

EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR SUPERFICIE TÉCNICA DE CAUDAL DISCONTINUO

José Morábito¹ y Catalina Romay²

TEORÍA

La técnica del riego por pulsos es la aplicación intermitente de agua a surcos o melgas regadas por superficie en una serie de períodos de tiempos de apertura y cierre relativamente cortos durante el riego llamados ciclos. Los ciclos tienen dos fases, una de reposición de agua y otra de interrupción, corte o descanso que pueden ser de tiempos iguales o variables, los cuales varían desde cerca de 20 minutos a 2 horas. Fue introducida como concepto en 1979 por Stringman y Keller. Sin embargo, el fenómeno del riego por pulsos había sido observado por los regadores más de dos décadas antes del inicio de la investigación. Muchos regadores encontraban que les era imposible completar la fase de avance en el riego de cultivos largos por la mayor velocidad de infiltración. Descubrieron que al desviar el caudal a un nuevo grupo de surcos por pocas horas o un día, cuando la velocidad de avance se detenía y regresaban al primer grupo de surcos parcialmente humedecido con anterioridad, la fase de avance se podía completar.

Hoy el riego por pulsos es una práctica de manejo y administración que puede ser aplicada a varias condiciones de riego por superficie. Se puede usar tanto para reducir el caudal una vez completada la fase de avance y minimizar la salida del agua al pie y/o acelerar la fase de avance en suelos con problemas.

Un gran número de investigaciones sobre esta práctica se ha realizado en Estados Unidos llegando a conclusiones tales como:

- Un caudal intermitente a través de la superficie del suelo reduce significativamente la infiltración. El efecto del pulso está probablemente asociado con el desarrollo acelerado de una delgada capa selladora de la superficie, compuesto de unas finas partículas de suelo, generado por el movimiento de agua en el suelo con lo cual se reduce la permeabilidad.
- Al reducirse la velocidad de infiltración, resulta más fácil completar la fase de avance.
- La velocidad con que el agua avanza es sensible a varios factores. Al ser distintas las condiciones de infiltración la hidráulica mejora, reduciendo la variabilidad de los parámetros espaciales y temporales que afectan la velocidad del avance. El efecto de los pulsos produce que en menor tiempo se alcance una infiltración básica estable.

La práctica del riego por pulso ofrece para el caso de surco y también a otros métodos de riego por superficie, un medio para mejorar significativamente la eficiencia de riego con lo cual disminuye los costos de agua, energía, fertilizantes y prácticas culturales. Los pulsos mejoran la hidráulica de la fase de avance, permitiendo al regador mojar todo el largo de la parcela más uniformemente y con menor lámina de aplicación, minimizando la salida de agua al pie. Pero se denota que la práctica del riego por pulsos es más compleja que la práctica del riego tradicional por superficie. Además de seleccionar el caudal y el tiempo total de aplicación el manejo del riego por caudal discontinuo también requiere la selección de ciclos de tiempo, la relación de ciclos y la estrategia de reducción de caudal.

Igual que para otros sistemas de riego, el riego por pulso está sujeto a la optimización, o sea que el manejo del sistema varía con las condiciones de campo y operacionales. La eficiencia de aplicación puede a menudo incrementarse 5 a 10 % con la correcta selección de un simple parámetro como el tiempo de los ciclos. La variable a controlar es la lámina de aplicación requerida para reponer el agua en la zona radical. Generalmente aplicaciones de grandes láminas son más eficientes con ciclos de tiempos prolongados y láminas menores con ciclos de tiempos cortos. De este modo el sistema permite alcanzar el riego óptimo con relación a la aplicación requerida.

Los datos necesarios para evaluar un evento de riego incluye:

- ⇒ hidrograma de entrada
- ⇒ hidrograma de salida
- ⇒ trayectoria del avance y del receso
- ⇒ pendiente del terreno, largo, rugosidad del surco y
- ⇒ características de infiltración

¹ Profesor Asociado. Cátedra de Hidrología Agrícola FCA – UNCuyo. Mendoza. Argentina, 2001.

