

RIEGO POR PULSOS. MANEJO Y DISEÑO

Romay, Catalina

*Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires
Av. San Martín 4453 – C1417DSE – Ciudad Autónoma de Buenos Aires
romay@agro.uba.ar*

RESUMEN

Durante las últimas décadas, el riego ha sido crucial para el suministro de alimentos al mundo. La actividad agropecuaria es -sin dudas- el usuario más importante de los recursos hídricos, suelos y biodiversidad. Es por ello que la actividad del riego está siendo cada vez más criticada por su uso ineficiente y hoy se encuentra en el centro del debate sobre cómo conservar los ambientes del mundo.

Durante los últimos años la sociedad argentina tomó conciencia de la vulnerabilidad y deterioro de la gestión del recurso hídrico, motivando la corrección del rumbo actual. De dicha visión surge que el aprovechamiento de los recursos hídricos debe realizarse armonizando los aspectos sociales económicos y ambientales y particularmente en lo que se refiere al mayor consumidor se llegó a la conclusión que - con cada gota de agua derivada a la agricultura - será necesario generar más producción.

Uno de los aspectos comunes de las áreas de riego en la Argentina es la baja eficiencia del uso del agua. La eficiencia de riego promedio es del 40% y resulta baja a muy baja si se la compara con las obtenidas en otros países de similar desarrollo. Esto se debe principalmente al predominio de los métodos de riego superficial sobre aquellos más modernos como los riegos presurizados.

Un desarrollo reciente en tecnología del riego por superficie lo constituye el llamado riego por pulsos (surge flow). Esta técnica tiene el potencial para mejorar significativamente las eficiencias de riego, minimizando las pérdidas por percolación profunda y escurrimiento al pie, y ser más versátil para el regador cuando se lo compara a otros sistemas. Sin embargo implica la adopción de nuevos conceptos para el diseño. Los tres regímenes de infiltración que caracterizan a esta técnica, por la variación de la velocidad de infiltración debido al movimiento del agua a través de la interfase húmeda-seca, sumado a nuevas variables de diseño -el tiempo de los ciclos y la razón del ciclo de los pulsos- hace que se requiera de un adecuado ajuste para satisfacer el almacenamiento de la lámina requerida. A su vez el diseño agronómico debe ajustarse a los algoritmos de la válvula comercial con procesador automático, que existe en nuestro país, P&R Surge System Inc., Lubbock, de Texas U.S.A.

En este trabajo se presenta los resultados de evaluaciones a campo de sistemas de riego por pulso donde se evidencia un sub-aprovechamiento de los equipos, dando las pautas del correcto diseño agronómico y mejorar las eficiencias del riego.

Palabra clave: Riego, por pulsos, diseño

INTRODUCCION

Durante las últimas décadas, el riego ha sido crucial para el suministro de alimentos al mundo. La actividad agropecuaria es -sin dudas- el usuario más importante de los recursos hídricos, suelos y biodiversidad del mundo. El 70 por ciento de la extracción total del agua del planeta es usada en agricultura, con un porcentaje cercano al 85 por ciento cuando se consideran solamente los países en desarrollo. La industria consume el 20 por ciento y los municipios 10 por ciento restantes (FAO 1996). A medida que mejora el bienestar global se incrementa la demanda de agua por parte de otros sub-sectores. El suministro doméstico, la industria y el propio medio ambiente, están ahora en competencia directa con el sector agropecuario por recursos hídricos cada vez más escasos.

Esto ha llevado a que la actividad del riego esté siendo cada vez más criticada por su uso ineficiente y hoy se encuentra en el centro del debate sobre cómo conservar los ambientes del mundo. Como consecuencia de ello el sector agropecuario tiene la obligación de revisar y ajustar sin dilaciones el uso (distribución equitativa) y la modalidad de aplicación de su cuota hídrica para asegurar la sustentabilidad (preservación de la calidad) de los modelos productivos que de ella dependan. Por lo tanto, *hoy habrá que adaptar los sistemas de riego de ayer a las necesidades de riego del mañana.*

Durante los últimos años la sociedad argentina tomó conciencia de la vulnerabilidad y deterioro de la gestión del recurso hídrico, motivando la corrección del rumbo actual. De dicha visión surge que el aprovechamiento de los recursos hídricos debe realizarse armonizando los aspectos sociales económicos y ambientales y particularmente en lo que se refiere al mayor consumidor se llegó a la conclusión de que -con cada gota de agua derivada a la agricultura- será necesario generar más producción.

