

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL RIEGO DISCONTINUO PROGRAMANDO LA VALVULA AUTOMATICA.

C. Romay, L. Génova, H. Salgado, S.M. Zabala

Riego y Drenaje, Facultad de Agronomía de Buenos Aires, Av. San Martín 4453
C1417DSE, CABA
ingcatalinaromay@hotmail.com

Resumen

La técnica de regar por pulsos consiste en aplicar un caudal determinado de agua de manera intermitente a surcos o melgas (con o sin pendiente), a través de una sucesión de entregas y cortes de agua llamados ciclos.

El concepto de esta técnica fue introducida en el año 1980 en la Universidad del Estado de Utah por los Drs. Glen Stringham, Jack Keller y Alvin Bishop (1979). Fue originalmente concebido como un medio para lograr el avance del frente de agua más rápido en unidades largas, para luego establecer un tiempo promedio de aplicación de agua que minimice el escurrimiento al pie (aumento de la eficiencia).

La adopción y uso del riego por pulsos ha ganado popularidad y aceptación por sobre las técnicas de riego superficial tradicional en varias zonas del mundo y se estima que es uno de los métodos que se perfilan como más promisorios.

La fabricación de válvulas comerciales con computadoras programables - armadas en tuberías con compuertas regulables, dotando del caudal al surco o melga - automatizó este sistema (Humpherys, 1989).

Las dos empresas de mayor difusión de los Estados Unidos quienes desarrollaron el sistema para las condiciones áridas y semiáridas, son 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. El controlador con microprocesador logra las secuencias cíclicas de tiempos de entrega y cortes de agua desde pocos segundos a varias horas.

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 seleccionar el número de pulsos del avance, tiempo de los ciclos, la relación del ciclo de los pulsos, y ajustar los pulsos de la etapa post-avance.

La aplicación de esta nueva técnica automatizada implica la adopción de reglas de trabajo que permitan ajustar adecuadamente la aplicación del agua al requerimiento estacional del cultivo y lograr eficiencias que las hagan comparativas con los métodos presurizados. En este trabajo se presentan las reglas operacionales para programar adecuadamente el sistema de riego por caudal discontinuo con la válvula comercial P&R Surge System Inc., Lubbock.

Palabras claves: riego por pulso, válvula P&R.

Introducción

El término riego superficial se refiere a un gran número de métodos de aplicación de agua al suelo, mediante los cuales se deja escurrir el agua por su superficie durante un tiempo suficiente, para reponer la humedad necesaria a los cultivos.

Las prácticas del riego superficial datan de miles de años y representan más del 85 % de la superficie agrícola irrigada del mundo. Es y continuará siendo la forma principal de aplicar agua de riego a los suelos, para suplir el agua evapotranspirada por los cultivos.

Varios autores concuerdan que la eficiencia del uso del agua y los rendimientos de los cultivos son bajos y señalan la necesidad de aumentar la *productividad económica del agua*, definida como el valor recibido por unidad de agua usada (\$/mm). Esto podría lograrse por un incremento en la *productividad física del agua* que lleva a generar más cantidad por unidad de agua usada (Kg/mm).

La necesidad de manejar adecuadamente este recurso en forma continua es una de las tareas de nuestra época. Los países más industrializados hicieron un llamado mundial para mitigar los efectos de una crisis alimentaria de graves proporciones y declaran que “es evidente el papel que se debe asumir hacia una agricultura sostenible, en donde el riego eficiente viene a ser una de las principales transversales”.

El director de la FAO afirma que “el futuro del agua se encuentra en una agricultura más eficiente”, y señala que “millones de campesinos de todo el mundo proporcionan los alimentos y deben ser el eje de cualquier proceso de cambio. Necesitan ser apoyados y guiados, para producir más con menos agua. Ello requiere inversiones bien dirigidas, incentivos y un marco político adecuado para sistemas de producción, riego y mitigación ante el cambio climático”. De esta manera, el tema del riego cobra importancia en las discusiones y decisiones a nivel de política.

El reto actual de la ingeniería de riegos 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.

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 ha ganado popularidad y aceptación por sobre las técnicas de riego superficial tradicional en varias zonas del mundo y se estima que es uno de los métodos que se perfilan como más promisorios, sin embargo implica la adopción de reglas de trabajo para lo cual son necesarias definir técnicas de evaluación y diseño que permitan ajustar adecuadamente la aplicación del agua a las necesidades del cultivo y lograr eficiencias que las hagan comparativas con otros métodos.

