



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE

*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*

por

José Antonio Morábito

TESIS

para optar al grado de Magister Scientiae

Comité asesor

Director Profesor Dr. Jorge Luis Chambouleyron

Asesores Profesor Dr. León Nijensohn y Profesora Ing. Agr. Graciela E. Fasciolo

INDICE

1. RESUMEN	1
ABSTRACT	4
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. Eficiencia de riego	8
2.2. Velocidad de infiltración del agua en el suelo	11
2.3. Avance del frente del agua sobre la superficie del suelo	13
2.4. Geometría de los surcos	14
2.5. Modelos de diseño y evaluación de riego por escurrimiento superficial	16
3. HIPOTESIS DE TRABAJO	18
4. OBJETIVOS	18
5. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1. Modelos matemáticos de simulación y evaluación de la eficiencia de riego	21
5.2. Cálculo de las láminas de riego	21
5.3. Cálculo de las eficiencias de riego	22
5.3.1. Variación de la eficiencia de riego	22
5.3.2. Planificación del tamaño de la muestra de las eficiencias de riego	22
5.4. Análisis de la salinidad del suelo	23
5.4.1. Evaluación de la respuesta de la salinidad del suelo a diferentes factores	23
5.5. Relación entre la salinidad del perfil del suelo y la eficiencia de riego	23
5.6. Análisis de la variación de la salinidad del agua de riego superficial en las distintas zonas de riego	24
5.7. Eficiencia de riego potencial	24
5.7.1. Eficiencias de riego potenciales según el manejo del método de riego	24
5.7.2. Componentes del balance salino que afectan la eficiencia de aplicación potencial	25
6. RESULTADOS	27
6.1. Evaluaciones realizadas, fechas, cultivos y método de riego	28
6.2. Láminas de riego	30
6.2.1. Análisis de las láminas de riego	35
VARIABLES	36
6.3. Parámetros físicos y de manejo	37
6.3.1. Infiltración	40

6.3.2. Avance	42
6.3.3. Geometría del surco	43
6.3.4. Caudal de manejo y unitario	45
CAUDALES	45
6.3.5. Pendiente longitudinal, tiempo de aplicación y número de surcos o melgas regados simultáneamente	45
VARIABLES	46
6.3.6. Longitud de surcos y melgas	46
VARIABLES	46
6.4. Eficiencias de riego medidas	46
6.4.1. Eficiencia de riego	50
EFICIENCIAS DE RIEGO (%)	50
6.4.2. Planificación del tamaño de la muestra (n)	55
6.5. Análisis de la salinidad en la rizósfera del área regada	56
6.5.1. Planificación del tamaño de la muestra (n)	60
6.6. Relación CEes del perfil del suelo y la eficiencia de riego	60
6.7. Variación de la salinidad del agua de riego superficial en las distintas zonas de riego	61
6.8. Eficiencia de riego potencial	64
6.8.1. Eficiencia de riego potencial según el manejo del método de riego	64
VARIABLES	68
6.8.2. Eficiencias de aplicación potenciales considerando el balance salino	70
6.8.3. Comparación entre eficiencias de aplicación potenciales obtenidas por diferentes métodos	74
7. DISCUSIÓN	76
8. CONCLUSIONES	79
9. RECOMENDACIONES GENERALES CON EL FIN DE ALCANZAR LAS EFICIENCIAS POTENCIALES DE MANEJO	81
9.1. Métodos de riego con desagüe	81
9.2. Métodos de riego sin desagüe	81
10. BIBLIOGRAFÍA	82
11. ANEXO	86
11.1. Propiedades agrupadas según el período de evaluación	86
11.2. Componentes del balance salino que afectan la eficiencia de aplicación potencial	89

LISTA DE ABREVIATURAS

<i>a</i>	coeficiente que representa la velocidad de infiltración a $t = 1$ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-(1+b)}$)
<i>a</i>	parámetro empírico de la ecuación de infiltración de K-L
<i>A</i>	área de la sección transversal del frente de agua (m^2)
<i>Ao</i>	área de la sección transversal del frente de agua en cabecera (m^2)
<i>a₁</i> y <i>a₂</i>	parámetros de ajuste de las funciones exponenciales empíricas que se establecen entre el ancho superior (<i>T</i>) del surco en función del tirante de agua (<i>y</i>)
<i>b</i>	Exponente de velocidad de infiltración, siempre con valores entre 0 a -1.
<i>c</i>	cantidad de agua almacenada en grietas del suelo una vez iniciado el riego ($\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$)
<i>C1</i> y <i>C2</i>	coeficientes relacionados con la ecuación de balance de volúmenes de Walker con desagüe
<i>c/D</i>	
<i>CE_{agua}</i>	conductividad eléctrica del agua de riego en dS m^{-1} a 25°C
<i>CE</i>	Conductividad Eléctrica en dS m^{-1} a 25°C
<i>Cees</i>	Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación del suelo en dS m^{-1} a 25°C
<i>CE_{esf}</i>	Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación del suelo final en dS m^{-1} a 25°C
<i>CE_{esi}</i>	Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación del suelo inicial en dS m^{-1} a 25°C
<i>CV</i>	coeficiente de variación de la <i>CEes</i> para las dos profundidades de suelo y las tres ubicaciones dentro de la parcela
<i>CV1</i>	coeficiente de variación de la <i>CEes</i> del primer estrato de suelo para todas las ubicaciones dentro de cada parcela
<i>CV2</i>	coeficiente de variación de la <i>CEes</i> del segundo estrato de suelo para todas las ubicaciones dentro de cada parcela
<i>d</i>	lámina infiltrada en un punto del perfil (o recibida en un pluviómetro, en caso de aspersión)
\bar{d}	lámina infiltrada promedio en todo el perfil (o promedio de pluviómetros en aspersión)
$\bar{d}^{-1/4}$	lámina infiltrada promedio del cuarto más perjudicado (o promedio de pluviómetros del cuarto más perjudicado en caso de riego por aspersión)
<i>D</i>	profundidad de suelo explorado por las raíces (mm)
<i>dal</i>	lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo (mm)
<i>db</i>	lámina bruta (mm)
<i>de</i>	lámina escurrida al pie de la parcela de riego (mm)
<i>dinf</i>	lámina infiltrada en el perfil del suelo regado (mm)
<i>dper</i>	lámina percolada (mm)
<i>dr</i>	lámina de reposición (mm)
<i>dropt</i>	lámina de reposición óptima (mm)
<i>EAL</i>	eficiencia de almacenaje (%)
<i>EAP</i>	eficiencia de aplicación (%)
<i>EAP_{90%}</i>	eficiencia de aplicación potencial según contenido de sales en la rizósfera que asegure una producción del 90% del máximo del cultivo, según Maas Hoffman (%)
<i>EAP_{BalSal}</i>	eficiencia de aplicación potencial según el requerimiento de lixiviación (%)
<i>EAP_M</i>	eficiencia de aplicación según manejo (%)
<i>EAP_S</i>	eficiencia de aplicación potencial según contenido de sales en la rizósfera que asegure

	una producción del máximo del cultivo, según Maas Hoffman (%)
<i>ECI</i>	eficiencia de conducción interna (%)
<i>EDI</i>	eficiencia de distribución (%)
<i>EDIa</i>	eficiencia de distribución absoluta (%)
<i>Ep</i>	porcentaje de escurrimiento al pie
<i>ER</i>	eficiencia de riego
<i>ERFIN</i>	modelo de eficiencia de riego en finca
<i>ERI</i>	eficiencia de riego interna (%)
<i>ETc</i>	evapotranspiración del cultivo (mm año ⁻¹)
<i>f</i>	eficiencia de lavado (fracción)
<i>fo</i>	velocidad de infiltración básica en unidades de volumen, longitud y tiempo (m ³ /m/min)
<i>F</i>	número de Froude
γ_1 y γ_2	parámetros de ajuste de las funciones exponenciales empíricas que se establecen entre el perímetro mojado (WP) en función del tirante (y)
<i>g</i>	aceleración de la gravedad (9,81 m s ⁻²)
<i>G</i>	grupo de trabajo
<i>i</i>	intervalo de tiempo considerado
<i>I</i>	velocidad de infiltración (mm/minuto o mm/hora)
<i>I_{cum}</i>	infiltración acumulada en un tiempo t (mm)
<i>k</i>	coeficiente empírico de la ecuación de infiltración de Kostiakov - Lewis
<i>Kc</i>	coeficiente de cultivo
<i>M</i>	melgas
<i>n</i>	número de láminas consideradas en el perfil (número de láminas medidas en pluviómetros)
<i>n</i>	coeficiente de rugosidad de Manning
<i>O</i>	numero de orden de la evaluación
<i>p</i>	coeficiente empírico que representa la distancia que avanza el frente de agua en el primer minuto
<i>PEA</i>	peso específica aparente (g cm ⁻³)
<i>pp</i>	precipitaciones (mm año ⁻¹)
<i>Pp</i>	porcentaje de percolación profunda
ρ_1 y ρ_2	parámetros de ajuste de las funciones exponenciales empíricas que se establecen entre el área (A) y el radio hidráulico (R) del surco en función del tirante de agua (y)
<i>Q</i>	caudal (m ³ s ⁻¹ - L s ⁻¹ - m ³ /min)
<i>Qm</i>	caudal de manejo (L s ⁻¹)
<i>Qo</i>	caudal de entrada al surco y/o melga por unidad de tiempo (m ³ /min)
<i>qu</i>	caudal unitario (sucos = L s ⁻¹) (melgas L s ⁻¹ m ⁻¹)
<i>r</i>	exponente empírico de la ecuación de avance cuyo valor es menor que 1
<i>R</i>	radio hidráulico (m)
<i>s/D</i>	sin desagüe
<i>s</i>	Exponente del caudal unitario en la ecuación de avance
<i>S</i>	Desviación típica muestral o surcos
σ_y	factor de forma de almacenaje superficial, asume valores desde 0,70 a 0,80 (0,77)

σ_1 y σ_2	parámetros de ajuste de las funciones exponenciales empíricas que se establecen entre el área del frente del flujo (A) en función del tirante de agua (y)
σ	desviación típica de la población
$\bar{\sigma}$ o S	desviación típica muestral como estimador de la desviación típica poblacional.
SIRMOD	Surface Irrigation Model
S_o	pendiente del terreno o de riego ($m\ m^{-1}$)
S_t	pendiente debida a la fricción ($m\ m^{-1}$)
τ	tiempo de oportunidad (minutos)
t	tiempo (s, minutos)
T	ancho superior del surco para distintos valores del tirante y (m)
$V_{almacenado}$	volumen almacenado en la rizósfera
$V_{aplicado}$	volumen aplicado
V_{en}	volumen entrado
V_{inf}	volumen infiltrado
$V_{requerido}$	volumen requerido
VS	volumen de sedimentación ($mL\ \% g$)
W	espaciamiento o ancho de la unidad de riego (m)
W_c	capacidad de campo del suelo ($g\ \% g$)
W_m	punto de marchitamiento permanente ($g\ \% g$)
x	distancia alcanzada por el frente del agua a tiempo t (m)
y	tirante de agua (m)
z	es el volumen infiltrado por unidad de longitud en tiempo de oportunidad t , de la ecuación de infiltración de Kostiakov-Lewis ($m^3/m/min$)
Z	zona de riego

1. RESUMEN

El sector riego representa en Argentina el 70% de todas las extracciones para uso del agua y tiene una eficiencia promedio del 40%, que resulta baja. Entre otros motivos, esto se debe principalmente al predominio de los métodos de riego por escurrimiento superficial sobre aquellos más modernos. Un síntoma de esta ineficiencia generalizada se manifiesta en el hecho de que de los 1,6 millones de hectáreas bajo riego que hay en el país, un tercio tiene problemas de salinización de suelo y/o de drenaje.

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. La reciente construcción sobre el río Mendoza, del dique Potrerillos, permitirá la regulación del mismo posibilitando una entrega programada a los usuarios a través de las 6 zonas de riego que la operan.

El objetivo general del estudio es conocer el grado de aprovechamiento del agua de riego en el interior de las propiedades agrícolas pertenecientes al área de influencia del río Mendoza y estimar las eficiencias potenciales factibles de alcanzar considerando los posibles cambios operativos y el balance salino asegurando así un adecuado nivel productivo. Se plantean como objetivos específicos: conocer las láminas de riego, las eficiencias actuales y potenciales, la salinidad del suelo en la rizósfera y del agua de riego superficial, conocer los parámetros físicos (velocidad de infiltración, ecuaciones de avance del frente de agua y caracterizar la geometría de los surcos de la zona) y operativos (caudal de manejo y unitario).

