

# EFICIENCIA DE RIEGO SUPERFICIAL, ACTUAL Y POTENCIAL, EN EL ÁREA DE REGADÍO DEL RÍO MENDOZA (ARGENTINA)

J.A. Morábito<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino  
Belgrano Oeste 210, 5500 Mendoza, Argentina  
jmorabito@ina.gov.ar

C. Mirábile y S. Salatino

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ciencias Agrarias

**Resumen:** El área de regadío del río Mendoza (Argentina) es la más importante de la provincia y sobre ella está asentada gran parte de la población provincial. El objetivo del trabajo es contribuir al mejor aprovechamiento del agua de riego en el área de regadío del río Mendoza a través del conocimiento de la eficiencia de riego -actual y potencial- en explotaciones agrícolas regadas por escurrimiento superficial. La unidad de análisis fue la explotación agrícola y la muestra estuvo compuesta por 101 evaluaciones. La selección se realizó considerando igual número de explotaciones agrícolas en las 6 zonas previamente definidas evaluando aquellas que estuvieran regando con agua de riego de origen superficial. Dentro de estos grupos las explotaciones agrícolas se seleccionaron en forma aleatoria. Para determinar las distintas eficiencias de riego en campo se siguió la metodología propuesta por Chambouleyron y Morábito (1982) en los casos de riego sin desagüe al pie (s/d) y la metodología de Walker y Skogerboe (1987) para los casos con desagüe al pie (c/d). Para la estimación del valor de la Eficiencia de aplicación potencial ( $EAP_D$ ) se utilizaron dos metodologías: (a) según el manejo del método de riego ( $EAP_M$ ) simulada con el modelo SIRMOD, (b) considerando el balance salino del suelo ( $EAP_S$ ) a través del requerimiento de lixiviación. Se utilizaron tres niveles diferentes de conductividad eléctrica del extracto de saturación final " $CE_{esf}$ ". Los resultados indicaron que la eficiencia de aplicación actual ( $EAP$ ) media del área es del 59%. Hay diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ) cuando se comparan los métodos de riego sin desagüe (surcos: 67% y melgas: 69%) respecto a los métodos con desagüe (39%) y también entre los cultivos de enraizamiento profundo (62%) con los de enraizamiento superficial (47%). El factor que más influye en la variación de la  $EAP_S$  es la zona de riego. La  $EAP_S$  alcanzable manteniendo el nivel salino actual, es del 61%. Este valor resulta próximo al medido (59%) y al que asegura el máximo rendimiento de los cultivos (58%) según el criterio de Maas-Hoffman (1976). Si se planteara como objetivo un 90% de la producción máxima debida a la salinidad edáfica, sería posible aumentar la  $EAP_{S,90}$  al 71%.

## INTRODUCCIÓN

La superficie efectivamente regada en Argentina es de 1.356.000 hectáreas que representa el 22% de la superficie potencial y 4,1% de la superficie implantada del país. De ese total se riega por escurrimiento superficial el 70%, por aspersión el 21% y por métodos de riego localizado el 9%. Mendoza es la provincia del país con mayor superficie regada (267.889 ha) representando el 20% del área con regadío nacional (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 2002).

Como Mendoza es una zona desértica, las áreas de regadío se localizan en tres sectores característicos que se asemejan a oasis, ubicados

en el Norte, Centro y Sur provincial. El Oasis Norte de la provincia de Mendoza (2.700 km<sup>2</sup>) se ubica en la región centro-oeste de Argentina, entre las latitudes 32° 30' - 33° 50' S y longitudes 67° 50' - 69° 30' O, correspondiendo a una franja árida del país con 200 mm de precipitaciones anuales, a lo largo del costado oriental de la cordillera de Los Andes y a sotavento de la misma. En el pedemonte y la llanura predominan las condiciones de aridez mientras que por el contrario en la zona cordillerana, se registra un balance hídrico positivo, constituyéndose en la única fuente de suministro de agua a través de los flujos superficiales y subterráneos que escurren hacia las zonas habitadas (ubicadas en los sectores más bajos de la cuenca).

Desde el punto de vista estructural el Oasis Norte está constituido esencialmente por dos áreas sistematizadas, cuyo suministro de agua depende de dos sistemas hidrológicos distintos: los ríos Mendoza y Tunuyán. En ambas el recurso hídrico representa la base del desarrollo económico. En efecto, el agro (agricultura más agroindustria) ocupa un lugar destacado en la economía mendocina participando en aproximadamente el 20 % del producto bruto geográfico, el 50 % de las exportaciones y dando trabajo al 23 % de la población económicamente activa (Gervasi, 2001).

El área de regadío del río Mendoza es -sin dudas- la más importante de la provincia y sobre ella está asentada gran parte de la población provincial. Cuenta con un gran desarrollo industrial y con actividades que involucran a los distintos usos del agua (doméstico, agrícola, industrial, recreativo y energético). El uso agrícola representa el 89 % del total (UNCuyo, 2004). En el año 2002 comenzó a funcionar el dique de embalse Potrerillos en la cuenca del río Mendoza, y entre los objetivos de su construcción se menciona el aumento de la eficiencia de riego que se verá concretada gracias a una entrega programada del agua a los usuarios, la que -acompañada por un adecuado manejo dentro de la explotación agrícola- permitirá un mejor aprovechamiento del agua. Sin embargo se desconocen las actuales valores de eficiencia de riego y por lo tanto su cuantificación resulta de gran importancia para determinar en el futuro la efectividad de esta obra sobre el parámetro analizado. Esto adquiere aún mayor relevancia si se considera que la agricultura es el principal usuario del agua y por lo tanto tiene la obligación de realizar un aprovechamiento racional del recurso. Por ello, resulta también necesario conocer la eficiencia potencial.

El objetivo general del estudio es contribuir al mejor aprovechamiento del agua de riego en el área de regadío del río Mendoza (Argentina). Como objetivos específicos se mencionan: a) calificar la eficacia (desempeño) del riego por superficie en las zonas de regadío a través de la medición de las distintas láminas de riego que permiten conocer las eficiencias de aplicación, distribución y almacenaje, todas a nivel parcelario; b) estimar las eficiencias potenciales de riego mejorando la operación de los métodos de riego y asegurando el balance salino en la rizósfera y c) realizar recomendaciones para el manejo eficiente del riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

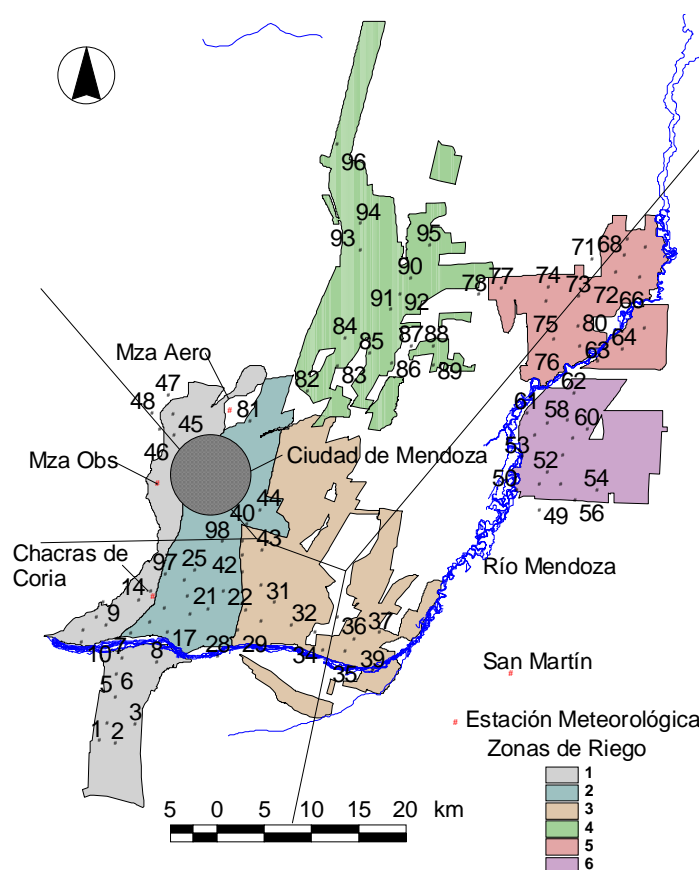
La Figura 1 muestra un mapa del área sujeta a estudio en el cual han sido ubicadas las distintas explotaciones agrícolas evaluadas identificadas cada una con un número. Además han sido identificadas con diversos colores las distintas zonas de riego en que se divide la administración del agua en el río Mendoza. La zona presenta suelos aluviales, donde se observan capas intercaladas de diferentes texturas, siendo las más frecuentes las siguientes: franco limoso, franco y franco arenoso.

