

## EFICIENCIA DE RIEGO ACTUAL Y POTENCIAL EN EL AREA REGADIA DEL RIO MENDOZA

**José Morábito, Carlos Mirábile, Santa Salatino, Pablo Pizzuolo, Jorge Chambouleyron, Graciela Fasciolo**

INA-CRA. Belgrano Oeste 210. Piso 3°. Ciudad – Mendoza (C.P. 5500).  
Telefax: 0261-4288251/4286993. E-mail: [jmorabito@ina.gov.ar](mailto:jmorabito@ina.gov.ar)

### RESUMEN

El área regadía 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 regadía del río Mendoza a través del conocimiento de la eficiencia de riego -actual y potencial- en propiedades regadas por escurrimiento superficial.

La unidad de análisis fue la propiedad agrícola y la muestra estuvo compuesta por 101 fincas. La selección se realizó considerando: igual número de propiedades en las 6 zonas de manejo y segundo, evaluar aquella propiedad, con derecho de riego superficial, que estuviera recibiendo el turno. Dentro de estos grupos las propiedades se seleccionaron en forma aleatoria.

Para determinar la eficiencia de riego se siguió la metodología propuesta por Chambouleyron y Morábito en 1982 en los casos de riego sin desagüe al pie (s/D) y la metodología de Walker y Skogerboe en 1987 para los casos con desagüe al pie (c/D). El equipamiento utilizado comprendió aforadores, minimolinetes, anillos infiltrómetros, cintas métricas, nivel óptico, etc.

Para la estimación del valor de la Eficiencia potencial ( $EAP_p$ ) 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 "CEesf".

Los resultados indicaron que la eficiencia de aplicación (EAP) media del área es de 59%. Hay diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ) cuando se comparan: los métodos de riego s/D (surcos: 67% y melgas: 69%) respecto a aquellos métodos c/D (39%) y los cultivos: frutales (62%) y hortalizas (47%).

El factor que más influye en la variación de  $EAP_S$  es la "zona". 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 según Maas-Hoffman (58%). Si se planteara como objetivo un 90% de la producción máxima debida a la salinidad edáfica, sería posible aumentar la  $EAP_S$  al 71%.

**Palabras clave:** riego por superficie, eficiencia, surcos, melgas.

## INTRODUCCIÓN

El sector riego representa en Argentina el 70% de todas las extracciones para uso consuntivo del agua y tiene una eficiencia promedio del 40%, que resulta muy baja si se la compara con la obtenida en otros países de similar desarrollo. Entre otros motivos, esto se debe principalmente al predominio de los métodos de riego por escurrimiento superficial (tradicional), ya sea por surco o por melga sobre aquellos modernos como los presurizados, los cuales comparativamente con los primeros resultan cuantitativamente insignificantes. Un síntoma de esta ineficiencia generalizada se manifiesta en el hecho de que de las 1,6 millones de hectáreas bajo riego que hay en el país, un tercio tiene problemas de salinización de suelo y/o de drenaje (Morábito, 1997). La modernización implica cambios en la red de distribución y mejoras en la aplicación del agua en la parcela. Tal entorno justifica plenamente el esfuerzo de evaluación de la actual eficiencia de uso del recurso agua destinado al riego agrícola y a la elaboración de recomendaciones de manejo destinadas tanto al organismo central (Departamento General de Irrigación) como a los Organismos de Usuarios (Inspecciones de Cauce y Asociaciones de Inspecciones).

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 para las zonas habitadas (ubicadas en las zonas más bajas de la cuenca).

Como consecuencia de lo antes mencionado surge que el recurso hídrico del Oasis Norte, cuya disponibilidad es muy limitada y variable -debido tanto a las escasas precipitaciones como a las oscilaciones climáticas- constituye el factor de la producción más importante para el sector agrario, el cual representa la base del desarrollo económico de la provincia de Mendoza. En efecto, el agro (agricultura + 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).

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.

El área regadía 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 (potable, agrícola, recreativo, energético, etc.). La reciente construcción, sobre el río Mendoza, del dique Potrerillos, permitirá la regulación del mismo posibilitando por primera vez una entrega programada del agua a los usuarios, que debería ir acompañada por un adecuado manejo del recurso dentro de la propiedad, todo ello con el fin de lograr un aprovechamiento del agua de riego que supere los actuales valores de eficiencia.

Localmente Morábito *et al.* (1991) desarrollaron el modelo ERFIN que permite calcular las eficiencias de riego en el ámbito parcelario, para diferentes métodos de riego por escurrimiento superficial: surcos o melgas, con o sin desagüe al pie, es decir, es un modelo de evaluación.

Por su parte, en el Centro Regional Andino del INA Chambouleyron y colaboradores (1993) elaboraron el modelo DISEVAL (modelo para el diseño y evaluación de riego por superficie) que permite calcular eficiencias y diseñar o rediseñar caudales y tiempos para asegurar un riego eficiente en la parcela, a través de una solución algebraica sencilla que integra la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU, la Relación de Infiltración de Grassi, el cálculo del receso de Strelkoff y el mecanismo de desagüe de Merriam y Keller.

## **OBJETIVOS**

El objetivo general del estudio es: contribuir al mejor aprovechamiento del agua de riego en el área regadía del río Mendoza. Como objetivos específicos se mencionan:

- calificar el desempeño del riego por superficie en las zonas de manejo a través de la medición de las eficiencias de conducción (o distribución) interna y de las distintas láminas de riego que permiten conocer las eficiencias de aplicación, distribución y almacenaje, todas a nivel predial
- estimar las eficiencias potenciales de riego mejorando la operación del/los métodos de riego y asegurando el balance salino en la rizósfera
- realizar recomendaciones para el manejo eficiente del riego

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el estudio de la eficiencia de riego se ha utilizado -al tratar los casos de riego sin desagüe al pie- la metodología desarrollada en 1982 por Chambouleyron y Morábito en el Centro Regional Andino del INA (ex INCyTH). La misma se basa en: a) la relación o cociente entre volúmenes para el cálculo de la eficiencia de conducción interna (desde la bocatoma hasta la parcela de riego propiamente dicha), y b) la relación o cociente de láminas para definir a las distintas eficiencias parcelarias (almacenaje, aplicación y distribución) que permiten calificar al 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.

La unidad de análisis fue la propiedad o finca. El tamaño de la muestra fue de 101 propiedades. La selección de las fincas fue realizada teniendo en cuenta principalmente dos criterios: primero, que las mismas se distribuyeran aproximadamente en igual cantidad en las distintas zonas de manejo y sobre los canales más representativos de cada una de ellas para que las comparaciones fueran equivalentes y segundo, evaluar aquella propiedad, con derecho de riego superficial, que en oportunidad de la visita, estuviera recibiendo el turno de riego habitual. Dentro de estos grupos las propiedades se seleccionaron al azar. Las evaluaciones se realizaron a lo largo de un ciclo agrícola abarcando las distintas estaciones climáticas debido a la variación que existe en el requerimiento de agua en los diferentes cultivos. Durante la evaluación se trató de que el agricultor efectuara el riego según su técnica habitual, de manera de conocer detalladamente su modalidad de riego y trabajo.

Las distintas eficiencias estudiadas fueron: *EAP* (eficiencia de aplicación); *EDI* (eficiencia de distribución); *EAL* (eficiencia de almacenaje); *EAP<sub>M</sub>* (eficiencia de aplicación potencial de manejo); *EAP<sub>S</sub>* (eficiencia de aplicación potencial considerando el balance salino del suelo).

A los fines operativos y dado que el río Mendoza está dividido en seis (6) zonas de manejo (denominadas Zonas de riego), se contactó a los gerentes técnicos de cada una de ellas para ponerlos en conocimiento del estudio y de los requerimientos de la evaluación.