La unidad de análisis es 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 6 zonas de riego 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 estuviera recibiendo el turno de riego habitual. Dentro de estos grupos las propiedades se seleccionaron en forma aleatoria.

Para el estudio de la eficiencia de riego se ha utilizado la metodología de Chambouleyron y Morábito (1982) al tratar los casos de riego sin desagüe al pie y la metodología de Walker & Skogerboe (1987) para los casos de riego con desagüe al pie. El equipamiento utilizado comprendió aforadores portátiles, minimolinetes, anillos infiltrómetros, cintas métricas, nivel óptico, etc.

Para conocer la salinidad de los suelos se extrajeron en cada propiedad evaluada seis muestras de suelo en los surcos o melgas (cabeza, medio y pie) a dos profundidades por cada ubicación (cultivos perennes: 0 a 50 y 50 a 100 cm y cultivos hortícolas: 0 a 25 y 25 a 50 cm) y en laboratorio se midió la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) expresándola en dS m^{-1} a 25°C. También se realizaron los análisis de salinidad del agua en muestras tomadas en la bocatoma de la propiedad, expresada en dS m^{-1} a 25°C.

Se evaluó la respuesta de la salinidad del suelo a diferentes factores mediante un análisis de varianza unifactorial. Se consideraron los siguientes factores: zona de riego, cultivo, ubicación dentro de la parcela (cabeza, medio y pie), estrato de suelo (primero y segundo) y método de riego (surcos con/sin desagüe y melgas sin desagüe). La comparación de medias de los niveles de cada uno de los factores se realizó utilizando la prueba de Scheffé.

Como la producción está vinculada a la disponibilidad de agua y al nivel de salinidad del suelo, se analizó también la relación que existe entre la salinidad del suelo (CEes) y las eficiencias de riego, para ello se consideró el coeficiente de variación (CV) de la CEes de los dos estratos de suelo (primer y segundo) y las tres ubicaciones dentro de cada parcela respecto de las eficiencias de distribución (EDI) y de almacenaje (EAL), según cultivos y método de riego. Para la relación EAL y CEes del perfil del suelo se realizó una

discriminación de datos en tres estratos: $EAL = 100\%$, $80\% < EAL < 100\%$ y $EAL < 80\%$. Se analizó además la variación de la salinidad del agua de riego superficial en las distintas zonas.

El estudio incluyó la estimación del valor de la Eficiencia de riego potencial (EAP_p) utilizando dos metodologías: (a) una según el manejo del método de riego (EAP_M) definida como aquella factible de alcanzar cuando se han optimizado las variables de riego (caudal unitario, tiempo de aplicación, pendiente, oportunidad de riego, etc.) y que indica el grado de eficiencia que puede alcanzar el método si el manejo es óptimo. Los valores EAP_M fueron obtenidos con el modelo matemático SIRMOD (Walker, 1993); (b) otra considerando el balance salino del suelo (EAP_s) y la relación entre la lámina media infiltrada y almacenada en la zona radical y la lámina media aplicada en el riego, considerando el requerimiento de lixiviación. Los componentes del balance salino que afectan la eficiencia de aplicación potencial utilizados fueron: evapotranspiración de los cultivos; probabilidad de ocurrencia de E_{tr} ; zona de riego y textura del suelo. Se realizó también un análisis de sensibilidad de las variables mencionadas, a fin de ordenarlas por su importancia. En todos los casos se calcularon las medidas de posición y dispersión de los parámetros sobre todas las combinaciones posibles entre niveles de todas las variables. La lámina percolada que asegure la EAP_s se calculó con la ecuación de van der Molen (1983). Se utilizaron tres niveles diferentes del factor conductividad eléctrica del extracto de saturación final "CEesf" (después de un ciclo de riego), que fueron combinados con todos los demás niveles de los otros factores.

Los resultados muestran que las láminas brutas de riego aplicadas con surcos s/D (76 mm) son significativamente menores ($\alpha = 0,05$) que las registradas con surcos c/D (152 mm) y que ambas láminas anteriores no difieren significativamente de las aplicadas con melgas (117 mm). Con respecto a las láminas infiltradas (*dinf*) el resultado indica que hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) en las láminas infiltradas con los diferentes métodos: surcos c/D (36 mm), surcos s/D (76 mm) y melgas (113 mm) y que las melgas producen las mayores láminas percoladas: 47 mm respecto a 34 mm en los surcos s/D y a 8 mm en los surcos c/D, solo hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre melgas y surcos c/D.

Con respecto a las velocidades de infiltración representativas de las series de suelos del río Mendoza se observa que son bajas con valores extremos de infiltración básica de 1,3 y 7,3 mm/h. Se han obtenido ecuaciones de avance del frente de agua que caracterizan los tres métodos de riego evaluados, ya sea en función del tiempo como en función del tiempo y el caudal unitario. Se ha caracterizado la geometría de los distintos tamaños o categorías de surcos locales disponiendo de información para mejorar el diseño. Hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre los caudales de manejo de surcos c/D (19 L s^{-1}) y melgas (114 L s^{-1}). Este último valor resulta alto -pero dentro de valores razonables- no obstante ello debería reducirse la variabilidad observada para mejorar las eficiencias. Con respecto a los caudales unitarios hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre surcos c/D ($0,50 \text{ L s}^{-1}$) respecto de surcos s/D ($2,22 \text{ L s}^{-1}$) y melgas ($1,99 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$).

La eficiencia de aplicación (EAP) media del área es de 59% correspondiéndole la calificación de desempeño "Mala". Dicho valor no es significativamente diferente en las distintas zonas de riego ni en las distintas estaciones del año. 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%). Con respecto a EAL hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) de la zona 4 respecto a las zonas 1, 2 y 3; también son significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$) los valores de EAL entre surcos c/D (71%) respecto a los métodos sin desagüe (86%). Para la eficiencia de distribución (EDI) resultan diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre melgas s/D (79%) y los surcos que presentan valores más altos (88 y 96%). Se observa que para el tamaño de muestra utilizado ($n = 101$) corresponde una precisión en porcentaje respecto a la media para $EAP = 10\%$, $EAL = 6\%$ y $EDI = 5\%$, para una confiabilidad del 95%.

En cuanto a la salinidad del suelo en la rizósfera, la 4ta. zona de riego presenta los valores más altos ($3,8 \text{ dS m}^{-1}$), con diferencias significativas ($\alpha=0,05$) del resto. Si bien la zona 3 tiene una salinidad media ($2,1 \text{ dS m}^{-1}$) más alta que el resto, las diferencias no son significativas. También se observa - sólo en el caso de los métodos de riego s/D- mayor salinidad ($\alpha=0,05$) en la cabecera de la unidad de

riego respecto al medio y al pie por alteración del patrón de infiltración y mayor cantidad de sales acumuladas ($\alpha=0,05$) en el estrato superior (primero) que en el estrato inferior (segundo). La precisión del muestreo realizado para determinar la salinidad del suelo alcanza un valor de 6% del valor de la media para el tamaño de muestra utilizado ($n = 537$) y para una confiabilidad del 95%.

El agua de riego posee un nivel de sales significativamente mayor en las zonas 4 ($\alpha = 0,05$) y 5 ($\alpha = 0,1$), resultando la zona 4 con una conductividad eléctrica 75% mayor ($1,624 \text{ dS.m}^{-1}$) y la zona 5 con una CE 25% mayor ($1,161 \text{ dS.m}^{-1}$) que la zona 2 ($0,926 \text{ dS.m}^{-1}$). Se observa que para el tamaño de muestra utilizado ($n = 20$ en zona 1 y $n = 16$ en zona 4) corresponde una precisión para CE_{agua} menor al 5% del valor de la media (zona 1) y menor al 13% del valor de la media (zona 4) para una confiabilidad del 95%.

El factor que más influye en la variación de la EAP_s es la “zona de riego” definida por las variables “salinidad del suelo” y “salinidad del agua”. Para el oasis del río Mendoza la eficiencia de aplicación factible de alcanzar en la parcela (considerando la salinidad medida en el agua de riego) si se propone como objetivo mantener el nivel salino actual del suelo, es del 61%. Este valor resulta muy próximo al medido a campo (59%) y al que asegura obtener el máximo rendimiento de los cultivos (según Maas-Hoffman) del 58%. Si -en cambio- se planteara como objetivo un 90% de la producción máxima debida a la salinidad del suelo, 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%.

Las recomendaciones para mejorar las actuales eficiencias de riego se presentan en función del método de riego. Para el caso de riego con desagüe -cuya causa de ineficiencia es consecuencia de las excesivas pérdidas por escurrimiento al pie- se aconseja disminuir el volumen de agua escurrido al pie y asegurar el mojado del suelo en la rizósfera. Con respecto a los métodos de riego sin desagüe, las causas de ineficiencia más importantes son la excesiva percolación y los problemas de pendiente longitudinal que afecta la uniformidad de distribución del agua. Por ello, la estrategia deberá ser reducir las láminas de riego y corregir la pendiente de la unidad de riego.

ABSTRACT

The irrigation sector in Argentina accounts for 70% of all water extraction, with low mean efficiency (40%). This is mostly due to the fact that surface irrigation methods prevail over more modern ones. One of the symptoms of such widespread inefficiency is that, out of the 1.6 million hectares under irrigation in the country, one third of them has soil salinization and/or drainage problems.

The Mendoza River command area is, no doubt, the most important in the province and it is here where most of the provincial population is settled. It is a highly developed industrial area requiring water for different uses. The recent construction of the Potrerillos dam on the Mendoza River will allow river regulation and programmed delivery to users in its 6 irrigation areas.

The overall objective is to learn how efficiently water is used on the agricultural plots in the Mendoza River command area, and to estimate the potential efficiencies that may be attained as a result of possible operation changes and of the salt balance in order to ensure adequate yields. Specific objectives include determinations of irrigation depths, current and potential efficiencies, soil salinity in the rhizosphere and in surface irrigation water, physical parameters (infiltration rate, water front advance equations, furrow geometry), and of operational parameters (management and unit flow).

The unit of analysis is the agricultural property. For the sample 101 properties were selected on the basis of two criteria: first, that there was a similar number in each of the 6 irrigation areas, and that they were located on the more representative canals so that comparisons would be equivalent; and second, that the properties being evaluated had surface water rights and were irrigating at the moment. Within the groups that met the said criteria, properties were selected at random.

Irrigation efficiency was assessed using the methodologies devised by Chambouleyron & Morábito (1982) for level irrigation with no runoff, and by Walker & Skogerboe (1987) for graded irrigation with runoff. Portable gages, "mini" current meters, ring infiltrometers, metric tapes, surveying tools, etc. were part of the equipment used.

In order to determine soil salinity levels, six soil samples were extracted from furrows or border strips (upper end, middle and tail end) at two depths per location (0 to 50 cm and 50 to 100 cm for perennial crops; 0 to 25 cm and 25 to 50 cm for vegetable crops) in each of the properties in the sample. Electrical conductivity of the saturation extract (ECes) was laboratory-determined and expressed in dS m⁻¹ at 25° C. Salt water content was also analyzed in samples taken at the property's intake and expressed in dS m⁻¹ at 25° C.

Soil salinity response to different factors was assessed by means of single-factor variance analyses. The following factors were considered: irrigation area, crop, location within the plot (upper end, middle, tail end), soil layer (first and second), and irrigation method (furrows with/without runoff and border strip with no runoff). A comparison of the mean levels of each factor was made with the Scheffe test.

As production is associated to water availability and soil salinity levels, the soil salinity (ECes) and irrigation efficiencies relation was analyzed using the ECes variation coefficient (CV) for both soil layers (first and second) and the three locations within the plot with respect to distribution (EDI) and storage efficiencies (EAL), and for each type crop and irrigation method. For the EAL – ECes relation in the soil profile, data were broken down as follows: EAL = 100%, 80% < EAL < 100% and EAL < 80%. Salt content variations in irrigation water were analyzed in the different areas under study.

The value of potential irrigation efficiency (EAP) was estimated using two methodologies. The first one is based on the irrigation method management (EAPM), defined as the efficiency likely to be attained when irrigation variables have been optimized (unit flow, application time, slope, irrigation timing, etc.), which indicates the degree of efficiency that the method can achieve if management is optimal. The EAPM values were obtained with the SIRMOD mathematical model (Walker, 1993). The second methodology takes into account soil salt balance (EAPS) and the ratio between the mean water depth infiltrated and stored in the root zone and the mean applied water depth considering the leaching requirement. The salt balance components affecting potential application efficiency that were used are: crop evapotranspiration, E_{tr} occurrence probability, irrigation area, and soil texture. A sensitivity analysis was also performed on the above-mentioned variables in order to determine their relative importance. In all cases parameter position and dispersion calculations were made for all possible combinations between the levels of all variables. The percolated water depth that ensures EAPS was calculated with the van der Molen (1983) equation. Three different levels of the electrical conductivity factor of the final saturation extract "CEesf" were used (after an irrigation cycle), and were then combined with all the other levels of the remaining factors.