La unidad de análisis fue la explotación agrícola y el tamaño de la muestra de 101 casos. La selección de las explotaciones agrícolas fue realizada teniendo en cuenta que las mismas se distribuyeran en igual cantidad en las distintas zonas de riego y sobre los canales de riego más representativos de cada una de ellas. Se evaluaron aquellas explotaciones agrícolas, con derecho de riego de origen superficial que, en la oportunidad de la visita, estuviera regando alguna de sus parcelas. Dentro de estos grupos las explotaciones agrícolas se seleccionaron al azar.

Las evaluaciones se realizaron a lo largo del ciclo agrícola 2001/02 antes de la puesta en funcionamiento del dique Potrerillos, abarcando las distintas estaciones del año debido a la variación que existe en el requerimiento de agua en los cultivos. La evaluación se realizó durante el riego según la técnica habitual del productor, para conocer detalladamente su modalidad de riego y trabajo.

Para el estudio de la eficiencia de riego -al tratar los casos de riego sin desagüe al pie- se ha utilizado la metodología propuesta por Chambouleyron y Morábito (1982). La misma se basa en el cociente de láminas para definir a las distintas eficiencias parcelarias (aplicación, almacenaje y distribución). Éstas permiten calificar el método de riego utilizado y el grado de satisfacción del requerimiento hídrico de los cultivos en un momento dado de su ciclo biológico. Para los casos de riego con desagüe al pie se usó la metodología de Walker y Skogerboe (1987) que se basa en la medición del hidrograma de entrada y salida a la unidad de riego permitiendo realizar un *balance de volúmenes a nivel parcelario*. Las distintas eficiencias de riego fueron obtenidas a partir de:

*dr*: (lámina de reposición) volumen de agua por unidad de superficie obtenido a partir de la diferencia entre el contenido de agua del suelo antes del riego y el contenido de agua del suelo en capacidad de campo (método gravimétrico);



**Figura 1.** Mapa del área de estudio, localización de las explotaciones agrícolas evaluadas y delimitación de los polígonos de Thiessen correspondientes a las distintas estaciones meteorológicas existentes en el área de estudio

- db*: (lámina bruta) cociente entre el volumen de agua ingresado a la parcela regada y su superficie;
- dinf*: (lámina infiltrada en el perfil del suelo regado) diferencia entre la lámina bruta aplicada y la lámina escurrida al pie de la parcela regada;
- de*: (lámina escurrida al pie de la parcela de riego) cociente entre el volumen escurrido al pie de la parcela regada (hidrograma de salida) y el área regada;
- dal*: (lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo) volumen de agua por unidad de superficie obtenido a partir de considerar la diferencia entre el contenido de agua del suelo después y antes del riego (método gravimétrico);
- dper*: (lámina percolada) diferencia entre la lámina infiltrada en la parcela regada con respecto a la lámina almacenada en la rizósfera.

Las eficiencias de riego actuales se obtuvieron a partir de las láminas medidas y verificadas utilizando el modelo matemático SIRMOD (Walker, 2003) calibrado para cada caso, con parámetros de campo. Éstas fueron:

- EAP: (eficiencia de aplicación) cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua entrado a la parcela; la cual es indicadora de la gestión del riego.
- EDI: (eficiencia de distribución) lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado respecto de la lámina media infiltrada en todo el perfil, la cual es indicadora de la uniformidad de distribución del agua en la parcela, y
- EAL: (eficiencia de almacenaje) lámina almacenada en el perfil -después del riego- respecto de la lámina que se esperaba almacenar. La cual es indicadora del grado de suficiencia del riego, evaluado en la capa de suelo que exploran las raíces.

Para la determinación de la eficiencia de aplicación potencial se siguieron dos metodologías, una que tiene en cuenta las mejoras que puede realizar el regador manejando racionalmente el riego y otra que considera el balance salino. El cálculo de la eficiencia de aplicación potencial de manejo ( $EAP_M$ ), que se define como aquella factible de alcanzar cuando se ha optimizado el riego, fue obtenido con el modelo SIRMOD (Walker, 2003) realizando variaciones de los parámetros relevantes (caudal unitario, tiempo de aplicación, correcciones de pendiente topográfica, adecuación de la oportunidad de riego y longitud de la unidad de riego) mediante el cociente entre las láminas promedio infiltrada y almacenada en el perfil (equivalente a la lámina de reposición óptima "dropt"), y la lámina bruta optimizada con el modelo mencionado. La misma indica el grado de eficiencia que puede alcanzar el método de riego si el manejo es óptimo (Merriam y Keller, 1978).

Para el análisis de los componentes del balance salino que afectan la eficiencia de aplicación potencial del suelo ( $EAP_S$ ) se contó con la información proveniente de cuatro estaciones meteorológicas a partir de las cuales se determinó la evapotranspiración del cultivo de referencia para un intervalo mensual y para diez años (Morábito *et al.*, 2001). Estos valores afectados por los valores de  $K_c$  de cada uno de los cultivos existentes en el área de estudio permitieron obtener la evapotranspiración de cada cultivo para un intervalo de tiempo mensual. A partir de esta información se realizó un análisis de probabilidad de ocurrencia obteniéndose valores de evapotranspiración de cada cultivo para tres probabilidades: 20, 50 y 80%. Se determinó la eficiencia de aplicación potencial ( $EAP_S$ ) de acuerdo a los componentes del balance salino, en función de las siguientes variables y sus respectivos niveles:

- Estación meteorológica (ver Figura 1)
  - Chacras de Coria
  - Observatorio Parque General San Martín (Mza Obs)
  - Aeropuerto El Plumerillo (Mza Aero)
  - San Martín
- Cultivo
  - Vid
  - Melocotón: representativo de los frutales de carozo
  - Peral: representativo de los frutales de pepita

- Olivo
- Tomate: representativo de las hortalizas de verano
- Ajo: representativo de las hortalizas de invierno
- Alfalfa
- Álamo
- Espacios verdes
- Probabilidad de ocurrencia de la  $ET_c$ 
  - 20%: corresponde a un año hidrológico húmedo
  - 50%: corresponde a un año hidrológico medio
  - 80%: corresponde a un año hidrológico seco
- Zona de riego del río Mendoza: Corresponden a las zonas de riego del Río Mendoza definidas por el Departamento General de Irrigación (1997) (ver Figura 1)
  - Zona 1
  - Zona 2
  - Zona 3
  - Zona 4
  - Zona 5
  - Zona 6
- Textura del suelo (Nijensohn, 1978)
  - Franco arenoso
  - Franco
  - Franco limoso

Para determinar la influencia que ejercen cada una de éstas variables, sobre la variable respuesta  $EAP_S$ , se realizó un análisis de sensibilidad de las mismas con los siguientes niveles:

- Evapotranspiración
  - Máxima
  - 90% del valor máximo
  - 80% del valor máximo
- Precipitación
  - 50% del total
  - Efectiva
  - Cero
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo ( $CE_{es}$ ) final (después de un ciclo de riego)

- Igual a la  $CE_{es}$  al inicio del ciclo de riego
  - 90 % de la  $CE_{es}$  inicial
  - 110 % de la  $CE_{es}$  inicial (10 % más que la  $CE_{es}$  inicial)
- Conductividad eléctrica (CE) del agua de riego
    - Actual
    - 90 % del valor actual
    - 110 % del valor actual

El primer análisis consistió en el cálculo de las siguientes variables: lámina de riego bruta ( $db$ ), lámina de percolación ( $dper$ ),  $EAP_S$  y sus respectivas medidas de posición y dispersión, sobre todas las combinaciones posibles entre los niveles de la totalidad de las variables consideradas.

