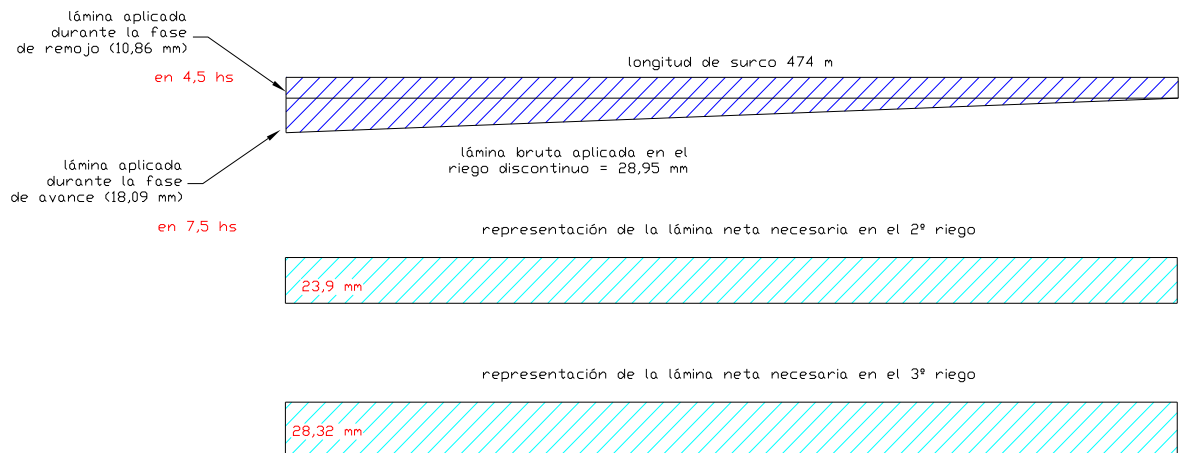
Antes de calcular las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución, como así también el porcentaje de percolación profunda en la cabecera, es necesario visualizar el perfil mojado durante 12 hs. de riego tanto en el testigo como en el tratamiento y comparar estos patrones con las láminas o dosis netas calculadas para un segundo y tercer riego.

Cabe recordar que en el testigo, el productor ni bien llegaba el agua al final de los surcos, cortaba el riego aún no habiendo llegado algunos, a los fines de tener el mínimo desagüe.

PERFIL MOJADO DE LA LÁMINA BRUTA EN EL TESTIGO EN COMPARACIÓN CON LA LÁMINA NETA



PERFIL MOJADO DE LA LÁMINA BRUTA EN EL TRATAMIENTO EN COMPARACIÓN CON LA LÁMINA NETA



- Cálculo de la eficiencia de aplicación:

$$E_f . de aplicación = \frac{L . neta}{L . bruta} \times 100$$

Eficiencia de aplicación del Testigo:

Segundo riego:

$$E . ap = \frac{23,90 mm}{44,50 mm} \times 100 = 53,71 \%$$

Tercer riego:

$$E.ap = \frac{28,32\text{mm}}{44,50\text{mm}} \times 100 = 63,64\%$$

Eficiencia de aplicación del Tratamiento:

Segundo riego:

$$E.ap = \frac{23,90\text{mm}}{28,95\text{mm}} \times 100 = 82,56\%$$

Tercer riego:

$$E.ap = \frac{28,32\text{mm}}{28,95\text{mm}} \times 100 = 97,82\%$$

- Cálculo de la eficiencia de almacenaje:

$$Ef.de\ almacenaje = \frac{L.almacenada(prom.cabeza - pie)}{L.neta} \times 100$$

Eficiencia de almacenaje del Testigo:

Segundo riego:

$$L.almacenada = \frac{44,5+1}{2} = 22,75\text{mm}$$

$$Ef.de\ alm. = \frac{22,75\text{mm}}{23,90\text{mm}} \times 100 = 95,19\%$$

Tercer riego:

$$L.almacenada = \frac{44,5+1}{2} = 22,75\text{mm}$$

$$Ef.de\ alm. = \frac{22,75\text{mm}}{28,32\text{mm}} \times 100 = 80,32\%$$

Eficiencia de almacenaje del Tratamiento:

Segundo riego:

$$L.almacenada = \frac{28,95+10,86}{2} = 19,91\text{mm}$$

$$Ef.de\ alm. = \frac{19,91\text{mm}}{23,90\text{mm}} \times 100 = 83,31\%$$

Tercer riego:

$$L.almacenada = \frac{28,95+10,86}{2} = 19,91\text{mm}$$

$$Ef.de\ alm. = \frac{19,91\text{mm}}{28,32\text{mm}} \times 100 = 70,30\%$$

- Cálculo de la eficiencia de distribución:

$$Ef. de distribución = \frac{Lám. prom. en el último cuarto}{Lám. prom. cabeza - pie} \times 100$$

Para estimar la lámina promedio del último cuarto, se trabajó a escala utilizando el programa Auto Cad, usando los gráficos representativos de las láminas brutas tanto en el testigo como en el tratamiento, anteriormente expuestos.

Si el último cuarto significan los últimos 118,5 m (474/4), la lámina promedio del último cuarto se midió a los 59,25 m medidos desde el pie (118,5/2). Los valores fueron 7,32 mm en el testigo y 13,17 mm en el tratamiento

Eficiencia de distribución del Testigo:

Segundo riego:

$$Ef. de distribución = \frac{7,32 mm}{22,75 mm} \times 100 = 32,17 \%$$

Tercer riego:

Como el tiempo de aplicación. fue el mismo que el del segundo riego, la Eficiencia de distribución también lo es (32,17 %)

Eficiencia de distribución del Tratamiento:

Segundo riego:

$$Ef. de distribución = \frac{13,17 mm}{19,91 mm} \times 100 = 66,18 \%$$

Tercer riego:

Como el tiempo de aplicación. fue el mismo que el del segundo riego, la Eficiencia de distribución también lo es (66,18 %).

- Cálculo de las pérdidas por percolación profunda en cabecera:

$$Pérd. percolación profunda = \frac{Lám. bruta - Lám. neta}{Lám. neta} \times 100$$

Pérdidas por percolación profunda en la cabecera del testigo:

Segundo riego:

$$Pérd. perc. prof. = \frac{44,5 mm - 23,9 mm}{23,9 mm} \times 100 = 86,2 \%$$

Tercer riego:

$$Pérd. perc. prof. = \frac{44,5 mm - 28,32 mm}{28,32 mm} \times 100 = 57,13 \%$$

Pérdidas por percolación profunda en la cabecera del tratamiento:

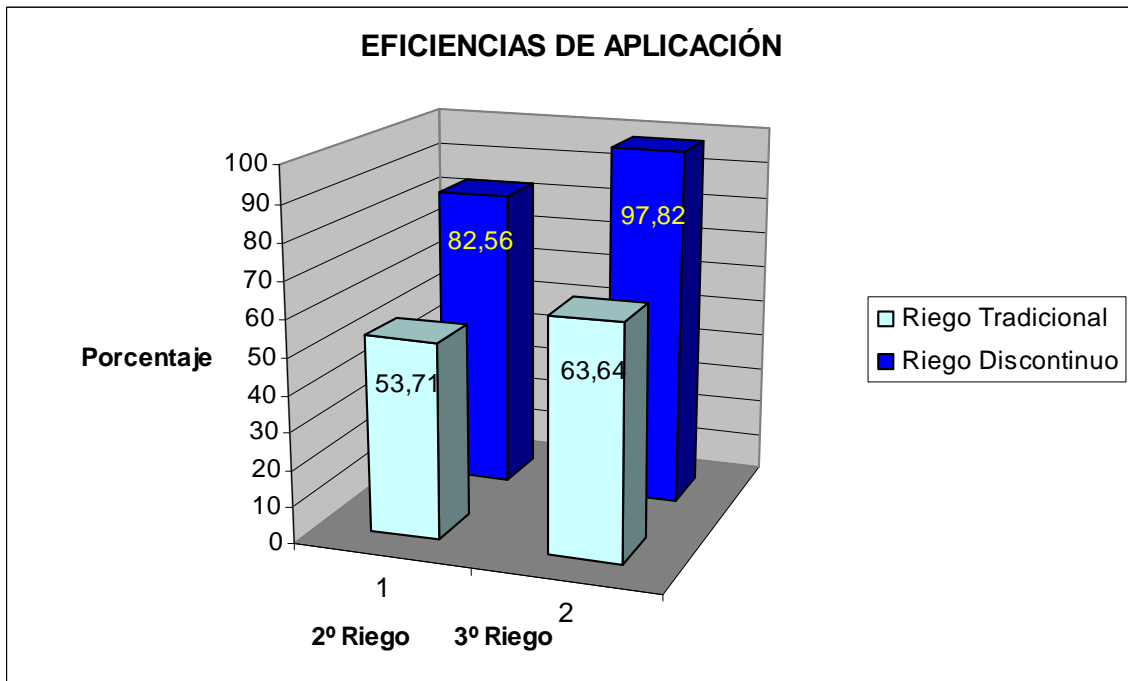
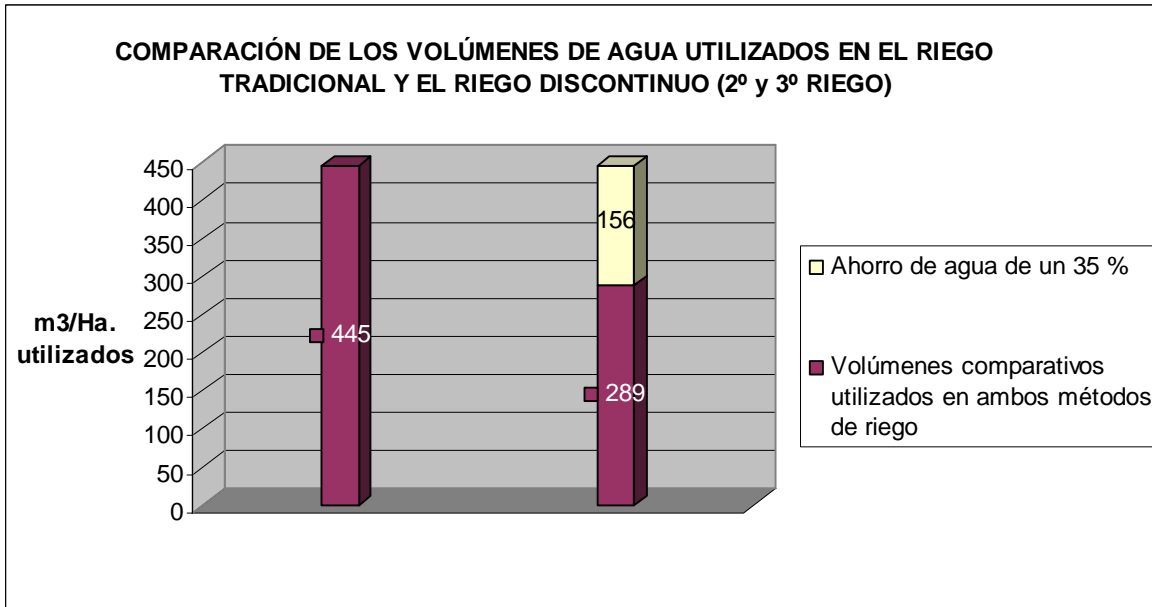
Segundo riego:

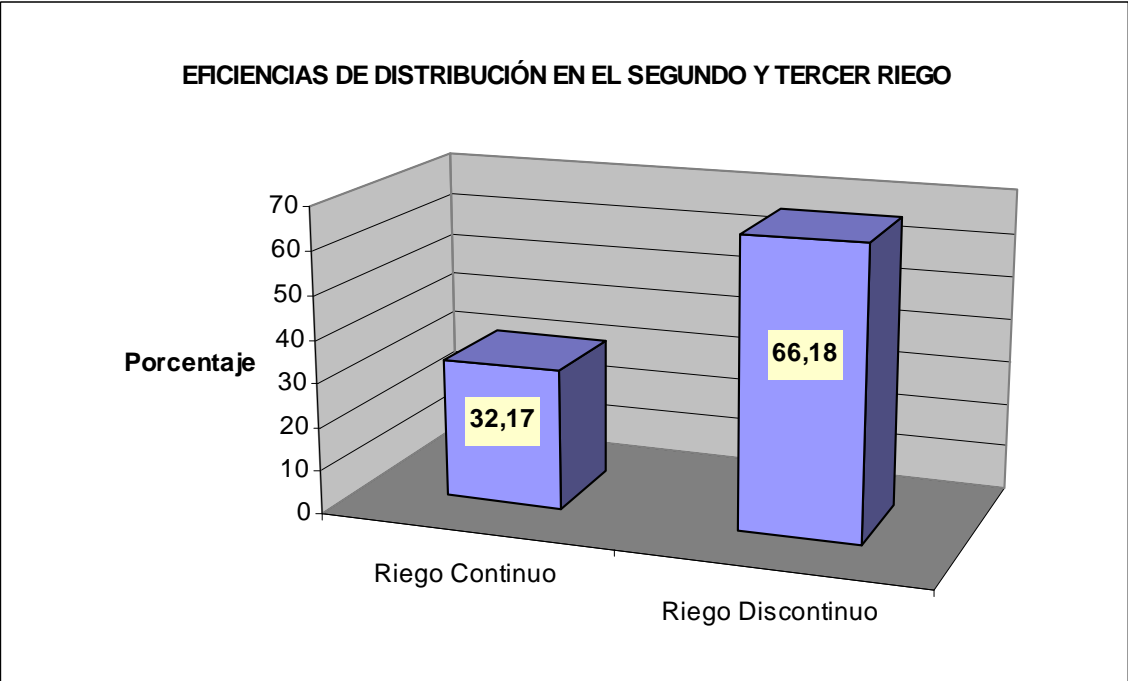
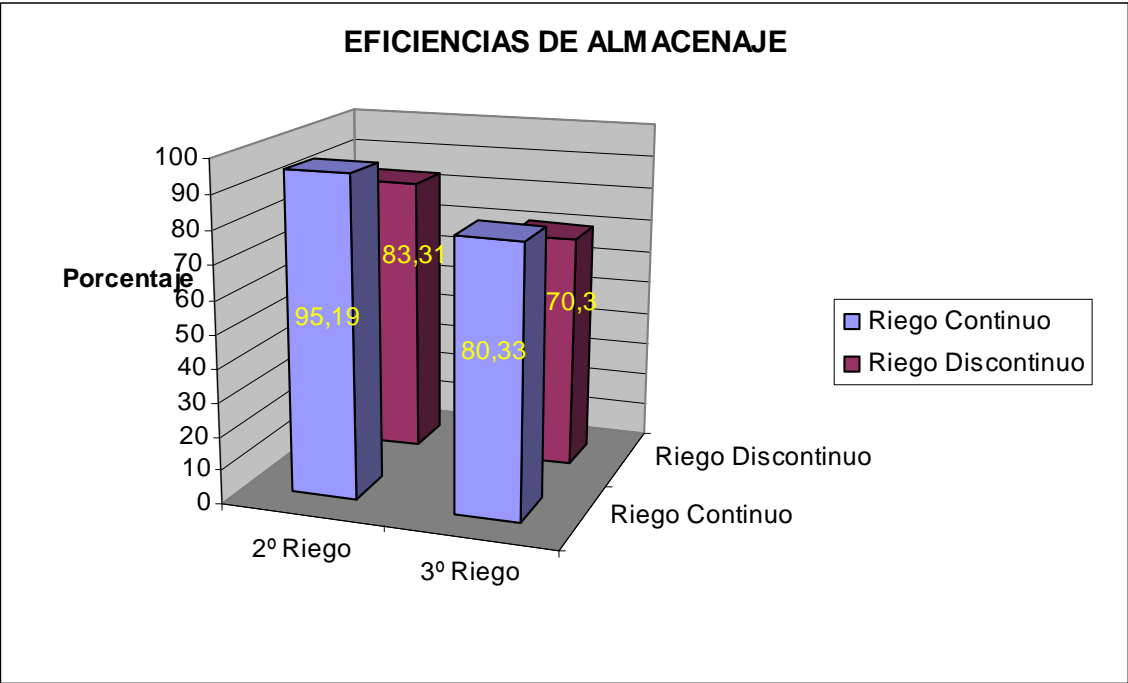
$$Pérd. perc. prof. = \frac{28,95 mm - 23,9 mm}{23,9 mm} \times 100 = 21,13 \%$$