Materiales y Métodos

Definición y antecedentes

El riego por pulsos es una técnica de aplicación de agua al surco o melga (con o sin pendiente), de manera intermitente. Esta sucesión de entregas y cortes de agua de llaman ciclos. Los tiempos de los ciclos varían desde pocos minutos a varias horas.

Esta técnica fue originalmente concebida como un medio para lograr el avance del frente de agua más rápido en unidades largas, para luego establecer un tiempo promedio de aplicación de agua que minimice el escurrimiento al pie (aumento de la eficiencia).

Fue introducida en el año 1980 por los Drs. Glen Stringham, Jack Keller y A. Alvin Bishop (1979) en la Conferencia de la Especialidad en Riego y Drenaje de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. En marzo de 1986 la Oficina de Patentes de USA editó la patente N° 4.577.802 titulada “*Método y Sistema para regar surcos*”, nombrando a los Drs. Jack Keller y G.E. Stringham como inventores y a la Fundación de la Universidad de Utah como apoderada. El informe fue acompañado de una discusión preliminar sobre la prometedora técnica automática para lograr reducir el escurrimiento de agua al pie durante el riego por surcos.

Estos investigadores creyeron que antes que se expandiera y desarrollara completamente la teoría sobre el nuevo método, serían necesarias prácticas de manejo y diseño que surgieran de la experiencia de campo.

El sistema de riego por pulsos discutido por Stringham y Keller (1979) consistió en modificar válvulas neumáticas para que trabajen a bajas presiones (reemplazando el diafragma interno) e instalarlas en tubería de PVC.

El conjunto de válvulas era comandado coordinadamente a través de un controlador base con microprocesadores para lograr las secuencias cíclicas de tiempos de entrega y cortes de agua. (foto y croquis n° 1)

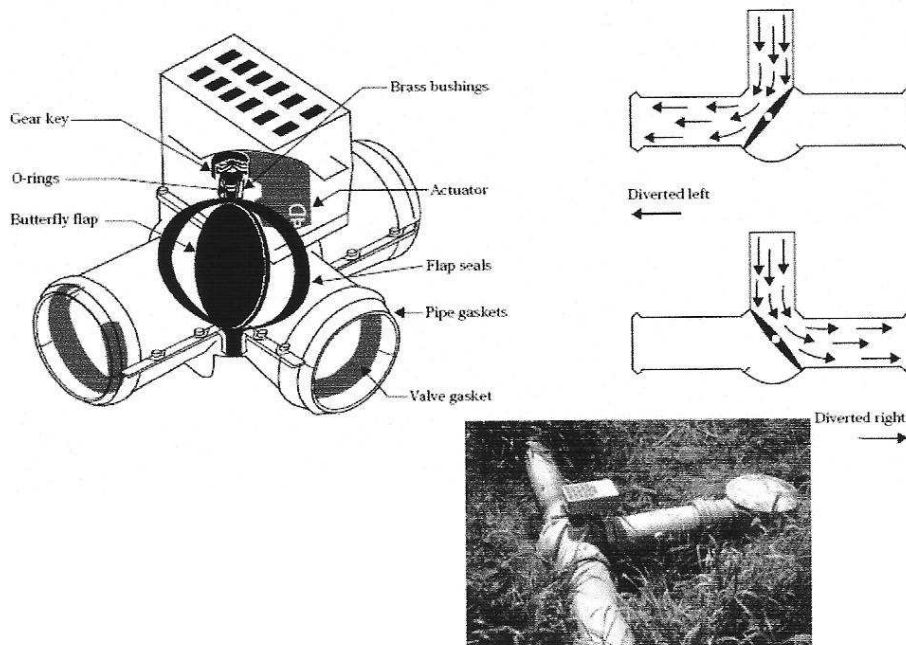


Foto y croquis n° 1: sistema de riego por pulsos USUB – Kubota con válvula automática (Stringham y Keller 1979)

Válvulas comerciales

Las empresas comerciales, de válvulas mecánicas para aplicar el riego intermitente con procesador automático son 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” (foto n° 2) provista de un controlador con microprocesador. (foto n° 3 y 4)