² Beca INA-CRA. jmorabito@lanet.com.ar

Otra alternativa de investigación de la evaluación a campo es a través de estudios teóricos. Si se puede mostrar que un modelo matemático correctamente simula un amplio rango de datos de campo, se puede asumir que se podrá simular cualquier combinación de datos cayendo dentro de estos límites.

En una instalación típica de sistema de riego por pulsos, el agua se suministra a una válvula de impulsos y controlador localizado entre dos unidades de riego. La distribución del agua a cada una de las dos unidades se realiza mediante tubería con compuertas regulables manualmente. Existen distintos tipos de válvulas de impulso como de membrana operada hidráulicamente u otras como en nuestro caso válvula mecánica tipo "mariposa". Esta válvula se abre y se cierra alternativamente permitiendo el paso de agua de un lado a otro. Son controladas por un procesador o controlador. (ver descripción del sistema en anexo 3).

Objetivos de la evaluación.

El objetivo del manejo del riego es alcanzar altas eficiencias de riego, minimizar la percolación profunda y la pérdida de agua al pie, mientras los requerimientos de almacenaje de agua en la zona radical sean satisfechos. El riego por pulso puede ayudar a cumplir esto, debido que el agua avanza hasta el final de los surcos en el tiempo más corto posible, sin erosión excesiva y porque provee un medio para el manejo de remejo (post-avance) de mínima escurrentía.

Se procedió a evaluar la práctica del riego por caudal discontinuo, en una finca que adquirió el sistema. Se evaluó el avance y receso, aforo de caudal entrado por los emisores (ventanitas), hidrograma de salida, déficit de humedad. El objetivo principal era concluir si efectivamente la propiedad lograba mejorar su eficiencia en riego con esta nueva técnica, sin establecer o modificar ningún parámetro de manejo personal de la propiedad. Por otro lado no teniendo aún establecida una metodología de evaluación estandarizada de esta técnica, se buscó si era factible establecer una, frente a la diferencia existente de ensayos en centros de investigación y la realidad comercial del sistema de caudal discontinuo.

EVALUACIÓN DEL RIEGO POR SUPERFICIE TÉCNICA DE CAUDAL DISCONTINUO

ENSAYO DE CAMPO EVALUACIÓN DE SURCO CON PENDIENTE

Lugar: finca “Vista Flores” de Bodegas Norton S.A.
Ruta provincial N° 15 Km. 23,5
Distrito Perdriel del Departamento de Luján de Cuyo

Parcela N°: 166 y 167

Cultivo: tomate

Etapa del ciclo: formación de cosecha

Total de surcos: lateral derecho 75 surcos

lateral izquierdo 102 surcos

(la diferencia de surcos de un lateral a otro se debió a la falta de entrega de plantines de tomate en la época de transplante. El lote 166 quedó con el 30 % de la superficie sin plantar).

Riego N° 11

Total de horas regadas 24 horas (12 horas para cada lateral de riego)

Suelo: franco arenoso, $I_b = 1,17$ mm/h, se comporta como un suelo de baja velocidad de infiltración, arcilloso.

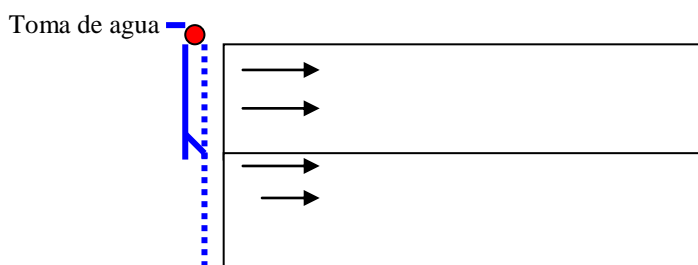
Pendiente: 0,01145 m/m

Longitud del surco 542 m.

Espaciamiento: 1,4 m.

