

# DIAGNOSTICO PROSPECTIVO DEL DESEMPEÑO DE MÉTODOS DE RIEGO EN LA PROVINCIA DE MENDOZA. PUNTOS DE ATENCIÓN Y ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN\*

Schilardi C.<sup>1</sup>, Rearte E.<sup>1</sup>, Martín L.<sup>1</sup> y Morábito J.<sup>1,2</sup>

- (1) Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo. Almirante Brown (5507),  
Mendoza – Argentina. E-Mail: [cschilardi@fca.uncu.edu.ar](mailto:cschilardi@fca.uncu.edu.ar)  
(2) Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino - INA

## RESUMEN

El manejo estratégico de los recursos hídricos a futuro en escenarios de escases crecientes, tanto de agua como de recursos energéticos, como así también del impacto que pueda generar, sobre estos recursos, el cambio climático; exige un manejo del riego agrícola responsable para poder alimentar a una población en constante crecimiento. El presente trabajo, resultado de 305 evaluaciones a campo, analiza el comportamiento de los principales indicadores de desempeño del riego agrícola a nivel de parcela por método de riego: gravedad, localizado y aspersión. Para la evaluación de los métodos de riego a campo se han utilizado metodologías según estándares internacionales (ASAE, ASCE), conjuntamente con modelos de simulación hidráulica (WinSRFR, SIRMOD III, DEVIPOVT, RIEGOLOC). Los métodos de riego por gravedad tienen un potencial de optimización de un 20 a 25% respecto a la eficiencia de aplicación, manteniendo una adecuada uniformidad de distribución (superior al 80%). Para optimizar este método es necesario ajustar el caudal y tiempo de riego, conjuntamente con la nivelación del terreno y la incorporación de una infraestructura mínima para mejorar el manejo de caudales y láminas de reposición. Los métodos de riego presurizados si bien presentan una elevada eficiencia de aplicación (superior al 85%), presentan valores bajos en la uniformidad de distribución del 70 al 80%; respecto a los valores recomendados (iguales o superiores al 90%), ello demuestra la subutilización del potencial tecnológico del riego presurizado, presentando un potencial de optimización de entre un 10 a 20%. Este aspecto está íntimamente relacionado con la optimización consumo de energía, donde el adecuado diseño, regulación, y mantenimiento de las instalaciones permitirían alcanzar el potencial tecnológico de este método de riego. Las conclusiones señalan la necesidad de mejoras combinadas, tanto en el diseño, programación, operación y control de estos procesos. Se destaca la necesidad de ejecutar evaluaciones de desempeño a campo, como punto de partida para alcanzar el riego estratégico adecuado para cada propiedad agrícola en particular.

**Palabras clave:** métodos de riego, indicadores de desempeño, programación, operación.

---

\* Trabajo presentado al CONAGUA 2015 Argentina.

## INTRODUCCIÓN

El manejo estratégico de los recursos hídricos a futuro ante escenarios de escases crecientes, tanto de agua como de recursos energéticos; como así también el impacto que pueda generar, sobre estos recursos, el cambio climático y la creciente demanda del vital recurso por el medio ambiente, exige un manejo responsable del riego agrícola para poder alimentar a una población en constante crecimiento.

En Mendoza el 89% del agua disponible es utilizada para el riego agrícola (UNCUYO, 2004), donde predominan los métodos de riego superficiales (INDEC, 2002). La programación del riego es el proceso de decisión relacionado a “cuándo” y “cuánta agua” se debe aplicar a un cultivo; y el método de riego se refiere a “cómo” es aplicada esa cantidad de agua a un campo (Pereira, 1999). Para optimizar el desempeño de los métodos de riego se requiere la consideración de variables que tengan relevancia en el proceso hidráulico, la infiltración y la uniformidad en la aplicación del agua (Hlavec, 1992).

Las variables físicas que determinan el resultado de un evento de riego pueden agruparse en: (i) variables de manejo (parámetros físicos cuya magnitud puede cambiar en un amplio rango en función de la decisión del usuario) y (ii) variables del sistema, son parámetros físicos propios del sistema y que tienen un margen de cambio mínimo o nulo (Feyen y Zerihun 1999). Para un mejor entendimiento de las variables de manejo y de sistema es necesario analizarlas por método de riego.