Foto nº 2: válvula mariposa o “T”



Foto nº 3: controlador con microprocesador



Foto nº 4: válvula mariposa P&R con computadora alimentada de un panel solar

El agua es abastecida a dos laterales por medio de tuberías con pequeñas compuertas corredizas que aseguran un caudal conocido y uniforme a los surcos bajo riego, (foto nº 5 y 6)



Foto n° 5: tubería con compuerta corrediza caudal constante



Foto n° 6: sistema de riego por pulso

La válvula orienta todo el caudal a un ala regadora por vez regando un número de surcos durante un tiempo determinado que se denomina “pulso”. Luego el caudal se deriva a la otra ala, repitiendo este accionar en forma alterna siendo esto lo que da lugar a las denominaciones: riego intermitente, riego por pulsos o caudal discontinuo. El tiempo que transcurre entre un período de aplicación de agua y otro de corte se denomina “ciclo”.

Es quizás interesante notar que la práctica del riego por pulsos mientras que aparece relativamente simple, es por el contrario una tecnología de riego avanzada más compleja. El diseño y evaluación requiere de un nivel de conocimiento de hidráulica de riego por escurrimiento superficial.

Sumado a los siete principales factores que gobiernan el escurrimiento del agua por la superficie del terreno - longitud, pendiente, rugosidad, forma del surco, caudal, tiempo de aplicación y velocidad de infiltración del agua en el suelo - se le suman al manejo del riego por caudal discontinuo el número de pulsos en la etapa de avance, definir tiempo de los ciclos, la relación del ciclo de los pulsos, y ajustar los pulsos de la etapa de remojo.

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.

Principio del riego intermitente.

La técnica de riego por pulsos se completa en dos etapas, avance y remojo. Durante el avance el agua es impulsada a través del suelo del surco hasta mojar su longitud total. Los remojos son los pulsos adicionales a fin de incrementar la profundidad de agua en el perfil reponiendo la lámina de riego.

Existen varias alternativas de manejo para cumplir dichas etapas. La investigación se basó principalmente en aplicar tiempos constantes a cada ciclo, pero el que ha ganado amplia aceptación es el método de distancias constantes en el cual el tiempo de avance se incrementa a cada pulso subsiguiente. La válvula comercial P&R aplica este principio.

El Servicio de Conservación del Suelo (USDA 1986) recomienda aplicar 4 a 5 pulsos durante la etapa de avance para surcos de hasta 400 metros de longitud. Mientras que para surcos mayores de 400 metros aplican de 5 a 6 pulsos.

Para la etapa de remojo Izuno y Podmore (1986) propusieron una continua reducción del caudal que satisfaga la velocidad de infiltración base. La válvula automática P&R posibilita una opción de reducción de tiempos de aplicación durante la etapa de remojo que cumpliría dichas premisas.

Alemi y Goldhamer (1988) encontraron que se optimiza la eficiencia de aplicación regando por pulsos cuando se programa 4 a 6 ciclos durante la fase de avance, seguido de continuas reducciones de caudales en la etapa de remojo.

Iyers (1993) propusieron un factor de remojo (relación entre el tiempo del remojo y el tiempo total que dura el avance) sea de 0,1 a 0,2 para maximizar la eficiencia de aplicación.

Yonts y col (1996) desarrollaron una relación entre el tiempo requerido para el primer ciclo de avance respecto al tiempo necesario en los ciclos siguientes, para concretar aproximadamente la misma distancia.

La válvula comercial de P&R con su controlador "Star" requiere de un único dato de inicio: *cuantas horas de avance necesita el agua para llegar al final de la unidad regando bajo la forma tradicional*. A partir de este dato el programa calcula automáticamente cuantos ciclos de avance son necesarios, cuales son los tiempos de cada pulso de los ciclos de avance y cual es el tiempo de los ciclos de remojo. No permite modificar los tiempos parciales de los pulsos, si puede modificarse el tiempo total del avance, pero esto implica una nueva respuesta de la programación. Los ciclos de remojo pueden modificarse. La función de "auto ciclos" durante esta fase permitiría la reducción del tiempo de aplicación de agua en cada pulso sucesivo con incorporación de menor volumen correlacionado con la menor velocidad de infiltración mencionado anteriormente. Este controlador permite determinar cual es *la razón de ciclos* definiendo la relación de tiempo de entrega y reposo de agua del lado derecho respecto al izquierdo o viceversa.