Results show that the gross water depths applied by means of furrows n/R (no runoff) (76 mm) are significantly smaller ($\alpha = 0.05$) than those recorded for furrows w/R (with runoff) (152 mm), and that both these types are not significantly different from the water depths applied by means of border irrigation (117 mm). As regards the infiltrated water depths (dinf), results show that there are significant differences ($\alpha = 0.05$) depending on irrigation method: furrows w/R (36 mm), furrows n/R (76 mm), border irrigation (113 mm). Border irrigation also generates more percolation: 47 mm vs. 34 mm in furrows n/R, and 8 mm in furrows w/R. The only significant differences ($\alpha = 0.05$) were found between border irrigation and furrows w/R.

Infiltration velocities representative of the Mendoza River soil series are found to be low, with extreme basic infiltration values (1.3 and 7.3 mm/h). Water front advance equations have been developed to characterize the three irrigation methods being evaluated, whether as a function of time or of time and unit flow. The geometry of local furrows of different size or category has also been characterized and information is now available to improve design. There are significant differences ($\alpha = 0.05$) between flows managed by means of furrows w/R (19 L s⁻¹) and border strips (114 L s⁻¹). The latter value is high yet reasonable; however, the variability observed should be reduced in order to improve efficiencies. As regards unit flows, there are significant differences ($\alpha = 0.05$) between furrows w/R (0.50 L s⁻¹), furrows n/R (2.22 L s⁻¹), and border strips (1.99 L s⁻¹ m⁻¹).

The area's mean application efficiency (EAP) is 59%, i.e., "Poor". This value is not significantly different from that in the other irrigation areas or in other seasons. Significant differences ($\alpha = 0.05$) are found in comparing irrigation methods without runoff (furrows 67%, border strips 69%) and methods with runoff (39%) and the crops: fruit trees 62%, vegetables 47%. There are also significant differences ($\alpha = 0.05$) in EAL between area # 4 and areas #1, 2 and 3. Also significantly different ($\alpha = 0.05$) are the EAL values for furrows w/R (71%) and no runoff methods (86%). In the case of distribution efficiency (EDI) there are significant differences ($\alpha = 0.05$) between border strips n/R (79%) and furrows, with higher values (88% and 96%). It should be noted that for the sample size used (n = 101) and for 95% reliability, percentage precisions with respect to the mean are 10% for EAP, 6% for EAL, and 5% for EDI.

As for soil salinity in the rhizosphere, irrigation area # 4 has the highest values (3.8 dS m⁻¹) and significant differences ($\alpha = 0.05$) with the others. Although average salinity (2.1 dS m⁻¹) in area # 3 is higher than in the others, differences are not significant. Only in the case of irrigation methods without runoff is greater salinity ($\alpha = 0.05$) observed at the head reach of the irrigation unit than in the middle or at the tail reach due to an alteration of the infiltration pattern and to greater amount of accumulated salt in the lower layer (second) than in the upper layer (first). The precision of the sampling performed to determine soil salinity is 6% of the mean value for the sample size used (n = 537) and for 95% reliability.

Irrigation water has significantly higher salt content in areas # 4 ($\alpha = 0.05$) and # 5 ($\alpha = 0.1$). Area # 4 has an electric conductivity 75% higher (1.624 dS m⁻¹), and area # 5 an EC 25% higher (1.161 dS m⁻¹).

1) than area # 2 (0.926 dS m⁻¹). It should be noted that for the sample sizes used (n = 20 in area # 1; n = 16 in area # 4) and for 95% reliability, percentage precisions with respect to the mean are less than 5% (area # 1) and less than 13% (area # 4) for EC_{water}.

The most influential factor in EAPS variations is the “irrigation area”, defined by the “soil salinity” and “water salinity” variables. In the case of the Mendoza River oasis, the application efficiency likely to be reached on the plots (considering the salinity measured in irrigation water) is 61% –if the goal is to maintain the soil’s current salt content. This value is very close to the field measurement (59%), and it ensures maximum crop yield (according to Maas-Hoffman). If, however, the goal were 90% of the maximum production because of soil salinity, increasing application efficiency to 71% would be feasible, while the efficiency likely to be reached by optimizing irrigation management would be 79%.

Recommendations to improve current irrigation efficiencies depend on the irrigation method used. In the case of irrigation with runoff –the cause of inefficiency being the consequence of excessive runoff losses at the tail end— the advice is to reduce runoff volume at tail end while ensuring soil wetting in the rhizosphere. As regards irrigation without runoff, the more important causes of inefficiency are excessive percolation and longitudinal slope problems that affect uniformity in water distribution. Therefore, the strategy should consist in reducing irrigation water depths and in slope leveling in the irrigation units.

2. 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). Las pérdidas económicas anuales relacionadas directamente con la ineficiencia en la gestión de los recursos hídricos, sólo en los rubros de agua subterránea y riego, se estimaron para el año 2000, en forma conservadora, en 1.500 millones de dólares (Banco Mundial, 2000). Por ello en el documento del Banco Mundial "Argentina, gestión de los recursos hídricos" se menciona para Mendoza como acción prioritaria la "Modernización del sector riego". Esta 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 km²) 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). Existe una estrecha relación entre las formas de gestión, el uso de los recursos hídricos, el potencial de desarrollo económico y las condiciones de vida de la población.

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 éste último se aprovecha el recurso hídrico que proporciona una única cuenca, la cual con un fin administrativo práctico está subdividida en dos zonas: el "Tunuyán Superior" y "Tunuyán Inferior".

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.

Se han escrito muchos trabajos sobre eficiencia de riego, se mencionan a continuación sólo aquellos que se han considerado de interés por la definición de los términos y metodologías utilizadas o por su realización en las cuencas de la provincia. También se presenta un análisis de aspectos relacionados

con el tema velocidad de infiltración, velocidad de avance del frente de agua sobre la superficie del suelo y sobre la geometría de los surcos, por su importancia en riego por superficie.

2.1. Eficiencia de riego

El riego produce resultados muy favorables para una zona o región, pero su mal manejo puede llevar al deterioro del suelo y agua, en particular, y del ambiente en general. Usar racionalmente el agua desde el punto de vista agrícola, implica maximizar el beneficio a obtener y manejarla apropiadamente, en cuanto a la oportunidad del riego, en cantidad necesaria y suficiente, de manera de reducir al mínimo posible las pérdidas y desperdicios. La evaluación de la eficacia del riego en un área determinada constituye una forma de establecer el grado de racionalidad en el uso del agua. Con el avance científico se han establecido criterios de evaluación de esta práctica, como una forma de calificarla o de evaluar su desempeño (Grassi, 1998).

Durante muchos años se han estudiado y propuesto indicadores para calificar el desempeño del riego, los términos más corrientemente utilizados han sido: eficiencia y uniformidad. No existe un solo parámetro que sea suficiente para calificar el desempeño.

Según Bos y Nugteren (1982) el movimiento del agua a través de un sistema de riego, desde la fuente de agua hasta el cultivo, puede ser visto como tres operaciones separadas: conducción, distribución y aplicación en la parcela. La conducción implica el movimiento del agua desde la fuente de agua a través de los canales primarios y secundarios. La distribución de agua comprende al movimiento del agua en la red de canales terciarios, cuaternarios e internos de la propiedad. La aplicación del agua en la parcela corresponde al movimiento del agua desde la bocatoma de la parcela hasta el cultivo.

Chambouleyron (1977) presenta un trabajo sobre eficiencias de riego en la zona del río Mendoza. Se mencionan varios conceptos de eficiencias y esencialmente las divide en dos grandes grupos. Las eficiencias de la red de riego (eficiencias externas) y las eficiencias en el interior de la propiedad (eficiencias internas). La eficiencia de riego interna (*ERI*) está definida como el producto de la eficiencia de aplicación y la eficiencia de conducción interna (*ECI*). Esta última calculada como el cociente entre el caudal recibido en la parcela regada respecto del caudal derivado en bocatoma de finca.

Conceptualmente definir si un riego es suficiente (o adecuado) depende de: la cantidad de agua almacenada en la rizósfera, las pérdidas por percolación por debajo de la zona radical, las pérdidas de agua por escurrimiento al pie de la unidad de riego (solo para el caso de métodos de riego con desagüe), la uniformidad del agua aplicada y del déficit remanente en la rizósfera después del riego. El fin último del desempeño dependerá de la optimización de la producción y de las utilidades de la propiedad.

La figura 1 muestra la distribución del agua infiltrada a lo largo de la parcela regada. La figura muestra la lámina de reposición (o requerida: d_r), el perfil de la lámina infiltrada total, la lámina infiltrada (d_{inf}) promedio para la longitud total (L), la longitud donde la lámina infiltrada supera o es igual a la lámina de reposición (L_1) y la longitud donde la lámina infiltrada es menor que la lámina de reposición (L_2).

Hansen (1960, mencionado por Grassi 1998) distingue básicamente tres eficiencias parcelarias, ellas son: la eficiencia de uso consuntivo (reemplazada posteriormente por el concepto de eficiencia de aplicación; Israelsen y Hansen, 1962), la eficiencia de almacenaje y la eficiencia de distribución. La primera, eficiencia de aplicación (*EAP*) ha sido definida como el cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua, aplicado en la parcela. Evalúa las pérdidas de agua (Grassi 1998).

$$EAP = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{volumen de agua aplicada}} * 100 = \quad (1)$$

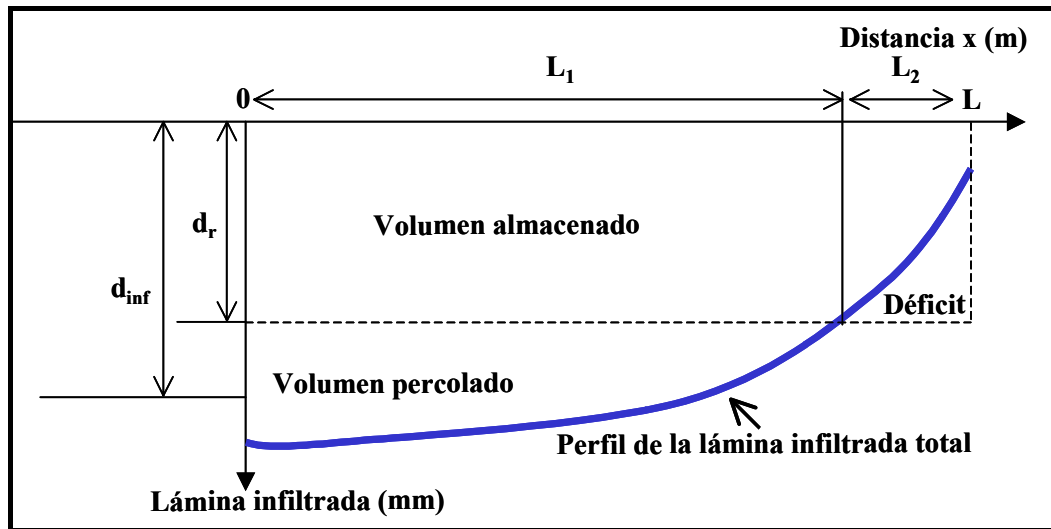


Figura 1: Perfil transversal del agua infiltrada en riego por superficie

La segunda o eficiencia de almacenaje (*EAL*) fue definida como la relación entre la lámina almacenada en el perfil -después del riego- respecto de la lámina necesaria que se esperaba almacenar o almacenable. Expresa el grado de suficiencia del riego, evaluado en la capa de suelo que exploran las raíces (mencionado por Grassi, 1998).

$$EAL = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada}}{\text{Volumen de agua requerida (o almacenable)}} * 100 = \quad (2)$$

La tercera es la eficiencia de distribución (*EDI*) que expresa el grado de uniformidad en la distribución del agua en un área regada. Esta había sido definida anteriormente por Criddle *et al.* (1956) como la lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado respecto de la lámina media infiltrada en todo el perfil. La *EDI* ha sido llamada también Uniformidad de Distribución (*UD*) Merriam y Keller (1978) y definida como

$$EDI = \frac{\text{lámina infiltrada promedio del cuarto más perjudicado}}{\text{lámina infiltrada promedio}} * 100 = \frac{\overline{d(1/4)}}{\bar{d}} * 100 \quad (3)$$

Christiansen en 1942 (mencionado por Grassi, 1998) publica la primera ecuación de eficiencia de distribución para evaluar el grado de uniformidad en riego por aspersión. En aquel entonces lo denominó Coeficiente de Uniformidad (*CU*) y ha sido usado para calificar el desempeño en distintos sistemas de riego (Dechmi *et al.*, 2003).

$$CU = 1 - \frac{\sum |d - \bar{d}|}{n * \bar{d}} \quad (4)$$

$$\bar{d} = \frac{1/2 d_0 + d_1 + \dots + 1/2 d_L}{n - 1} \quad (5)$$

$$\sum |d - \bar{d}| = 1/2 |d_0 - \bar{d}| + |d_1 - \bar{d}| + \dots + 1/2 |d_L - \bar{d}| \quad (6)$$

donde:

- d: lámina infiltrada en un punto del perfil (o recibida en un pluviómetro, en caso de aspersión)
- \bar{d} : lámina infiltrada promedio en todo el perfil (o promedio de pluviómetros en aspersión)

$\overline{d(1/4)}$: lámina infiltrada promedio del cuarto más perjudicado (o promedio de pluviómetros del cuarto más perjudicado en aspersion)
 n: número de láminas consideradas en el perfil (número de láminas medidas en pluviómetros)

Merriam *et al.* (1973) proponen el cálculo de la eficiencia de aplicación potencial (*EAPp*) definida como aquella factible de alcanzar cuando la lámina media infiltrada y almacenada es coincidente con la lámina de reposición óptima. Indica el grado de eficiencia de aplicación que puede alcanzar el método si el manejo es óptimo minimizando las pérdidas por percolación profunda y por escurrimiento al pie, operando el riego con caudales unitarios adecuados y tiempos de aplicación precisos.