El equipamiento utilizado comprendió vehículos, aforadores portátiles (de diferentes tipos y medidas: “sin cuello”, “cresta ancha” y “trapezoidal”), minimolinetes marca A. OTT Kempton tipo C2 “10.150” de alta precisión, anillos infiltrómetros, cintas métricas de diferentes medidas, nivel óptico, miras parlantes, conductivímetro de alta precisión marca Hach Sension 7, etc. Las tareas de campo se complementaron con determinaciones en laboratorio (conductividad eléctrica del suelo y agua de riego, volumen de sedimentación (Nijensohn, 1978), humedad presente, etc. Una vez localizada la finca, se procedió a la evaluación. Para ello se llevaron a cabo (durante el riego) las siguientes mediciones:

- Aforo de caudal ingresado a la propiedad, derivado y recibido en la parcela regada. Con ellos se calculó la eficiencia de conducción interna (*E<sub>CI</sub>*).
- Infiltración con el método de doble anillo (USDA, 1956, mencionado por Grassi, 1998) en cabeza y pie de la unidad de riego. Todos los pares de datos de los ensayos realizados se utilizaron para calcular la ecuación de infiltración que caracteriza a los suelos de la parcela regada.
- Medición de la velocidad de avance y de receso del frente de agua. Para determinar el avance del frente de agua sobre la superficie del suelo, se midió la longitud total de la parcela regada, se dividió su distancia en 10 partes iguales y en cada una de ellas se ubicó una estaca indicadora. Una vez iniciado el riego, se registró el tiempo de avance -acumulado desde el inicio de la operación- hasta cada estación. Igualmente se registró el receso o desaparición del agua sobre la superficie del suelo una vez terminada la aplicación del agua. Esta operación se realizó en varios surcos -entre 3 y 5- de acuerdo a las posibilidades de registro. Para el caso de las melgas, se colocaron en cada estación 2 ó 3 estacas transversales, con el fin de cubrir el avance en todo el ancho de las mismas. Los pares de datos permitieron conocer para cada parcela la ecuación de avance y los tiempos de receso que la caracterizan.
- Medición de la pendiente de riego. Se realizó la toma de niveles longitudinales en cada una de las estacas utilizadas para realizar el avance y así determinar la pendiente parcial y total de riego.
- Medición del volumen de agua aplicado, escurrido e infiltrado. Durante todo el ensayo se midió el caudal ingresado y egresado de la parcela, este último sólo cuando se trataba de surcos con desagüe al pie. Con esta información se confeccionó el hidrograma de entrada y salida para el cálculo de los volúmenes mencionados.
- Perfil transversal de los surcos de riego. Para conocer la geometría de los surcos se utilizó el método del perfilómetro, Walker y Skogerboe (1987). Se realizaron tres perfiles transversales en surcos (cabeza, medio y pie).
- Tiempo de aplicación: se registró el tiempo total en que el agua ingresó a la parcela regada.

- Dimensiones de la unidad de riego: con cinta métrica se midió el largo y espaciamento entre surcos o ancho de melgas. En el caso de los surcos también se midió el perímetro mojado.
- Número de surcos o melgas regadas simultáneamente. Se registró esta información en la planilla respectiva.
- Humedad del suelo antes y después del riego. Se obtuvieron muestras de suelo para la determinación de la humedad antes y después del riego en seis sitios: cabeza, medio y pie (con dos repeticiones) y a dos profundidades según la exploración radical del cultivo regado. Para ello se utilizó pala barreno y pesafiltros de aluminio 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. Esta actividad se realizó para conocer al agua efectivamente almacenada en ese riego.
- Textura del suelo. Se extrajeron muestras del perfil del suelo hasta la profundidad explorada por el cultivo para la determinación de la textura por volumen de sedimentación (Nijensohn, 1978).
- Salinidad del suelo. Se extrajeron 6 muestras de suelo en cabeza, medio y pie y a dos profundidades distintas variables de acuerdo al cultivo, para frutales (0 – 50 cm y 50 a 100 cm) y para hortalizas (0 –25 cm y 25 a 50 cm) a fin de determinar la salinidad total por el método del extracto de saturación del suelo (USDA, 1954) expresando la salinidad total corregida a 25°C.
- Complementariamente se tomó una muestra de agua para la determinación de su salinidad.
- El perfil transversal de los surcos de riego fue determinado en tres posiciones cabeza, medio y pie. Con los datos obtenidos a campo se graficaron en gabinete los perfiles y se calcularon el ancho superior (T), el área (A), el perímetro mojado (WP), el radio hidráulico (Rh) y la relación  $A/2Rh(4/3)$ . Éstos parámetros fueron relacionados con el tirante (y).

Toda la información fue registrada y sistematizada oportunamente en gabinete, confeccionándose luego una base de datos, útil para su posterior análisis.

Con los datos obtenidos de cada una de las propiedades evaluadas se comenzó la simulación del riego a fin de conocer las distintas eficiencias utilizando para ello dos modelos matemáticos: SIRMOD (Walker *et al.*, 1993) que es uno de los más precisos, aceptados y difundidos en el ámbito internacional y ERFIN (Morábito *et al.*, 1991) que es un modelo de desarrollo local. Ambos modelos han facilitado la generación de opciones de optimización de las eficiencias de riego parcelarias. Las láminas de riego fueron calculadas sobre la base de la determinación analítica de la humedad del suelo en el momento del riego y a la humedad en capacidad de campo: dr (lámina de reposición) diferencia entre el contenido de humedad del suelo antes y después del riego (capacidad de campo); db: (lámina bruta) producto del 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) producto del caudal escurrido al pie de la parcela regada y el tiempo de escurrimiento referido al área regada; dal (lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo) diferencia entre la lámina infiltrada en la parcela regada y la lámina percolada por debajo de la rizósfera; dper (lámina percolada) lámina infiltrada y que ha superado la profundidad radical del cultivo.

Las eficiencias de riego calculadas utilizando los modelos matemáticos SIRMOD y ERFIN, fueron: ECI (eficiencia de conducción interna) caudal recibido en la parcela regada respecto del caudal derivado en bocatoma de finca (sólo calculada por ERFIN); 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; EDI: (eficiencia de distribución) lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado respecto de la lámina media infiltrada en todo el perfil; EAL: (eficiencia de almacenaje) lámina almacenada en el perfil -después del riego- respecto de la lámina que se esperaba almacenar; ERI: (eficiencia de riego interna) producto de la eficiencia de aplicación y la eficiencia de conducción interna. En el caso del modelo SIRMOD el valor de ERI se obtiene multiplicando la EAP -obtenida en la corrida del SIRMOD- por el valor de ECI que se obtiene de la aplicación del modelo ERFIN. Es de destacar que el modelo SIRMOD calcula, además, la EDIa: (eficiencia de distribución absoluta) cociente entre la lámina mínima y la lámina media infiltradas en la parcela.

Para el análisis de la variación de la eficiencia de riego fueron definidas varias categorías, para las distintas variables estudiadas:

- ❖ *Zona*: 1, 2, 3, 4, 5, y 6. Corresponden a las zonas de riego del Río Mendoza (Figura 1).
- ❖ *Estación*: Otoño – Invierno – Primavera -Verano
- ❖ *Cultivo*: Hortícolas (hortalizas y flores, con profundidad de exploración radical de hasta 0,50 m) y Frutícolas (vid, frutales, olivo y alfalfa, cuyas raíces se asumió exploran de 0,80 a 1,30 m).
- ❖ *Método de riego*: Surcos con desagüe, surcos y melgas sin desagüe al pie

Para cada una de las variables analizadas: Eficiencia de aplicación (EAP), Eficiencia de almacenaje (EAL) y Eficiencia de distribución (EDI) calculadas según el modelo SIRMOD se obtuvo la media y su desviación estándar.

Para el tratamiento estadístico de la información obtenida a campo se aplicó un análisis de la varianza unifactorial que respondió al siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + t_j + e_{ij} \quad (1)$$

donde:  $y_{ij}$  : es la respuesta de la i-esima repetición al j-esimo tratamiento

$\mu$  : es la media general

$t_j$  : es el efecto del j-ésimo tratamiento

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

Las hipótesis estadísticas son:

Hipótesis nula  $H_0$ :  $t_j = 0$

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

En los casos en que el estadístico F fue significativo se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Scheffé para un nivel de significancia del 5%. Se utilizó la aplicación STATA 6

(Hamilton, 2001). Para el caso de la  $EAP_S$  se realizó –además– un análisis de sensibilidad de las principales variables incorporando: salinidad final esperada en el suelo, salinidad del agua de riego, textura de suelo, evapotranspiración del cultivo, área dominada por las estaciones meteorológicas comprendidas en la cuenca, probabilidad de ocurrencia de evapotranspiración máxima y lluvia.