Uno de los aspectos comunes de las áreas de riego en la Argentina es la baja eficiencia del uso del agua de *riego a nivel zonal*, 33 %. Ese valor *es bajo* si se piensa que todas las zonas regadas cuentan con una infraestructura de aprovechamiento hídrico que en general es de gran desarrollo relativo, con lo cual la eficiencia del agua de riego tendría que estar entre 45 y 50%.

La *eficiencia de riego promedio* es del 40% y resulta *baja a muy baja* si se la compara con las obtenidas en otros países de similar desarrollo. Esto se debe principalmente al predominio de los métodos de riego superficial sobre aquellos más modernos como los riegos presurizados. El 70 % del área regada del país se riega por escurrimiento superficial, el 21 % por aspersión, y el 9 % por métodos de riego localizados (Chambouleyron, Morábito, 2008).

Un desarrollo reciente en tecnología del riego por superficie lo constituye el llamado *riego por pulsos (surge flow)* y *con él se* ha logrado aumentar la eficiencia de riego y reducir la necesidad de mano de obra (facilidad de automatización), aventajando incluso a sistemas presurizados. Esta técnica tiene el potencial para mejorar significativamente las eficiencias de riego, minimizando las pérdidas por percolación profunda y escurrimiento al pie, y ser más versátil para el regador cuando se lo compara a otros sistemas. Sin embargo implica la adopción de nuevos conceptos para el manejo y diseño.

MATERIALES Y METODO

El reto actual de la ingeniería de riego es conseguir la modernización y rehabilitación de los métodos por escurrimiento superficial de forma tal que se consiga una alta eficiencia y uniformidad, minimizando las pérdidas por escorrentía y percolación profunda y reduciendo la agresión al medio ambiente.

En pos de estas premisas la aplicación de nuevas técnicas de riego como el riego por pulsos implica la adopción de reglas de trabajo para lo cual son necesarias técnicas de evaluación y diseño que permitan ajustar adecuadamente la aplicación del agua al requerimiento estacional del cultivo y lograr eficiencias que las hagan comparativas con los métodos presurizados.

La evaluación de un método de riego comprende aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales. Desde el punto de vista técnico las evaluaciones tienen por objeto determinar la eficiencia del método, analizar la posibilidad de una mejora de la misma, obtener información básica de campo que ayude al profesional a su rediseño y -además- comparar distintos métodos de riego y procedimientos de operación, para fundamentar la toma de decisiones económicas. El conocimiento preciso del uso actual de un método de riego (eficiencia de aplicación) y de cómo podría ser usado en el futuro para aumentar su eficiencia (eficiencia de aplicación potencial) únicamente puede ser obtenido a través de mediciones de campo.

El riego por pulsos consiste en aplicar un caudal determinado de agua de manera intermitente a surcos o melgas, a través de una sucesión de entregas y cortes de agua llamados ciclos. Los tiempos de los ciclos varían desde pocos minutos a varias horas, (definiendo al “tiempo del ciclo” como la suma de los tiempos de la fase de reposición de agua (pulso con agua) y tiempo de interrupción o descanso (pulso sin agua)) y a la “razón del ciclo” como la fracción del tiempo que dura el pulso con agua respecto al tiempo total del ciclo). Por ejemplo tiempo del pulso con agua 30 minutos, tiempo del pulso sin agua o pulso de descanso 30 minutos, tiempo del ciclo (30 + 30) 60 minutos, razón de ciclos 0,5 (son 30 minutos con agua respecto a 60 minutos que dura un ciclo (30/60) = 0,5).

La fabricación de válvulas comerciales con computadoras programables -armadas en tuberías con compuertas regulables-dotando del caudal al surco o melga- automatizó este sistema. Las dos importantes empresas de válvulas comerciales desarrollados para las condiciones áridas y semiáridas de los Estados Unidos, fueron. P&R Surge System Inc., Lubbock, de Texas U.S.A. y Waterman Industries, Inc., Exeter, California U.S.A., la primera (P&R Surge System Inc.) es la que existe en nuestro país. En este sistema la distribución del agua se realiza a través de una válvula mariposa o “T” provista de una computadora, alimentada de un panel solar. Para sobrellevar las dificultades de seleccionar los parámetros de manejo y control, los fabricantes usan algoritmos simplificados basados en experiencias e información de los investigadores. Esto parece ser la única alternativa práctica por ausencia de pautas rigurosas.