Rugosidad asumida: 0,04

Esta propiedad cuenta con un sistema de caudal discontinuo, formado por una válvula “T” o mariposa, la cual se alimenta de agua de una acequia y deriva la misma a sus respectivos laterales de riego. La misma esta ubicada en el punto más alto de los lotes siendo este el extremo noroeste. De allí parte el primer lateral de riego formado por tubería de PVC, con sus emisores (ventanitas) a 0,50 m. abiertas una cada tres, enfrentando el surco de tomate dispuesto cada 1,40 m. Este lateral abarca el lote 166. Por su otro lateral se conecta tubería de PVC ciega para conducir el agua hasta el lote 167, en donde se inserta la otra ala regadora con sus correspondientes ventanitas. La válvula mariposa es comandada por un procesador alimentado de una pila, motor computadora y panel solar de recarga. Todo el sistema es de un diámetro de 8” (200 mm)



El cuartel 166 contaba con 78 surcos, y el 167 con 102, el riego se efectuaba en dos etapas con 37 surcos del lote 166 y 51 del lote 167 en una primera etapa, una vez finalizada el riego se cerraba esas ventanitas abriendo las de las restantes 38 del lote 166 y 51 del 167 regando esta segunda etapa. El dato incorporado a la computadora fue de 3 horas de avance siendo de 1,5 hora para cada lateral. Los ciclos de tiempos dados por el procesador fueron de 44, 58, y 78 minutos correspondiendo a 22, 29 y 39 minutos a cada lateral en la fase de avance. Con respecto a los remojos calculados por la computadora eran 15 minutos, pero los mismos fueron modificados por el productor a 36 minutos. (ver foto anexo)

Al no contar con una metodología de evaluación precisa para la técnica de caudal discontinuo, se procedió a tomar datos necesarios para evaluar con qué eficiencia se estaba regando, y compararlo con el riego tradicional de riego por superficie. Se midió el caudal ingresado por aforo de las ventanitas por el método volumétrico. Se realizaron tres repeticiones por ventana, una cada cinco, en cada ciclo de avance de cada lateral y algunos de remajo. Para el hidrograma de salida, se midió el caudal escurrido al pie con el aforador de cresta ancha durante los ciclos de remajo. No se pudo evaluar la totalidad de los remojos por falta de luz. Siendo los ciclos de remajo iguales en el tiempo, se supone que el volumen que escurre es el

mismo en todos los remojos. Para conocer la lámina de reposición se aplicó el método gravimétrico, tomando muestras antes y después del riego en dos surcos para cada lote en cuatro puntos equidistantes (65, 105, 325 y 455 metros), a tres profundidades (0-30, 30-60, 60-90 cm.) en el surco y en el bordo a 10 cm. de la planta. Por último se realizó una evaluación de avance para cada pulso. Con respecto a los remojos, era complicado poder visualizarlo por la baja infiltración base y el solape de pulsos sucesivos. Se procedió a evaluar el remojo posterior al último ciclo de avance.

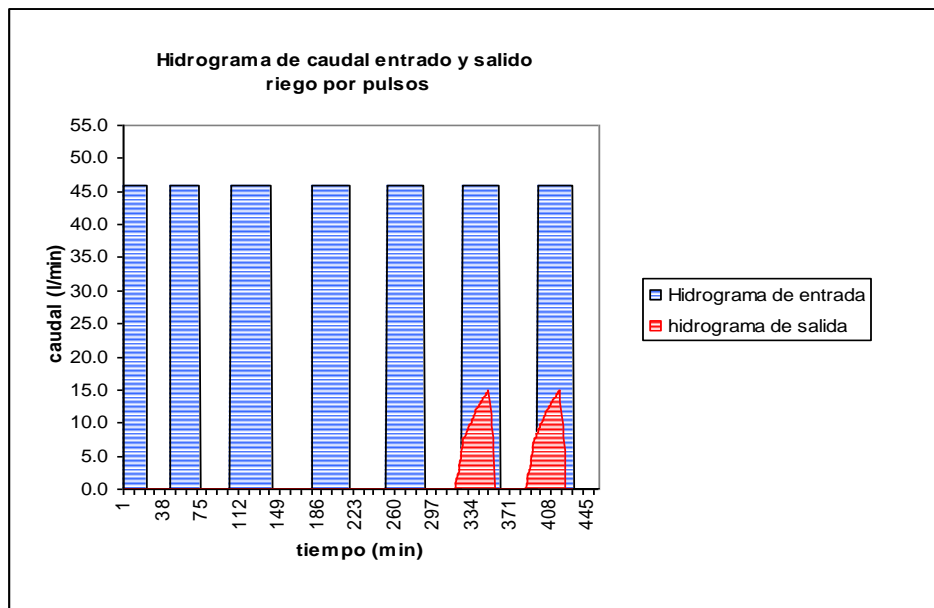
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) Aforo volumétrico, caudal por ventana (l/seg.)