Se realizó el análisis de precisión y confiabilidad para las variables eficiencias de riego. Para estimar el error de muestreo a una confiabilidad dada se utilizó la siguiente fórmula:

$$\pm B = z \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

en donde B representa el límite del error de muestreo para la confiabilidad que fija z (percentil de la distribución normal). En este estudio será  $z = 1,96$  valor relacionado 95 % de confiabilidad.

**S** : es la estimación de la desviación típica, para la que se utiliza la desviación típica muestral. Esta estimación, tanto para la variable eficiencia de riego como para la salinidad, se obtendrá con los datos de toda la muestra, sin desagregar ( $n = 101$ ).

Para el estudio de la *Eficiencia potencial de riego* se determinó la eficiencia de aplicación potencial siguiendo 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. En el primer caso el cálculo de la eficiencia de aplicación potencial -que se define como aquella factible de alcanzar cuando se han optimizado las variables de riego (caudal unitario, tiempo de aplicación, pendiente, oportunidad de riego, etc.)- fue obtenida mediante el cociente entre la lámina promedio infiltrada y almacenada en el perfil (equivalente a la lámina de reposición óptima “dropt”), y la lámina bruta optimizada. La misma indica el grado de eficiencia que puede alcanzar el método de riego si el manejo es óptimo Merriam et al. (1973).

$$EAP_M = \frac{dropt}{db} \times 100 \quad (3)$$

donde:  $EAP_M$ : eficiencia de aplicación potencial de manejo (%)

Las eficiencias de riego potenciales fueron obtenidas con el modelo matemático SIRMOD, incorporando la modificación de algunos parámetros tales como: pendiente, largo de la unidad de riego, tiempo de aplicación, intervalo de riego y lámina de reposición

Para el análisis de la EAP potencial se definieron las siguientes variables y sus respectivos niveles:

- ❖ Zona: 1, 2, 3, 4, 5, y 6 (corresponden a las zonas de riego del Río Mendoza).
- ❖ Estación: Invierno, Primavera y Verano
- ❖ Cultivo: Hortícolas (hortalizas y flores, con una profundidad de exploración radical de hasta 0,50 m) y Frutícolas (vid, frutales, olivo y alfalfa, cuyas raíces exploran de 0,80 a 1,30 m).
- ❖ Método de riego: Surcos con y sin desagüe al pie y melgas sin desagüe al pie.

Para el estudio de la Eficiencia potencial de riego teniendo en cuenta el balance salino se contó con la información proveniente de 4 estaciones meteorológicas a partir de las cuales se

determinó la evapotranspiración del cultivo de referencia para un intervalo mensual y para 10 años. 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 máxima de cada cultivo para un intervalo de tiempo mensual. A partir de ésta información se realizó un análisis de probabilidad de ocurrencia obteniendo los valores de evapotranspiración de cada cultivo para tres probabilidades: 20, 50 y 80% (Morábito y otros, 2001) que representan la probabilidad de satisfacer el requerimiento hídrico de los diferentes cultivos en el 20, 50 u 80 % de los años. Cabe mencionar que toda la zona de influencia del río Mendoza presenta suelos aluviales, donde se observan capas intercaladas de diferentes texturas, siendo las más frecuentes las siguientes: franco limoso, franco y franco arenoso. Sobre la base de los antecedentes recopilados de la zona en estudio se determinó la eficiencia de aplicación potencial de acuerdo a los componentes del balance salino, definiendo las siguientes variables y sus respectivos niveles.

- ❖ Estación meteorológica (figura 1): Chacras de Coria, Observatorio Parque General San Martín, Aeropuerto El Plumerillo y San Martín
- ❖ Cultivo: Vid, Duraznero (representativo de los frutales de carozo), Peral (ídem de los frutales de pepita), Olivo, Tomate (representativo de las hortalizas de verano), Ajo (ídem de las hortalizas de invierno), Alfalfa, Álamo y Espacios verdes
- ❖ Probabilidad de ocurrencia de la evapotranspiración: 20%, 50 % y 80 % correspondientes a años hidrológicos húmedos, medio y seco, respectivamente.
- ❖ Zona de riego (1 a 6) del río Mendoza: definidas por el Departamento General de Irrigación.
- ❖ Textura del suelo: Franco arenosa, Franca y Franco limosa

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

- ❖ Evapotranspiración: Máxima, 90% del valor máximo y 80% del valor máximo
- ❖ Precipitación: 50% del total, Efectiva y Cero
- ❖ CEes suelo final (después de un ciclo de riego): Igual a la CEes al inicio del ciclo de riego, 90% de la CEes inicial y 110% de la CEes inicial (10% más que la CEes inicial)
- ❖ CE agua de riego: Actual, 90% del valor actual y 110% del valor actual

## **RESULTADOS**

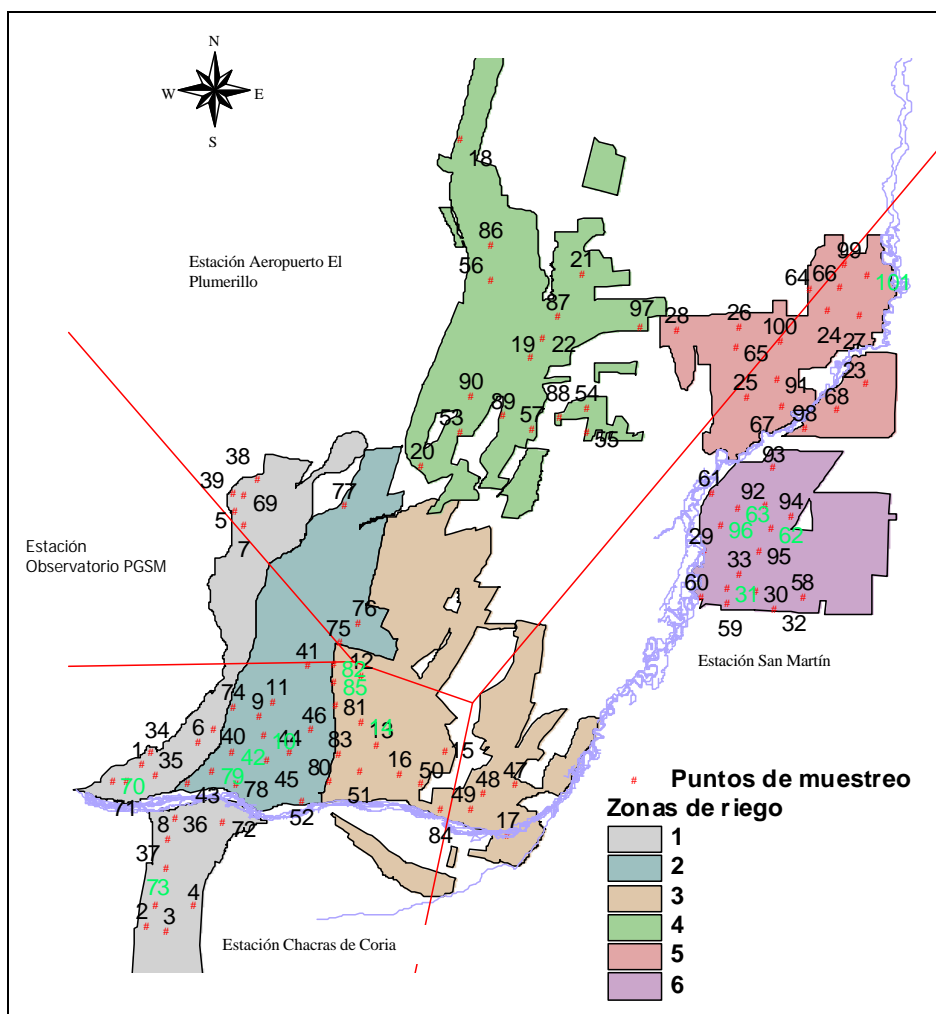
A continuación se presentan, sistematizados en diferentes cuadros, los datos obtenidos de las propiedades evaluadas en la zona de influencia del río Mendoza. Los cuadros 1 (a y b) presentan las evaluaciones realizadas desagregadas por estación, zona, cultivo y método de riego. La Figura 1 muestra un mapa del área sujeta a estudio en el cual han sido ubicadas las distintas propiedades evaluadas identificadas cada una con un número. Además han sido identificadas con diversos colores las distintas zonas de riego.