Válvula P&R Surge System Inc.

El riego por superficie es un fenómeno complejo principalmente debido al medio no uniforme sobre el cual el agua es transportada, esto es el suelo. Con el riego por pulsos el fenómeno es más complicado por los múltiples avances y el efecto de alternar ciclos de mojado y descanso en las características de infiltración del suelo.

Las evaluaciones a campo del riego por pulsos se han basado usualmente en modificaciones de procedimientos usados con el riego convencional por escurrimiento superficial. Requiere de medidas de los tiempos de avance y receso de cada estación a 20 ó 30 metros de intervalo hacia el pie del surco. Se debe evaluar el avance y el receso para cada pulso de agua durante la fase de avance.

Para establecer el volumen de agua aplicado en el surco un aforador u otro elemento de medición de caudal se requiere a la cabeza. La lectura se efectúa durante la aplicación del pulso para medir el caudal entrado. Otro aforador deberá ser instalado al final para medir el caudal de salida, luego que la fase de avance se haya completado. Esta información permitirá estimar la velocidad de infiltración base a lo largo del surco.

Para la evaluación, es indispensable conocer la secuencia del riego por pulsos. Esta secuencia incluye el tiempo de inicio del riego, número de pulsos, sus tiempos, tiempo de corte del riego.

Otra información adicional requerida para la evaluación incluye la pendiente, espaciamiento, largo, y geometría del surco (del cual se deduce las relaciones de carga de agua respecto a la cuerda, perímetro mojado y sección y definir los parámetros de la sección hidráulica). La medición de la textura del suelo y la humedad actual para la profundidad de exploración radical completarán la información requerida.

El riego por pulsos también alteran las características de infiltración del surco necesitando más de una función de infiltración para describir el riego completo. Los tres regímenes de infiltración que caracterizan a esta técnica, por la variación de la velocidad de infiltración debido al movimiento del agua a través de la interfase húmeda-seca, significa que la lámina infiltrada no puede ser descripta como una función solo del tiempo de oportunidad como en el riego tradicional por surcos. Un procedimiento de evaluación efectivo debe de describir el tiempo de oportunidad durante cada pulso según las características de infiltración bajo las condiciones de los sucesivos avances.

Para evaluar cualquier sistema de riego se requiere calcular las respectivas eficiencias de aplicación, de almacenaje y la eficiencia de distribución.

La *eficiencia de aplicación* (E_a) se define como el cociente entre el volumen de agua almacenado (V_{alm}) en el perfil del suelo y el volumen de agua ingresada (V_{ing}) con el riego, expresado en porcentaje. Evalúa las pérdidas de agua (Grassi 1998).

$$E_a = (V_{alm}/V_{ing}) \times 100$$

La *eficiencia de almacenaje* (E_{alm}) es la relación entre el volumen almacenado (V_{alm}) en el perfil después del riego y el volumen necesario que se esperaba almacenar o almacenable (V_{def}), expresada en porcentaje. Expresa el grado de suficiencia del riego, evaluado en la capa del suelo que explora las raíces (mencionado por Grassi 1998).

$$E_{alm} = (V_{alm}/V_{def}) \times 100$$

La *eficiencia de distribución* (E_d) que expresa el grado de uniformidad en la distribución del agua en el área regada fue definida por Criddle y col. (1956) como la lámina infiltrada en el cuarto más perjudicial ($d_{1/4 + perj}$) respecto a la lámina media infiltrada en todo el perfil (d_{med}), expresada en porcentaje.

$$E_d = (d_{1/4 + perj} / d_{med}) \times 100$$

Merriam y Keller (1973) proponen el cálculo de la *eficiencia de aplicación potencial* ($E_a \text{ pot}$) como aquella factible de alcanzar cuando la lámina media infiltrada y almacenada es coincidente con la lámina de reposición óptima. Indica el grado de eficiencia de aplicación que puede alcanzar el método si el manejo es correcto, minimizando las pérdidas por percolación profunda y por escurrimiento al pie, operando el riego con caudales unitarios adecuados y tiempo de aplicación precisos. El cálculo de la eficiencia de aplicación potencial ($E_a \text{ pot}$) se obtiene mediante el cociente entre la lámina promedio infiltrada y almacenada en el perfil (equivalente a la lámina de reposición óptima, d_{opt}) y la lámina bruta optimizada.

$$E_a \text{ opt} = (d_{opt}/d_b) \times 100$$

Las eficiencias de riego potenciales han sido obtenidas con el modelo matemático SIRMOD III (Walker 2003) incorporando las modificaciones de parámetros como tiempo de aplicación y caudal unitario.