Merriam y Keller (mencionado por Walker, 2003) proponen también la Uniformidad de Distribución absoluta o eficiencia de distribución absoluta (*EDia*) como el cociente entre la lámina mínima y la lámina media infiltrada en la parcela.

$$EDia = \frac{\text{lámina infiltrada mínima}}{\text{lámina infiltrada promedio}} * 100 = \quad (7)$$

El volumen almacenado, requerido y aplicado puede ser calculado siguiendo la figura 1, de la siguiente manera:

$$V_{\text{almacenado}} = \frac{1}{1000} (L_1 * dr + L_2 * \bar{d}_{L_2}) * W \quad (8)$$

$$V_{\text{requerido}} = \frac{1}{1000} * dr * W * L \quad (9)$$

$$V_{\text{aplicado}} = \sum (q_i * t_i)_{\text{aplicado}} \quad (10)$$

donde:

- q = caudal aplicado
- t = tiempo de aplicación
- i = intervalo de tiempo considerado
- W = espaciamiento o ancho de la unidad de riego

Walker & Skogerboe (1987) sugieren además otros dos indicadores que permiten separar las pérdidas por percolación profunda y por escurrimiento al pie. Estos indicadores son: Porcentaje de percolación profunda (*Pp*) y de escurrimiento al pie (*Ep*).

$$Pp = \frac{\text{Volumen de agua percolado}}{\text{volumen de agua aplicado}} * 100 = \quad (11)$$

$$Ep = \frac{\text{Volumen de agua escurrido}}{\text{volumen de agua aplicado}} * 100 = \quad (12)$$

Por último ASAE (2000) propone el concepto de eficiencia de riego (*ER*) considerando en el numerador, el volumen de agua almacenada más el volumen adicional para satisfacer otros fines beneficiosos, todo esto respecto del total de agua aplicada a la que se le debe restar el volumen de agua re usado ya sea en parcelas ubicadas en cotas de terreno más bajas o si son almacenadas en distintos tipos de reservorios desde los cuales pueda realizarse re usos posteriores. Si bien esta definición es razonable, este indicador no ha tenido gran difusión internacional.

$$ER = \frac{\text{Volumen de agua infiltrada y almacenada} + \text{otros usos beneficiosos}}{\text{volumen de agua aplicada} - \text{volumen de agua recuperada para reuso}} * 100 = \quad (13)$$

La medición sistemática de la eficiencia de riego realizada en diferentes parcelas de un área regada, arroja resultados que permiten obtener valores para un sector o para la totalidad del sistema, a fin de iniciar programas de mejoramiento de la práctica.

Muchos autores han calificado el desempeño alcanzado por los distintos métodos de riego, considerando varias alternativas. Grassi (1998) realiza un adecuado resumen de estos resultados. Roscher (1985) propone el siguiente cuadro que permite analizar una situación particular y calificarla según los parámetros más importantes en riego por superficie.

Cuadro 1: Calificación de las eficiencias de aplicación, almacenaje y distribución en parcela para métodos de riego por superficie (Roscher, 1985)

Parámetro	Malo	Satisfactorio	Bueno
<i>EAP</i>	< 60	60 - 75	> 75
<i>EAL</i>	< 80	80 - 90	> 90
<i>EDI</i>	< 80	80 - 90	> 90

Con respecto al resultado de evaluaciones de riego en el área del río Mendoza, Chambouleyron (1977) muestra los resultados de la evaluación de eficiencias de riego realizadas en los años 1973/74 en propiedades distribuidas en las áreas dominadas por 7 canales de riego seleccionados como representativos de las zonas de manejo (o zonas riego) del río Mendoza. El trabajo presenta los resultados agrupados por estación del año (primavera, verano y otoño-invierno). El promedio general de eficiencia de riego para toda la zona de estudio es de (57%) con valores extremos de 29 y 99% (Cuadro 2).

Cuadro 2: Eficiencia de riego interna (ERI) por zona para cada una de las estaciones del año y valor medio anual para el ciclo agrícola 73/74 (Chambouleyron, 1977)

Zona de Riego	ERI Primavera	ERI Verano	ERI Otoño Invierno	ERI anual
1	49,5	58,2	S/d	59,0
2	50,8	29,4	S/d	46,5
3	58,1	30,4	S/d	55,8
4	62,5	55,1	67,2	63,0
5	51,7	35,7	61,1	52,0
6	98,7	44,9	48,5	73,0
Total	63,8	46,5	61,2	57,0

2.2. Velocidad de infiltración del agua en el suelo

La infiltración instantánea definida como velocidad de penetración del agua en suelo insaturado, desde la superficie del suelo (Kostiakov 1932, mencionado por Grassi, 1998) es un parámetro muy importante vinculado al riego. Se utiliza tanto para el diseño como para la evaluación de los métodos de riego. Los parámetros de la velocidad de infiltración están vinculados a la textura del suelo y a la estructura, motivo por el cual, éstos permiten caracterizarlo. El fenómeno ha sido descrito por varios autores (Israelsen y Hansen, 1965; Roscher, 1985) y hay varios modelos que representan a la infiltración. Los mismos pueden ser obtenidos siguiendo distintas metodologías, la cual depende del método de riego usado. No obstante la metodología más difundida y fácil de implementar, a pesar de sus limitaciones, es la del infiltrómetro de doble anillo, que permite aproximar el valor de infiltración básica del suelo y con ello obtener los valores de los parámetros de los otros modelos conocidos.

La metodología para determinar la velocidad de infiltración con el infiltrómetro de doble anillo ha sido definida por varios autores (Haise *et al*, 1956, mencionado por Walker & Skogerboe, 1987) y adoptado por el Servicio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1956, mencionado por Grassi 1998).

Han sido propuestas varias ecuaciones empíricas para expresar la velocidad de infiltración como una función del tiempo, la más difundida de todas es la ecuación de Kostiakov (1932, mencionado por Grassi, 1998) que expresa la velocidad de infiltración en un punto como:

$$I = a * t^b \quad (14)$$

donde:

I: velocidad de infiltración (mm/minuto o mm/hora)

t: tiempo (minutos)

a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración a $t = 1$ ($\text{mm} * \text{min}^{-(1+b)}$)

b: es un exponente sin dimensión, siempre con valores entre 0 a -1.

Al integrar la ecuación anterior entre los límites $t = 0$ y t , se obtiene la infiltración acumulada.

$$I_{\text{cum}} = \int a * t^b = \frac{a}{b+1} * t^{b+1} = A * t^B \quad (15)$$

donde:

I_{cum} : infiltración acumulada en un tiempo t (mm)

El exponente b depende del tipo de suelo (textura y estructura) y del tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo, “ b ” no es constante, se incrementa con el tiempo ya que el gradiente de la fuerza matriz presente en el suelo disminuye con el tiempo mientras que el gradiente de la fuerza gravitatoria sobre el agua del suelo permanece constante. Sin embargo, se puede asumir constante para valores de $25\text{mm} < I_{\text{cum}} < 125\text{mm}$. Posteriormente el Servicio de Conservación de Suelos – del Departamento de Agricultura de EEUU (1974, mencionado por Grassi, 1998) difundió la ecuación.

$$I = a' * t^{b'} + c' \quad (16)$$

$$I_{\text{cum}} = A' * t^{B'} + C' \quad (17)$$

En ella los valores A' ; B' son parecidos pero no iguales a “ A ” y “ B ” de Kostiakov (1932, mencionado por Grassi, 1998) y donde $C' = 7$. Por último Kostiakov – Lewis (mencionado por Walker & Skogerboe, 1987) proponen la ecuación:

$$Z = I_{\text{cum}} = k * t^a + fo * t + c = A * t^B + Ib * t + c \quad (18)$$

donde:

Z: I_{cum} : es el volumen infiltrado por unidad de longitud durante el tiempo de oportunidad t ($\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$)

fo : velocidad de infiltración básica en unidades de volumen por unidad de longitud y por tiempo ($\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$)

k, a : *parámetros empíricos*

c : *cantidad de agua almacenada en las grietas o en las depresiones al suelo una vez iniciado el riego ($\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$).*

Se han realizado varios intentos para definir los valores de a , k y fo en función del tipo de suelo. Entre los primeros pueden mencionarse los del Departamento de Agricultura de los EEUU (1974, mencionado por Grassi, 1998), más tarde Merriam y Clemmens (1985, mencionado por Walker, 2003) seguidos por la Universidad del Estado de Utah (Walker & Skogerboe, 1987) y finalmente en 1997 se desarrollaron nuevos conjuntos de valores como parte de la investigación realizada en el marco del desarrollo del programa de simulación de riego SIRMOD III mencionado por Walker (2003), éstos valores que caracterizan las “familias de infiltración” figuran en el cuadro 3. Lamentablemente todavía no hay valores disponibles de “ c ”.

Cuadro 3: Familias de infiltración en riego por superficie (Walker, 2003)

F	Código (lb)		Textura	SCS-USDA			Kostiakov		Kostiakov-Lewis		
	(mm/h)	("/h)		A'	B'	C'	A	B	k	a	fo
		0.01	Muy arc.						0.200	0.00440	0.000011
		0.05	arc.						0.258	0.00426	0.000022
ML	2.5	0.10	arc.	0.62	0.660	7	1.22	0.580	0.317	0.00383	0.000035
		0.15	arc. Lig.						0.357	0.00360	0.000046
		0.20	Fco arc						0.388	0.00346	0.000057
		0.25	Fco arc						0.415	0.00337	0.000068
L	7.5	0.30	Fco arc	0.93	0.720	7	1.76	0.630	0.437	0.00330	0.000078
		0.35	Limoso						0.457	0.00326	0.000088
		0.40	Limoso						0.474	0.00323	0.000098
		0.45	Fco Lim						0.490	0.00321	0.000107
Mod.L	12.5	0.50	Fco Lim	1.20	0.750	7	2.20	0.660	0.504	0.00320	0.000117
		0.60	Fco Lim						0.529	0.00320	0.000136
		0.70	Fco Lim						0.550	0.00321	0.000155
		0.80	Fco Are						0.568	0.00322	0.000174
		0.90	Fco Are						0.584	0.00324	0.000193
Mod.	25	1.00	Fco Are	1.79	0.785	7	3.10	0.690	0.598	0.00326	0.000212
Mod. R	37.5	1.50	Arenoso	2.28	0.800	7	3.90	0.700	0.642	0.00340	0.000280
R	50	2.00	Arenoso	2.75	0.808	7	4.50	0.710	0.672	0.00355	0.000325
MR	75	3.00	Arenoso	3.65	0.816	7	5.80	0.715			
Ex.R	100	4.00	Arenoso	4.45	0.827	7	7.00	0.720	0.750	0.00421	0.000390

2.3. Avance del frente del agua sobre la superficie del suelo

La velocidad de avance del frente de agua sobre la superficie del suelo depende principalmente de: tiempo, caudal unitario, pendiente, velocidad de infiltración del suelo (textura y estructura del suelo), de la rugosidad o aspereza de la superficie por la que circula el agua (n de Manning) y la geometría del surco o melga. Se representa mediante la ecuación

$$x_{(m)} = p * t_{(min)}^r \quad (19)$$

donde:

x: distancia alcanzada por el frente del agua a tiempo t, (m)

t: tiempo de avance (minutos)

p: coeficiente empírico que representa la distancia que avanza el frente de agua en el primer minuto

r: exponente empírico cuyo valor es menor que 1

Nugteren (1969) determinó que p depende de: la pendiente, el caudal unitario, la aspereza y de las características hidráulicas del flujo. Mientras que r depende de las características físicas del suelo (velocidad de infiltración).