**Cuadro 1. Cantidad de evaluaciones desagregadas por estación, zona, cultivo y método de riego**

Variable		Estación			Total
		O-I	P	V	
Zona	1	8	7	5	20
	2	3	6	6	15
	3	6	6	6	18
	4	5	5	5	15
	5	6	5	6	17
	6	5	6	5	16
Cultivo	Hortícolas	10	9	5	24
	Frutícolas	23	26	28	77
Método de riego	Surcos c/d	12	11	11	34
	Surcos s/d	7	15	7	29
	Melgas s/d	14	9	15	38

**Cuadro 1b. Cantidad de evaluaciones desagregadas por zona, cultivo y método de riego**

Variable		Zona de riego						Total
		1	2	3	4	5	6	
Hortalizas	Surcos c/d	7	1	1	-	-	-	9
	Surcos s/d	-	1	3	6	-	4	14
	<b>Sub-Total</b>	7	2	4	6	-	4	23
Frutales	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
	<b>Sub-Total</b>	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
	<b>Sub-Total</b>	20	15	18	15	17	16	101



**Figura 1. Mapa del área de estudio, localización de las propiedades evaluadas y delimitación de los polígonos de Thiessen correspondientes a las distintas estaciones meteorológicas**

En el Cuadro 2 se presentan los valores medios y la desviación estándar de las láminas de reposición ( $dn$ ), lamina 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. Se indica también el tamaño de la muestra ( $n$ ). En todos los casos se aplicó análisis de la varianza de un criterio de clasificación. Se consideró un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Scheffé, debido a que es aplicable en el caso de diferente número de repeticiones por tratamiento. Letras iguales implica que no existe diferencia significativa entre las medias para el  $\alpha$  considerado.

Del análisis de los datos resumidos en el Cuadro 2 referidos a la lámina de reposición ( $dn$ ) se desprende que en los cultivos frutales se utilizan láminas de reposición mayores que en los hortícolas y que las láminas netas requeridas en primavera resultan inferiores a aquellas requeridas en verano pero no presenta diferencias respecto de otoño – invierno. Tampoco hay diferencias entre los otros dos períodos de estudio (otoño – invierno respecto a verano). No se incluyen las láminas netas por método de riego ya que no existe vinculación entre ambos.

Con respecto a la lámina bruta ( $db$ ) del análisis estadístico de los datos presentados surge que no existen diferencias entre las láminas aplicadas en los distintos períodos estudiados mientras que, éstas sí resultan diferentes según el método de riego utilizado, 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.

**Cuadro 2. Láminas de reposición (dn), lamina 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 (n indica el tamaño de la muestra y S la desviación estándar)**

VARIABLES		n	Láminas de riego (mm)									
			dn		db		dinf		dal		dper	
			Media	S	Media	S	Media	S	Media	S	Media	S
Estación	Invierno	33	64 ab	45	109 a	69	73 a	61	46 a	29	27 a	45
	Primavera	35	54 b	26	136 a	135	78 a	76	42 a	26	36 a	67
	Verano	33	86 a	40	103 a	60	81 a	62	53 a	31	28 a	48
Cultivo	Hortícolas	23	34 b	19	113 a	132	56 a	34	28 b	14	28 a	32
	Frutícolas	78	77 a	39	117 a	82	84 a	72	52 a	29	31 a	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 una misma letra indican que no son estadísticamente diferentes para un  $\alpha$  (0,05)

Con respecto a las láminas infiltradas (*dinf*) del análisis estadístico de los datos presentados en el Cuadro 2 se observa que no existen diferencias entre las láminas infiltradas en los distintos períodos estudiados, 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.

En referencia a la lámina almacenada (*dal*) el análisis estadístico de los datos presentados en el Cuadro 2 evidencia que la lámina almacenada en los cultivos frutícolas es mayor que los hortícolas. 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 presentan también en el Cuadro 2 los valores medios y la desviación estándar de las láminas percoladas por debajo de la rizósfera (*dper*). Del análisis estadístico de los datos presentados se observa que no existen diferencias en las láminas percoladas en los diferentes cultivos mientras que, sí existen diferencias cuando se comparan los métodos de riego. 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, estas 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).

El Cuadro 3 presenta los valores de eficiencias medidos en las evaluaciones realizadas en las distintas zonas; estaciones: otoño-invierno, primavera y verano; por cultivos y método de riego. Las eficiencias presentadas son: EAP: eficiencia de aplicación; EAL: eficiencia de almacenaje y EDI: eficiencia de distribución.

**Cuadro 3. Media, desviación estándar (S) y error de muestreo (B) de las EAP, EAL, EDI (expresadas en porcentaje) según zona, estación, cultivo, método de riego del área de influencia del río Mendoza**

VARIABLES		N	EFICIENCIAS DE RIEGO (%)								
			EAP			EAL			EDI		
			Media	S	±B	Media	S	±B	Media	S	±B
Zona de riego	1	20	40 a	26	11	76 b	27	12	95 a	6	3
	2	15	55 a	29	15	63 b	27	14	92 a	10	5
	3	18	60 a	34	16	79 b	24	11	85 a	17	8
	4	15	62 a	31	16	91 a	14	7	84 a	16	8
	5	17	71 a	26	12	90 ab	19	9	80 a	19	9
	6	16	70 a	29	14	89 ab	18	9	87 a	14	7
Estación	Invierno	33	55 a	29	10	84 a	24	8	88 a	12	4
	Primavera	35	56 a	33	11	87 a	20	7	90 a	14	5
	Verano	33	65 a	29	10	73 a	25	9	85 a	18	6
Cultivo	Hortícolas	23	47 b	33	13	86 a	23	9	91 a	9	4
	Frutícolas	78	62 a	29	6	80 a	24	5	86 a	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>

Como puede observarse en el Cuadro 3 la eficiencia de distribución interna 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 regadía 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 diferencias 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" (Figura 2) se observó que los frutícolas que, presentan una profundidad de exploración radical mayor, resultaron ser regados con una EAP sensiblemente mayor que los hortícolas. La situación contraria pudo ser observada al analizar las EAL y EDI. Del análisis de la variable "método de riego" (Figura 3) 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.

En el Cuadro 4 se muestran los datos de eficiencia agrupados por cultivos y por zonas de riego, las zonas 1 y 2 presentan bajos valores de EAP en ambos tipos de cultivo mientras que los valores de EDI resultan altos. En la zona 4 se maneja globalmente más eficiente el agua de riego en los cultivos de raíz poco profunda, mientras que en la zona 6 los cultivos frutícolas resultaron ser los mejores regados, es también destacable que este último tipo de cultivo es regado más eficientemente en la zona 6 que en el resto de las zonas del río Mendoza. Dada la escasa presencia de cultivos hortícolas en la zona 5, no han sido presentados datos de eficiencia de riego.

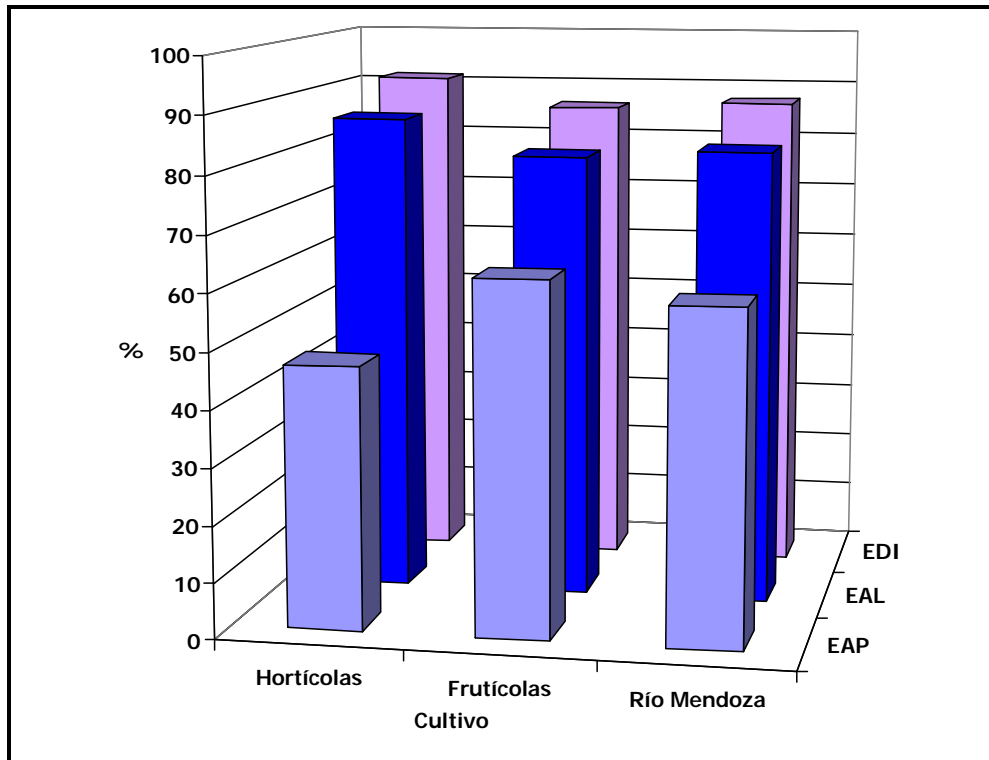


Figura 2. Eficiencias de riego media (EAP, EAL y EDI), expresadas en porcentaje, según tipo de cultivo y para todo el río Mendoza.