Walker y Skogerboe (1987) sugieren además otros dos indicadores que permiten separar las pérdidas en percolación profunda y escurrimiento al pie.

Percolación profunda (P_p) es la relación entre el volumen percolado por debajo del sistema radicular (V_{perc}), y el volumen total ingresado (V_{ing}), expresado en porcentaje.

$$P_p = (V_{perc}/V_{ing}) \times 100$$

Escurrecimiento al pie (E_p) es la relación entre el volumen escurrido al pie durante el riego (V_{egr}) y el volumen total ingresado (V_{ing}), expresado en porcentaje.

$$E_p = (V_{egr}/V_{ing}) \times 100$$

Muchos autores han calificado el desempeño alcanzado por los distintos métodos de riego, considerando varias alternativas. Roches (1985) propone el siguiente cuadro que permite analizar una situación particular y calificarla según los parámetros más importantes en el riego por superficie.

Cuadro N° 1: Clasificación de las eficiencias de aplicación (Ea), almacenaje (Ealm) y distribución (Ed) en parcela para los métodos de riego por superficie (Rocher, 1985)

PARÁMETRO	MALO	SATISFACTORIO	BUENO
Ea	< 60	60 – 75	> 75
Ealm	< 80	80 – 90	> 90
Ed	< 80	80 – 90	> 90

RESULTADOS

Se presenta en el cuadro N° 2 los datos de las evaluaciones de riego tradicional y en el cuadro N° 3 los datos de las evaluaciones de riego por pulso. Siendo S (%) la pendiente, L (m) largo del surco, W (m) espaciamiento entre surcos, Qi (L/s) caudal medio ingresado, Ta (h) tiempo de aplicación. Los cuadros se subdividen en riego con pendiente y riego sin pendiente.

El cuadro N° 4 resume las eficiencias de aplicación (Ea), eficiencia de almacenaje (Ealm), la eficiencia de distribución (Ed) y las relaciones de percolación profunda Pp y escurrimiento al pie (Ep) de los surcos evaluados riego tradicional y riego por pulsos.

Cuadro N° 2: Datos de las evaluaciones Riego Tradicional

Riego Tradicional con Pendiente							
N°	Cultivo	Suelo	S (%)	L (m)	W (m)	Qi (L/s)	Ta (h)
1-t	Ajo blanco	FrLi-Fr Arc	0.213	197	0.9	0.579	24
2-t	Ajo blanco	FrLi-Fr Arc	0.218	197	0.9	1.191	24
3-t	Cebolla p/cons	Fr Arc	0.333	195	0.9	0.399	24
4-t	Cebolla p/cons	Fr Arc	0.318	195	0.9	0.428	24
5-t	Tomate p/ ind	Fr-Arc-Li	0.253	233	1.5	0.155	24
6-t	Tomate p/ind	Fr-Arc-Li	0.279	233	1.5	0.548	24
7-t	Tomate	Fr Are	1.145	520	1.4	0.858	24
8-t	Ajo p/semilla	Fr Li	0.353	184	0.55	0.543	3.55
9-t	Ajo p/semilla	Fr Li	0.353	184	0.55	0.642	3.55
Riego Tradicional sin Pendiente							
10-t	Vid	Fr Are	0.038	83	2.5	2.37	1.15
11-t	Vid	Fr Are	0.013	83	2.5	3.18	1.15
12-t	Durazno F	Are Fino	0.053	186	4.0	4.02	3.13
13-t	Durazno F	Are Fino	0.094	186	4.0	4.58	2.8
14-t	Durazno JG-FC	Are Fino	0.066	189	4.0	3.17	3.13
15-t	Durazno JG-FC	Are Fino	0.032	189	4.0	4.75	2.92