### Riego por Superficie

Es el método de riego más utilizado en el mundo. En Mendoza principalmente existen los métodos de riego por surcos o melgas, con o sin pendiente (con o sin desagüe), representan el 90% de la superficie bajo riego (INDEC, 2002). Como indicadores de desempeño principales, la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación son el resultado de muchas variables de diseño y manejo del evento y método de riego, funcionalmente podemos expresarlas de la siguiente manera:

$$DU = f(q_{in}, L, n, S_o, I_c, F_a, t_{co}) \quad (1)$$

$$AE = f(q_{in}, L, n, S_o, I_c, F_a, t_{co}, SWD) \quad (2)$$

donde:

DU: uniformidad de distribución

AE: eficiencia de aplicación

$q_{in}$ : caudal unitario de surco o caudal unitario por ancho de melga

L: longitud de la unidad de riego

$S_o$ : pendiente de la unidad de riego

$I_c$ : características de la infiltración del suelo

$F_a$ : sección de flujo del surco o melga

$T_{co}$ : tiempo de corte o riego =  $T_{ap}$  (tiempo de aplicación)

SWD: déficit de humedad del suelo al momento del riego

Como variables de manejo podemos considerar: caudal de manejo y/o caudal unitario ( $Q_m, q_u$ ), tiempo de aplicación o corte (Tap), y en menor medida la longitud de la unidad de riego (L). Como variables del sistema podemos considerar a: lámina de riego a aplicar (dr), velocidad máxima del agua admitida para evitar erosión, pendiente del terreno ( $S_o$ ), coeficiente de rugosidad (n), parámetros de la ecuación de infiltración (A, B, fo) y geometría de surcos.

### **Riego por goteo**

Representa el 8% de la superficie cultivada (INDEC, 2002) en Mendoza, con un creciente aumento en la última década. Este método de riego se caracteriza por aplicar pequeñas láminas de agua con un intervalo frecuente, logrando un régimen de humedad alto en el suelo, generalmente con bajo déficit hídrico en todo el ciclo del cultivo. El desempeño de estos métodos de riego es muy dependiente de la calidad del diseño, de los materiales y equipos seleccionados, como sí también de la programación y mantenimiento de las instalaciones.

$$DU = f(P, \Delta P, x, E_c, C_v, FI) \quad (3)$$

$$AE = f(P, \Delta P, x, E_c, C_v, FI, K_s, t_i, \Delta t_i, SWD) \quad (4)$$

donde:

P: presión disponible del aspersor

$\Delta P$ : variación de presión en el set operativo o a lo largo del lateral desplazable

x: exponente de descarga de emisor

$E_c$ : exponente de descarga del emisor

$C_v$ : coeficiente de variación de fabricación del emisor

FI: capacidad de filtración del sistema

$K_s$ : conductividad hidráulica del suelo

$t_i$ : duración del evento de riego

Los agricultores que adoptan estos sistemas de riego tienen el control de: lámina de aplicación, tiempo de riego e intervalo de riego. La mayoría de los problemas detectados derivan de un inadecuado diseño y selección del equipamiento como consecuencia de que los agricultores son inducidos a adoptar este método de riego para ahorrar agua sin el adecuado soporte técnico. Los sistemas de riego pueden utilizar menos agua cuando se minimizan las pérdidas de aplicación, pero no deben ser diseñados o administrados para el ahorro de agua. Deben ser manejados, con alta frecuencia, para suministrar el agua en conformidad a la demanda de los cultivos (Pereira, 1999). En un sistema ya diseñado e instalado, como variables de manejo podemos considerar: lámina de riego a aplicar (dr), tiempo de aplicación o corte (Tap), y el intervalo de riego (IR). Como variables del sistema podemos considerar: el caudal nominal del emisor y sus características de descarga ( $q_a, x, C_v$ ), espaciamiento entre emisores (Se), variación de presión dentro del sistema ( $\Delta P$ ), capacidad de filtración del sistema (FI) y conductividad hidráulica del suelo ( $K_s$ ).

## Riego por Aspersión

Representan un pequeña porción de los métodos de riego aproximadamente el 0,5% (INDEC, 2002). En la última década ese porcentaje se ha incrementado. Actualmente Mendoza posee 3.736 hectáreas de riego con pivote central; y el oasis Centro concentra el mayor porcentaje de las mismas (69 %); Morábito et al, 2014.

$$DU = f(P, \Delta P, Se, d_n, WDP, WS) \quad (5)$$

$$AE = f(P, \Delta P, Se, d_n, WDP, WS, I_c, i_s, t_i, SWD) \quad (6)$$

donde:

P: presión disponible del aspersor

$\Delta P$ : variación de presión en el set operativo o a lo largo del lateral desplazable

$S_e$ : espaciamiento de los emisores en el lateral

$d_n$ : diámetro de la boquilla (para una determinada presión, tiene influencia en el caudal de descarga  $q_s$  y en el diámetro mojado  $D_w$ )

WS: velocidad y dirección del viento

WDP: representa el patrón de distribución de los aspersores

$I_c$ : características de infiltración del suelo

$i_s$ : lámina de aplicación de aspersor

$t_i$ : duración del evento de riego

Igualmente que en riego por goteo; el desempeño de estos métodos de riego es muy dependiente de la calidad del diseño, de los materiales y equipos seleccionados, como así también de la programación y mantenimiento de las instalaciones. En un sistema ya diseñado e instalado, como variables de manejo podemos considerar: lámina de riego a aplicar ( $dr$ ), tiempo de aplicación o corte (Tap) y el intervalo de riego (IR). Como variables del sistema podemos considerar: el caudal nominal del emisor y sus características de descarga ( $q_a$ ,  $x$ ,  $C_v$ ), el espaciamiento entre emisores ( $S_e$ ), la presión de diseño del sistema ( $P$ ), la variación de presión dentro del sistema ( $\Delta P$ ), el diámetro de la boquilla del emisor seleccionado ( $d_n$ ), el patrón de distribución o mojado de los aspersores (WDP) y a la dirección y velocidad del viento (WS).