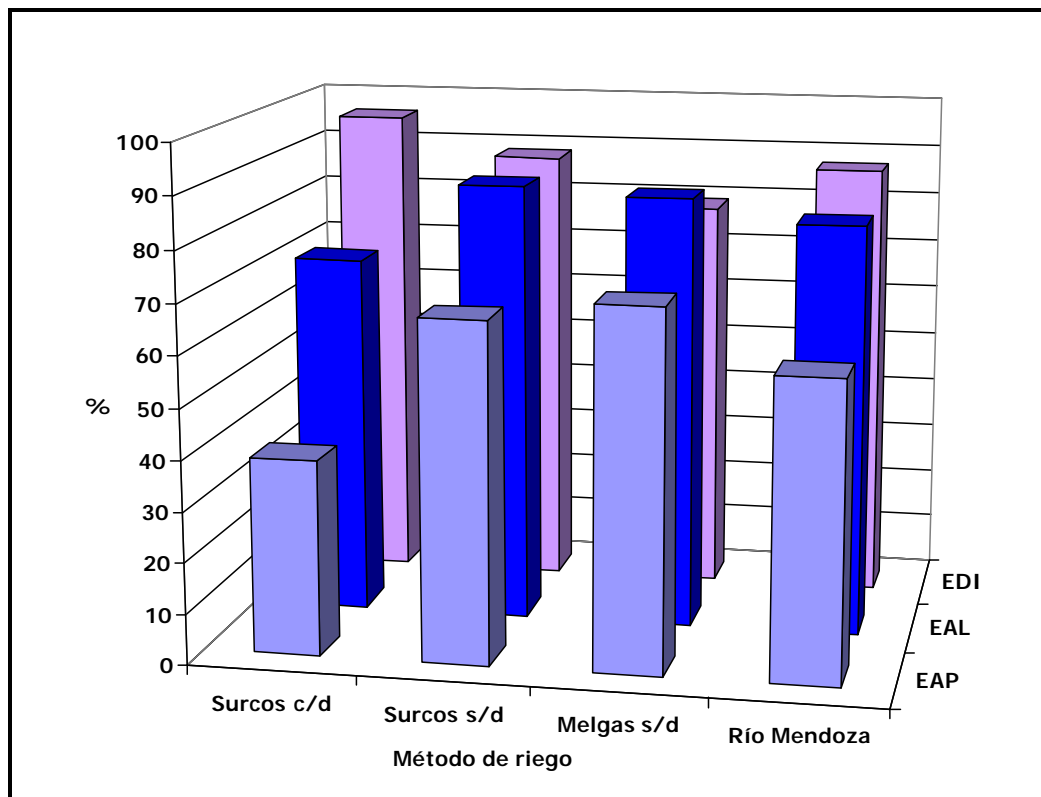


Figura 3. Eficiencias de riego media (EAP, EAL y EDI), expresadas en porcentaje, según el método de riego y para todo el río Mendoza.

**Cuadro 4. Eficiencias de riego media agrupadas por zona y según el cultivo para el área de riego del río Mendoza**

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

Como puede observarse el Cuadro 5 presenta los datos de eficiencia de riego agrupados por zona y método de riego. No existen diferencias entre las zonas 1, 2 y 3 para el método de riego surcos con desagüe. Resultó notable además que los métodos de riego sin desagüe evidenciaron altas EAP acompañadas de bajos valores de EDI, respecto a los métodos con desagüe. En la zona 2 solo se realizó para el método de riego surcos sin desagüe una evaluación, la misma presentó valores de EAP y EDI altos y EAL bajos (caso de subirrigación), es por lo tanto necesario que sea tenido en cuenta con mucha cautela en el momento de ser analizado ya que se trata de un dato único y no de un valor medio. Se destaca además, que en las zonas 4, 5 y 6 no se riega con desagüe al pie, dada la baja pendiente topográfica, la mayoría de las propiedades están sistematizadas para ser regadas sin desagüe.

**Cuadro 5. Eficiencias de riego media agrupadas por zona y según el método de riego para el área de riego del río Mendoza**

Método de riego	Eficiencia Media	Zona de riego					
		1	2	3	4	5	6
Surcos con desagüe	EAP (%)	37	44	34			
	EAL (%)	74	62	80			
	EDI (%)	96	95	97			
Surcos sin desagüe	EAP (%)		100	72	65	61	63
	EAL (%)		47	80	93	100	89
	EDI (%)		100	81	87	98	91
Melgas sin desagüe	EAP (%)	64	71	73	59	73	78
	EAL (%)	100	71	78	88	87	89
	EDI (%)	84	82	74	81	77	80

Como puede observarse en el Cuadro 6 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 interna del agua de riego, tanto para cultivos hortícolas como frutícolas. Se observa además una diferencia significativa en la EDI de surcos s/d respecto de melgas s/d.

**Cuadro 6. Eficiencias de riego media agrupadas según el método de riego, el tipo de cultivo para área de riego del río Mendoza**

Cultivo	Eficiencia Media	Método de riego		
		Surcos c/d	Surcos s/d	Melgas s/d
Hortícolas	EAP (%)	20	64	
	EAL (%)	85	87	
	EDI (%)	96	88	
Frutícolas	EAP (%)	45	70	71
	EAL (%)	66	88	86
	EDI (%)	96	89	79

El Cuadro 7 presenta el tamaño de la muestra para EAP, EAL y EDI en función del error de estimación (o de muestreo) para una confiabilidad del 95%. El error de estimación se fija como un porcentaje de la media:  $B = ((d * \text{media}) / 100)$ . Se ha considerado para el cálculo de  $n$  el valor de  $\hat{\sigma}$  que 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  $\hat{\sigma} = 15$  (Cuadro 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 < 4 %. El Cuadro 7 permite planificar el tamaño de muestra adecuado para la precisión deseada en futuras evaluaciones de eficiencia de riego en el área regada por el río Mendoza.

**Cuadro 7. Variación del error de estimación como porcentaje de la media en función del tamaño de muestra para EAP, EAL y EDI, ( $1 - \alpha = 0,95$ )**

Tamaño de muestra (n)			Error de estimación con respecto a la media (%)
EAP	EAL	EDI	
10606	3373	1142	1
424	135	46	5
189	60	20	7,5
106	34	11	10
68	22	7	12,5
47	15	5	15
35	11	4	17,5
27	8	3	20
17	5	2	25
12	4	1	30

En el Cuadro 8 se presentan los valores potenciales de eficiencia de riego obtenidos con el modelo SIRMOD, agrupados por zona, estación, cultivo y método de riego.

**Cuadro 8. EAP<sub>M</sub> según zona de riego, estación del año, tipo de cultivo y método de riego**

VARIABLES		n	EAP manejo (%)	
			Media	S
Zona de riego	1	20	66 b	16
	2	15	75 ab	13
	3	18	82 a	15
	4	15	82 a	10
	5	17	86 a	7
	6	16	86 a	12
Estación	Invierno	33	78 a	14
	Primavera	35	81 a	17
	Verano	33	78 a	13
Cultivo	Hortícolas	23	72 b	18
	Frutícolas	78	81 a	12
Método de riego	Surcos c/d	33	66 b	13
	Surcos s/d	29	85 a	14
	Melgas s/d	39	86 a	8
<b>Río Mendoza</b>		<b>101</b>	<b>79</b>	<b>14.4</b>

La EAP<sub>M</sub> media del área de estudio resultó ser del 79% y como puede observarse en el Cuadro 8, existen diferencias 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.