| | pulso 1 | pulso 2 | pulso 3 | remojo 1 | remojo 2 | remojo 3 | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| LATERAL DERECHO | 1.07 | 1.18 | 1.097 | 1.07 | 0.91 | 1.018 | |
| | 1.31 | 1.27 | 1.069 | 0.965 | 0.95 | 1.07 | |
| | 1.25 | 1.21 | 1.111 | 1.36 | 0.669 | 1.06 | |
| | 1.25 | 1.2 | 1.07 | 0.836 | 0.808 | 0.72 | |
| | 0.59 | 0.657 | 0.596 | 0.788 | 0.947 | 0.746 | |
| | 0.59 | 0.71 | 0.6 | 0.699 | 0.86 | 0.739 | |
| | 0.599 | 0.65 | 0.578 | 0.397 | 0.825 | 0.83 | |
| | 0.92 | 0.7 | 0.567 | 0.4 | 0.85 | 0.808 | |
| promedio | 0.95 | 0.95 | 0.84 | 0.81 | 0.85 | 0.87 | 0.879 |
| LATERAL IZQUIERDO | 0.97 | 0.77 | 0.566 | 0.4 | 0.85 | 0.833 | |
| | 0.96 | 0.71 | 0.728 | 0.981 | 0.83 | 0.8 | |
| | 0.598 | 0.566 | 0.689 | 0.628 | 0.55 | 0.6 | |
| | 0.608 | 0.567 | 0.698 | 0.65 | 0.61 | 0.566 | |
| | 0.608 | 0.57 | 0.7 | 0.688 | 0.58 | 0.6 | |
| | 0.68 | 0.58 | 0.68 | 0.757 | 0.59 | 0.667 | |
| | 0.595 | 0.56 | 0.75 | 0.56 | 0.58 | 0.62 | |
| | 0.54 | 0.546 | 0.621 | 0.628 | 0.5 | 0.63 | |
| | 0.6 | 0.61 | 0.628 | 0.68 | 0.58 | 0.64 | |
| 0.639 | 0.68 | 0.613 | 0.66 | 0.57 | 0.6 | | |
| promedio | 0.6798 | 0.6159 | 0.6673 | 0.6632 | 0.624 | 0.6556 | 0.651 |

Caudal promedio por ventana $q_0 = 0,7649$ l/seg. = $0,04589$ l/min.

B) Hidrograma del caudal ingresado y escurrido al pie



Se considera un caudal ingresado promedio por ventana igual por ciclo ($q_0=0,765$ l/seg), no se han aforado las mismas ventanas en cada ciclo de riego por pulso, pero al haber mantenido la carga de agua

constante en la entrada de la válvula de caudal discontinuo, el promedio por ventana en el lapso de tiempo del pulso da el volumen total ingresado en ese ciclo.