### Consideraciones generales para los métodos de riego:

Las funciones representadas en las ecuaciones 1 a 6; muestran que la eficiencia de aplicación es función tanto de la uniformidad de distribución como de la programación de los riegos (Pereira, 1999). En las últimas décadas ha habido un gran avance en la modernización de los sistemas de riego, sin embargo estas mejoras generalmente han controlado las variables que tienen efecto sobre la uniformidad de distribución (nivelación láser, sistemas que mejoran la conducción y entrega del agua – Sousa et al, 1995; Humpherys, 1997; Teout et al, 1990). Para la mejora de la eficiencia de aplicación es necesaria la aplicación de modernas técnicas de programación del riego. Las mismas se pueden ver limitadas por las características del sistema de entrega o distribución del agua a los usuarios, y por factores culturales de los propios regantes (Bautista et al, 2009).

Las evaluaciones de desempeño de los sistemas de riego a campo, juegan un papel fundamental para la optimización de los mismos, brindando valiosa información a los agricultores y/o ingenieros proyectistas, para la mejora del diseño y prácticas de manejo, como así también brindan información básica a las instituciones responsables del manejo y administración del recurso hídrico, para la gestión integrada del recurso (Schilardi, 2010).

El objetivo principal del presente trabajo es el de calificar el desempeño de los métodos de riego de la provincia de Mendoza; caracterizando los indicadores más relevantes. Se describen las principales características, limitaciones y los aspectos más notables para optimizar cada método de riego considerando de manera combinada mejoras en el método y en la programación de los riegos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para calificar el desempeño en métodos de riego por superficie se utilizaron las metodologías de campo definidas por Walker & Skogerboe (1987) y los estándares de ASCE (1978); ASAE (2000). Para el cálculo de indicadores de desempeño, se utilizaron los modelos de simulación hidráulica SIRMOD III (Walker, 1993) y WinSRFR (Bautista et al, 2009a; 2009b). Para calificar el desempeño en métodos de riego por aspersión se utilizó la metodología de campo definida por ANSI/ASAE S436.1 (2001). Para el cálculo de indicadores de desempeño, se utilizó el modelo de diseño y evaluación DEPIVOT (Pereira et al, 2012). Para calificar el desempeño en métodos de riego por goteo, se utilizaron las metodologías de campo propuestas por Merriam y Keller (1978), citada por Fernando Pizarro (1996), la metodología propuesta por ASAE, a través de sus estándares ASAE EP-438 (2001), la metodología propuesta por FAO (1998, 1986) y las metodologías propuestas por Keller y Bliesner, (1990); Rodrigo López et al, (1992); y Burt, (2007). Para el cálculo de indicadores de desempeño se utilizaron planillas de cálculo Excel que se contrastaron con el modelo RIEGOLOC (Rodrigo López, J y Cordero Ordoñez, L; 2003).

Las evaluaciones de riego obtenidas a campo resultan de varios proyectos de investigación del grupo de trabajo de los autores de la presente publicación. En riego por superficie se han realizado 101 evaluaciones en la cuenca del río Mendoza (Morábito, 2007), 48 evaluaciones en la cuenca del río Tunuyán Superior (Schilardi, 2010), 108 evaluaciones en la cuenca del Río Tunuyán Inferior (Tozzi, 2012). En riego por aspersión se han realizado 6 evaluaciones, principalmente en la cuenca del río Tunuyán Superior (Morábito et al 2015). En riego por goteo se han realizado 17 evaluaciones (Fontela et al, 2009) y 25 evaluaciones más en una segunda etapa (Schilardi et al, 2012), en las cuencas del río Mendoza, Tunuyán Superior e Inferior. Sumando un total de 305 evaluaciones de desempeño en los diferentes métodos de riego en la provincia de Mendoza.

Para riego por superficie: las variables respuestas fueron: AE (eficiencia de aplicación); DU (uniformidad de distribución). Para riego por aspersión: las variables respuestas fueron  $CU_H$  (coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein, 1986),  $UD_{1/4}$  (coeficiente de uniformidad del cuarto más perjudicado, Burt, 1997). Para riego por goteo: las variables respuesta bajo estudio para las distintas evaluaciones a campo fueron: coeficiente de uniformidad de caudales, UD (coeficiente de uniformidad del cuarto más perjudicado, Burt, 1997); uniformidad de distribución global o del sistema,  $DU_{lqglobal}$

(Burt, 2004, 2007) y la uniformidad de distribución del sistema DULq sistema (Clemmens y Solomon 1997). La eficiencia de aplicación potencial (PAE) y la uniformidad de aplicación potencial (PUD) por método de riego, fueron calculadas con los modelos de simulación mencionados anteriormente.