La velocidad de avance instantánea del frente de agua se obtiene aplicando la derivada a la ecuación de avance y resulta en:

$$\text{Velocidad de avance} = \frac{dx}{dt} = p * r * t^{r-1} \quad (20)$$

También se puede escribir que:

$$x(m) = u * q^z * t^r \quad (21)$$

donde:

q: es el caudal unitario por surco o por metro de ancho de melga (L/s o L/s*m).

Por lo tanto se puede decir que:

$$(p = u * q^z) \quad (22)$$

Si la velocidad de infiltración del suelo es alta, $r \rightarrow 0,5$ y si es baja, $r \rightarrow 1$. Por otro lado si la pendiente en el sentido del riego es baja, el valor de $z \rightarrow 0,5$ y si es alta $z \rightarrow a 1$.

2.4. Geometría de los surcos

La ecuación de balance de volúmenes utilizada para la determinación de la eficiencia de riego y para el cálculo de la ecuación de infiltración según la metodología de Walker y Skogerboe (1987) obliga a conocer la geometría de los surcos. La metodología usada para la resolución del análisis de balance de volúmenes se basa en dos supuestos:

(1) que la trayectoria del avance del frente de agua en el surco puede ser descripta como una simple función potencial, en la cual:

$$x = p(t_a)_x^r \quad (23)$$

En donde x es la distancia a la cual el frente de agua avanza en el tiempo "ta", "r" y "p" son parámetros de ajuste empíricos;

(2) que la ecuación de infiltración tiene la forma característica de la ecuación de Kostiacov – Lewis:

$$Z = k\tau^a + f_o\tau \quad (24)$$

En donde Z es el volumen infiltrado por unidad de longitud después del tiempo de oportunidad T (m³/min/m), f_o es la velocidad de infiltración base o básica en unidad de volumen por unidad de largo y de tiempo (m³/min/m), k y a son parámetros de ajuste empíricos, T es el tiempo de oportunidad (min).

La ecuación de balance de volúmenes puede ser escrita para cualquier tiempo como

$$Q_o t = \sigma_y A_o x + \sigma_z k t^a x + \frac{f_o t x}{1+r} \quad (25)$$

en donde: Q_o es el caudal de entrada al surco y/o melga por unidad de tiempo (m³/min), t es el intervalo de tiempo desde el inicio del riego (min), σ_y es un factor de forma de almacenaje superficial que se define como una constante que puede asumir valores que van desde 0,70 a 0,80 (en la práctica se usa 0,77), A_o es el área de la sección transversal de flujo (m²), x es la distancia del frente de agua (m), k es un coeficiente empírico de la ecuación de infiltración de Kostiacov - Lewis, f_o es la velocidad de infiltración base (m³/min/m)

A su vez, el área de la sección transversal se calcula mediante la ecuación:

$$A_o = C_1 \left(\frac{Q_o n}{60 \sqrt{S_o}} \right)^{C_2} \quad (26)$$

En donde: Q_0 es el caudal que entra al surco y/o melga por unidad de tiempo (m^3/min), n es el coeficiente de rugosidad de Manning, S_0 es la pendiente de riego (m/m) C_1 y C_2 son coeficientes que se calculan con las ecuaciones:

$$C_1 = \sigma_1 \left(\frac{\gamma_1^{0,67}}{\sigma_1^{1,67}} \right)^{C_2} \quad (27)$$

y

$$C_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\gamma_2} \quad (28)$$

En donde σ_1 , σ_2 , γ_1 y γ_2 son los parámetros de ajuste de las funciones exponenciales empíricas que se establecen entre el área del frente del flujo (A) en función del tirante de agua (y) y del perímetro mojado (WP) en función también del tirante (y) tal que:

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad (29)$$

$$WP = \gamma_1 y^{\gamma_2} \quad (30)$$

El factor de forma subsuperficial queda definido por la ecuación:

$$\sigma_z = \frac{a + r(1 - a) + 1}{(1 + a)(1 + r)} \quad (31)$$

En donde a y r son los exponentes de las ecuaciones de infiltración y de avance respectivamente

Igualmente a los fines de diseño de métodos de riego por surcos Walker y Skogerboe (1987) proponen conocer las siguientes relaciones empíricas:

$$T = a_1 y^{a_2} \quad (32)$$

y

$$A^2 R^{\frac{4}{3}} = \rho_1 A^{\rho_2} \quad (33)$$

donde: T es el ancho superior del surco para distintos valores del tirante y (m), A es el área del frente del flujo (m^2), R es el radio hidráulico (m).

Estas relaciones se obtienen del ajuste de los datos extraídos a campo de la geometría del surco.

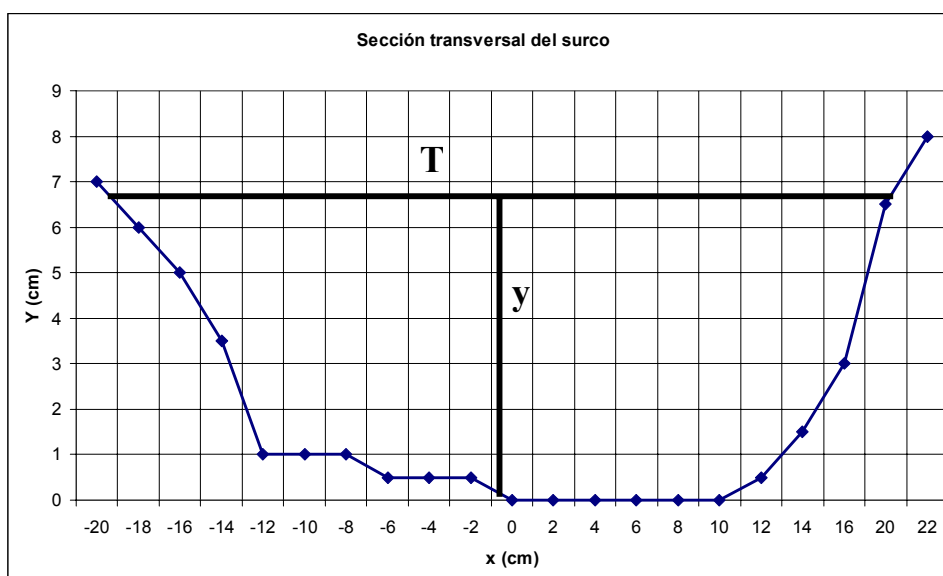


Figura 2: Corte transversal de un surco

2.5. Modelos de diseño y evaluación de riego por escurrimiento superficial

Durante las últimas décadas se han desarrollado modelos matemáticos que explican todos los procesos involucrados en el riego por superficie. Dichos modelos requieren información precisa de muchas variables como: dimensiones de la parcela a regar, pendiente topográfica, caudal, tiempo de aplicación, velocidad de infiltración de los suelos, rugosidad de la superficie del suelo, etc. La interacción de estas variables permite determinar la velocidad de avance y receso del frente de agua sobre la superficie del suelo, las láminas de agua aplicada, infiltrada, escurrida, almacenada y percolada, calculando por último, las distintas eficiencias de riego. Se dispone de modelos “hidrodinámicos” y más simplificados como el de “inercia cero”, al igual que los primeros basados en el método del “balance de volúmenes” y de “onda cinemática”. Todos ellos son representaciones simplificadas del sistema físico real expresado mediante ecuaciones matemáticas. Los resultados de la aplicación de estos modelos han permitido sistemáticamente a mejorar el diseño y la operación de los métodos de riego.

La literatura contiene información de muchos modelos matemáticos aplicables a riego por superficie, pero muy pocos de ellos han sido efectivamente usados. El primero –basado en el modelo de inercia cero– fue el programa BRDRFLW (Strelkoff, 1985) que simula el riego de grandes melgas. Este trabajo inició una productiva etapa de desarrollo de nuevos programas que lo superaron ampliamente como SRFR (Strelkoff, 1990) y la última versión SRFR (USWCL, 1999).

Por la misma época Boonstra y Jurriëns (1988) desarrollaron el modelo Bascad (previamente llamado Basdev) para el diseño y operación de grandes melgas niveladas a cero. El programa generaba el avance del frente de agua combinando el principio de control de volumen Euleriano (Walker and Skogerboe, 1987) con el modelo de inercia cero. El ILWM: Institute for Land and Water Management de la Universidad Católica de Leuven, Bélgica (mencionado por Jurriëns, 2002), desarrolló 2 programas de riego por superficie para melgas y surcos con pendiente “Bisdev” y “Fisdev” basados en el método de “balance de volúmenes” usando la técnica descripta por Walker y Skogerboe (1987).

Clemmens (1995) desarrolló el modelo BASIN para el diseño y la evaluación de grandes melgas niveladas a cero, usando el modelo de “inercia cero”. También a fines de los años ’80, la Universidad del estado de Utah desarrolló dos modelos de amplia difusión internacional: SURFACE y SURMOD. Estos programas permiten el diseño y evaluación de melgas, grandes melgas y surcos para distintas formas de operación (uso de dos caudales, re-uso del agua y riego por pulsos (surge flow)) usando el método de Balance de Volúmenes. Este desarrollo tecnológico fue difundido por FAO a través de la serie Riego y Drenaje (Walker, 1989). En 1993 la Universidad de Utah publicó el programa SIRMOD II (Walker et al., 1993) incluyendo el modelo hidrodinámico y muy recientemente la última versión

llamada SIRMOD III (Walker, 2003) que contiene los tres modelos: onda cinemática, inercia cero e hidrodinámico.

El modelo SIRMOD se basa en la solución numérica de las ecuaciones de Saint-Venant. Dichas ecuaciones son dos, la primera desde el punto de vista de la teoría de la conservación de la masa puede ser escrita como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial \tau} = 0 \quad (34)$$

y considerando la teoría de los momentos, se puede expresar como:

$$\frac{1}{Ag} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A^2 g} \frac{\partial Q}{\partial x} + (1 - F^2) \frac{\partial y}{\partial x} - (S_0 - S_f) = 0 \quad (35)$$

donde:

A: área de la sección transversal del frente de agua (m²)

Q: caudal (m³ s⁻¹)

t: tiempo (s)

x: distancia desde el inicio de la unidad de riego (m)

τ : tiempo de oportunidad (s)

Z: coeficiente de la ecuación de infiltración de Kostiaikov-Lewis (m)

g: aceleración de la gravedad (9,81 m s⁻²)

y: tirante de agua (m)

F: número de Froude

S₀: pendiente del terreno (m m⁻¹)

S_f: pendiente debida a la fricción (m m⁻¹)

El modelo SIRMOD presenta la opción de resolver las ecuaciones en tres modos. La primera solución a estas ecuaciones puede ser obtenida por integración usando el método de Euler en función del espacio y del tiempo y una vez obtenida la ecuación algebraica no lineal, ésta se resuelve por solución numérica, esta opción ha sido identificada como modelo “Hidrodinámico”. La segunda solución se conduce de la misma manera y se basa en ignorar el primer y segundo término de la ecuación (35), esto se define como modelo de “Inercia cero”. La tercer alternativa se basa en que los tres primeros términos de la ecuación (35) pueden ser ignorados, esto se denomina modelo de “Onda cinemática”.

Es importante también saber cuándo usar cada modelo de acuerdo al problema que se analiza. Los modelos “Hidrodinámico” y de “Inercia cero” se aplican a todos los casos de riego por superficie. Por el contrario el modelo de “Onda cinemática”, está limitado a surcos o melgas donde se cumple: a) la pendiente de la superficie del terreno es mayor a 0,0001 m m⁻¹, y b) si el agua escurre o drena libremente al final de la unidad de riego. Las evaluaciones realizadas en el área regadía del río Mendoza han sido resueltas con el modelo “Hidrodinámico”.