Como se observa en los cuadros 9-a y 9-b, 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, estaciones meteorológicas, texturas del suelo, 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 aplicada para riego.

Considerando los factores que afectan a la EAP<sub>S</sub>, y calculando las diferencias entre las medias máxima y mínima dentro de cada factor, éstos se han listado según la magnitud de la mencionada diferencia, lo que representa la importancia de dicha variable sobre la EAP: Zona de riego (11 %), CE es suelo final (8 %), CE agua de riego (6 %), Textura del suelo (4 %) y Estación meteorológica (3 %).

Cabe recordar que los distintos niveles de CEes suelo y CEagua corresponden a su valor central (actual)  $\pm 10\%$ , es decir, que frente a un cambio del 10 % en el valor medio de estos factores se produce una variación máxima en la EAP<sub>S</sub> de 8 % y 6 % respectivamente.

**Cuadro 9-a. Eficiencias de aplicación potenciales medias (expresadas en porcentaje  $\pm$  desviación estándar) considerando el balance salino de cada una de las variables analizadas**

Cultivo		Zona de riego *		Estación meteorológica *		Textura de suelo *	
Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media
Vid	63 $\pm$ 6,3	1	61 $\pm$ 4,5	Chacras de Coria	64 $\pm$ 5,0	Franco arenoso	65 $\pm$ 5,3
Duraznero	63 $\pm$ 5,9	2	65 $\pm$ 4,4	Observatorio Parque GSM	63 $\pm$ 4,9	Franco	63 $\pm$ 5,5
Peral	63 $\pm$ 5,9	3	66 $\pm$ 4,3	Aeropuerto El Plumerillo	63 $\pm$ 6,1	Franco limoso	61 $\pm$ 5,8
Olivo	63 $\pm$ 5,7	4	67 $\pm$ 4,2	San Martín	61 $\pm$ 6,1		
Tomate	63 $\pm$ 5,6	5	56 $\pm$ 4,5				
Ajo	63 $\pm$ 5,6	6	61 $\pm$ 4,3				
Alfalfa	63 $\pm$ 6,0						
Álamo	63 $\pm$ 5,6						
Espacios verdes	63 $\pm$ 5,3						

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

**Cuadro 9-b. Eficiencias de aplicación potenciales medias (expresadas en porcentaje  $\pm$  desviación estándar) considerando el balance salino de cada una de las variables analizadas**

Evapotranspiración		Precipitación		Probabilidad de ocurrencia		CE <sub>es</sub> final *		CE <sub>agua</sub> *	
Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media
Máxima	63 $\pm$ 5,7	50 % del total	63 $\pm$ 5,7	20%	63 $\pm$ 5,7	CE <sub>es</sub> inicial	63 $\pm$ 4,9	CE <sub>agua</sub> actual	63 $\pm$ 5,2
90 % de la máxima	63 $\pm$ 5,8	Efectiva	63 $\pm$ 5,8	50%	63 $\pm$ 5,8	90 % de CE <sub>es</sub> inicial	59 $\pm$ 4,9	90 % de CE <sub>agua</sub> actual	66 $\pm$ 5,0
80 % de la máxima	63 $\pm$ 5,9	Cero	63 $\pm$ 5,9	80%	63 $\pm$ 6,1	110 % de CE <sub>es</sub> inicial	67 $\pm$ 4,9	110 % de CE <sub>agua</sub> actual	60 $\pm$ 5,4

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

Los Cuadros 10 y 11 muestran 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. En las mismas se observa que la variable respuesta no presenta diferencias entre el análisis zonal respecto al global.

**Cuadro 10. EAP<sub>s</sub> media (expresada en porcentaje) por zona de riego y según CE<sub>es</sub>suelo final del área de influencia del río Mendoza**

Zona de riego	CE <sub>es</sub> final			Diferencia máxima
	Igual a CE <sub>es</sub> inicial	90 % de CE <sub>es</sub> inicial	110 % de CE <sub>es</sub> inicial	
1	61	57	65	8
2	65	61	69	8
3	66	62	70	8
4	67	63	71	8
5	56	52	59	7
6	61	58	65	7
<b>Diferencia máxima</b>	11	11	12	-

**Cuadro 11. EAP<sub>s</sub> media (expresada en porcentaje) por zona de riego y según CE<sub>agua</sub> de riego del área de influencia del río Mendoza**

Zona de riego	CE agua			Diferencia máxima
	Igual a CE <sub>agua</sub> actual	90 % CE <sub>agua</sub> actual	110 % CE <sub>agua</sub> actual	
1	61	64	58	6
2	65	68	62	6
3	66	69	63	6
4	67	70	64	6
5	56	59	52	7
6	61	64	58	6
<b>Diferencia máxima</b>	11	11	12	-

El Cuadro 12 muestra los valores ponderados zonales de conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para obtener 90 y 100 % de producción, con relación a la célula de cultivo y a los umbrales propios de cada cultivo. Es decir, indica los niveles de salinidad máximos posibles de encontrar en el suelo correspondiente con los rendimientos. Además, se observa la magnitud de la variación (%) de esos umbrales respecto a la CE<sub>es</sub> actual.

Excepto la zona 1, todas las demás zonas poseen una conductividad media que no les permite llegar al 100 % de la producción, según Maas-Hoffman, y sobre la base de los cultivos presentes en ellas. En general la producción actual se encuentra entre el 90 y el 100% de la 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 actualidad son mucho más bajos que los potenciales del cultivo.

En el Cuadro 13 se observan los valores de eficiencia de aplicación potencial por salinidad según zona, correspondientes a los umbrales de 90 y 100 % de la producción de los cultivos.

**Cuadro 12. Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo correspondiente al 90 y 100 % de producción del cultivo, ponderada por zona según la proporción de cada cultivo en cada una de ellas y variación de la  $CE_{es}$  umbrales respecto a la  $CE_{es}$  actual**

Zona de riego	$CE_{es}$ ponderado ( $dS\ m^{-1}$ )			Variación respecto a $CE_{es}$ actual (%)		
	90%	100%	100%	90%	100%	100%
	MaasHoffman	MaasHoffman	Nijensohn	MaasHoffman	MaasHoffman	Nijensohn
1	3,01	1,88	3,68	66	4	103
2	2,84	1,85	3,73	38	-10	81
3	2,71	1,80	3,59	27	-15	68
4	2,65	1,72	3,46	-30	-55	-9
5	2,63	1,63	3,54	38	-14	86
6	2,65	1,71	3,59	44	-7	96

**Cuadro 13.  $EAP_s$  media (expresada en porcentaje) por zona de riego y según  $CE_{esf}$  del área de influencia del río Mendoza**

Zona de riego	$EAP_s$ (%)		
	$CE_{es}$ 90 %	$CE_{es}$ 100 %	$CE_{es}$ 100 % Nijensohn
	MaasHoffman	MaasHoffman	
1	81	61	95
2	81	61	94
3	79	60	91
4	57	43	63
5	69	52	85
6	76	58	92
<b>Río Mendoza</b>	76	58	90

La Figura 4 resume gráficamente los valores de eficiencia de aplicación medida a 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. Se mencionan entonces:

EAP Actual: eficiencia de aplicación calculada por el modelo Sirmod, corresponde al valor actual medido a campo

EAP BalSal: eficiencia de aplicación potencial calculada según un requerimiento de lixiviación, con el objetivo de mantener constante -en el nivel actual- el contenido de sales en la rizósfera y con relación a la concentración salina del agua de riego superficial.

EAP 90%MH: eficiencia de aplicación potencial correspondiente a un contenido de sales en el suelo explorado por las raíces que asegure una producción del 90 % del máximo de los cultivos, según Maas – Hoffman.

EAP Manejo: eficiencia de aplicación factible de lograr si se modifican las variables de manejo del método de riego.