Para todos los análisis de las variables respuesta en función de sus variables explicativas se aplicó para cada caso, análisis de la varianza unifactorial, por lo cual el modelo general planteado fue:

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

donde:

$\gamma_{ij}$ : es la respuesta de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento

$\mu$ : es la media general

$\tau_j$ : es el efecto del j-ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$ : es el error de la i-ésima repetición del j-ésimo tratamiento

Las hipótesis estadísticas para cada caso son:

Hipótesis nulas  $H_0$ :  $\tau_j = 0$

Hipótesis alternativa  $H_1$ :  $\tau_j \neq 0$

El análisis estadístico ejecutado fue análisis de la varianza unifactorial y prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para un nivel de significancia del 5%. En caso de falta de normalidad de los datos analizados se procedió al análisis de los mismos mediante el test de Kruskal-Wallis. Se utilizó el software STATGRAPHICS Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp., 2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 detalla la eficiencia de aplicación por método de riego, donde se describe: N (números de eventos de riego analizados); % (porcentaje de eventos de riego analizados respecto al total de la muestra); AE (eficiencia de aplicación del método de riego), SD (desviación estándar de la variable) y E (error de muestreo para un  $\alpha = 0,05$ ).

La Tabla 1 muestra que existen diferencias significativas entre las diferentes eficiencias de aplicación según método de riego. Los métodos de riego presurizados logran las mayores eficiencias de aplicación. Dentro de los riegos por gravedad los métodos de riego por surcos o melgas sin desagüe presentan las mayores eficiencias de aplicación. Los métodos de riego gravitacionales con desagüe al pie producen las eficiencias más bajas de los métodos de riego analizadas.

Los datos obtenidos respecto a las evaluaciones de campo realizadas, representarían fielmente la distribución porcentual de los métodos de riego en la superficie bajo riego de la provincia de Mendoza, ya que se estima, existirían una 40.000 ha de riego por goteo; representando aproximadamente un 14% de la superficie bajo riego.

**Tabla 1: Eficiencia de aplicación por método de riego**

Método de Riego	N	% N	AE	SD	±E	
Superficial	Sin Desagüe	185	60.7	64 b	27	6
	Con Desagüe	72	23.6	39 c	24	14
Goteo	42	13.8	90 a*	10*	3	
Aspersión	Pivote Central	6	2	80 a*	12*	14
<b>Total</b>	<b>305</b>	<b>100</b>	<b>62</b>	-	-	

\* valores estimados por los autores, adaptado de Clemmens (2000)

La Tabla 2 detalla la uniformidad de distribución por método de riego a través de diferentes indicadores los cuales se adaptan con mayor precisión según el método de riego analizado, se detalla: N (números de eventos de riego analizados); DU (uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado, Burt et al 1997, aplicable a todos los métodos de riego); DU<sub>global</sub> (uniformidad de distribución global, Burt, 2004, 2007, aplicable a riego por goteo, integra todas las variables que influyen en la uniformidad); DU<sub>sistema</sub> (uniformidad del sistema, Clemmens y Solomon 1997, aplicable a riego por goteo, no considera todas las variables que afectan a la uniformidad); CU<sub>H</sub> (coeficiente de uniformidad de Heermann y Hein, 1986, aplicable a riego por aspersión), SD (desviación estándar de la variable) y E (error de muestreo para un  $\alpha = 0,05$ ).

**Tabla 2: Uniformidad de distribución por método de riego**

Método de Riego	N	DU	SD	±E	DU <sub>global</sub>	SD	±E	DU <sub>sistema</sub>	SD	±E	CU <sub>H</sub>	SD	±E
Superficial	Sin Desagüe	185	85 b	14	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Con Desagüe	72	93 a	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Goteo	42	86 b	7	2	78 c	12	5	85	11	5	-	-	-
Aspersión	Pivote Central	6	79 c	5	5	-	-	-	-	-	87	5	4.6
Total	305	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La tabla 2 muestra que existen diferencias estadísticamente significativas en la uniformidad de distribución para los diferentes métodos de riego. Si comparamos la uniformidad de distribución con el mismo indicador para todos los métodos de riego según Burt, et al (1997), el método de riego que presenta menor uniformidad de distribución es el de riego por aspersión (Pivote Central) y el que presenta la mayor uniformidad de distribución es el método de riego superficial con desagüe al pie, como consecuencia de su baja eficiencia de aplicación.