Parámetros de manejo óptimo para riego por pulsos

Se presentan las reglas operacionales para programar adecuadamente el sistema de riego por caudal discontinuo con la válvula comercial P&R Surge System a partir del modelo desarrollado por Fekersillassie y Eisenhauer (2000) basados en Yonts (1996).

El modelo clasifica cuatro categorías representativas de suelo definiendo el exponente “a” de la ecuación de infiltración de Kostiakov:

Textura fina “a” = 0,3, Textura media “a” = 0,5, Textura gruesa “a” = 0,7 y un caso particular de velocidad de infiltración muy lenta con el coeficiente “a” = 0,5.

Las variables respuesta, maximizar la eficiencia de aplicación - 90% del área debería estar adecuadamente regada - reduciendo las pérdidas, expresadas como el escurrimiento al pie y la percolación profunda.

Las variables de decisión:

Relación de Corte (RC) = Tiempo que dura la etapa de avance respecto al tiempo que dura el riego o tiempo de aplicación.

Factor de Remojo (FR) = Tiempo que dura el remojo respecto al tiempo de avance.

Relaciones recomendadas

Clase de Textura	Gruesa	Media	Fina	Baja Infiltración
	a = 0,7	a = 0,5	a = 0,3	a = 0,5
Relación de Corte (RC)	0,7	0,8	0,9	1,0
Factor de Remojo (FR)	0,2	0,15	0,1	0,1

Aplicación en el manejo de riego por pulsos

Una vez definido la relación de corte (RC) y el factor de remojo (FR) se calculan las variables de manejo para el riego intermitente:

Para la etapa de avance:

RPA: (Relación Pulsos de Avance) definido como el incremento de tiempo requerido por un pulso dado respecto del primer pulso de avance, calculado según ecuación (1)

$$RPA = PN_i^{1,52} - (PN_i - 1)^{1,52} \quad (1)$$

En donde PN_i es el pulso número i

Para la etapa de remojo

RPR: (Relación Pulso de Remojo) definido como el incremento de tiempo requerido por los pulsos de remojo respecto del primer pulso de avance, calculado según ecuación (2).

$$RPR = NPA^{1,52} \times FR \quad (2)$$

En donde NPA es la cantidad de pulsos durante la fase de avance y FR es el factor de remojo según clase de textura definido mas arriba.

Resultados y Discusión

Sobre la base de los resultados obtenidos de varias evaluaciones a campo de sistemas de riego intermitente, bajo diferentes condiciones de manejo, se simularon los casos - con el modelo SIRMOD III - y se compararon las variables respuesta. Posteriormente se planteó una optimización del riego modificando las variables *tiempo de aplicación, el caudal unitario o ambos*. Los resultados mostraron una mejora de las variables respuesta, pero sin alcanzar las óptimas recomendadas al aplicar esta técnica.

La reprogramación de los tiempos de los ciclos de avance y remojo en base al modelo de Fekersillassie y Eisenhower (2000) basados en Yonts (1996) planteó una alternativa de análisis y deducir si mejoraba la eficiencia de aplicación reduciendo las pérdidas por escurrimiento al pie y percolación profunda.

Se presenta un caso desarrollado como ejemplo concluyendo los resultados de los demás.

Propiedad con cultivo hortícola: Ajo

Longitud del lote = 200 m, espaciamiento entre surcos = 0,9 m, pendiente = 0,6%, caudal medio aplicado = 0,62 l/s, suelo textura franco limosa (clase de textura media según modelo Fekersillassie y Eisenhower)

Longitud menor a 400 m (Nº de pulsos de avance 4, según SCS-USDA)

$L/4 = 400\text{m}/4 = 50 \text{ m}$

Unico dato medido = Tiempo que tarda el agua en avanzar la cuarta parte del lote o sea los 50 m. Para las condiciones hidráulicas de nuestro caso fue de 16 minutos.