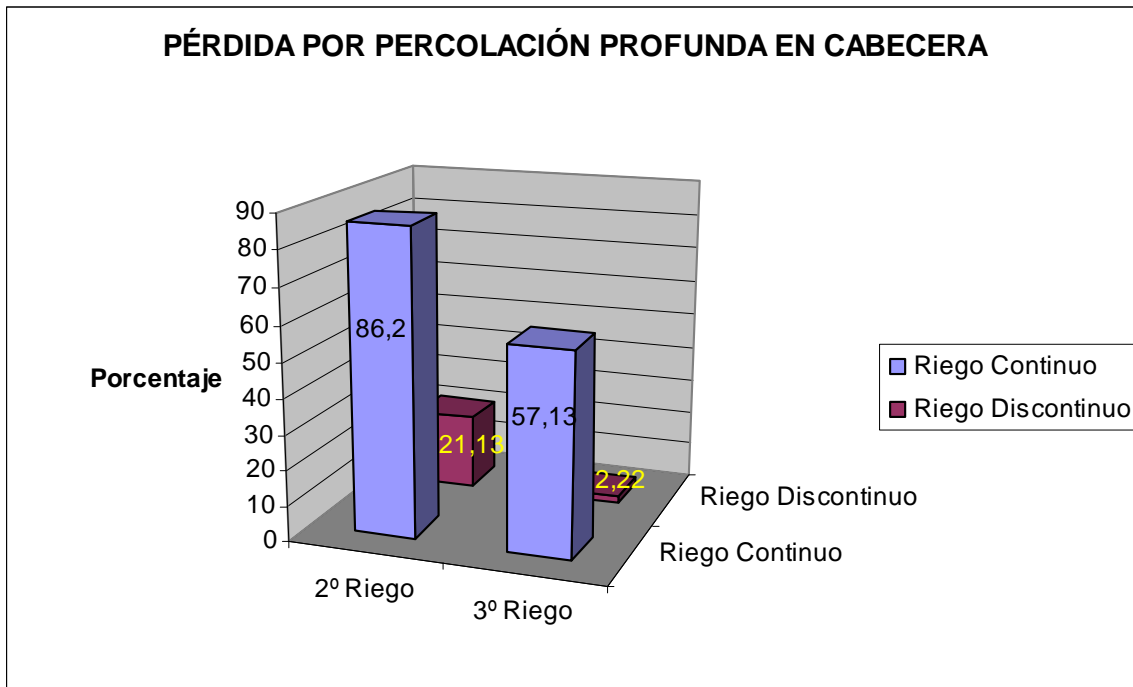


Tercer riego:

$$Pérd. \text{ perc. prof.} = \frac{28,95 \text{ mm} - 28,32 \text{ mm}}{28,32 \text{ mm}} \times 100 = 2,22 \%$$