Al realizar un análisis más criterioso sobre todo en los métodos de riego por goteo y considerando otras metodologías de cálculo en la uniformidad de distribución que consideran todos los factores que influyen en ella (DU<sub>global</sub>), los métodos de riego por goteo y aspersión presentan las uniformidades de distribución más bajas. Ello demuestra

la subutilización del potencial tecnológico del riego a presión, traduciéndose éstas bajas uniformidades de distribución en un mayor tiempo de riego (mayor volumen extraído desde las fuentes de abastecimiento), para poder aplicar las láminas de riego objetivos en las zonas más perjudicadas. Esto trae como consecuencia un mayor consumo de energía en la operación de estos métodos de riego.

En función de las evaluaciones realizadas a campo, respecto al análisis de los principales indicadores de desempeño de los métodos de riego (eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución), la Tabla 3 resume las principales variables de manejo y sistema que tienen impacto directo sobre los indicadores mencionados.

**Tabla 3: Variables de sistema y manejo que impactan en la performance del riego**

Sistema de riego	Variables	Uniformidad de Distribución	Eficiencia de Aplicación
Riego por Superficie	Variables de sistema	Longitud de la unidad de riego	Longitud de la unidad de riego
		Coefficiente de rugosidad	Coefficiente de rugosidad
		Pendiente longitudinal	Pendiente longitudinal
		Precisión de la Nivelación	Precisión de la Nivelación
		Características de infiltración del suelo	Características de infiltración del suelo
	Sección del flujo del surco o melga	Sección del flujo del surco o melga	
Variables de Manejo	Tiempo de Riego	Tiempo de Riego	
	Caudal Unitario	Déficit de humedad del suelo al momento del riego	
Riego por Aspersión	Variables de sistema	Presión nominal del aspersor	Presión nominal del aspersor
		Variación de presión en la unidad de riego	Variación de presión en la operación
		Espaciamiento del aspersor	Espaciamiento del aspersor
		Descarga o lámina del aspersor	Descarga o lámina del aspersor
		Diámetro Mojado	Diámetro Mojado
		Distribución del patrón de mojado	Distribución del patrón de mojado
		Dirección y Velocidad del viento	Dirección y Velocidad del viento
	Variables de Manejo	Uniformidad de diseño	Características de infiltración del suelo
		Mantenimiento de las instalaciones	Intensidad de precipitación del aspersor
		Tiempo de Riego	Mantenimiento de las instalaciones
Riego por Goteo	Variables de sistema	Presión nominal del emisor	Presión nominal del emisor
		Variación de presión en la unidad de riego	Variación de presión en la unidad de riego
		Caudal nominal del emisor	Caudal nominal del emisor
		Coefficiente de variación de fabricación del emisor	Coefficiente de variación de fabricación del emisor
		Capacidades del sistema de filtración	Capacidades del sistema de filtración
	Variables de Manejo	Uniformidad de diseño	Conductividad hidráulica del suelo
		Mantenimiento de las instalaciones	Características de infiltración del suelo
		Tiempo de Riego	Mantenimiento de las instalaciones
			Tiempo e intervalo de Riego
			Déficit de humedad del suelo al riego



La tabla 4 detalla los principales indicadores actuales y potenciales por métodos de riego, donde se detalla: AE (eficiencia de aplicación del método de riego), PAE (eficiencia de aplicación potencial de manejo), DU (uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado, Burt et al 1997); PDU (uniformidad de distribución potencial del cuarto más perjudicado),  $\Delta$ AE (variación de eficiencia de aplicación actual respecto a la potencial),  $\Delta$ UD (variación de la uniformidad de distribución actual respecto a la potencial).

**Tabla 4: Principales indicadores de desempeño actuales y potenciales por método de riego**

Método de Riego		N	AE	PAE	$\Delta$ AE	DU	PDU	$\Delta$ UD
Superficial	Sin Desagüe	185	64	80	16	85	90	5
	Con Desagüe	72	39	60	21	93	90	-3
Goteo		42	90	90	0	78	95	17
Aspersión	Pivote Central	6	80	85	5	79	90	11
<b>Total</b>		<b>305</b>	<b>62</b>	<b>77</b>	<b>-</b>	<b>87</b>	<b>91</b>	<b>-</b>

Los métodos de riego por gravedad tienen un potencial de optimización de un 16 a 21% respecto a la eficiencia de aplicación, manteniendo una adecuada uniformidad de distribución (superior al 80%). Los métodos de riego presurizados si bien presentan una elevada eficiencia de aplicación (superior al 85%), presentan valores bajos en la uniformidad de distribución del 70 al 80%; respecto a los valores recomendados (iguales o superiores al 90%), presentando un potencial de optimización de entre un 11 a 17%. El análisis de los principales indicadores por método de riego muestra que el potencial de optimización tiene un pequeño margen del 10 al 20% aproximadamente, si bien las acciones dirigidas para mejorar el desempeño están en mejorar el diseño, operación y mantenimiento de los métodos de riego, lograr una adecuada programación y control del plan riego se vuelve una estrategia fundamental para alcanzar el óptimo desempeño de los métodos de riego.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Riego por superficie