Aplicando ecuación (1) *RPA: (Relación Pulsos de Avance)*

$$\text{Pulso n}^\circ 2 \quad RPA_2 = 2^{1,52} - (2 - 1)^{1,52} = 1,867$$

$$\text{Pulso n}^\circ 3 \quad RPA_3 = 3^{1,52} - (3 - 1)^{1,52} = 2,443$$

$$\text{Pulso n}^\circ 4 \quad RPA_4 = 4^{1,52} - (4 - 1)^{1,52} = 2,913$$

Tiempos de los pulsos de avance para nuestro ejemplo:

Pulso n° 1 = 16 minutos

Pulso n° 2 = 16 minutos x 1,867 = 29 minutos

Pulso n° 3 = 16 minutos x 2,443 = 39 minutos

Pulso n° 4 = 16 minutos x 2,913 = 47 minutos

Aplicando ecuación (2) *RPR: (Relación Pulso de Remojo)*

Siendo un suelo de textura franco limosa clase de textura media el Factor de Remojo FR es igual a 0,15 según relaciones recomendadas.

$$RPR = 4^{1,52} \times 0,15 = 1,234$$

Pulsos de remojo = 16 minutos x 1,234 = 20 minutos.

Teniendo los tiempos de los pulsos calculados se compara con la programación del microprocesador P&R.

Programación calculada: 4 pulsos de avance de (16 + 29 + 39 + 47) minutos, remojos de 20 minutos.

Programación válvula comercial P&R ingresando 4:30 horas en la función avance la válvula programa 2:15 horas para cada lateral de riego dando 4 pulsos (19 + 27 + 38 + 51) minutos con remojos de 20 minutos. Cuadro n° 1

Cuadro n: 1 Datos relevados programación válvula P&R

Pulso	Tiempo													
	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30
1	14	18	22	15	17	19	21	23	25	27	25	27	29	31
2	19	24	29	21	24	27	30	33	36	39	34	36	38	41
3	27	33	39	29	33	38	42	46	50	55	42	45	48	51
4				40	46	51	57	63	69	74	50	54	58	61
5											59	63	67	71
R	9	11	14	16	18	20	23	25	27	29	32	34	36	38

Resultados de las variables respuesta: Ea (eficiencia de aplicación), Ep (relación de escurrimiento al pie), Pp (relación de percolación profunda).

Evaluación a campo: la programación de la válvula P&R establecida por el regador fue de ciclo de avance de 8:00 horas (corresponde a 4 horas de tiempo de avance para cada lateral). La programación automática dio 5 pulsos de avance de (29 + 38 + 48 + 58 + 67) minutos sumado a pulsos de remojo de 36 minutos (cuadro n° 1)

Resultados obtenidos Ea = 46,6 % Ep = 14,5 % Pp = 38,9 %

Simulación SIRMOD III (datos de campo) Ea = 46,7 % Ep = 13,9 % Pp = 39,4 %

Nueva Programación del avance 4:30 horas, 4 pulsos de avance (19 + 27 + 38 + 51) minutos sumado a pulsos de remojo de 20 minutos.

Resultados obtenidos (SIRMOD III) Ea = 88,1 % Ep = 2,1 % Pp = 9,8 %

El gráfico n° 1 y n° 2 muestran las curvas de avance de cada pulso obtenida a partir de los datos de campo y las correspondiente a la nueva programación según el modelo de Fekersillassie y Eisenhauer.