Cuadro N° 3: Datos de las evaluaciones Riego por Pulsos

Riego por Pulsos con Pendiente							
N°	Cultivo	Suelo	S (%)	L (m)	W (m)	Qi (L/s)	Ta (h)
1-cd	Ajo blanco	FrLi-Fr Arc	0.16	180	0.9	0.604	11.8
2-cd	Ajo blanco	FrLi-Fr Arc	0.15	180	0.9	0.855	11.8
3-cd	Cebolla p/cons	Franco	0.24	187	0.9	0.558	11.75
4-cd	Cebolla p/cons	Franco	0.26	187	0.9	0.635	11.75
5-cd	Tomate p/ ind	Fr-Arc-Li	0.25	185	1.5	0.890	11.88
6-cd	Tomate p/ind	Fr-Arc-Li	0.25	185	1.5	0.253	11.88
7-cd	Tomate	Fr Are	1.145	520	1.4	0.764	11.7
8-cd	Ajo p/semilla	Fr Are	0.62	180	0.5	0.920	7
9-cd	Ajo p/semilla	Fr Are	0.62	180	0.5	0.620	7
Riego por Pulsos sin Pendiente							
10-cd	Vid	Fr Are	0.032	95	2.5	3.01	2.5
11-cd	Vid	Fr Are	0.074	95	2.5	4.12	5.5
12-cd	Durazno F	Are Fino	0.053	186	4.0	2.79	3.55
13-cd	Durazno F	Are Fino	0.094	186	4.0	2.99	3.55
14-cd	Durazno JG-FC	Are Fino	0.066	189	4.0	2.69	44.48
15-cd	Durazno JG-FC	Are Fino	0.032	189	4.0	3.23	4.48

Cuadro N° 4 Eficiencias de aplicación, almacenaje, distribución, y las relaciones de percolación profunda y escurrimiento al pie para riego tradicional y riego por pulsos.

Cultivo	Riego Tradicional					Riego por Pulsos				
	Ea	Ealm	Ed	Pp	Ep	Ea	Ealm	Ed	Pp	Ep
Ajo blanco	22.5	100	92.1	46.8	30.8	46.6	100	90.6	38.9	14.5
Ajo blanco	10.9	100	96.3	65.1	24.0	32.9	100	89.1	58.8	8.3
Cebolla p/cons	16.4	100	82.7	66.7	17.0	39.2	100	92.8	41.3	19.5
Cebolla p/cons	15.3	100	84.4	68.1	16.6	34.5	100	91.7	50.0	15.5
Tomate p/ ind	49.9	100	96.3	10.1	40.0	21.3	100	95.8	31.2	47.5
Tomate p/ind	17.2	100	99.2	37.8	45.0	34.5	100	91.9	2.4	63.1
Tomate	40.5	100	82.6	2.0	57.5	53.2	100	89.4	28.3	18.5
Ajo p/semilla	48.1	100	83.7	10.3	41.6	37.6	100	80.6	62.4	0
Ajo p/semilla	40.7	100	86.8	40.1	19.2	55.6	100	70.9	44.4	0
Vid	67.9	100	90.2	32.1	0.0	73.1	100	93.1	26.9	0
Vid	49.8	100	91.9	45.2	5.0	53.3	100	96.3	46.7	0
Durazno F	70.6	100	82.9	26.7	2.7	96.54	100	84.7	3.4	0
Durazno F	69.3	100	86.7	27.6	3.1	89.9	100	84.4	6.4	3.64
Durazno JG-FC	90.2	100	91.1	7.7	2.1	88.7	100	85.1	3.1	8.2
Durazno JG-FC	64.7	100	91.9	8.9	26.4	74.3	100	89.6	26.6	0.4

El cuadro N° 5 muestra el volumen de agua que se incorpora la etapa de avance en el riego tradicional comparado con el riego por pulsos para todos los casos analizados.

Cuadro N° 5 volumen de agua incorporado en la etapa de avance para riego tradicional y riego por pulsos.