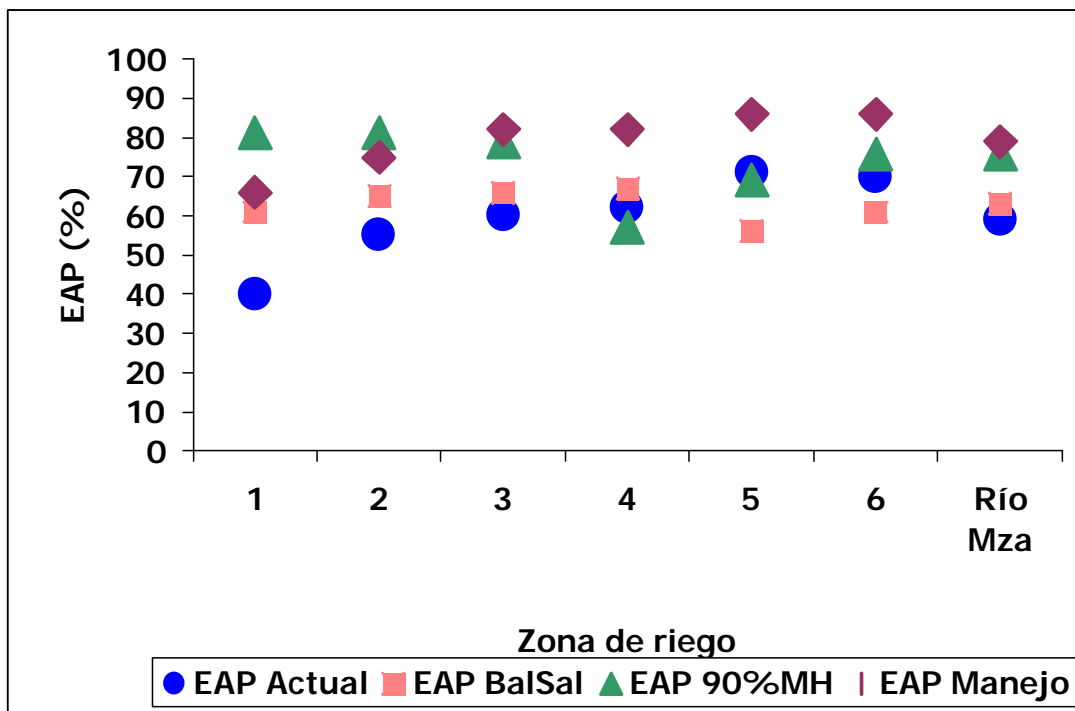


Figura 4. Eficiencia de aplicación actual (EAP Sirmod) y eficiencias de aplicación potenciales en las distintas zonas de riego del río Mendoza

La EAP BalSal apunta a asegurar el balance salino actual en cada una de las zonas mencionadas. Es decir, cada zona tiene actualmente un valor medio de salinidad en la rizósfera, obtenida por muestreo y que es una consecuencia de la calidad del agua de riego y de la lámina de agua percolada que atraviesa el perfil del suelo de acuerdo a las eficiencias de riego medidas.

La EAP 90%MH en cambio se ha obtenido apuntando a asegurar un valor medio de salinidad en la rizósfera que asegure el 90% de la producción máxima para los cultivos de la zona. Por último la EAP<sub>M</sub>, corresponde a la máxima eficiencia que se podría lograr si se optimiza el manejo del agua en la parcela regada.

En las zonas 1, 2 y 3 la máxima eficiencia de aplicación está determinada por aceptar un mayor nivel de salinidad en la rizósfera que aseguraría una producción del 90% según Maas y Hoffman, sin embargo ésta estaría limitada por el método de riego. En la zona 3 los dos (2) 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.

A nivel de oasis, la eficiencia de riego actual es coincidente con la que asegura el balance salino medido (EAP Actual = EAP BalSal) y está próxima al 61%. Mientras que la EAP potencial medida como alcanzable para asegurar el 90% de la producción y la EAP factible de alcanzar con un adecuado manejo del riego, (EAP 90% MH = EAP<sub>M</sub>) supera el 70%. El Cuadro 14 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.

**Cuadro 14. Eficiencias de aplicación potenciales factibles de alcanzar en cada una de las zonas de riego del río Mendoza y del oasis**

Zona	Eficiencia de aplicación actual	Eficiencia de aplicación potencial aconsejada
1	40	61 – 66
2	55	65 – 75
3	60	66 – 79
4	62	65
5	71	71
6	70	70
Oasis	59	66 – 71 (69)

## DISCUSIÓN

En lo que respecta a las láminas de reposición resulta lógico que los frutales -con mayor requerimiento hídrico e intervalos de riego más largos- generen láminas de reposición mayores que las hortalizas. También se observa con claridad que los surcos sin pendiente permiten aplicar lámina brutas más pequeñas y que los surcos con desagüe al pie producen láminas infiltradas, almacenadas y percoladas menores que los otros dos métodos de riego, esto se evidencia en las eficiencias de aplicación que alcanzan.

Los métodos de riego sin desagüe al pie resultaron mucho más eficientes en la aplicación y almacenaje del agua respecto a aquel con desagüe. Sin embargo éste último presenta una eficiencia de distribución mayor debida a las cortas longitudes y a los largos tiempo de riego.

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) pero esto no se logra en este caso, pues poseen una pequeña pendiente en el sentido del riego.

Los frutales que, presentan una profundidad de exploración radical mayor, resultaron ser regados con una EAP sensiblemente superior respecto a los hortícolas. 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 única excepción se observó en la zona 4 donde la EAP medida fue ligeramente más alta en los cultivos de raíz poco profunda.

Otro aspecto que merece ser analizado es el referido a los volúmenes escurridos fuera de las propiedades. Se calcularon las relaciones  $V_{inf}/V_{en}$  que representa la fracción infiltrada en la propiedad respecto de la entrada, el complemento de dicha relación representa la fracción escurrida. Resultan de interés los valores obtenidos en la zona alta del área regadía, donde predominan los métodos de riego con desagüe, alcanzando valores máximos medios de 43, 28 y 9% para las

zonas 1, 2 y 3 respectivamente. Si se implementaran las recomendaciones generales (mencionadas más adelante, en este trabajo) para alcanzar las eficiencias potenciales en las propiedades de esas zonas se reduciría dicho escurrimiento a valores de 22, 11 y 8% respectivamente.

Los valores potenciales de eficiencia de riego para cada una de las propiedades evaluadas, si bien se manifiestan mayores que las actuales, bajo ningún concepto representan el óptimo alcanzable dado que son difíciles de implementar, ya sea por falencias propias del agricultor o por falta de coordinación entre la oportunidad de riego (relacionada con la lámina de reposición, el umbral de riego y la evapotranspiración del cultivo) y la entrega del agua a la propiedad (igual para todo tipo de cultivos, para todas las texturas de suelo, etc.). Es decir una falta de coordinación entre el momento oportuno de riego y la efectiva disponibilidad del agua de turno.

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 (citado por Pizarro 1996) 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  $EAP_S$  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  $EAP_S$  en las zonas 1, 2, 3, 5 y 6, sin embargo en la zona 4, todavía debería disminuirse la  $EAP_S$  un 10 % para obtener 90% de producción. Una tercera situación sería aquella que se produciría si se consideraran los umbrales propuestos por Vallone y Nijensohn (2002), que tienen en cuenta la salinidad efectiva calculada en función de las características yesosas del suelo y agua de la cuenca estudiada. Es así que para la cuenca del río Mendoza fija umbrales de salinidad mayores que los de Maas - Hoffman para alcanzar el mismo nivel productivo (100%). Así pues sería viable aumentar la  $EAP_S$  entre 25 y 34 % en las zonas 1, 2, 3, 5, y 6 pero la zona 4 aún así debería disminuirla en un 4 %.

Es interesante observar cómo para toda el área regada por el río Mendoza hay concordancia entre la EAP medida (59%) y la EAP calculada para mantener el balance salino del oasis similar al actual (61%). Esta concordancia no existe cuando el análisis se realiza en cada una de las zonas. Se observa que las EAP medidas en las zonas 1, 2 y 3 son menores que las calculadas como objetivo para mantener el balance salino actual EAPs, ello se debe a que parte del agua perdida (ineficiencia) escurre superficialmente y no atraviesa el perfil del suelo (no contribuye con el mantenimiento del balance salino). Mientras que en las zonas 5 y 6 la situación es a la inversa, probablemente debido a un aporte de sales en la zona de raíces, ya sea proveniente del ascenso de capas freáticas próximas a la superficie como al riego complementario con agua subterránea de inferior calidad.