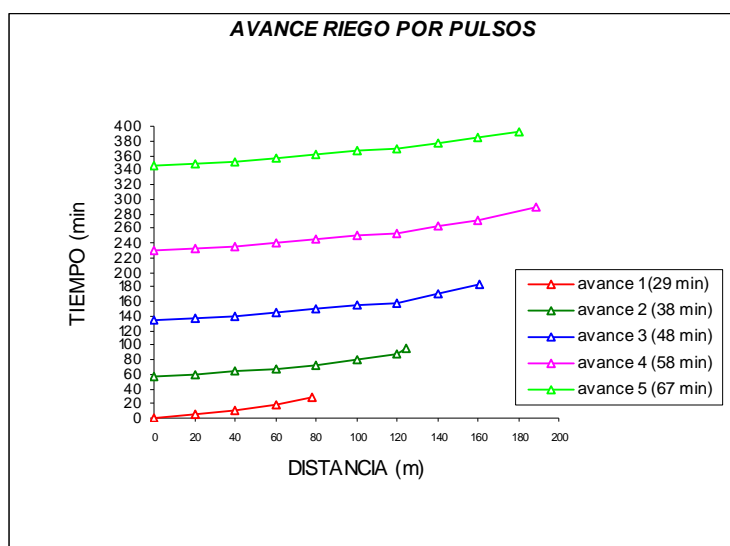


Gráfico n° 1 curvas de avance riego por pulso datos de campo

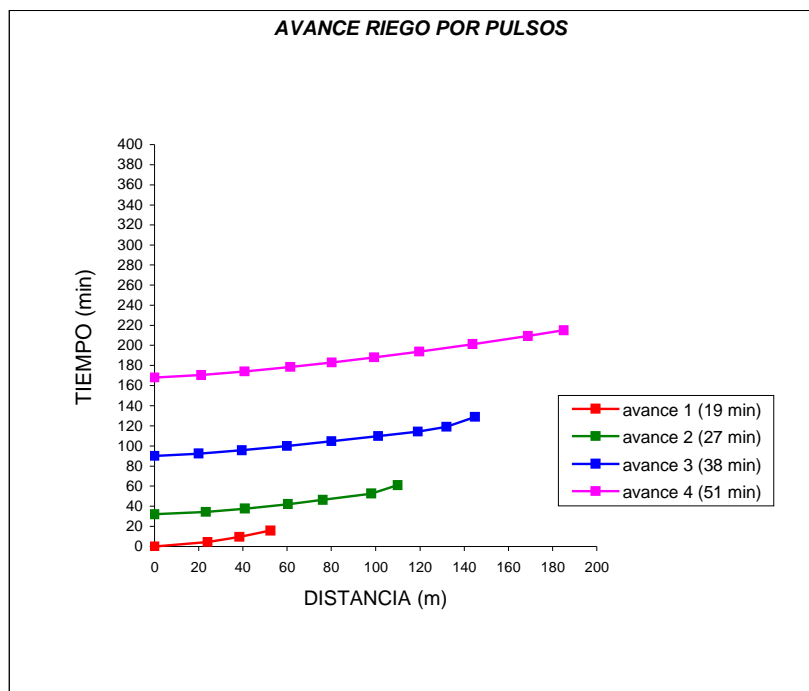


Gráfico n° 2 curvas de avance riego por pulso nueva programación.

Se observa que los tiempos de los pulsos de avance de la reprogramación cumplen con la premisa de tiempos incrementales para distancias iguales. El primer pulso de avance de 19 minutos, avanza los primeros 58,4 metros. Los tres pulsos de avance subsiguientes de 27, 38, y 51 minutos, avanzan 117,3; 167,8; y 196,4 metros respectivamente.

Claramente se ve que el 5^{to} pulso de la etapa de avance de la programación original no era necesario, con lo cual se aplicó 67 minutos de agua adicionales habiendo escurrido en el pie casi el 35 % de dicho tiempo. Y las respectivas distancias de avance si bien se incrementan en cada pulso no cumplen con la “igualdad de distancias” y esto refleja cambios en la hidráulica del riego, y en la infiltración.

Los 13 ciclos de remojo (36 minutos cada pulso) de la programación original, tuvieron en promedio un 19 % del volumen ingresado que salió al pie de la parcela.

La nueva programación disminuye el tiempo del pulso de remojo (20 minutos) y el control de la cantidad de ciclos a aplicar según la lámina requerida, implican disminución de las pérdidas por escurrimiento al pie y por percolación profunda tal como lo reflejan los resultados.

Se presentan las variables respuesta para los otros casos analizados gráfico n° 3 eficiencia de aplicación, gráfico n° 4 percolación profunda, y escurrimiento al pie.