Recordando la definición de lámina de riego bruta como la altura de agua aplicada al suelo en el riego que permite satisfacer las necesidades netas de los cultivos y la percolación en profundidad de las sales presentes en el suelo y considerando la calidad del agua de riego (van der Molen, 1983):

$$db = Etc - Pp + dper \quad (1)$$

donde  $db$  es la lámina de riego bruta ( $\text{mm año}^{-1}$ ),  $Etc$  la evapotranspiración del cultivo ( $\text{mm año}^{-1}$ ),  $Pp$  la precipitación ( $\text{mm año}^{-1}$ ) y  $dper$  la lámina de percolación ( $\text{mm año}^{-1}$ ).

La eficiencia de aplicación potencial considerando el balance salino del suelo  $EAP_S$  fue calculada a partir de la relación entre la lámina media infiltrada y almacenada en la zona radical y la lámina bruta que debería ser aplicada en el riego, considerando el requerimiento de lixiviación. Representa la eficiencia que se debería alcanzar de acuerdo a los niveles de salinidad objetivo en el extracto de saturación del suelo. La lámina de percolación  $dper$  se ha calculado como la altura de agua necesaria para lixiviar las sales disueltas en el perfil de suelo explorado por las raíces de los cultivos, considerando la calidad del agua de riego. Su cálculo se efectuó utilizando la ecuación propuesta por van der Molen (1983):

$$dper(mm) = \frac{(Etc - Pp) \times CE_{\text{agua}} - 2 \times \left( \frac{Wc \times D}{100} \right) \times (CE_{\text{esf}} - CE_{\text{esi}})}{f \times (CE_{\text{esf}} + CE_{\text{esi}} - CE_{\text{agua}})} \quad (2)$$

donde  $CE_{\text{agua}}$  es la conductividad eléctrica del agua de riego ( $\text{dS m}^{-1}$ ),  $Wc$  la capacidad de campo del suelo ( $\text{g}\% \text{g}$ ),  $D$  la profundidad de suelo explorado por las raíces ( $\text{mm}$ ),  $CE_{\text{esf}}$  la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo final, es decir, luego de un ciclo de riego ( $\text{dS m}^{-1}$ ),  $CE_{\text{esi}}$  la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo inicial, es decir, al inicio del ciclo de riego ( $\text{dS m}^{-1}$ ) y  $f$  la eficiencia de lavado.

Así pues la  $EAP_S$  se calculó como:

$$EAP_S = \frac{Etc - Pp}{db} \times 100 \quad (3)$$

donde  $EAP_S$  es la eficiencia de aplicación potencial por salinidad (%).

Un segundo análisis realizado consistió en la utilización de tres niveles diferentes, respecto a los del primer análisis, del factor " $CE_{\text{esf}}$ ", los cuales fueron combinados con todos los demás niveles de los otros factores:

- $CE_{\text{esf}}$  (después de un ciclo de riego)
  - $CE_{es}$  100 % según Maas-Hoffman
  - $CE_{es}$  90 % según Maas-Hoffman: nivel de salinidad que permite un 90 % de la producción máxima del cultivo.

También fueron calculadas las variables  $db$ ,  $dper$  y  $EAP_S$  para todas las combinaciones posibles de los factores.

Una vez localizada la explotación agrícola, se procedió a la obtención de información de campo referida a:

- Aforo del caudal entrado en bocatoma de la explotación agrícola y también del gasto derivado hacia la parcela regada. También se midió el caudal ingresado y egresado de la parcela regada, este último sólo cuando se trataba de surcos con desagüe al pie. Se realizó la confección de los hidrogramas de entrada y salida para el cálculo de los volúmenes de agua aplicado, escurrido e infiltrado durante el riego. Se utilizaron aforadores portátiles de cresta ancha (Bos *et al.*, 1986) y en algunos casos minimolinetes.
- Contenido de agua del suelo antes y después del riego. Se obtuvieron muestras de suelo para la determinación del contenido de agua antes y después del riego en seis sitios, cabecera, medio y pie (con dos repeticiones) y a dos profundidades según la exploración radical del cultivo. Para ello se

utilizó pala barreno y pesafiltros de aluminio perfectamente tarados en balanza de precisión, pesando las muestras de suelo húmedo para luego llevarlas a estufa donde se secaron a 105 °C aplicando el método gravimétrico.

- Textura del suelo por volumen de sedimentación (Nijensohn, 1978).
- Infiltración con el método del infiltrómetro de doble anillo (Grassi, 1998) en cabecera y pie de la unidad de riego (ecuación característica de los suelos de la parcela regada).
- Medición de las pendientes parcial y total de la parcela de riego (toma de niveles longitudinales en las estacas colocadas para medir avance, con nivel óptico).
- Perfil transversal de los surcos de riego con perfilómetro (Walker y Skogerboe, 1987). Se realizaron tres perfiles transversales en surcos (cabecera, medio y pie).
- Medición de la velocidad de avance y de receso del frente de agua por medio de la colocación de estacas a una distancia  $L/10$ , siendo  $L$  la longitud total de la parcela regada, usando cronómetros digitales y cintas métricas.
- Salinidad del suelo. Se extrajeron seis muestras de suelo en cabecera, medio y pie y a dos profundidades: para cultivos de enraizamiento profundo (0 a 50 cm y 50 a 100 cm) y para cultivos de enraizamiento superficial (0 a 25 cm y 25 a 50 cm). Sobre el extracto de saturación se midió la conductividad eléctrica.
- Salinidad del agua de riego con conductivímetro.
- Tiempo de aplicación: tiempo total en que el agua ingresó a la parcela regada con cronómetro digital.
- Dimensiones de la unidad de riego: largo y espaciado entre "surcos" o ancho de "melgas, fajas o tablares". En el caso de los surcos se registró -además- el perímetro mojado. Todo se midió con cinta métrica.
- Número de surcos o melgas regadas simultáneamente.

Toda la información fue registrada y sistematizada en gabinete e incluida en una base de datos. Con la información de campo obtenida de cada una de las explotaciones agrícolas evaluadas se

procedió a la simulación del riego a fin de conocer las distintas eficiencias, utilizando para ello el modelo matemático SIRMOD (Walker, 2003), uno de los más precisos, aceptado y difundido en el ámbito internacional, con el cual se generaron opciones de optimización de las eficiencias parcelarias.

Para el análisis de la variación de la eficiencia de riego (actuales y potenciales) fueron definidas varias categorías, para las distintas variables estudiadas:

- Zona: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.
- Estación: Otoño - Invierno; Primavera; Verano.
- Cultivo
  - Enraizamiento superficial (CES) (hortalizas y flores, con profundidad de exploración radical de hasta 0,50 m)
  - Enraizamiento profundo (CEP) (vid, frutales y alfalfa, cuyas raíces se asumió exploran de 0,80 a 1,30 m).
- Método de riego
  - Surcos con desagüe
  - surcos sin desagüe al pie
  - melgas sin desagüe al pie.