Localmente Morábito *et al.* (1991) desarrollan 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. El modelo utiliza como programa auxiliar una planilla de cálculo, y requiere como datos de entrada: la ecuación de infiltración de lámina acumulada, la ecuación de avance y receso del frente de agua, el caudal de riego, el tiempo de aplicación, el ancho y/o espaciamiento y largo de la unidad de riego. Mediante la comparación de láminas se ajustan las ecuaciones para obtener el patrón de infiltración final (Grassi, 1988 y 1998; Chambouleyron y Morábito, 1982). Con esto se calculan las eficiencias de almacenaje, distribución y aplicación. El modelo ERFIN -si no cuenta con la información de la ecuación de receso medida a campo- genera un receso horizontal que para el caso del riego sin desagüe se calcula considerando la lámina bruta aplicada, el espaciamiento entre surcos (ancho de la melga), el perímetro mojado y los coeficientes A y B de la ecuación de infiltración de Kostiaikov. Para el caso de riego con pendiente y desagüe calcula el receso en forma horizontal, coincidente con el tiempo de aplicación.

Chambouleyron et al., (1993) desarrollan el modelo DISEVAL (modelo para el diseño y evaluación de riego por superficie) que permite calcular eficiencias y diseñar o rediseñar caudales y tiempos adecuados para asegurar un riego eficiente en la parcela. El modelo interpreta a través de una solución algebraica sencilla la aplicación del agua de riego para longitudes menores de 200 m y para ello 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. El modelo utiliza como programa auxiliar una planilla de cálculo y permite suministrar interactivamente los datos y observar en pantalla el desarrollo del patrón de infiltración y sus variaciones. Genera el avance del frente de agua, calcula las láminas almacenada, de desagüe y percolada al igual que las distintas eficiencias parcelarias.

3. HIPOTESIS DE TRABAJO

- ✓ La eficiencia de riego actual en las propiedades agrícolas es baja. Esto ocasiona importantes desperdicios (por desagüe superficial y por percolación profunda) factibles de reducir.
- ✓ Existen distintas alternativas de mejoramiento del riego por superficie que pueden contribuir a reducir las pérdidas de agua a nivel de propiedad para lograr eficiencias más altas próximas a las eficiencias potenciales.

4. 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*** midiendo las eficiencias de conducción (o distribución) interna y las distintas láminas de riego que permiten conocer las eficiencias de aplicación, distribución y almacenaje, todas a nivel predial
- ✓ ***Estimar la salinidad de los suelos regados en cada una de las zonas de manejo***
- ✓ ***Determinar la salinidad del agua de riego superficial por zonas de manejo***
- ✓ ***Identificar los parámetros de riego*** que caractericen el área de estudio: velocidad de infiltración de los suelos, velocidad de avance del frente de agua, geometría de los surcos, caudal de manejo y unitario, pendiente de riego, tiempo de aplicación entre los más importantes
- ✓ ***Estimar las eficiencias de riego potenciales*** mejorando la operación de los métodos y asegurando el balance salino en la rizósfera
- ✓ ***Realizar recomendaciones para el manejo eficiente del riego***

5. 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 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 & 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, especialmente en el caso de cultivos permanentes como vid y frutales, predominantes en el área de influencia del río Mendoza. 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 variables respuesta estudiadas para las distintas eficiencias fueron: EAP (eficiencia de aplicación); EDI (eficiencia de distribución); EAL (eficiencia de almacenaje); EAP_M (eficiencia de aplicación potencial de manejo); EAP_S (eficiencia de aplicación potencial considerando el balance salino del suelo) y las variables explicativas utilizadas fueron: zona de manejo, estación del año, cultivos y método de riego.

También se analizó como variable respuesta la salinidad del suelo en la zona de exploración radical, las variables explicativas fueron: zona de manejo, cultivo, método de riego, ubicación dentro de la parcela (cabeza, medio y pie de la unidad de riego) y estrato de suelo (superior o inferior). Con respecto a la salinidad del agua de riego se usó como variable explicativa sólo la zona de manejo.

En los casos anteriores se aplicó análisis de la varianza unifactorial. El modelo planteado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (36)$$

donde:

Y_{ij} : es la respuesta de la i -ésima repetición al j -ésimo tratamiento

μ : es la media general

τ_j : es el efecto del j -ésimo tratamiento

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

Las hipótesis estadísticas son:

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 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 distintas estaciones meteorológicas comprendidas en la cuenca, probabilidad de ocurrencia de evapotranspiración máxima y lluvia.

A los fines operativos, dado que el río Mendoza está dividido en seis zonas de manejo (o 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. A posteriori, disponiendo del listado de inspectores responsables de la administración y distribución del agua en cada zona, se procedió a organizar el trabajo de campo.

El equipamiento utilizado comprendió vehículos, aforadores portátiles (de diferentes tipos y medidas: “sin cuello”, “cresta ancha” y “trapezoidal”), minimolinetes, anillos infiltrómetros, cintas métricas de diferentes medidas, nivel óptico, 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.) para lo que se dispuso del Laboratorio de Suelos y Riego del CRA-INA.

Una vez localizada la finca a evaluar, y luego de obtenida la autorización del productor, se procedió a la instalación del equipamiento necesario y a la evaluación propiamente dicha del riego. Para ello se llevaron a cabo (durante el riego) las siguientes mediciones:

- Aforo de caudal ingresado a la propiedad, derivado a la parcela y recibido en la parcela regada. Se usaron aforadores portátiles “sin cuello”, “cresta ancha” y “trapezoidal” y minimolinetes marca A. OTT Kempton tipo C2 “10.150” de alta precisión. Con ellos se calculó la eficiencia de conducción interna (*E_{CI}*).
- 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 -una vez ubicados en la propiedad- 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 de esa estación. 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 con el objeto de determinar la pendiente parcial y total de la unidad de riego. Para ello se utilizó nivel óptico y miras parlantes.
- 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 espaciado 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 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. Esta actividad se realizó para conocer al agua efectivamente almacenada en ese riego.
- Textura del suelo. Se extrajeron además 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). Se utilizó conductivímetro de alta precisión marca Hach Sension 7, obteniendo la salinidad total corregida a 25°C..
- Complementariamente se tomó una muestra de agua de riego para la determinación de su salinidad.

Toda la información fue registrada en un formulario diseñado para tal fin y se sistematizó oportunamente en gabinete. Con los datos se confeccionó una base, conteniendo para cada propiedad, las distintas variables medias.

Las ecuaciones de infiltración obtenidas en cada una de las propiedades fueron agrupadas según las series de suelo descritas en el área regadía del río Mendoza por Romanella (1957).

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). Los surcos fueron a su vez agrupados en categorías de acuerdo a su ancho máximo, siendo las mismas:

Cuadro 4: Categoría de surcos por intervalos de ancho máximo

Categoría	Ancho (cm)
1 (pequeño)	30 - 53.5
2 (mediano)	53.5 - 77
3 (grande)	77 - 90
4	< 40
5	41 - 50
6	51 - 60
7	61 - 70
8	71 - 80
9	81 - 90

Para cada una de las categorías establecidas se obtuvo el formato de surco medio, cuyo perfil, fue graficado con ayuda del programa aplicativo Autocad. Una ulterior clasificación de los surcos fue realizada en base al tipo de cultivo regado (hortalizas o frutales) y al tipo de riego (con o sin desagüe).

5.1. Modelos matemáticos de simulación y evaluación de la eficiencia de riego

Se realizó -con los datos obtenidos de cada una de las propiedades evaluadas- 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. Si bien se presentan para cada propiedad los resultados obtenidos con ambos modelos, se ha considerado que los resultados obtenidos con el modelo SIRMOD son más relevantes, por lo tanto se juzga como modelo de referencia.

5.2. Cálculo de las láminas de riego

Las láminas de riego han sido 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. Las distintas láminas de riego fueron obtenidas a partir de: *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.

5.3. Cálculo de las eficiencias de riego

Las eficiencias de riego fueron calculadas utilizando los modelos matemáticos SIRMOD y ERFIN, éstas conceptualmente representan: *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.

5.3.1. Variación de la eficiencia de riego

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 3).
- *Estación*:
 - ⇒ Otoño - Invierno
 - ⇒ Primavera
 - ⇒ Verano
- *Cultivo*:
 - ⇒ Hortícolas: hortalizas y flores, con una profundidad de exploración radical de hasta 0,50 m.
 - ⇒ 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 sin desagüe
 - ⇒ Melgas sin desagüe

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. Por último se realizó un análisis de regresión, utilizando a las eficiencias como variables respuesta y a las variables categóricas como explicativas. A tales modelos se los denomina modelos de análisis de varianza (*ADV*).

5.3.2. Planificación del tamaño de la muestra de las eficiencias de riego

La precisión y confiabilidad se realizó para las variables, eficiencias de riego, salinidad de suelo y del agua. Para estimar el error de muestreo a una confiabilidad dada se utilizó la siguiente fórmula:

$$\pm B = z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (37)$$

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 $z = 1,96$ que es el valor relacionado con el 0,95 de probabilidad (95 % de confiabilidad)

$\bar{\sigma}$: 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 ($n = 101$).

5.4. Análisis de la salinidad del suelo

Para la determinación de la salinidad del suelo, en cada propiedad evaluada se extrajeron seis muestras, correspondientes a tres ubicaciones dentro de la parcela regada ya sean surcos o melgas (cabeza, medio y pie) y a dos profundidades por cada ubicación. Según el tipo de cultivo presente se diferenciaron las profundidades de muestreo: de 0 a 50 cm y de 50 a 100 cm para los cultivos perennes (vid, frutales, olivo y alfalfa) y de 0 a 25 y de 25 a 50 cm para los cultivos hortícolas y flores. Las muestras se analizaron en laboratorio y se midió la variable Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación (CEes), en dS m^{-1} a 25°C. También las muestras de agua, tomadas en la bocatoma de la propiedad fueron analizadas en el laboratorio para determinar su conductividad eléctrica la cual se expreso en dS m^{-1} a 25°C. Los valores de CE tanto del suelo como del agua de riego de cada una de las propiedades evaluadas son presentados en el anexo.

5.4.1. Evaluación de la respuesta de la salinidad del suelo a diferentes factores

Para analizar las posibles respuestas diferenciales de la salinidad del suelo de acuerdo a los factores: zona de riego, cultivo, ubicación en la parcela, estrato de suelo y método de riego, fue realizado un análisis de la varianza unifactorial, donde los factores y sus respectivos niveles fueron:

- ✓ Zona de riego: 1, 2, 3, 4, 5, 6
- ✓ Cultivo:
 - ⇒ Vid, frutales, olivo y alfalfa
 - ⇒ Hortalizas y flores
- ✓ Ubicación dentro de la parcela:
 - ⇒ Cabeza
 - ⇒ Medio
 - ⇒ Pie
- ✓ Estrato de suelo:
 - ⇒ Primero
 - ⇒ Segundo
- ✓ Método de riego:
 - ⇒ Surcos con desagüe
 - ⇒ Surcos sin desagüe
 - ⇒ Melgas sin desagüe

Para realizar el proceso de comparación de las medias de los niveles de cada uno de los factores, las mismas fueron sometidas a la prueba de Scheffé.

5.5. Relación entre la salinidad del perfil del suelo y la eficiencia de riego

Dada la estrecha relación que existe entre la eficiencia de riego y la salinidad del suelo se analizó la variación conjunta de ambos factores dentro de la parcela regada. A tal fin fueron consideradas las siguientes variables:

- ✓ *CV*: Coeficiente de variación de la CEes para las dos profundidades de suelo y las tres ubicaciones dentro de la parcela
- ✓ *CVI*: Coeficiente de variación de la CEes del primer estrato de suelo para todas las ubicaciones dentro de cada parcela

- ✓ *CV2*: Coeficiente de variación de la CEes del segundo estrato de suelo para todas las ubicaciones dentro de cada parcela
- ✓ *EDI*: Eficiencia de distribución interna, según el modelo SIRMOD
- ✓ *EAP*: Eficiencia de aplicación, según el modelo SIRMOD
- ✓ *EAL*: Eficiencia de almacenaje, según el modelo SIRMOD
- ✓ *Cultivo*: variable cualitativa, cuyas categorías son “hortícolas” y “frutícolas”
- ✓ *Método de riego*: variable cualitativa, cuyas categorías son “sin desagüe” y “con desagüe”

La salinidad del suelo está vinculada a la uniformidad de mojado del perfil, es así que cuando el mismo ha sido mojado en toda su longitud y profundidad (eficiencia de almacenaje del 100%), e incluso si ha existido percolación se espera que la salinidad entre los estratos y longitudinalmente en la parcela tenga una variación pequeña. Por el contrario cuando la eficiencia de almacenaje es inferior al 100%, algunos sectores de la parcela no han recibido la cantidad de agua necesaria como para satisfacer la necesidad del cultivo y menos aún para lixiviar las sales presentes, en este caso se espera una mayor variación de la salinidad a lo largo del perfil del suelo y de la parcela. Esta variación podría incrementarse aún más si la eficiencia de distribución es baja y podría también potencialmente afectar el crecimiento de la planta (Amali *et al.*, 1997). Dada entonces esta relación entre EAL y la CEes del perfil del suelo se realizó una discriminación de los datos de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) la eficiencia de almacenaje toma cualquier valor
- b) la eficiencia de almacenaje es igual a 100%
- c) la eficiencia de almacenaje es mayor o igual a 80% y menor a 100%
- d) la eficiencia de almacenaje es menor a 80%

Para el análisis de éstas variables y los distintos criterios se corrieron diversas regresiones lineales simples y múltiples, y se analizó la correlación entre las mismas:

5.6. Análisis de la variación de la salinidad del agua de riego superficial en las distintas zonas de riego

Para la determinación de la salinidad del agua, en cada finca evaluada se extrajo una muestra en la bocatoma de la propiedad. Las mismas fueron analizadas en el laboratorio para determinar su conductividad eléctrica la cual se expreso en $dS\ m^{-1}$ a 25°C. Los valores de CE del agua de riego de cada una de las propiedades evaluadas son presentados en el anexo. En el análisis de varianza correspondiente se utilizó como variable explicativa sólo la zona de manejo.