Hidrograma de caudal entrado: $q_0 = 0,756 \text{ l/seg.} = 45,84 \text{ l/min.}$

Pulso1 : 22 minutos $V_i = 1008,48 \text{ litros}$

Pulso2 : 29 minutos $V_i = 1329,36 \text{ litros}$

Pulso3 : 39 minutos $V_i = 1787,76 \text{ litros}$

Remojo1 : 36 minutos $V_i = 1650,24 \text{ litros}$

(total de remojos 17)

Volumen total ingresado: 32179,68 litros = 32,179 m³

Hidrograma de caudal salido

Lectura de aforador

| Tiempo (min) | Caudal (l/seg) | Caudal (l/min) |
|--------------|----------------|----------------|
| 318 | 0 | 0 |
| 326 | 0,125 | 7,5 |
| 338 | 0,2 | 12 |
| 350 | 0,25 | 15 |
| 355 | 0,1 | 6 |
| 356 | 0 | 0 |

La lectura del aforo se efectuó durante dos remojos. **Volumen total salido: 5952 litros = 5,95 m³**

Volumen infiltrado $V_z = V_i - V_e$

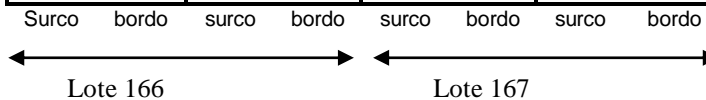
Volumen infiltrado: 26,229 m³

C) Déficit de humedad

A partir de los resultados de humedad de las muestras de suelo antes y después del riego se calculó la lámina de reposición, y el volumen almacenado en la profundidad radicular. Para el cálculo de la lámina expresada volumétricamente, se usaron los valores de PEA obtenidos en laboratorio de muestras extraídas de las calicatas. Los mismos son en cabeza, $PEA = 1,51 \text{ gr/cm}^3$, medio $PEA = 1,31 \text{ gr/cm}^3$ y $PEA = 1,42 \text{ gr/cm}^3$ para el pie de las parcelas (ver estudio suelo y topografía).

Volumen de agua almacenado por capa y sector en m³:

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| pie | 0 – 30 | 1.74 | 0.1 | 1.42 | -0.9 | 1.038 | -0.78 | 0.137 | 0.589 |
| | 30 – 60 | 1.06 | -0.36 | -1.745 | -0.42 | 0.213 | 0.746 | -0.206 | 1.548 |
| | 60 – 90 | -0.51 | 1.076 | -0.147 | 1.219 | 0.27 | 0.37 | -0.266 | -0.482 |
| Medio 2 | 0 – 30 | 1.739 | 0.879 | 0.87 | -1.89 | 0.64 | -0.85 | 0.081 | -0.418 |
| | 30 – 60 | 1.038 | -0.19 | 0.058 | -1.41 | -1.437 | -1.296 | -0.081 | -0.1536 |
| | 60 – 90 | -0.729 | -0.24 | 2.23 | -1.25 | -2.69 | -1.33 | | |
| Medio1 | 0 – 30 | 1.835 | 0.0045 | 1.08 | 0.29 | 2.728 | -0.107 | 2.68 | 0.517 |
| | 30 – 60 | 2.016 | -0.45 | 1.34 | 1.298 | 1.926 | 0.34 | -0.105 | 0.108 |
| | 60 – 90 | -0.255 | 0.014 | -0.08 | 0.187 | 1.64 | 1.028 | 0.848 | 0.7 |
| Cabeza | 0 – 30 | 0.82 | 1.46 | 0.92 | 5.028 | 1.759 | 0.38 | 0.175 | 1.747 |
| | 30 – 60 | 1.269 | 1.959 | 0.61 | 1.55 | 1.478 | 1.62 | 1.83 | 1.028 |
| | 60 – 90 | 0.64 | 1.85 | -0.057 | -0.447 | 0.11 | 1.586 | 0.585 | 0.474 |



| | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Volumen total por sector | 19,49m³ | 18,10 m³ | 17,87 m³ | 13,04 m³ |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|

Volumen promedio almacenado = 17,125 m³

Conociendo el volumen almacenado se puede calcular la lámina de reposición.

$$\text{Lámina de reposición} = 17,125 \text{ m}^3 / 542 \text{ m} = 0,0316 \text{ m}^3/\text{m}$$

Ver también en anexo planillas de humedad y lámina promedio calculada.