Para cada una de las variables analizadas se obtuvo la media y su desviación estándar. Para el tratamiento estadístico de la información obtenida en campo se aplicó un análisis de la varianza unifactorial usando el programa Stata 6 (Hamilton, 2001). El modelo planteado fue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

donde  $y_{ij}$  es la respuesta de la  $i$ -ésima repetición al  $j$ -ésimo tratamiento,  $\mu$  es la media general,  $\tau_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo tratamiento y  $\varepsilon_{ij}$  es el error de la  $i$ -ésima repetición y del  $j$ -ésimo tratamiento.

Las hipótesis estadísticas fueron:

Hipótesis nula  $H_0: \tau_j = 0$

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

En los casos en que el estadístico F fue significativo se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para un nivel de significación del 5%.

Variable		Zona de riego						Total
		1	2	3	4	5	6	
Cultivos de enraizamiento superficial (CES)	Surcos c/d	7	1	1	-	-	-	9
	Surcos s/d	-	1	3	6	-	4	14
	Sub-Total	7	2	4	6	-	4	23
Cultivos de enraizamiento profundo (CEP)	Surcos c/d	11	9	4	-	-	-	24
	Surcos s/d	-	-	5	2	3	5	15
	Melgas s/d	2	4	5	7	14	7	39
	Sub-Total	13	13	14	9	17	12	78
Método de riego	Surcos c/d	18	10	5	-	-	-	33
	Surcos s/d	-	1	8	8	3	9	29
	Melgas s/d	2	4	5	7	14	7	39
	Sub-Total	20	15	18	15	17	16	101

**Tabla 1.** Cantidad de evaluaciones desagregadas por zona, cultivos según profundidad de enraizamiento y método de riego

Las variables respuesta fueron: las láminas de reposición ( $dr$ ), bruta ( $db$ ), infiltrada ( $dinf$ ), almacenada ( $dal$ ) y percolada ( $dper$ ) y las Eficiencias de aplicación (EAP), almacenaje (EAL), distribución (EDI), aplicación potencial de manejo ( $EAP_M$ ) y aplicación potencial considerando el balance salino del suelo ( $EAP_S$ ).

Para estimar el error de muestreo a una confiabilidad dada se utilizó la siguiente fórmula (Fasciolo y Reising, 2002):

$$\pm B = z \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

donde  $B$  representa el límite del error de muestreo para la confiabilidad que fija  $z$  (percentil de la distribución normal). En este estudio será  $z = 1,96$  que es el valor relacionado con el 0,95 de probabilidad (95 % de confiabilidad).  $\hat{\sigma}$  es la estimación de la desviación típica, para la que se utiliza la desviación típica muestral ( $S$ ). Esta estimación, para la variable eficiencia de riego, se obtendrá con los datos de toda la muestra, sin desagregar ( $n = 101$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta las evaluaciones realizadas desagregadas por zona, agrupamiento de cultivos según profundidad de enraizamiento y método de riego.

En la Tabla 2 se presenta el análisis descriptivo e inferencial indicando el tamaño de la muestra ( $n$ ), los valores medios y la desviación estándar ( $S$ ) de las láminas de reposición ( $dr$ ), lámina

bruta ( $db$ ), lámina infiltrada ( $dinf$ ), lámina almacenada ( $dal$ ) y lámina percolada ( $dper$ ) expresadas en mm, agrupadas según estación, tipo de cultivo y método de riego para toda el área regada por el río Mendoza.

Del análisis de los datos de la Tabla 2 se desprende que en los cultivos de enraizamiento profundo se utilizan láminas de reposición mayores que en los de enraizamiento superficial y que las láminas de reposición requeridas ( $dr$ ) en primavera resultan inferiores a aquellas requeridas en verano pero no presenta diferencias respecto de otoño - invierno. Tampoco hay diferencias entre otoño - invierno respecto a verano. No existen diferencias entre las láminas brutas aplicadas en los distintos períodos estudiados mientras que sí resultan diferentes en los distintos métodos de riego siendo la lámina bruta aplicada mediante surcos sin desagüe significativamente menor respecto a aquellas incorporadas por medio de surcos con desagüe pero las diferencias no son significativas respecto a melgas sin desagüe. No hay diferencias significativas entre las láminas brutas aplicadas con melgas sin desagüe respecto a las láminas brutas medidas en surcos con desagüe. No existen diferencias entre las láminas infiltradas en los distintos períodos estudiados ni entre grupos de cultivos, mientras que éstas sí resultan diferentes según el método de riego utilizado. La lámina infiltrada utilizando el método de riego de surcos con desagüe fue menor respecto surcos sin desagüe y la infiltrada con el método de melgas resultó mayor a todas.

VARIABLES		Láminas de riego (mm)										
		N	dr		db		Dinf		dal		dper	
			Media	S	Media	S	Media	S	Media	S	Media	S
Estación	Otoño / Invierno	33	64 ab	45	109	69	73	61	46	29	27	45
	Primavera	35	54 b	26	136	135	78	76	42	26	36	67
	Verano	33	86 a	40	103	60	81	62	53	31	28	48
Cultivos	Enraizamiento superficial	23	34 b	19	113	132	56	34	28 b	14	28	32
	Enraizamiento profundo	78	77 a	39	117	82	84	72	52 a	29	31	59
Método de riego	Surcos c/d	33	---	---	152 a	126	36 c	24	28 b	16	8 b	22
	Surcos s/d	29	---	---	76 b	50	76 b	50	43 b	25	34 ab	40
	Melgas s/d	39	---	---	117 ab	80	113 a	80	66 a	28	47 a	73

Valores seguidos por distintas letras en una variable indican diferencias estadísticamente significativas  $\alpha$  (0,05).

**Tabla 2.** Media, desviación estándar (S), número de muestras (N) y diferencias significativas de las láminas de riego agrupadas según las distintas variables

La lámina almacenada en los CEP es mayor que los CES. Según el método de riego utilizado se observó como las melgas s/d permiten almacenar láminas mayores respecto a los surcos s/d y que los surcos c/d. No hay diferencias significativas entre estos dos últimos. Se observa además que no existen diferencias en las láminas percoladas en los diferentes cultivos mientras que sí existen diferencias cuando se comparan los métodos de riego, específicamente surcos con desagüe respecto de melgas sin desagüe. En este último caso resultan las melgas s/d diferentes de surcos con desagüe pero no hay diferencias entre los distintos tipos de surcos como tampoco se presentan si se comparan los dos métodos de riego sin desagüe. Con respecto a las láminas escurridas al pie de la parcela, éstas sólo se producen en el caso de riego con desagüe al pie, alcanzando valores para el caso de frutales de 34 mm (con desviación estándar de 70 mm) y para hortalizas de 57 mm (con desviación estándar de 127 mm).

La Tabla 3 presenta los valores de eficiencias determinadas en las evaluaciones realizadas clasificadas por zonas de riego, estaciones, cultivos y método de riego. Como puede observarse la eficiencia de distribución media para el río Mendoza resulta mayor que el resto de las eficiencias de riego analizadas. A su vez es interesante destacar que ésta presenta el menor coeficiente de variación. Cuantitativamente le siguen a la anterior la EAL y la EAP. Se observa que la EAP para el área de regadío del río Mendoza tiene un valor medio de 59 %. Respecto a la variable "zona de riego", las zonas 3, 4, 5 y 6 presentan valores mayores de EAP respecto a las zonas 1 y 2 pero las diferencias no son significativas. Hay diferen-

cias significativas de la EAL de la zona 4 respecto a las zonas 1, 2 y 3. No hay diferencias entre zonas cuando se estudia la EDI. Al analizar la variable "estación" se vio que en el verano existe mayor EAP y menores EAL y EDI, aunque las diferencias no son significativas. Respecto a la variable "cultivo" se observó que los frutícolas que, presentan una profundidad de exploración radical mayor, resultaron ser regados con una EAP sensiblemente mayor que los CES. Esto puede deberse a una tendencia de los agricultores a regar en exceso que se evidencia en estos últimos dada la menor profundidad de suelo a mojar. La situación contraria pudo ser observada al analizar las EAL y EDI. Del análisis de la variable "método de riego" surge que los métodos sin desagüe al pie resultaron mucho más eficientes en la aplicación y almacenaje del agua respecto a aquellos con desagüe, sin embargo éstos últimos presentaron una eficiencia de distribución mayor con diferencias significativas con melgas s/d. El error de estimación se ha obtenido de las 101 evaluaciones realizadas. Así para EAP el valor medido fue  $\hat{\sigma} = 31$ , para EAL el valor encontrado fue  $\hat{\sigma} = 24$  y para EDI el valor considerado fue  $\hat{\sigma} = 15$  (Tabla 3). Se observa que para el tamaño de muestra utilizado ( $n = 101$ ) corresponde una precisión en porcentaje respecto a la media de EAP = 10 %, EAL = 6 % y EDI < 5 %.