#### *Métodos de riego con desagüe*

La principal causa de la baja eficiencia de riego, es la excesiva pérdida por escurrimiento observada al pie de la parcela. Por lo tanto la estrategia recomendada para optimizar este método de riego sería: reducir el volumen del agua escurrida al pie, asegurando el mojado del suelo en la zona de la rizósfera del cultivo considerado. Para lograr esta estrategia en función de cada caso particular, podrían reducirse los caudales unitarios, regando una mayor cantidad de surcos en forma simultánea, incluso utilizar la técnica de riego con dos caudales (caudal de avance mayor y caudal de infiltración menor). Finalmente es muy importante el control de los tiempos de aplicación que aseguren el adecuado mojado de la zona radical. Para adecuar cada caso particular a campo, se recomienda ir ajustando la operación del riego con un adecuado control in situ, realizando calicatas y/o extrayendo muestras de humedad que permitan verificar el

adecuado mojado de la zona radical. Ello permitirá definir con precisión el tiempo de riego y la lámina a reponer a lo largo del ciclo del cultivo que permita optimizar el uso del recurso agua y maximizar el potencial productivo del cultivo bajo riego. Se debe considerar para tal estrategia el ciclo hidrológico y climático del año bajo consideración (Morábito, 2003; Schilardi, 2010).

### ***Métodos de riego sin desagüe***

El mayor problema radica en la excesiva lámina percolada e inadecuada uniformidad de riego. Dicha uniformidad se debe a la pendiente en el sentido de riego, que determina que el agua se acumule al pie de la parcela, reduciendo las eficiencias de aplicación y distribución. La estrategia a seguir será: disminuir las láminas percoladas y asegurar una adecuada distribución del agua almacenada a lo largo de toda la unidad de riego. Se recomienda asegurar una adecuada nivelación de los suelos y ajustar los tiempos de aplicación en función del ciclo de cultivo, teniendo en consideración el ciclo hidrológico y climático del año en particular (Morábito, 2003; Schilardi, 2010).

### ***Riego Localizado (Goteo)***

Para la zona bajo estudio la tecnología de riego por goteo presenta en promedio una uniformidad de distribución global o del sistema del 78% considerada baja, por lo que podemos afirmar que se evidencia una tendencia general al sub-uso del potencial tecnológico de la herramienta “riego por goteo”, conclusiones similares en la zona con otras metodologías de cálculo se han alcanzado por Chambouleyron y otros (1993) y Fontella et al (2009). Similar comportamiento se observó en los años 90 en las zonas de California (E.E.UU), estudios realizados por ITRC (2003, mencionado por Burt 2004) mostraron un avance positivo en los indicadores de desempeño ( $DU_{lqglobal} = 86\%$ ) principalmente debido a mejoras en las técnicas de diseño, mejor calidad de emisores y equipos de filtrado conjuntamente con mejores técnicas de inyección de fertilizantes (Burt et al, 2004). La falta de uniformidad observada se debe a: causas de presión en un 44%, “otras causas” en un 50%, tasas de aplicación diferentes en un 4% y al diferente drenaje de los emisores en un 2%, valores similares reporta Burt (2004) para California (USA).

Se observa que las propiedades evaluadas presentan problemas/defectos: 36% en el diseño agronómico, 40% en el diseño hidráulico (en gran parte problemas de diseño del sistema de filtrado e inyección de fertilizantes), 52% en la operación del método de riego (ausencia de un plan o calendarios de riego ajustado y control del mismo), 68% de mantenimiento en las instalaciones y el 84% falta de regulación de válvulas a campo.

Como recomendaciones fundamentales para la optimización del desempeño del riego localizado se mencionan: 1) Comenzar un adecuado mantenimiento de las instalaciones desde el diseño del mismo, para ello se deberá revisar (profesional idóneo en el tema el diseño) el diseño presentado por la empresa instaladora para su ajuste agronómico y/o hidráulico, como así también para su optimización desde el punto de vista del consumo de energía a largo plazo; 2) Luego de la instalación del equipo de riego, certificar el sistema mediante una adecuada evaluación a campo; 3) No descuidar la automatización del equipo de filtrado; 4) Definir, planificar y controlar los programas de operación, mantenimiento y control de los equipos de riego, debiendo adaptarlos a las particularidades de la propiedad agrícola y a sus objetivos productivos; 5) Asignar una

persona responsable en finca del equipos de riego; capacitarla y entrenarla para ejecutar buenas prácticas de manejo de las mismas; 6) Tener la precaución y protocolos adecuados para realizar -en cada ciclo agrícola como mínimo- dos evaluaciones de desempeño del equipo de riego, la primera al inicio de la temporada de riego y la restante al momento de máxima demanda del cultivo, como así también cada vez que se sospeche de problemas en las instalaciones; 7) En equipos de riego con emisores autocompensados desde el inicio del funcionamiento del mismo, se deberá elaborar un plan de reinversiones a largo plazo para el recambio de laterales de riego una vez concluida la vida útil de las mismas, para evitar tener impactos negativos sobre la producción y enfrentar procesos de reinversión inviables a corto plazo (Schilardi et al, 2012).