Cultivo	T avance RT (1)	Volumen RT (2)	T avance RP (1)	Volumen RP (2)	Red Vol (3)
Ajo blanco	329.7	11.5	173	6.3	45
Ajo blanco	152.7	10.9	173	8.9	19
Cebolla p/cons	539.9	12.9	293	9.8	24
Cebolla p/cons	493.2	12.7	267	10.2	19
Tomate p/ ind	191.1	1.8	142	1.4	21
Tomate p/ind	60.7	2.0	94	7.6	74
Tomate	391.7	20.2	90	4.1	79
Ajo p/semilla	102.4	3.3	346	19.1	82
Ajo p/semilla	109.6	4.2	356	13.2	68
Vid	36.2	5.1	80	14.4	64
Vid	37.9	7.2	80	19.8	63
Durazno F	157.1	37.9	115	19.3	49
Durazno F	142.5	39.2	115	20.6	47
Durazno JG-FC	132.8	25.6	151	24.4	4
Durazno JG-FC	113.3	32.3	151	29.3	9

Ref:

(1) T avance RT y T avance RP corresponde a los valores de los tiempos en minuto que tardó el agua en llegar al pie de la unidad en la etapa de avance para riego tradicional (RT) y para riego por pulsos (RP).

(2) Volumen RT y Volumen RP corresponde al volumen de agua en metros cúbicos incorporados durante la etapa de avance para riego tradicional (RT) y para riego por pulsos (RP)

(3) Red Vol es el cálculo de la reducción de volumen de agua aplicado en la etapa de avance expresada en porcentaje.

Los valores en rojo son los casos en donde se ha aplicado más agua en la etapa de avance con el riego por pulsos respecto al riego tradicional.

El cuadro N° 6 resume los valores de eficiencias potenciales para riego por pulsos obtenidas con el modelo matemático SIRMOD III (Walter 2003). Estos resultados reflejan el cambio que se registra en las respectivas eficiencias modificando únicamente el tiempo de aplicación del agua que se obtiene disminuyendo en el número de pulsos con agua

Cuadro Nº 6 Eficiencias potenciales riego por pulsos

Cultivo	Riego por Pulsos				
	Ea	Ealm	Ed	Pp	Ep
Ajo blanco	81.8	97.3	84.4	9.6	8.6
Ajo blanco	63.9	99.4	79.1	32.6	3.4
Cebolla p/cons	73.0	99.3	87.0	15.3	11.7
Cebolla p/cons	68.8	99.5	84.1	23.7	7.5
Tomate p/ ind	63.1	98.1	90.6	3.9	32.9
Tomate p/ind	80.9	95.1	82.7	6.7	12.3
Tomate	83.3	97.5	83.5	13.0	3.7
Ajo p/semilla	50.5	96.2	99.8	50.2	0
Ajo p/semilla	66.4	96.2	99.8	34.2	0
Vid	94.4	98.5	93.1	4.9	0
Vid	79.8	99.7	95.1	20.1	0
Durazno F	94.1	91.9	84.1	5.6	0
Durazno F	91.3	88.5	81.3	3.6	5.3
Durazno JG-FC	92.9	89.1	81.1	4.3	2.7
Durazno JG-FC	80.9	99.2	86.4	18.9	0

DISCUSION Y CONCLUSIONES

De los resultados comparativos de riego tradicional respecto a riego por pulsos se observa que se logra una mejora en las eficiencias de aplicación, manifestando en la mayoría de los casos haber duplicado la misma.

La eficiencia de almacenaje es la máxima en todas las evaluaciones de riego tradicional y pulso logrando el grado de suficiencia del riego, evaluado en la capa del suelo que explora las raíces

La uniformidad en la distribución del agua en todos los casos es alta tanto para un método como el otro sin manifestar una mejora por aplicar riego por pulsos.

Las pérdidas reflejadas por el escurrimiento al pie y la percolación profunda mejora en la mayoría de los casos para riego por pulsos acompañando la mejora en aplicación de agua.

Si clasificamos el desempeño alcanzado para los distintos métodos de riego según la clasificación de Roches (1985) obtenemos:

	Riego Tradicional		Riego por pulsos	
	Con pendiente	Sin pendiente	Con pendiente	Sin pendiente
Ea	MALO	SATISFACTORIO	MALO	SATISFACTORIO
Ealm	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
Ed	SATISF BUENO	SATISF BUENO	SATISF BUENO	SATISF BUENO

Por la reducción del volumen de agua requerido para completar la fase de avance (cuadro N° 5) la técnica de riego por pulsos concede el potencial para mejorar significativamente la aplicación eficiente y uniforme del riego si se lo compara con el riego tradicional. Sin embargo, requiere de un mayor nivel de comprensión y manejo que los sistemas tradicionales. Los casos en que no se presenta esa ventaja (resultados remarcados en rojo) se debe a mal manejo del riego (como tomate para industria que el caudal medido era muy bajo de 0,15 l/s y 0,25 l/s) o que la programación de la válvula de riego discontinuo no corresponda al diseño hidráulico para la parcela evaluada (caso del viñedo y ajo para semilla donde se programó con muchos pulsos de avance para textura gruesa).