En la Tabla 4 se muestran los datos medios de las eficiencias actuales agrupadas por cultivos y por zonas de riego. No se observaron diferencias significativas de las variables cuando se las agrupa de esta forma. Dada la escasa presencia de cultivos hortícolas en la zona 5, no han sido presentados datos de eficiencia de riego.



VARIABLES		N	EFICIENCIAS DE RIEGO (%)								
			EAP			EAL			EDI		
			Media	S	±B	Media	S	±B	Media	S	±B
Zona de riego	1	20	40	26	11	76 b	27	12	95	6	3
	2	15	55	29	15	63 b	27	14	92	10	5
	3	18	60	34	16	79 b	24	11	85	17	8
	4	15	62	31	16	91 a	14	7	84	16	8
	5	17	71	26	12	90 ab	19	9	80	19	9
	6	16	70	29	14	89 ab	18	9	87	14	7
Estación	Invierno	33	55	29	10	84	24	8	88	12	4
	Primavera	35	56	33	11	87	20	7	90	14	5
	Verano	33	65	29	10	73	25	9	85	18	6
Cultivo	Enraizamiento Superficial	23	47 b	33	13	86	23	9	91	9	4
	Enraizamiento Profundo	78	62 a	29	6	80	24	5	86	16	4
Método de riego	Surcos c/d	33	39 b	24	8	71 b	27	9	96 a	4	1
	Surcos s/d	29	67 a	29	11	87 a	20	7	88 a	13	5
	Melgas s/d	38	69 a	30	10	86 a	21	7	79 b	17	5
<b>Río Mendoza</b>		<b>101</b>	<b>59</b>	<b>31</b>	<b>6</b>	<b>81</b>	<b>24</b>	<b>5</b>	<b>87</b>	<b>15</b>	<b>3</b>

Valores seguidos por distintas letras en una variable indican diferencias estadísticamente significativas  $\alpha$  (0,05)

**Tabla 3.** Media, desviación estándar (S), número de muestras (N), error de muestreo ( $\pm B$ ) y diferencias significativas de Eficiencia de aplicación medida (EAP), Eficiencia de almacenamiento medida (EAL) y Eficiencia de Distribución simulada (EDI), expresadas en porcentaje, según zona de riego, estación, cultivo y método de riego

Cultivo	Eficiencia media	Zona de riego					
		1	2	3	4	5	6
Enraizamiento superficial	EAP (%)	22	55	54	66	-	50
	EAL (%)	81	74	82	95	-	91
	EDI (%)	98	92	90	84	-	92
Enraizamiento profundo	EAP (%)	49	55	61	60	71	76
	EAL (%)	74	62	79	88	90	88
	EDI (%)	93	92	83	85	80	85

**Tabla 4.** Eficiencias de riego medias agrupadas por zona y según el cultivo

Como puede observarse en la Tabla 5 los datos de eficiencia de riego están agrupados según el método de riego y el tipo de cultivo. Los métodos sin desagüe al pie resultaron más eficientes en la aplicación y almacenaje, pero no en la distribución del agua de riego, tanto para CES como para CEP. Se observa además una diferencia significativa en la EDI de surcos s/d respecto de melgas s/d. Cuando se analiza la variación de las eficiencias de riego se nota cómo los valores de la variable resultan diferentes entre las zonas distinguiéndose dos grandes grupos, uno constituido por las zonas 4, 5 y 6 con valores de EAP y EAL mayores y otro grupo formado por las zonas 1, 2 y 3. Una situación diferente se presenta en el caso de la eficiencia de distribución

EDI la cual resulta más alta para las zonas 1, 2 y -en menor medida- para la zona 3 respecto al grupo formado por las zonas 4, 5 y 6. Esta situación se explica pues existe una alta proporción de métodos de riego con escurrimiento al pie en las primeras, alcanzando una menor eficiencia de aplicación y una mayor eficiencia de distribución, en contraposición con los métodos de riego sin desagüe característicos de las segundas (zonas bajas). No obstante ello debería esperarse que los métodos de riego sin desagüe y sin pendiente alcancen mayores eficiencias de distribución (Hoffman y Martín, 1994). Esto no ocurre en nuestro caso dado que las parcelas presentan una pequeña pendiente en el sentido del riego.

Cultivo	Eficiencia Media	Método de riego		
		Surcos c/d	Surcos s/d	Melgas s/d
Enraizamiento superficial	EAP (%)	20	64	-
	EAL (%)	85	87	-
	EDI (%)	96	88	-
Enraizamiento profundo	EAP (%)	45	70	71
	EAL (%)	66	88	86
	EDI (%)	96 a	89 a	79 b

Valores seguidos por distintas letras en una variable indican diferencias estadísticamente significativas  $\alpha$  (0,05)

**Tabla 5.** Eficiencias de riego medias agrupadas por zona y según el cultivo

VARIABLES		EAP <sub>M</sub> (%)	
		Media	S
Zona de riego	1	66 b	16
	2	75 ab	13
	3	82 a	15
	4	82 a	10
	5	86 a	7
	6	86 a	12
Cultivo	Enraizamiento superficial	72 b	18
	Enraizamiento profundo	81 a	12
Método de riego	Surcos c/d	66 b	13
	Surcos s/d	85 a	14
	Melgas s/d	86 a	8
Río Mendoza		79	14

Valores seguidos por distintas letras en una variable indican diferencias estadísticamente significativas  $\alpha$  (0,05)

**Tabla 6.** Media, desviación estándar (S) y diferencias significativas de Eficiencia de aplicación potencial de manejo (EAP<sub>M</sub>) según zona de riego, tipo de cultivo y método de riego

En la Tabla 6 se presentan los valores potenciales de eficiencia de manejo de riego obtenidos con el modelo SIRMOD, agrupados por zona, cultivo y método de riego. Para ello una vez calibrado el modelo con la información de campo, comparando los parámetros medidos con los simulados: volúmenes de agua (aplicado, escurrido, infiltrado y almacenado), tiempo de avance y receso del frente de agua, se analizaba cada caso particular alterando aquella variable factible de ser mejorada o modificada en esa propiedad ocurriéndose de nuevo el modelo y analizando el beneficio en la eficiencia optimizada (Hornbuckle *et al.*, 2003). Los parámetros cambiados resultaron ser: mejoramiento de la nivelación longitudinal, incremento de láminas de reposición (riegos retardados en el tiempo), tiempos de aplicación más ajustados, incremento del largo de las unidades de riego en suelos pesados, reducción de caudales unitarios, etc.

La EAP<sub>M</sub> media del área de estudio resultó ser

del 79 % y como puede observarse en la Tabla 6, existen diferencias significativas de EAP<sub>M</sub> entre la zona de riego 1 con respecto a las zonas 3, 4, 5 y 6. Los cultivos de mayor profundidad radical conducen a un mejor aprovechamiento del agua aplicada. Entre los métodos de riego, los que no poseen desagüe al pie logran un mayor valor de eficiencia.