### ***Riego por Aspersión***

La uniformidad lograda en el 50% de los equipos analizados no resultó satisfactoria. Se deberá mejorar el mantenimiento de los equipos, el funcionamiento de los emisores (suelen trabarse), reducir o eliminar las pérdidas o fugas de agua en acoples de las cañerías y asegurar adecuada presión de trabajo en cabecera del sistema. De esta forma se estaría en condiciones de lograr el objetivo de mejorar la uniformidad, ahorrar agua, reducir el consumo energético y aumentar la productividad de los diferentes cultivos.

Un sistema que opere con un coeficiente de uniformidad menor que el valor de diseño puede estar indicando emisores desgastados o rotos, o un mal funcionamiento general. No obstante, con una buena uniformidad como con otra no tan buena se pueden alcanzar altas producciones; la diferencia está en la cantidad de agua necesaria para ello, siendo claramente menor cuanto mayor sea la uniformidad. También serán menores las zonas del cultivo con déficit de humedad y percolación.

En algunas situaciones se observó escurrimiento superficial en el área perimetral de los pivotes. Cuando estos problemas de escorrentía no puedan solucionarse aumentando la velocidad de avance, se puede disminuir la pluviometría del extremo, aumentando el ancho mojado por el emisor, ya sea cambiando el tipo de emisor o localizando los existentes sobre unos pequeños tubos horizontales (tipo “booms”) dispuestos perpendicularmente al pivote. Para evitar el escurrimiento en terrenos con pendientes pronunciadas es conveniente sembrar los cultivos anuales en forma perpendicular al sentido de la pendiente.

Por último, resulta importante analizar la estrategia de riego a seguir: utilizar pequeñas láminas e intervalos de riego cortos o láminas e intervalos de riego mayores. En el primer caso, las pérdidas por evaporación y deriva podrían reducir la eficiencia de aplicación del sistema (Morábito et al, 2015).

### ***Acciones políticas e institucionales***

La implementación a futuro de sistemas de asesoramiento en riego a los agricultores de la zona (SIAR) mediante la coordinación y ejecución de los mismos por parte de todas las instituciones que administran el recurso hídrico a nivel provincial conjuntamente con el apoyo de agricultores líderes, sería de gran ayuda para adoptar nuevas técnicas y tecnologías que incrementen la productividad, ahorren agua, minimizando los riesgos ambientales, y contribuyan a la sustentabilidad del sector agropecuario. Las decisiones

políticas que fomenten el uso eficiente del recurso, y desalienten al ineficiente y contaminador, darán un marco legal y preciso que ayude al sector agrario a incrementar el comercio nacional e internacional (Chambouleyron, 2005). Sería estratégico investigar el impacto que podría lograrse mediante la implementación a nivel de cuenca de: buenas prácticas de riego, establecimiento de cuotas máximas de entrega de agua a los agricultores, tarifa de riego en función de su eficiencia de uso, leyes que fomenten la tecnificación de los regadíos, etc. Si bien el canon o costo del agua puede ser un instrumento útil para promover nuevas tecnologías que ayuden a un uso más eficiente del uso del agua, presenta muchas limitaciones si se aplica en forma rígida en zonas rurales de bajos recursos (Hussian et al, 2007, mencionado por Hsiao et al, 2007). Un adecuado y efectivo plan de implementación de ajustes tarifarios en el canon del riego es complejo y requiere consideración de: la modernización física del sistema de distribución, de su implementación con estructura escalonada y debe considerar finalmente el nivel o sofisticación del sistema de entrega (Burt, 2007).

### ***Optimización de los métodos de riego***

Los métodos de riego por gravedad tienen un potencial de optimización de un 16 a 21% respecto a la eficiencia de aplicación, manteniendo una adecuada uniformidad de distribución (superior al 80%). Para optimizar este método es necesario ajustar el caudal y tiempo de riego, conjuntamente con la nivelación del terreno y la incorporación de una infraestructura mínima para mejorar el manejo de caudales y láminas de reposición. Los métodos de riego presurizados si bien presentan una elevada eficiencia de aplicación (superior al 85%), presentan valores bajos en la uniformidad de distribución del 70 al 80%; respecto a los valores recomendados (iguales o superiores al 90%), ello demuestra la subutilización del potencial tecnológico del riego presurizado, presentando un potencial de optimización de entre un 10 a 20%. Este aspecto está íntimamente relacionado con la optimización consumo de energía, donde el adecuado diseño, regulación, y mantenimiento de las instalaciones permitirían alcanzar el potencial tecnológico de este método de riego. Las conclusiones señalan la necesidad de mejoras combinadas, tanto en el diseño, programación, operación y control de estos procesos. Se destaca la necesidad de ejecutar evaluaciones de desempeño a campo, como punto de partida para alcanzar el riego estratégico adecuado para cada propiedad agrícola en particular.