A partir de la simulación con el modelo matemático SIRMOD (Walker 2003) podemos obtener las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución que puede alcanzar el método minimizando las pérdidas por percolación profunda y por escurrimiento al pie (Cuadro N° 6). Se observa que solo con disminuir el número de pulsos, y con ello el tiempo de aplicación de agua se logra eficiencias de aplicación por arriba del 60% disminuyendo la percolación profunda en la mayoría de los casos del orden de los 40 % y reduciendo el escurrimiento al pie por arriba del 50 %.

De lo analizado se evidencia que hay un sub-aprovechamiento de los equipos. La técnica de riego por pulsos puede ayudar a concretar en alcanzar altas eficiencias de aplicación, minimizando la percolación profunda y pérdidas por escurrimiento al pie, mientras satisface el requerimiento hídrico a nivel de la zona radical. Requiere de un adecuado ajuste a nuevas variables de diseño -el tiempo de los ciclos y la razón del ciclo de los pulsos- sumado a que el diseño agronómico debe de ajustarse a los algoritmos de la válvula comercial con procesador automático, que existe en nuestro país, P&R Surge System Inc., Lubbock, de Texas U.S.A.

Esta válvula contiene un algoritmo interno el cual requiere únicamente un valor de “tiempo” (“out time”) como parámetro de entrada. A partir de este dato el controlador a través de su programación sugiere el número de pulsos y el tiempo de los mismos para completar la etapa de avance. El tiempo a ingresar es el tiempo requerido para que el frente de agua avance hasta el final del surco bajo condiciones de riego tradicional y está determinado por experiencias pasadas. El tiempo de programación es el criterio básico usado porque integra varios parámetros de campo en un solo número. A su vez esta válvula está diseñada de modo a estar ubicada entre dos largos de tubos ventanas y el ciclo de agua va de un lado al otro de la válvula, Se configura en división de sets con dos grupos iguales de surcos, el tiempo del pulso con agua es igual al tiempo del pulso sin agua y la relación del ciclo es 0,5.

La óptima combinación resulta en completar la fase de avance con el menor volumen de agua usando caudales no erosivos y la fase post avance manejarla para prevenir las excesivas pérdidas por escurrimiento al pie. Dar una estrategia del caudal de ingreso, número óptimo de pulsos del avance, sus tiempos, y tiempo de los remojos dependen de las condiciones del lote y de los requerimientos de riego.

Como el riego por pulsos va, en la generalidad de los casos, ser usado en las tierras usualmente regadas, el caudal usado puede ser el que normalmente se usa bajo condiciones de riego tradicional. Sin embargo, se puede usar un criterio diferente para determinar el caudal del avance si se conoce la infiltración básica del suelo. En el riego por pulso la velocidad de infiltración inicial se reduce por los sucesivos pulsos hacia un valor cercano a la velocidad de infiltración base de ese suelo. Por ello durante la fase de remojo (o post avance) el agua se infiltra a la velocidad básica o cerca de ese valor en la totalidad del largo del surco. El valor óptimo de caudal para esa fase puede determinarse como:

$$q = \frac{1000 \times C \times L \times W}{60}$$

donde:

q = caudal fase de remojo para surco en litro por minuto, L/min.

C = velocidad de infiltración base, m/h

L = largo del surco, m

W = espaciamiento del surco, m

Por lo tanto el caudal aplicado en el avance será el doble del calculado para la etapa de post avance y no deberá exceder el caudal máximo no erosivo para surcos.

Por lo general cuatro ciclos son usualmente considerados adecuados para surcos de hasta 400 metros de largo, mientras que de 4 a 6 ciclos son usados para surcos más largos que 400 metros.