Cuando se analiza las eficiencias potenciales considerando el balance salino se observa que no existe variación de la EAP<sub>S</sub> media entre los distintos cultivos, cuando se cambian los valores de evapotranspiración, precipitación y probabilidad de ocurrencia. Por el contrario, sí se producen diferencias en la EAP<sub>S</sub> media según las distintas zonas de riego, frente a cambios en los valores de conductividad eléctrica del suelo después del ciclo de riego y debido a diferentes niveles de conductividad eléctrica del agua (CE<sub>agua</sub>) aplicada para riego (Tablas 7a y 7b).

Cultivo	EAP <sub>S</sub> (%)	Zona de riego*	EAP <sub>S</sub> (%)	Estación meteorológica*	EAP <sub>S</sub> (%)	Textura de suelo*	EAP <sub>S</sub> (%)
Vid	63±6,3	1	61±4,5	Chacras de Coria	64±5,0	Franco arenoso	65±5,3
Melocotón	63±5,9	2	65±4,4	Observatorio Parque GSM	63±4,9	Franco	63±5,5
Peral	63±5,9	3	66±4,3	Aeropuerto El Plumerillo	63±6,1	Franco limoso	61±5,8
Olivo	63±5,7	4	67±4,2	San Martín	61±6,1		
Tomate	63±5,6	5	56±4,5				
Ajo	63±5,6	6	61±4,3				
Alfalfa	63±6,0						
Álamo	63±5,6						
Espacios verdes	63±5,3						

(\*) indica que existen diferencias significativas entre los niveles asignados a la variable ( $\alpha = 0,05$ )

**Tabla 7. a)** Medidas descriptivas de Eficiencias de aplicación potenciales medias considerando el balance salino de cada una de las variables analizadas EAP<sub>S</sub> (media ± desviación estándar)

ET <sub>C</sub>	EAP <sub>S</sub> (%)	Lluvia	EAP <sub>S</sub> (%)	Probabilidad de ocurrencia	EAP <sub>S</sub> (%)	CE <sub>es</sub> final *	EAP <sub>S</sub> (%)	CE <sub>agua</sub> *	EAP <sub>S</sub> (%)
Máxima	63±5,7	50% del total	63±5,7	20%	63±5,7	CE <sub>es</sub> inicial	63±4,9	CE <sub>agua</sub> actual	63±5,2
90% de la máxima	63±5,8	Efectiva	63±5,8	50%	63±5,8	90% de CE <sub>es</sub> inicial	59±4,9	90% de CE <sub>agua</sub> actual	66±5,0
80% de la máxima	63±5,9	Cero	63±5,9	80%	63±6,1	110% de CE <sub>es</sub> inicial	67±4,9	110% de CE <sub>agua</sub> actual	60±5,4

(\*) indica que existen diferencias significativas entre los niveles asignados a la variable ( $\alpha = 0,05$ )

**Tabla 7. b)** Medidas descriptivas de Eficiencias de aplicación potenciales medias considerando el balance salino de cada una de las variables analizadas EAP<sub>S</sub> (media ± desviación estándar)

La Tabla 8 muestra los cambios de los valores de EAP<sub>S</sub> como resultado de la variación de la CE<sub>es</sub> suelo final y la CE<sub>agua</sub> respectivamente, discriminado por zona. La primer columna contiene entre paréntesis los valores de CE<sub>es</sub> y CE<sub>agua</sub>, media del extracto de saturación del suelo y del agua de cada zona (Morábito, 2003). Excepto la zona 1, todas las demás poseen una conductividad media que no les permite llegar al 100 % de la producción, según el criterio de Maas-Hoffman (1976) sobre la base de los cultivos presentes en ellas. En general, la producción actual se encuentra entre el 90 y el 100 % de la producción potencial de los cultivos. Se destaca la zona 4, la cual presentó altos contenidos salinos en suelo y agua de riego y en donde los rendimientos posibles de alcanzar en la actua-

lidad son mucho más bajos que los potenciales del cultivo.

La Figura 2 resume gráficamente los valores de eficiencia de aplicación medida en campo y las eficiencias de aplicación potenciales (factibles de alcanzar) en cada una de las 6 zonas de riego del río Mendoza. Se muestran varias opciones de eficiencias potenciales, según el método por el cual han sido obtenidas.

En las zonas 1 y 2 la máxima eficiencia de aplicación está determinada por aceptar un mayor nivel de salinidad en la rizósfera (EAP<sub>S,90</sub>) que aseguraría una producción del 90 % según el criterio de Maas y Hoffman (1976), sin embargo ésta estaría limitada por el método de riego. En la zona 3 los dos valores están muy próximos entre sí. Una situación diferente se presenta en las

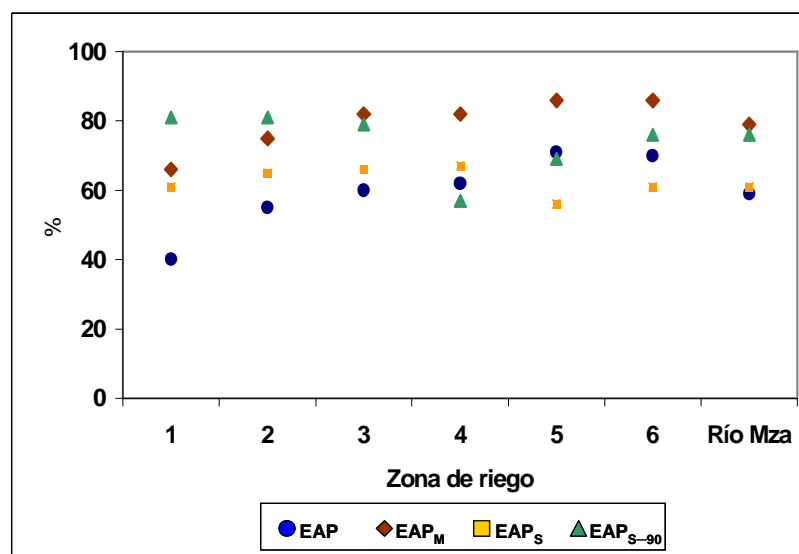
zonas 4, 5 y 6, en las cuales si bien el método de riego permitiría alcanzar una elevada eficiencia de riego ésta estaría limitada por mantener un balance salino que asegure una producción del 90 % de la máxima alcanzable según Maas y Hoffman ( $EAP_{S,90}$ ).

A nivel de Oasis, la eficiencia de riego actual es coincidente con la que asegura el balance salino medido ( $EAP_{\text{actual}} = EAP_S$ ) y está próxima al 61%. Mientras que la  $EAP_{S,90}$  potencial estimada como alcanzable para asegurar el 90 % de la producción y la  $EAP_M$  factible de alcan-

zar con un adecuado manejo del riego, ( $EAP_{S,90} = EAP_M$ ) supera el 70%. En la Tabla 9 se presenta un resumen de las eficiencias de aplicación potenciales factibles de alcanzar en cada una de las zonas de riego del río Mendoza y del oasis. El valor medio del oasis variaría entre el 66 % -si se realiza la media aritmética de los valores mínimos de eficiencia indicados para las zonas 1, 2 y 3 con los valores sugeridos para las zonas 4, 5 y 6- y el 69 % si se realiza el mismo promedio pero con los valores máximos de las zonas 1, 2 y 3.