### **NOMENCALTURA**

DU: uniformidad de distribución

AE: eficiencia de aplicación

$q_{in}$ : caudal unitario de surco o caudal unitario por ancho de melga

L: longitud de la unidad de riego

$S_o$ : pendiente de la unidad de riego

$I_c$ : características de la infiltración del suelo

$F_a$ : sección de flujo del surco o melga

$T_{co}$ : tiempo de corte o riego

P: presión disponible del aspersor

$\Delta P$ : variación de presión en el set operativo o a lo largo del lateral desplazable

S: espaciamiento de los laterales en el lateral

$d_n$ : diámetro de la boquilla (para una determinada presión, tiene influencia en el caudal de descarga  $q_s$  y en el diámetro mojado  $D_w$ )  
WDP: representa el patrón de distribución de los aspersores  
WS: velocidad y dirección del viento  
 $I_c$ : características de infiltración del suelo  
 $i_s$ : lámina de aplicación de aspersor  
 $\Delta P$ : variación de presión dentro del sistema  
 $E_c$ : exponente de descarga del emisor  
 $C_v$ : coeficiente de variación de fabricación del emisor  
FI: capacidad de filtración del sistema  
 $K_s$ : conductividad hidráulica del suelo  
 $t_i$ : duración del evento de riego  
SWD: déficit de humedad del suelo al momento del riego

## BIBLIOGRAFÍA

ANSI/ASAE S436.1. 2001. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. American Society of Agricultural Engineers. USA.

ASAE, STANDARDS 2000. Evaluation of irrigation furrows. American Society of Agricultural Engineering EP419.1. USA, p893 – 898.

ASCE, STANDARDS 1978. Describing irrigation efficiency and uniformity. J. Irrig. And Drain. Engrg., ASCE, 104(1),35-41.

BAUTISTA, E.; CLEMMENS, A.; STRELKOFF, T.; SCHLEGEL J. 2009A. Modern analysis of surface irrigation with WinSRFR. Agricultural Water Management 96 (2009) 1146–1154.

BAUTISTA, E.; CLEMMENS, A.; STRELKOFF, T.; NIBLACK M. 2009B. Análisis of surface irrigation with WinSRFR-example application. Agricultural Water Management 96 (2009) 1162–1169.

FEYEN, JAN Y ZERIHUM, DAWIT 1999. Assessment of the performance of border and furrow irrigation systems and the relations between performance indicators and system variables. Agricultural Water Management 40 (1999) 353-362.

FONTELA C., J. MORABITO, J. MAFFEI, S. SALATINO, C. MIRABILE y L. MASTRANTONIO. 2009. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XLI, n° 1, 2009. Pp. 135-154. Mendoza – Argentina.

HALVEK, R 1992. Selection Criteria for Irrigation Systems. ICID, New Delhi.

INDEC. 2002. Censo Nacional Agropecuario 2002. Resultados para el total del país por provincia [en línea]. Buenos Aires, Argentina, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina. [<http://www.indec.mecon.gov.ar>], [Consulta: 10 de febrero de 2006]

MORÁBITO J. 2003. Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza. Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable. Tesis para optar a Magister Scientiae en Riego Y Drenaje. FCA-UNCu, Mendoza, Argentina.

MORÁBITO J., C. MIRÁBILE y S. SALATINO. 2007. Eficiencia de riego superficial, actual y potencial en el área de regadío del río Mendoza (Argentina). Revista Ingeniería del Agua de la Universidad de Córdoba, España, Vol. 14, No 3. pp. 199-213. ISSN: 1134–2196.

MORÁBITO J., REARTE E., SCHILARDI C., MARTIN L. y SALATINO S. 2015. Desempeño del riego de equipos de pivote central en la provincia de Mendoza, Argentina. CONAGUA 2015. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

MORÁBITO J., SALATINO S. y G. IBÁÑEZ. 2014. Los equipos de pivote central ya riegan casi 4000 hectáreas en Mendoza. Revista campo Andino y Agroindustria. Año VI n° 25, julio-agosto, Mendoza, Argentina.

PEREIRA, L. 1999. “Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion”. Agricultural Water Management 40 (1999) 153-169.

SCHILARDI C., 2010. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior, Mendoza. Argentina. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cuyo. 138 pag. [<http://bdigital.uncu.edu.ar/3639>]

UNCUYO, 2004. Marco estratégico para la provincia de Mendoza. Parte I – Diagnóstico Físico y Ambiental. Febrero 2004. 104 páginas. Mendoza, Argentina.

WALKER, R. AND SKOGERBOE.1987. Surface Irrigation Theory and Practice. Utah State University, Prentice – Hall.