### **Conclusiones**

- La eficiencia de aplicación y la de distribución en el tratamiento se incrementaron con respecto al riego tradicional, disminuyendo notablemente el porcentaje de percolación profunda en el comienzo de los surcos.
- Se logró ahorrar un 35 % de agua sin el uso de energía adicional.
- La estimación anticipada del tiempo de avance mediante algoritmos, se ajustó bastante bien a la realidad, con pequeñas variantes en la elección de los exponentes propuestos. Esto permitirá conocer el tiempo real de avance en esta modalidad de riego, contando únicamente con el dato del tiempo de avance a la cuarta o quinta parte de la longitud del surco en el sistema tradicional.
- Se comprobó que es factible, mediante la incorporación de este método, la aplicación del fertirriego, ya que las pérdidas por percolación profunda en la cabecera fueron mínimas. Por otra parte se cubrieron las necesidades de agua del cultivo, ajustándose a la frecuencia del turnado existente.

### **Recomendaciones**

De acuerdo a lo observado en este ensayo, se puede inferir que si bien la eficiencia de almacenaje en el tratamiento fue menor a la del testigo, es aceptable para láminas de reposición que no superen los 30 mm.

Es lógico de esperar que con tiempos de aplicación de 13 ó 14 hs, la eficiencia de almacenaje aumente a valores superiores al 80 % y se puedan aplicar láminas de reposición mayores a 30 mm. Pero desde el punto de vista práctico, conviene realizar

cambios de sets (conjuntos de surcos que se riegan simultáneamente según caudal) cada 12 hs., lo que permite acomodar más fácilmente la intervención de mano de obra (15 a 20 minutos) para los cambios de set en el riego de grandes superficies.

Es preferible un riego algo deficitario al pie, pero más parejo en todo el perfil a lo largo de los surcos, en una zona donde el riego es complementario (no integral) con precipitaciones anuales superiores a los 600 mm.

La eficiencia de almacenaje fue mayor en el testigo, debido a que se promediaron valores extremos a la hora de calcular la lámina realmente infiltrada promedio. Por ese motivo, tiene mayor importancia en el análisis, el concepto de eficiencia de distribución más que la eficiencia de almacenaje para el caso del testigo.

Si bien la eficiencia de distribución en el tratamiento más que duplicó a la del testigo (66,18 % versus 32,17 %), aún dista de superar el 80 % que es el porcentaje aceptable. La solución sería que el productor adopte la técnica de compactado de la base de surco con el uso de balas pesadas. De esta manera se disminuirá el tiempo de avance, aumentando al menos en un par de remojos (uno de cada lado de la válvula) el tiempo de permanencia del agua en el pie con un mínimo desagüe. Siempre aceptando que 12 hs es un tiempo aceptable como suma del avance y remojo.

### **Bibliografía consultada**

Benham B.L. Redell D.L.; Marek T.H. Performance of three infiltration models under surge irrigation. Irrigation Science. 2000.20

Coupal, R.H.; Wilson, P.N., 1990. Adopting Water-Conserving Irrigation Technology: The Case of Surge Irrigation in Arizona. Agricultural Water Management, 18: 15-28.

Evans, R.G.; Proebsting E.L.; Mahan M.O. 1990. Daily Furrow Irrigation in Orchards. American Society of Agricultural Engineers 0883 – 8542 /90/0602 – 0175. Washington State University. U.S.A.

Génova, L.; Romay, C. 2011. Recomendaciones para eficientizar el riego discontinuo programando la válvula automática. FCAyF U.N. La Plata. F.A.U.N. Bs.As.

Ismail S.M. Effectiveness of surge flow irrigation in Egypt water efficiency in field crop production. 2004

Valiant Jim 1992. Irrigation water management. Surge vs. Conventional irrigation. Cooperative Extension. Colorado State University.

Walker, W.R. and Skogerboe, G.V. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

Wyatt Wayne A. 1990. Optimizing Water-Nitrogen relationships to maximize yield cotton. High Plains Underground Water Conservation District N°1 Lubbock, Texas.