Zona de riego y $CE_{es}$ inicial ( $dS.m^{-1}$ )	$CE_{es}$ final del suelo		
	Igual a $CE_{es}$ inicial	90% de $CE_{es}$ inicial	110% de $CE_{es}$ inicial
1 (1,81)	61	57	65
2 (2,06)	65	61	69
3 (2,13)	66	62	70
4 (3,80)	67	63	71
5 (1,91)	56	52	59
6 (1,83)	61	58	65
Zona de riego y $CE_{agua}$ inicial ( $dS.m^{-1}$ )	$CE_{agua}$		
	Igual a $CE_{agua}$ actual	90% $CE_{agua}$ actual	110% $CE_{agua}$ actual
1 (0,94)	61	64	58
2 (0,93)	65	68	62
3 (0,93)	66	69	63
4 (1,62)	67	70	64
5 (1,16)	56	59	52
6 (0,95)	61	64	58

**Tabla 8.** Eficiencia de aplicación potencial media (%) considerando el balance salino ( $EAP_S$ ) expresada en porcentaje por zona de riego, según  $CE_{es}$  final y  $CE_{agua}$  de riego



**Figura 2.** Eficiencia de aplicación actual ( $EAP$ ) y eficiencias de aplicación potenciales en las distintas zonas de riego

Zona de riego	Eficiencia de aplicación potencial aconsejada (%)
1	61 – 66
2	65 – 75
3	66 – 79
4	65
5	71
6	70
<b>Río Mendoza</b>	<b>66 – 71 (69)</b>

**Tabla 9.** Eficiencias de aplicación potenciales factibles de alcanzar en cada una de las zonas de riego

Un aspecto controvertido y a discutir es aquel referido a la eficiencia de aplicación potencial factible de alcanzar para asegurar un determinado nivel productivo. Considerando los umbrales de salinidad edáfica fijados por Maas-Hoffman (1976) para alcanzar distintos niveles productivos, si se deseara obtener el máximo rendimiento de los cultivos sería necesario disminuir la eficiencia de aplicación, a excepción de la zona 1. Es decir, sería necesario disminuir entre 3 y 6 % la EAP<sub>S</sub> en las zonas 2, 3, 5 y 6 mientras que para la zona 4 la disminución debería ser del 24 %. Si estuviésemos dispuestos a aceptar un rendimiento de un 90 % respecto al máximo, sería posible aumentar la eficiencia de aplicación. Esto conduciría a un aumento del contenido salino de los suelos. En tal sentido se podría elevar entre un 13 y un 20 % la EAP<sub>S</sub> en las zonas 1, 2, 3, 5 y 6, sin embargo en la zona 4, todavía debería disminuirse la EAP<sub>S</sub> un 10 % para obtener 90 % de producción.

Si bien resulta difícil dar recomendaciones generales debido a las particularidades de cada propiedad y del manejo del agua que realiza cada productor se pretende identificar a continuación las principales causas de ineficiencias que están vinculadas al método de riego, indicar la estrategia y sugerir los mecanismos a implementar para superarlas.

Los métodos de riego con desagüe se emplean en las zonas 1, 2 y en menor medida en la zona 3. Estas zonas se caracterizan por presentar suelos con baja velocidad de infiltración. La principal causa de la baja eficiencia de riego radica en las excesivas pérdidas por escurrimiento al pie de la unidad regada. Por lo tanto, la estrategia a seguir será reducir el volumen de agua escurrido al pie y asegurar el mojado del suelo en la rizósfera. Se aconseja reducir el caudal unitario, usar la técnica de manejo de dos caudales (caudal de avance mayor que el segundo caudal o caudal de infiltración) o la aplicación de caudal discontinuo

(Horst *et al.*, 2007), duplicar o incluso triplicar la longitud de los surcos (encadenado del riego) y manejar los tiempos de aplicación hasta asegurar el mojado de la profundidad de suelo deseado. Hay que precisar la lámina a reponer al suelo y cuando se desea aplicar láminas mayores (frutales) será necesario reducir el espaciamiento entre surcos, como consecuencia de las bajas velocidades de infiltración. Hay que mejorar la velocidad de infiltración (incremento de materia orgánica, reducción de la compactación, etc.). Si aún así las pérdidas por escurrimiento al pie fuesen altas se deberá incentivar el almacenaje de agua al pie de la propiedad y su bombeo a la parte media o superior para re-usar el agua escurrida.

Las zonas 4, 5 y 6 se riegan sin desagüe al pie (pero con una leve pendiente en el sentido del riego). Se observan también propiedades con riego sin desagüe en las otras zonas pero en menor medida. El mayor problema en éstos métodos de riego radica en la excesiva percolación profunda e inadecuada uniformidad de distribución del agua a lo largo de la unidad de riego. A pesar de que en estas zonas los suelos tienden a ser de textura más gruesa, la presencia de capas poco permeables a distintas profundidades hace que - en la mayoría de las situaciones- la velocidad de infiltración sea baja. Por otro lado, si bien se riega sin desagüe, hay leve pendiente en el sentido del riego, ello determina una tendencia a acumular agua al pie, reduciendo las eficiencias de distribución parcelaria y de aplicación. Esto produce una mayor variabilidad salina en el perfil del suelo a lo largo de la unidad de riego y un mayor valor de salinidad edáfica en la cabecera de la unidad de riego. La estrategia a seguir es: reducir la lámina percolada (reducir la lámina de riego) y asegurar una adecuada distribución del agua sobre toda la superficie regada para reducir la demanda de agua (Pereira *et al.*, 2002). Por ello se debería realizar la adecuada nivelación longi-

tudinal de la unidad de riego (Clemmens, 2005), sobre todo si la velocidad de infiltración del suelo es baja. Los tiempos de aplicación deberían ser más bajos en otoño, invierno y primavera (20 % menores) y mantenerse en verano. Es necesario precisar la lámina de reposición para ajustar más la lámina de riego a aplicar. Debe realizarse el control anual de la salinidad edáfica (zona 4) y en las propiedades que presentan problemas de salinidad o con freática cerca de la superficie.

## CONCLUSIONES

Los surcos sin desagüe al pie logran aplicar láminas brutas medias de 76 mm inferiores en un 50 % a las registradas en surcos con desagüe e inferiores en un 65 % de las aplicadas con melgas. Las melgas sin desagüe al pie producen las mayores láminas percoladas medias: 47 mm respecto a 34 mm en los surcos sin desagüe (aunque sin diferencias significativas) y a 8 mm en los surcos con desagüe (con diferencias significativas).

Considerando las variables analizadas en el presente estudio se puede concluir que a la eficiencia de aplicación media del área del río Mendoza le corresponde la calificación de desempeño "Mala" (Roscher, 1985) por estar por debajo del 60 %, además no es significativamente diferente en las distintas zonas de riego del río Mendoza ni en los distintos períodos de muestreo analizados, sólo hay diferencias en los métodos de riego sin desagüe respecto a aquellos métodos con desagüe, mostrando estos últimos valores menores. En el caso de los CEP presentan una eficiencia de aplicación más alta que los CES en un 15 %.

En cuanto respecta a la eficiencia de almacenaje media (81 %) del área del río Mendoza le corresponde la calificación de desempeño "Satisfactoria" (Roscher, 1985). Además las zonas 1, 2 y 3 son diferentes a la zona 4, mientras que las zonas 5 y 6 no difieren del resto. No resultan diferentes las eficiencias de almacenaje según los cultivos pero sí entre los métodos de riego. A la eficiencia de distribución media (87 %) del área del río Mendoza le corresponde la calificación de desempeño "Satisfactoria" (Roscher, 1985) y sólo resultan con diferencias significativas las melgas respecto de los surcos, mientras que para el resto de las variables no existen diferencias significativas.

El factor que más influye en la variación de la EAPS es la "zona de riego", por cuanto está definido por las variables conductividad eléctrica del suelo y calidad del agua aplicada.

Las eficiencias de aplicación potenciales resul-

tan para la zona 1 entre el 61 % y el 66 %, zona 2 entre el 65 % y el 75 % y para la zona 3 entre el 66 % y el 79 % según se desee mantener el valor actual de salinidad en la zona radical o se altere el mismo a un nuevo equilibrio salino en la rizósfera, mayor que el actual, pero que asegure una producción superior al 90 % de la potencial. Para las zonas 5 y 6 la eficiencia potencial sería del 70 %, coincidiendo con la actual y asegura una producción próxima al 90 % de la producción potencial de los cultivos. La zona 4 presenta la particularidad de tener una eficiencia de aplicación potencial -según el balance salino- del 65 % muy próxima a la medida actual (62 %) la cual resulta baja para el método de riego que domina la zona y asegura una producción por debajo del 90 % de su potencial.