D) Avance y receso

Para evaluar el avance en el riego por pulso se estaqueó el surco cada 50 metros. En cada pulso se registró el tiempo que tardaba el agua en avanzar a cada estaca. Con respecto a la fase de receso por pulso, en surcos con pendiente es muy difícil de medir ya que la totalidad del proceso es muy corto. Sin embargo se procedió a medir el receso de agua una vez concluidas la fase de los ciclos de avance. A partir de los datos de avance y receso relevados en la evaluación a campo, se calculó la ecuación de mejor ajuste para cada pulso y el receso. (ver anexo)

Pulso N°1: 21 minutos

$$x = 11,318t^{0,906}$$

$$r^2 = 0,992$$

Pulso N° 2: 30 minutos

$$x = 12,245t^{0,967}$$

$$r^2 = 0,987$$

Pulso N° 3: 42 minutos

$$x = 12,845t^{0,961}$$

$$r^2 = 0,999$$

Pulso N° 4: 57 minutos

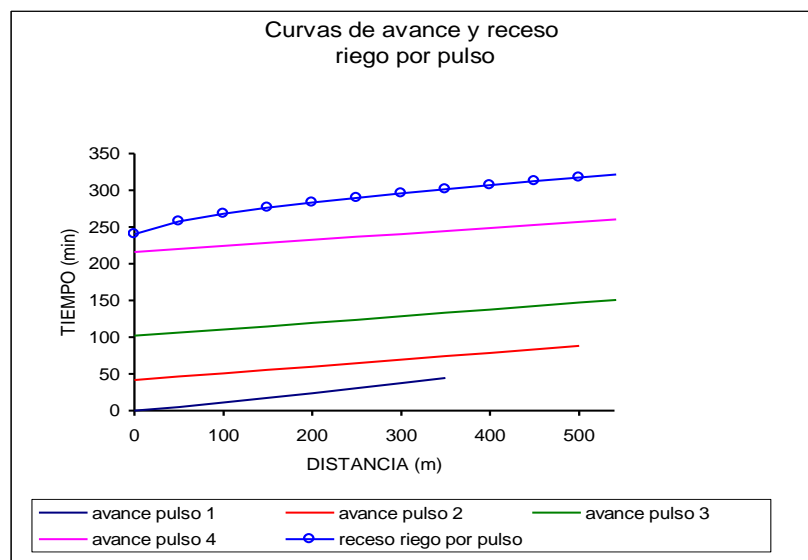
$$x = 12,183t^{1,00}$$

$$r^2 = 0,998$$

Receso:

$$x_r = 0,528t^{1,5758}$$

$$r^2 = 0,923$$



E) Eficiencias

Tal como se estableció anteriormente, el objetivo del manejo del riego es para alcanzar altas eficiencias. Conociendo los volúmenes de agua ingresado, egresado y almacenado se pueden establecer las eficiencias de aplicación, las pérdidas por percolación profunda, y el escurrimiento al pie.

| | | | |
|--------------------|---|------------|--|
| Volumen ingresado | → | V_i | = 32,179 m ³ |
| Volumen egresado | → | V_e | = 5,950 m ³ |
| Volumen infiltrado | → | V_z | = $V_i - V_e = 26,229$ m ³ |
| Volumen almacenado | → | V_{alm} | = 17,125 m ³ |
| Volumen percolado | → | V_{perc} | = $V_z - V_{alm} = 9,104$ m ³ |

Se deduce:

- Eficiencia de aplicación

$$\mathbf{E_a = (V_{alm}/V_i) \times 100 = 53,2 \%}$$

- Percolación profunda

$$\mathbf{P_p = (V_{perc}/V_i) \times 100 = 28,3 \%}$$

- Escurrimiento al pie:

$$\mathbf{P_e = (V_e/V_i) \times 100 = 18,5 \%}$$

- Eficiencia de almacenaje

$$\mathbf{E_{alm} = 100 \%}$$