5.7. Eficiencia de riego potencial

Para el estudio de este punto 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.

5.7.1. Eficiencias de riego potenciales según el manejo del método de riego

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).

$$EAP_M = \frac{dropt}{db} \times 100 \quad (38)$$

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

Las eficiencias de riego potenciales han sido 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 fueron definidas 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
 - ⇒ Verano
- Cultivo:
 - ⇒ Hortícolas: hortalizas y flores, con una profundidad de exploración radical de hasta 0,50 m.
 - ⇒ Frutícolas: vid, frutales, olivo y alfalfa, cuyas raíces exploran de 0,80 a 1,30 m.
- Método de riego:
 - ⇒ Surcos con desagüe
 - ⇒ Surcos sin desagüe
 - ⇒ Melgas sin desagüe

5.7.2. Componentes del balance salino que afectan la eficiencia de aplicación potencial

Para el análisis de este punto 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. Éstos valores afectados por los valores de K_c de cada uno de los cultivos existentes en el área de estudio permitió 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% (ver cuadros 11.2.1 a 11.2.4 del anexo) 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 3)
 - ⇒ Chacras de Coria
 - ⇒ Observatorio Parque General San Martín
 - ⇒ Aeropuerto El Plumerillo
 - ⇒ San Martín
- Cultivo
 - ⇒ Vid
 - ⇒ Duraznero: 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
 - ⇒ 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: definidas por el Departamento General de Irrigación
 - ⇒ Zona 1
 - ⇒ Zona 2
 - ⇒ Zona 3
 - ⇒ Zona 4
 - ⇒ Zona 5
 - ⇒ Zona 6
- Textura del suelo
 - ⇒ Franco arenoso
 - ⇒ Franco
 - ⇒ Franco limoso

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
 - ⇒ 80% del valor máximo
- Precipitación
 - ⇒ 50% del total
 - ⇒ Efectiva
 - ⇒ Cero
- $CE_{es\ suelo}$ 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)
- CE 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 y sus respectivas medidas de posición y dispersión, sobre todas las combinaciones posibles entre los niveles de la totalidad de las variables consideradas, sobre una base de datos de aproximadamente 85.000 registros.

- Lámina de riego bruta: altura de agua aplicada al suelo en el riego necesaria para satisfacer las necesidades netas de los cultivos y la percolación en profundidad de las sales presentes en el suelo y en el agua, su cálculo se efectuó según la siguiente ecuación (van der Molen, 1983):

$$db = Etc - Pp + dper \quad (39)$$

donde:

- db: lámina de riego bruta ($mm\ año^{-1}$)
- Etc: evapotranspiración del cultivo ($mm\ año^{-1}$)
- pp: precipitaciones ($mm\ año^{-1}$)
- dper: lámina de percolación ($mm\ año^{-1}$)

- Lámina de percolación: altura de agua necesaria para lixiviar las sales disueltas en el agua de riego y/o en el perfil de suelo explorado por las raíces de los cultivos, de acuerdo a niveles predeterminados, su cálculo se efectuó utilizando la ecuación propuesta por van der Molen (1983):

$$d_{per} = \frac{(E_{tc} - P_p) \times CE_{agua} - 2 \times \left(\frac{W_c \times D}{100} \right) \times (CE_{esf} - CE_{esi})}{f \times (CE_{esf} + CE_{esi} - CE_{agua})} \quad (40)$$

donde:

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

- Eficiencia de aplicación potencial por salinidad: relación entre la lámina media infiltrada y almacenada en la zona radical y la lámina media aplicada en el riego, considerando el requerimiento de lixiviación. Representa la eficiencia que se debería alcanzar de acuerdo a los niveles de salinidad objetivo. Su cálculo se realizó utilizando la ecuación (6), derivada de la propuesta por Israelsen (1932, 1950 y mencionada por Grassi, 1998) que define a la eficiencia de riego como “la relación entre el agua consumida por los cultivos agrícolas en el predio y el agua derivada de la fuente natural hacia el predio”. Según Grassi (1998) en esencia “es una relación entre el volumen de agua consumido o neto y el volumen derivado o bruto”. Por lo tanto este último puede ser interpretado como la suma de las necesidades netas más la lámina de riego que debe atravesar el perfil para asegurar el balance salino. Por ello:

$$EAP_S = \frac{E_{tc} - P_p}{db} \times 100 \quad (41)$$

donde:

- EAP_S: eficiencia de aplicación potencial por salinidad (%).

Se debe recordar que db incluye d_{per} (ecuación 4 y 5) que considera el requerimiento de lixiviación.

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

- CE_{esf} (después de un ciclo de riego)
 - ⇒ CE_{es} 100% según Maas-Hoffman
 - ⇒ CE_{es} 100% según Nijensohn
 - ✓ En ambos casos es el nivel de salinidad que permite la máxima producción del cultivo, es decir, el umbral de CE_{es} a partir del cual los rendimientos comienzan a decrecer.
 - ⇒ 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, d_{per} y EAP_S para todas las combinaciones posibles de los factores.

6. RESULTADOS

A continuación se presentan, sistematizados en diferentes cuadros, los datos obtenidos de cada una de las propiedades evaluadas en toda la zona de influencia del río Mendoza

6.1. Evaluaciones realizadas, fechas, cultivos y método de riego

En el anexo figuran los cuadros que presentan los datos de identificación de cada una de las propiedades evaluadas agrupadas según el período de evaluación. En los mismos se consigna como (G) grupo de trabajo, (Z) zona de riego, (O) número de orden de la evaluación, número de encuesta, nombre del propietario, cultivo regado y método de riego donde (S) corresponde a surcos, (M) melgas, (c/D) con desagüe y (s/D) sin desagüe.

Los cuadros 5 (a y b) presentan las evaluaciones realizadas desagregadas por estación, zona, cultivo y método de riego. La figura 3 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, en verde intenso zona 1, en rojo zona 2, en naranja zona 3, en azul zona 4, en fucsia zona 5 y en verde claro zona 6.

Cuadro 5a: Cantidad de evaluaciones realizadas 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 5b: Cantidad de evaluaciones realizadas 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
	Sub-Total	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
	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

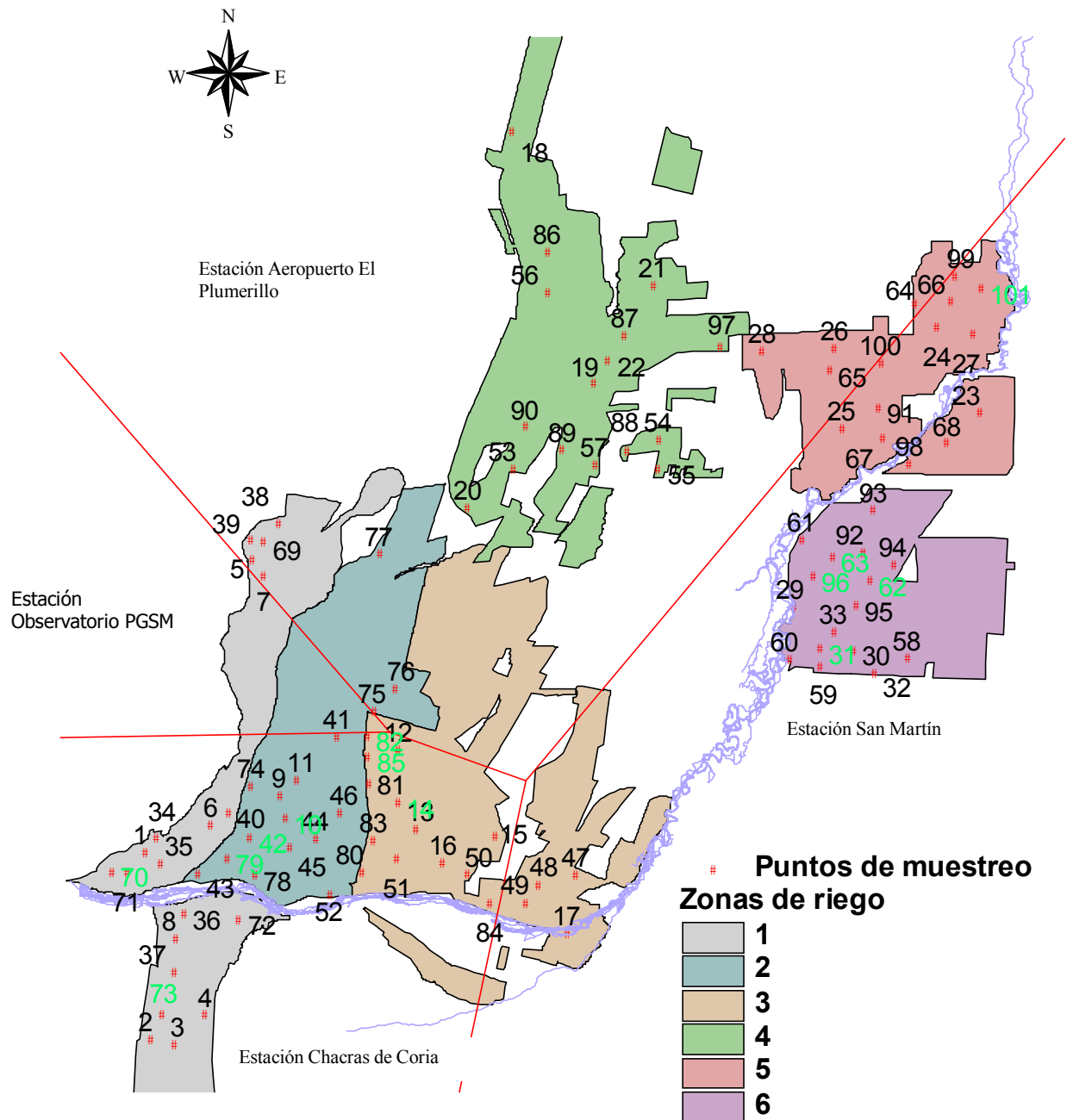


Figura 3: Mapa del área de estudio, localización de las propiedades evaluadas y delimitación de los polígonos de Thiessen correspondientes a las distintas estaciones meteorológicas existentes

6.2. Láminas de riego

En los cuadros 6a, 6b y 6c, se presentan los valores utilizados para el cálculo de la lámina de reposición en cada parcela regada para cada uno de los tres períodos considerados (otoño - invierno, primavera y verano): humedad del suelo (antes y después de riego) volumen de sedimentación (VS), textura dominante del perfil en la zona de exploración radical, peso específico aparente (PEA) para la textura dominante en el perfil obtenido de tabla (Israelsen y Hansen, 1965), la profundidad efectiva de raíces y la lámina de reposición.