El tiempo del primer pulso puede determinarse midiendo el tiempo que requiere el frente de avance de agua en alcanzar el 20 al 30 % del largo total del surco. O se puede calcular, para surcos de 400 metros de largo o menos:

$\text{Tiempo del primer pulso} = \text{Tiempo de avance para riego continuo dividido ocho (8)}$
--

Y para surcos de más de 400 metros de largo:

$\text{Tiempo del primer pulso} = \text{Tiempo de avance para riego continuo dividido doce (12)}$

Otra consideración para el tiempo del primer pulso es que deberá ser suficientemente largo para permitir al regador ajustar el caudal para el avance uniforme en todo el grupo de surcos. Esto dependerá del número y tipo de ventanas usadas y el tiempo requerido para estabilizar el caudal. Como regla general, son necesarios 10 minutos para ajustar 40 ventanas (McCornick, 1987)

Para varias situaciones, el tiempo del primer pulso estará comprendido entre un tiempo de 20 minutos hasta dos horas o menos, dependiendo de las condiciones del suelo y largo del surco.

El tiempo del segundo pulso puede determinarse sumando al tiempo del primer pulso el tiempo que requiere el frente de agua en avanzar a través del surco que fue humedecido por el primer pulso. El tiempo que tarda el frente de agua en avanzar a través la porción del surco húmedo es el tiempo de avance húmedo. Una regla empírica para ello es de 3 a 5 minutos por cada 30 metros sobre suelo desnudo y 4 a 8 cuando cultivos densos están creciendo en el surco (surco con vegetación) (USDA – SCS; 1986)

Este procedimiento se continúa para determinar los tiempos de los sucesivos pulsos de avance para el tiempo remanente del ciclo hasta el último correspondiente al final del surco

Ya que la velocidad de infiltración se reduce a valores cercanos a la velocidad de infiltración base en la etapa post-avance el tiempo de los pulsos con agua requerirá ajustarse entre estos dos rangos, basados en condiciones locales. Como regla general, el tiempo con agua programado puede colocarse de aproximadamente 0,75 del tiempo del último avance. Por lo tanto el corte de agua ocurrirá cuando el agua alcance los tres cuartos de la distancia aguas abajo. Esto puede que sea adecuado para suelos con velocidades de infiltración bajas, en donde el frente de avance sigue luego del corte de agua en cabecera. Sin embargo para los

casos de suelos de velocidad de infiltración altos el tiempo de los pulsos con agua, necesitarán ser tanto como 1,3 veces la velocidad de avance sobre surcos pre- humedecido. (McCornick, 1987).

A causa que el tiempo de oportunidad es menor al final del lote, el regador deberá tomar el criterio entre tener sub irrigado el final del lote o perder agua por escurrimiento al pie.

BIBLIOGRAFIA

- Chambouleyron y J. Morábito** (1991). "Evaluación del riego por superficie". CONAGUA, Córdoba Argentina.
- Chambouleyron J., S. Salatino, J. Morábito, C. Mirábile** (1993). "Evaluación del riego presurizado en el oeste Argentina. Primer Simposio de Riego Presurizado", Mendoza – Argentina.
- Chambouleyron J.; J. Morábito** (2008) "Riego presurizado en Argentina" Informe interno INA – CRA.
- Grassi C.** (1987) Diseño y Operación del Riego por Superficie CIDIAT Venezuela
- Humpherys Allan** (1989) "Surge Irrigation Management" Agricultural engineer; USDA Agricultural Research.
- McCornick P.G. Duke H.R. Podmore** (1987) T.H. Field Evaluation Procedure for Surge Irrigation
- Merrian, J. Keller, J.** (1978) Farm Irrigation System Evaluation: A Gide for Management. Department of Agriculture and Irrigation, EGINEERING, Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Morábito J., S. Salatino, C. Mirabile, J. Chambouleyron** (1988). "Evolución del riego presurizado en Argentina". CONAGUA, Santa Fe – Argentina
- Roscher, K.** (1985) Surface Irrigation. Characteristics Design and Performance. Department of Irrigation and Civil Engineering. Agriculture University, Wageningen.
- Romay Catalina** (1999). "Comparación entre riego con caudal continuo y discontinuo para la optimización de la eficiencia de Riego". Informe final beca del INA 1998- 1999. Mendoza – Argentina.
- Romay Catalina** (2003) "Riego por pulsos. Experiencia en el Oeste Argentino" II Jornadas de Actualización de Riego" Centro de Ingenieros Agrónomos de Mendoza, Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino
- Walker W. R. & G. Skogerboe** (1987). *Suface irrigation, theory and practice*. Utah State University. Prentice Hall, INC. New Jersey, USA.