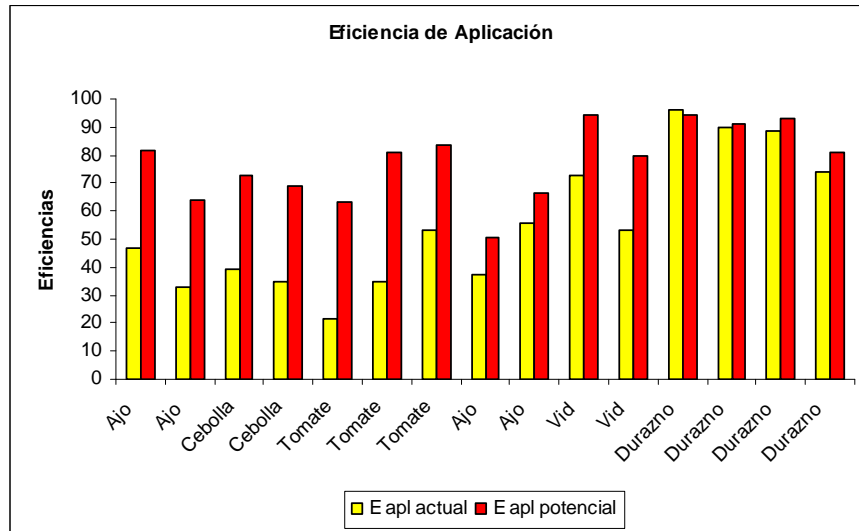


Gráfico n° 3: Eficiencia de aplicación evaluación a campo (actual) y de la reprogramación (potencial)

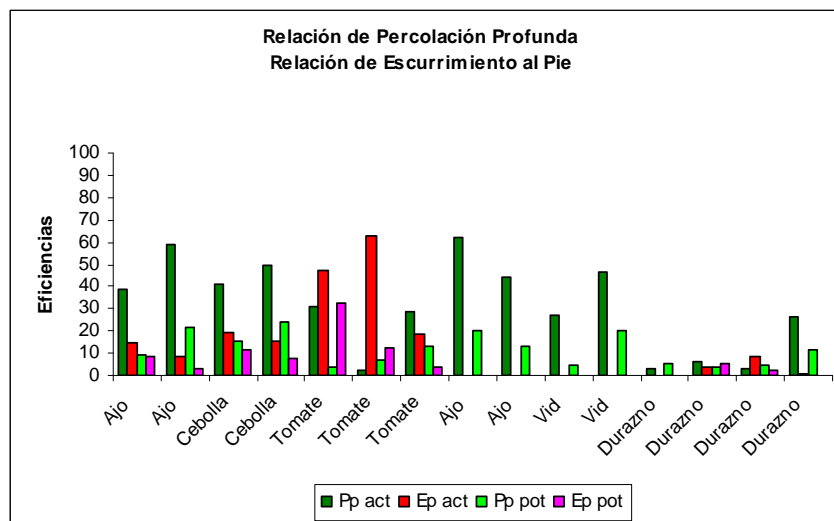


Gráfico n° 4: Relaciones de percolación profunda y escurrimiento al pie evaluación a campo (actual) y de la reprogramación (potencial)

Claramente se observa que aplicando la programación del modelo de Fekersillassie y Eisenhauer (2000) basados en Yonts (1996) mejoraron las variables respuesta, aumentando la eficiencia de aplicación en todos los casos y reduciendo las pérdidas por percolación profunda y escurrimientos al pie.

Sin embargo en varios de los casos analizados el tiempo de los pulsos de remojo ha tenido que modificarse según la respuesta de la válvula P&R, respecto a la programación calculada. Esto se debe porque el programa de P&R presenta una proporción constante de los tiempos de remojo, siendo del 15 % del tiempo total de avance programado. Y el modelo de Fekersillassie y Eisenhauer presenta más

variabilidad según el caso dependiendo del número de pulsos durante la fase del avance y del factor de remojo (FR) que depende de las características texturales del suelo.

Si bien este modelo ayuda a programar el riego intermitente, las válvulas comerciales presentan algoritmos simplificados que no incluyen las variables de decisión de diseño en la compleja hidráulica del riego por superficie sumado a la aplicación del agua de manera intermitente.

Los laterales de riego con pendientes no uniformes debido a instalaciones simplificadas y móviles sumado a las variaciones de las presiones de los tubos o mangas potencian el problema de irregularidades de la dotación del caudal, por ende del avance y de los tiempos.

Por otro lado cualquier modelo de programación debería permitir que durante el tiempo de descanso del pulso, el agua se infiltrara por completo inmediatamente antes de ingresar un nuevo pulso con agua. La rigidez de la programación no siempre permite esta aplicación.

Por último aplicar modelos de programación considerando iguales distancias de avance mediante tiempos incrementales, produce desigualdad de los tiempos de descanso entre los laterales. Killen y Snack (1987) mostraron claramente que esta diferencia de los tiempos de descanso entre los dos laterales de riego afecta el volumen infiltrado.

Conclusiones

Se presenta pautas para programar el riego por pulsos utilizando la mínima información de campo. Los resultados obtenidos concuerdan bastante con los resultados de la literatura. Y este modelo puede implementarse en la válvula comercial P&R.