Se puede decir que en general para todo el oasis del río Mendoza la eficiencia de aplicación factible de alcanzar en la parcela si se propone como objetivo mantener el nivel salino inicial del suelo y considerando la salinidad actual del agua de riego, es del 61 %, la cual resulta muy próxima a la determinada en el campo que es del 59 %. Sin embargo, si se deseara obtener el máximo rendimiento de los cultivos (según el criterio de Maas-Hoffman, 1976), con relación al contenido salino de los suelos, habría que mantener la eficiencia de aplicación en un 58 %. Si en cambio se planteara un 90 % de la producción máxima como objetivo, sería factible aumentar la eficiencia de aplicación al 71 %, mientras que aquella factible de alcanzar optimizando los factores de manejo del riego sería del 79 %.

## LISTA DE ABREVIATURAS

- c/d con desagüe  
 CE<sub>agua</sub> conductividad eléctrica del agua de riego en dS m<sup>-1</sup> a 25°C  
 CE Conductividad Eléctrica en dS m<sup>-1</sup> a 25°C  
 CE<sub>es</sub> Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación del suelo en dS m<sup>-1</sup> a 25°C  
 CE<sub>esf</sub> Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación del suelo final en dS m<sup>-1</sup> a 25°C  
 CE<sub>esi</sub> Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación del suelo inicial en dS m<sup>-1</sup> a 25°C  
 CEP Cultivos de Enraizamiento profundo (CEP) (vid, frutales y alfalfa, cuyas raíces se asumió exploran de 0,80 a 1,30 m)  
 CES Enraizamiento superficial (CES) (hortalizas y flores, con profundidad de exploración radical de hasta 0,50 m)  
 dal lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo (mm)  
 db lámina bruta (mm)

*de* lámina escurrida al pie de la parcela de riego (mm)  
*dinf* lámina infiltrada en el perfil del suelo regado (mm)  
*dper* lámina percolada (mm)  
*dr* lámina de reposición (mm)  
*dropt* lámina de reposición óptima (mm)  
 EAL eficiencia de almacenaje (%)  
 EAP eficiencia de aplicación (%)  
 EAP<sub>p</sub> eficiencia de aplicación potencial (%)  
 EAP<sub>S\_90</sub> eficiencia de aplicación potencial según contenido de sales en la rizósfera que asegure una producción del 90% del máximo del cultivo, según Maas Hoffman (%)  
 EAP<sub>M</sub> eficiencia de aplicación según manejo (%)  
 EAP<sub>S</sub> eficiencia de aplicación potencial según contenido de sales en la rizósfera que asegure una producción del máximo del cultivo, según Maas Hoffman (%)  
*EDI* eficiencia de distribución (%)  
*ETc* evapotranspiración del cultivo (mm año<sup>-1</sup>)  
 F eficiencia de lavado (fracción)  
 Kc coeficiente de cultivo  
 Pp precipitaciones (mm año<sup>-1</sup>)  
 s/d sin desagüe  
 S Desviación típica muestral  
 $\sigma$  desviación típica de la población  
 Wc capacidad de campo del suelo (g %g)  
 Wm punto de marchitamiento permanente (g %g)  
 z percentil de la distribución normal

## REFERENCIAS

- Bos M., J. Reploge y A. Clemmens, (1986). Aforadores de caudal para canales abiertos. Publicación 38 ILRI, The Netherlands.
- Chambouleyron J. y J. Morábito, (1982). Evaluación del riego en fincas. INCyTH-CRA, Mendoza, Argentina.
- Clemmens, A.J., (2005). Raising the performance of surface irrigation. Transactions of the 19th International Congress on Irrigation and Drainage, Beijing, China, for increasing efficiency in irrigated agriculture, China.
- Departamento General de Irrigación (1997). Descripción preliminar de la cuenca del río Mendoza. Mendoza, Argentina.
- Fasciolo G. y C. Reising, (2002). Manual de muestreo de plagas en montes frutales para técnicos agrícolas. INTA - SECyT y FCA - UNCuyo, Mendoza, Argentina.
- Gervasi D., (2001). Sustainable water management model for agricultural sector of the north oasis in Mendoza province. Argentina. En International Symposium on Irrigation and Water Relations in Grapevine and Fruit Trees, National Seminar on Sustainable water resources management in arid regions, Mendoza, Argentina.
- Grassi C.J., (1998). Fundamentos del riego. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CI-DIAT), Mérida, Venezuela.
- Hamilton L., (2001). Statistics with Stata 6. University of New Hampshire, Duxbury Press, An imprint of Brooks/Cole publishing Company, ISBN 0-534-26559-6, USA.
- Hoffman G.J. y Martin D.L., (1994). Enhanced surface irrigation systems. Department of Biological Systems Engineering, University of Nebraska, USA. International Water and Irrigation Review, 14(1), pp. 8–11.
- Hornbuckle J., Christen E. y Faulkner R., (2003). Improving the efficiency and performance of furrow irrigation using simulation modeling in South-Eastern Australia. Improved irrigation technologies and methods: Research, development and testing, Proceedings ICID, New Delhi, India.
- Horst M.G., S.S. Shamutalov, J.M. Goncalves y L.S. Pereira, (2007). Assessing impacts of surge-flow irrigation on water saving and productivity of cotton. Agricultural Water Management 87, Elsevier, pp. 115–127.
- Maas E.V. y Hoffman G.J., (1976). Crop Salt tolerance: evaluation of existing data. En Proc. International Salinity Conference, Lubbock, Texas, Augusts 1976, pp. 187–198.
- Merriam J. y J. Keller, (1978). Farm Irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agriculture and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Morábito, J.A., (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 al grado de Magister Scientiae, Universidad Nacional de Cuyo - Instituto Nacional del Agua - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Mendoza, Argentina.

- Morábito, J.A., J. Martínez Tívoli, M. Manzanera, S. Salatino, C. Mirábile y G. Ibáñez, (2001). Determinación de escenarios de demanda de riego en el área dominada por el río Mendoza. Informe Técnico. Centro Regional Andino - Instituto Nacional del Agua (INA - CRA), Mendoza, Argentina.
- Nijensohn, L., (1978). Determinación de la textura de suelos por el método del Volumen de Sedimentación. Cátedra de Hidrología, Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Pereira L., Oweis T. y Zairi A., (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 57, 175–206, Elsevier.
- Roscher K., (1985). Surface irrigation. Characteristics, design and performance. Department of Irrigation and Civil Engineering, Agricultural university, Wageningen, The Netherlands.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, (2002). Censo Nacional Agropecuario 2002. Republica Argentina. [http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/economia\\_agraria/index/censo/index.php](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/economia_agraria/index/censo/index.php).
- UNCuyo, (2004). Marco estratégico para la provincia de Mendoza. Diagnóstico físico ambiental en: [http://www.uncu.edu.ar/contenido/skins/unc/download/3\\_doc\\_de\\_base.fisico\\_amb.zip](http://www.uncu.edu.ar/contenido/skins/unc/download/3_doc_de_base.fisico_amb.zip)
- Van der Molen, W.H., (1983). Salt balance and leaching requirement, in *Drainage Principles and Applications: II Theories of field drainage and watershed runoff*. Publication 16, Vol. II, 59–100, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), The Netherlands.
- Walker, R., (2003). SIRMED. Surface Irrigation Simulation Software. Biological and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah, 84322–4104, USA.
- Walker, R. y Skogerboe, (1987). *Surface Irrigation Theory and Practice*. Utah State University, Ed. Prentice, Hall.