## CONCLUSIONES

Los surcos sin desagüe al pie logran aplicar láminas brutas (76 mm) menores que los otros dos métodos (50 % de las registradas en surcos con desagüe y 65 % de las aplicadas con melgas). Las melgas sin desagüe al pie producen las mayores láminas percoladas: 47 mm respecto a 34 mm en los surcos sin desagüe y a 8 mm en los surcos con desagüe.

Considerando las variables analizadas en el presente estudio se puede concluir que a la **EAP** media del área del río Mendoza le corresponde la calificación de desempeño "Mala" 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. En el caso de los tipos de cultivo los frutales presentan una eficiencia de aplicación más alta que las hortalizas en un 15%. El factor que más influye en la variación de la **EAP** es la “zona de riego”, por cuanto está definido por las variables conductividad eléctrica del suelo y calidad del agua aplicada

En cuanto respecta a la **EAL** media (81%) del área del río Mendoza le corresponde la calificación de desempeño “Satisfactoria”, por estar comprendida entre los límites 80 y 90%. 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 **EDI** media (87%) del área del río Mendoza le corresponde la calificación de desempeño “Satisfactoria” y sólo resultan con diferencias significativas las melgas respecto de los surcos, mientras que para el resto de las variables no existen diferencias significativas.

La precisión del muestreo realizado para determinar las eficiencias de riego en la zona de influencia del río Mendoza (número de muestras estudiadas 101), resulta en porcentaje respecto de la media del 10%, valores que pueden ser considerados satisfactorios para éste estudio. Éste análisis de precisión de muestreo permite fijar una base de partida para posteriores estudios de este tipo sobre la cuenca del río Mendoza.

Las eficiencias de aplicación potenciales resultan 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 asegurare una producción superior al 90% de la potencial. Para las zonas 5 y 6 la eficiencia potencial sería del 70%, la cual coincide con lo medido actualmente y asegura una producción próxima al 90% de la producción potencial de los cultivos. La zona 4 presenta la particularidad de tener una EAP potencial -según el balance salino- muy próximas a la medida actualmente (65%) 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 medida en el campo que es del 59 %. Sin embargo, si se deseara obtener el máximo rendimiento de los cultivos (según Maas-Hoffman), 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%.

## **RECOMENDACIONES GENERALES CON EL FIN DE ALCANZAR LAS EFICIENCIAS POTENCIALES DE MANEJO**

Resulta muy difícil dar recomendaciones generales, sobre todo por las particularidades de cada propiedad y del manejo del agua que realiza cada productor. No obstante ello se pretende indicar las principales causas de ineficiencias que están vinculadas al método de riego, la estrategia a seguir y los mecanismos a implementar. Los agricultores y los técnicos deberán ajustar los mecanismos a la particularidad que les toque resolver.

En general los métodos de riego con desagüe se observan en las zonas 1, 2 y en menor medida en la zona 3. Estas zonas también 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 de riego. Por lo tanto, la estrategia a seguir es: reducir el volumen de agua escurrido al pie y asegurar el mojado del suelo en la rizósfera. La recomendación se centra en general en reducir el caudal unitario (regar un mayor número de surcos simultáneamente) incluso usar la técnica de manejo de dos caudales (caudal de avance mayor que el segundo caudal o caudal de infiltración), 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. Para cumplimentar esto último el técnico responsable deberá tomar muestras de suelo en cabeza, medio y pie de la unidad de riego y a distintas profundidades, antes y después de haber regado. También se pueden realizar calicatas (2 ó 3 días después de haber regado) para verificar si se ha mojado menos, igual o más que la profundidad efectiva de raíces. Estas dos últimas actividades contribuirán a definir con precisión el tiempo de aplicación que se debería usar. 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 (aumento 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 (1, 2 y 3) pero en menor medida. El mayor problema 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 más sueltos, la presencia de capas poco permeables a distintas profundidades hace que –en la mayoría de las situaciones- la velocidad de infiltración no sea alta. Por otro lado, si bien se riega sin desagüe, en realidad hay cierta pendiente en el sentido del riego, ello determina una tendencia a acumular agua al pie, reduciendo las eficiencias de distribución parcelaria y la de aplicación. Esto determina una mayor variabilidad salina en el perfil del suelo a lo largo de la unidad de riego y sobre todo un alto valor de salinidad edáfica en la cabeza 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. Por ello la principal recomendación consiste en lograr una adecuada nivelación longitudinal de la unidad de riego, sobre todo si la velocidad de infiltración del suelo es baja. Los tiempos de aplicación deberían ser más bajos en otoño, invierno y primavera (reducción del 20%) 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, sobre todo en la zona 4 y en aquellas propiedades que normalmente presentan problemas de salinidad o cuando la freática está muy cerca de la superficie (importancia de un adecuado mantenimiento de la red de drenaje). Puntualmente se han observado bajas eficiencias de conducción interna, sobre todo en propiedades con suelos arenosos y sin la presencia de capas de baja velocidad de infiltración cerca de la superficie.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avellaneda, M. O.** (1990) *“Química de las aguas de uso agrícola. Aguas de riego, evaluación de su factibilidad de uso. Apuntes oficiales”*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot** (1976) *Water quality for Agriculture*. FAO. Irrigation and Drainage Paper # 29. Rome, Italy.

- Chambouleyron J** (1977). *Evaluación de la eficiencia de uso del agua de riego a nivel zonal*. INCyTH – CRA, Mendoza – Argentina (18 pp).
- Chambouleyron, J. y J. Morábito** (1982) “*Evaluación del riego en fincas*”. INCyTH-CRA. Mendoza. Argentina.
- Chambouleyron, J., M. Menenti, L. Fornero, J. Morábito, y L. Stefanini**. (1982). “*Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego*”. INCyTH – IILA. Roma. Italia.
- Chambouleyron, J., S. Salatino, J. Morábito y L. Fornero** (1993) “*Diseval: modelo para el diseño y evaluación del riego por superficie. Diseval: A model for the design and evaluation of surface irrigation*”. Presentado en el Workshop of Crop Models, en el Congreso Mundial de Riego y Drenaje. La Haya. Holanda.
- 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 – UNCuyo 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) (Primera impresión 1988). “*Fundamentos del riego*”. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). 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.
- Merriam J. and J. Keller** (1978) *Farm Irrigation system evaluation: A guide for management*. Department of Agriculture and Irrigation Engineering. Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Mirábile, C.** (1987) “*Manual de uso Modelo BALANSAL. Modelo Hídrico Salino de Suelos Regados*”. Departamento Riego y Drenaje – Centro Regional Andino – Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas. Mendoza. Argentina.
- Morábito, J. A.** (1997) *El riego en el mundo, Argentina y Mendoza*. Publicación interna INA - CRA.
- 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, 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.
- Morábito, J.A.; C. Mirábile, S. Salatino; P Pizzuolo; F. Tozzi, R. Luqui, P. Pérez, G. Lucero, D. Tozzi, C. Lucero, L. Sardá, A. Tozzi** (2002) “*Evaluación de la eficiencia actual del uso del agua*”. 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.
- Pizarro, F.** (1996) “*Riegos localizados de alta frecuencia*”. 3ª Edición. Ed. Mundi Prensa. España.
- Romanella C.** (1957) “*Los suelos de la región del río Mendoza*”. *Boletín de estudios geográficos*. Volumen IV. Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- Salatino, S.** (1985) “*Parámetros de diseño del río Tunuyán medio e inferior*”. En XII Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

**USDA** (1954) *Manual de diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos*. Manual de Agricultura N° 60. USA.

**Vallone, R.y L. Nijensohn** (2002) “*Guía de orientación para regantes de zonas áridas. Con énfasis en el manejo del agua en áreas salinas*”. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

**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. Pág. 59 – 100. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). The Netherlands.

**Walker, R.** (2003) “*Simulación, diseño y evaluación de riego por superficie. Guía del curso y documentación técnica*”. Utah State University. Logan, Utah, USA.

**Walker, R. and Skogerboe** (1987) “*Surface Irrigation Theory and Practice*”. Utah State University. Ed. Prentice – Eficiencia de riego interna (ERI) por zona de riego para cada una de las estaciones del año y el valor medio anual para los ciclos agrícola 1973/74 Hall.