Bibliografía

- (1) Bishop, A.A., W. R. Walker, N. L. Allen, y G. J. Poole – 1981 – Furrow advance rates under surge flow system. J., Irrigation. and Drainage Div. ASCE, 107(IR3): 257 – 264.
- (2) Cahoon. J., D. Eisenhauer – 1994 – Inferences of the cycle ratio-time surged flow infiltration function, Irrigation. Science 15: 173-182.
- (3) D.E. Eisenhauer, D. Fekersillassie – 2000 - Operating rules for surge flow furrow irrigation University of Nebraska – Lincoln.
- (4) FAO Irrigation and Drainage paper n° 45. – 1989 - Walker W.R Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems Utah State University Department of Agricultural and Irrigation Engineering
- (5) Goldhamer D., Alemi M., Phene R., - 1987 - Surge vs. Continuous Flow Irrigation, California Agricultural Research and Environmental Quality Vol. 41 (9-10) p.29-32.
- (6) Humphreys, A.S. – 1989 - Surge Irrigation I: An Overview. ICID Bulletin, 38 (2) 35-47.

- (7) Humphreys, A.S. – 1989 - Surge Irrigation II: Management. ICID Bulletin, 38 (2) 49-61.
- (8) Izuno F. T., Podmore T. H., - 1986 - Surge Irrigation Management, Agriculture Water Management Vol. 11 P. 279-291.
- (9) P & R Surge System, Inc Product information. 327 E. 40th, P.O. Box 3361, Lubbock, TX 79452
- (10) Rodriguez J. A., J. Reyes, A. D. Román Pujol – 2010 - Comparación entre el riego por surcos continuo e intermitente en un Ferrasol. I. – Infiltración. Instituto de Investigación de Riego y Drenaje Habana Cuba.
- (11) Rodriguez J. A., J. Reyes, A. D. Román Pujol – 2010 Comparación entre el riego por surcos continuo e intermitente en un Ferrasol. II. – Indices de idoneidad Instituto de Investigación de Riego y Drenaje Habana Cuba.
- (12) Rodriguez J.A., A. Diaz, J. Reyes, A.D. Román Pujol –2011- Diseño del riego por pulsos para suelos ferralíticos rojos. Instituto de Investigación de Riego y Drenaje Habana Cuba
- (13) Romay C. -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.
- (14) Romay C., Morábito J. A., -2000- Comparación entre Riego Tradicional y Pulsos. Análisis de Casos en Mendoza – Argentina CONAGUA 2000 Santiago del Estero, Argentina.
- (15) Romay C., - 2004- Riego por pulsos Optimización de la eficiencia de riego. Informe final UNCuyo SeCyT Beca de Formación Superior.
- (16) Sands J. – 1997 – The adaptation of surge irrigation controllers for open ditch delivery system, Agricultural Engineering Australia 26(1) 38-40.
- (17) Walker, W. R. -2003- Simulación, Diseño, y Evaluación de riego por superficie Guía del curso y documentación técnica Utah State University Foundation Logan, UT.
- (18) Walker W. R. NRCS -2003- Chapter 4 Surface Irrigation National Engineering Handbook Part 163 irrigation.
- (19) Walker, W. R. -1993 - SIRMOD III, Surface Irrigation Simulation Software, Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University. Logan. Utah 84322 – 4104 USA.
- (20) Walker, W. R. Ised -1989- SIRMOD, Surface Irrigation Simulation Software. User Guide. Irrigation Software Engineering Div (ISED) Dep. Agric. Irrig. Engin., Utah St. Univ, Logan.
- (21) Walker, W. R. Y G. Skogerboe -1987- Surface Irrigation, Theory and Practice. Utah State University. Prentice Hall, INC. New Jersey, USA.
- (22) Waterman Industries, Inc. Product information. P.O. Box 458 Exeter, CA 93221.
- (23) Wertz K., J. Cahoon, C.D. Yonts – 2010 – Surge Irrigation Management, Coop Ext. Institute of Agricultural and Natural Resources. U Nebraska NF94 – 179.
- (24) Yonts C.D., D.E Eisenhauer, D. Fekersillassie – 1996 – Impact of surge irrigation on furrow water advance ASAE vol. 39(3) 973-979.