Cuadro 6-a: Variables edáficas usadas para el cálculo de la lámina de reposición

G	Z	O	Humedad del suelo(g%g ss)		VS (mL%g)	Textura predominante	PEA (g cm ⁻³)	Prof. radical (m)	Lámina reposición (mm)
			Antes riego	Después riego					
Otoño – Invierno (33 evaluaciones)									
1	1	1	9,6	14,0	90	Franco arenoso	1,40	1,0	62
1	1	2	28,0	29,8	112	Franco limoso	1,35	1,0	24
1	1	3	29,1	32,0	114	Franco limoso	1,35	1,0	39
1	1	4	18,8	23,6	102	Franco	1,40	0,5	34
1	1	5	17,9	21,6	97	Franco	1,40	0,5	26
1	1	6	16,3	18,3	92	Franco arenoso	1,50	0,5	15
1	1	7	14,9	25,3	90	Franco arenoso	1,50	1,0	156
1	1	8	19,0	22,6	89	Franco arenoso	1,50	1,0	54
1	2	1	17,4	19,7	97	Franco	1,40	1,0	32
1	2	2	14,3	29,1	101	Franco	1,40	1,0	207
1	2	3	20,5	24,9	100	Franco	1,40	1,0	62
2	3	1	18,2	21,9	94	Franco	1,50	0,5	28
2	3	2	13,0	22,2	94	Franco	1,40	0,8	103
2	3	3	19,0	24,1	95	Franco	1,40	1,0	71
2	3	4	33,9	38,9	113	Franco limoso	1,35	0,5	34
2	3	5	23,4	24,4	94	Franco	1,40	1,0	14
2	3	6	25,6	32,5	101	Franco	1,40	1,0	97
2	4	1	23,1	29,9	107	Franco limoso	1,35	0,5	46
2	4	2	19,5	23,4	103	Franco	1,40	0,5	27
2	4	3	15,0	19,3	100	Franco	1,40	0,5	30
2	4	4	28,6	36,0	105	Franco limoso	1,35	1,0	100
2	4	5	14,8	21,4	94	Franco	1,40	0,5	46
3	5	4	15,4	19,0	98	Franco	1,40	1,0	50
3	5	5	19,3	24,1	102	Franco	1,40	1,0	67
3	5	6	19,6	26,4	100	Franco	1,40	1,3	118
3	5	7	18,4	22,6	93	Franco arenoso	1,40	1,0	59
3	5	8	9,5	16,0	90	Franco arenoso	1,35	1,0	88
3	5	9	26,7	30,5	116	Franco arcilloso	1,35	1,0	51
3	6	1	18,6	20,4	102	Franco	1,40	0,5	13
3	6	2	17,0	18,9	98	Franco	1,40	1,0	27
3	6	3	9,8	16,5	91	Franco arenoso	1,40	1,0	94
3	6	10	16,7	23,4	96	Franco	1,40	1,0	94
3	6	11	16,8	26,9	98	Franco	1,40	1,0	141
Promedio			19,0	24,0					64

Cuadro 6-b: Variables edáficas usadas para el cálculo de la lámina de reposición

G	Z	O	Humedad del suelo (g%g ss)		VS (mL%g)	Textura predominante	PEA (g cm ⁻³)	Prof. radical (m)	Lámina reposición (mm)
			Antes riego	Después riego					
Primavera (35 evaluaciones)									
1	1	9	18,1	20,8	108	Franco limoso	1,35	1,0	36
1	1	10	17,3	19,7	95	Franco	1,40	1,0	34
1	1	11	19,7	22,2	95	Franco	1,40	0,5	18
1	1	12	17,6	24,9	106	Franco limoso	1,35	1,0	99
1	1	13	19,2	21,4	106	Franco limoso	1,35	0,5	15
1	1	14	16,2	19,1	97	Franco	1,40	1,0	41
1	1	15	17,5	20,0	101	Franco	1,40	1,0	35
1	2	4	15,0	17,0	109	Franco limoso	1,35	1,0	27
1	2	5	17,1	22,4	99	Franco	1,40	1,0	74
1	2	6	16,8	24,0	107	Franco limoso	1,35	0,5	49
1	2	7	17,8	22,0	109	Franco limoso	1,35	1,0	57
1	2	8	13,0	16,8	95	Franco	1,40	1,0	53
1	2	9	12,0	16,1	97	Franco	1,40	1,0	57
2	3	7	25,6	32,1	98	Franco	1,40	1,0	91
2	3	8	17,9	25,4	106	Franco limoso	1,40	0,5	53
2	3	9	21,9	24,7	112	Franco limoso	1,35	0,5	19
2	3	10	19,5	22,3	94	Franco	1,40	1,0	39
2	3	11	13,0	17,4	99	Franco	1,40	1,0	62
2	3	12	19,6	20,9	101	Franco	1,40	1,0	18
2	4	6	26,4	29,3	101	Franco	1,40	1,0	41
2	4	7	15,6	22,8	96	Franco	1,40	0,5	50
2	4	8	21,4	26,6	100	Franco	1,40	0,5	36
2	4	9	17,0	22,1	102	Franco	1,40	1,0	71
2	4	10	29,1	32,9	123	Franco arcilloso	1,30	1,0	49
3	5	18	15,4	20,1	92	Franco arenoso	1,50	1,0	71
3	5	19	19,1	26,4	102	Franco	1,40	1,0	102
3	5	20	15,2	19,7	96	Franco	1,40	1,0	63
3	5	21	14,1	20,4	90	Franco arenoso	1,50	1,0	95
3	5	22	24,9	32,3	117	Franco arcilloso	1,35	1,0	100
3	6	12	14,0	21,2	98	Franco	1,40	1,0	101
3	6	13	13,0	18,5	90	Franco arenoso	1,50	1,0	83
3	6	14	16,6	22,1	113	Franco limoso	1,35	0,5	37
3	6	15	26,3	29,2	110	Franco limoso	1,35	1,0	39
3	6	16	13,3	16,5	95	Franco	1,40	0,5	22
3	6	17	14,9	20,9	96	Franco	1,40	0,5	42
Promedio			18,0	23,0					54

Cuadro 6-c: Variables edáficas usadas para el cálculo de la lámina de reposición

G	Z	O	Humedad del suelo (g%g ss)		VS (mL%g)	Textura predominante	PEA (g cm ⁻³)	Prof. radical (m)	Lámina reposición (mm)
			Antes riego	Después riego					
Verano (33 evaluaciones)									
1	1	16	15,5	24,3	100	Franco	1,40	1,0	123
1	1	17	12,4	18,8	95	Franco	1,40	0,5	45
1	1	18	14,2	20,9	101	Franco	1,40	1,0	94
1	1	19	10,2	15,9	81	Franco arenoso	1,50	0,8	68
1	1	20	16,7	21,6	101	Franco	1,40	0,5	34
1	2	10	8,2	14,7	102	Franco	1,40	1,0	91
1	2	11	10,9	21,9	106	Franco limoso	1,40	0,5	77
1	2	12	25,0	26,7	111	Franco limoso	1,35	0,5	12
1	2	13	18,5	27,9	111	Franco limoso	1,35	1,0	127
1	2	14	9,2	19,5	90	Franco arenoso	1,50	1,0	155
1	2	15	13,8	18,9	93	Franco arenoso	1,50	1,0	77
2	3	13	12,1	20,2	92	Franco arenoso	1,50	1,0	122
2	3	14	10,0	17,2	79	Arenoso	1,50	1,0	108
2	3	15	13,6	15,5	89	Franco arenoso	1,50	1,0	29
2	3	16	11,3	16,5	100	Franco	1,40	1,0	73
2	3	17	12,7	22,0	104	Franco	1,40	1,0	130
2	3	18	16,4	18,4	101	Franco	1,40	1,0	28
2	4	11	18,6	22,1	101	Franco	1,40	1,0	49
2	4	12	20,8	26,0	111	Franco limoso	1,35	1,0	70
2	4	13	15,2	21,3	93	Franco arenoso	1,50	0,3	27
2	4	14	19,1	27,5	102	Franco	1,40	1,0	118
2	4	15	17,5	26,0	107	Franco limoso	1,35	1,0	115
3	5	23	17,3	27,5	116	Franco arcilloso	1,35	1,0	138
3	5	29	12,4	14,2	95	Franco	1,40	1,0	24
3	5	30	13,3	22,6	96	Franco	1,40	1,0	130
3	5	31	6,1	12,5	90	Franco arenoso	1,50	1,0	96
3	5	32	15,9	21,8	103	Franco	1,40	1,0	83
3	5	33	21,8	27,5	102	Franco	1,40	1,0	80
3	6	24	8,2	16,3	99	Franco	1,40	1,0	113
3	6	25	10,7	25,1	95	Franco	1,40	0,5	101
3	6	26	15,7	22,6	103	Franco	1,40	1,0	97
3	6	27	9,4	20,0	98	Franco	1,40	1,0	148
3	6	28	11,0	15,0	96	Franco	1,40	1,0	56
Promedio			14,0	21,0					86

En los cuadros 7-a, 7-b, 7-c se presentan los valores de las láminas de riego aplicadas en otoño-invierno, primavera y verano, donde: *dr*: lámina de reposición; *db*: lámina bruta; *dinf*: lámina infiltrada en el perfil del suelo regado, *de*: lámina escurrida al pie de la parcela de riego; *dal*: lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo; y *dper*: lámina percolada (lámina infiltrada y que ha superado la profundidad radical del cultivo). Se presentan también (en negrita) los valores medios para cada zona de riego.

Cuadro 7-a: Láminas de riego obtenidas para el área regadía del río Mendoza (otoño – invierno)

G	Z	O	<i>dr</i> (mm)	<i>db</i> (mm)	<i>dinf</i> (mm)	<i>de</i> (mm)	<i>dal</i> (mm)	<i>dper</i> (mm)
1	1	1	62	142	47	95	47	0
1	1	2	24	39	39	0	24	15
1	1	3	39	237	10	227	10	0
1	1	4	34	33	23	10	23	0
1	1	5	26	69	6	63	6	0
1	1	6	15	166	14	152	14	0
1	1	7	156	121	43	78	43	0
1	1	8	54	29	22	7	22	0
Promedio			51	105	26	79	24	2
1	2	1	32	56	56	0	32	24
1	2	2	207	250	21	229	21	0
1	2	3	62	140	45	95	45	0
Promedio			100	149	41	108	33	8
2	3	1	28	172	66	106	28	38
2	3	2	103	53	53	0	53	0
2	3	3	71	36	34	2	34	0
2	3	4	34	44	44	0	34	10
2	3	5	14	171	40	131	14	26
2	3	6	97	125	125	0	95	30
Promedio			58	100	60	40	43	17
2	4	1	46	179	179	0	46	133
2	4	2	27	35	35	0	27	8
2	4	3	30	54	54	0	30	24
2	4	4	100	88	88	0	85	3
2	4	5	46	55	55	0	46	9
Promedio			50	82	82	0	47	35
3	5	1	50	217	217	0	50	167
3	5	2	67	119	119	0	67	52
3	5	3	118	276	276	0	118	158
3	5	4	59	60	60	0	59	1
3	5	5	88	150	150	0	88	62
3	5	6	51	116	116	0	51	65
Promedio			72	156	156	0	72	84
3	6	1	13	39	39	0	13	26
3	6	2	27	70	70	0	27	43
3	6	3	94	90	90	0	90	0
3	6	4	94	88	88	0	88	0
3	6	5	141	88	88	0	88	0
Promedio			74	75	75	0	61	14
Promedio general			64	111	72	40	46	26

Cuadro 7-b: Láminas de riego obtenidas para el área regadía del río Mendoza (primavera)

G	Z	O	dr (mm)	db (mm)	dinf (mm)	de (mm)	dal (mm)	dper (mm)
1	1	9	36	124	37	87	36	1
1	1	10	34	258	26	232	26	0
1	1	11	18	308	56	252	18	38
1	1	12	99	211	25	186	25	0
1	1	13	15	638	84	554	15	69
1	1	14	41	63	63	0	41	22
1	1	15	35	65	11	54	11	0
Promedio			40	238	43	195	25	19
1	2	4	27	107	107	0	27	80
1	2	5	74	126	28	98	28	0
1	2	6	49	23	23	0	23	0
1	2	7	57	36	31	5	31	0
1	2	8	53	126	5	121	5	0
1	2	9	57	107	33	74	33	0
Promedio			53	88	38	50	25	13
2	3	7	91	79	79	0	79	0
2	3	8	53	15	15	0	15	0
2	3	9	19	93	93	0	19	74
2	3	10	39	33	33	0	33	0
2	3	11	62	447	81	366	62	19
2	3	12	18	42	42	0	18	24
Promedio			47	118	57	61	38	20
2	4	6	41	95	95	0	41	54
2	4	7	50	97	97	0	50	47
2	4	8	36	31	31	0	31	0
2	4	9	71	432	432	0	71	361
2	4	10	49	37	37	0	37	0
Promedio			50	138	138	0	46	92
3	5	18	71	93	93	0	66	27
3	5	19	102	54	54	0	54	0
3	5	20	63	68	68	0	63	5
3	5	21	95	151	151	0	95	56
3	5	22	100	97	97	0	97	0
Promedio			86	93	93	0	75	18
3	6	12	101	164	164	0	101	63
3	6	13	83	85	85	0	83	2
3	6	14	37	117	117	0	37	80
3	6	15	39	186	186	0	39	147
3	6	16	22	17	17	0	17	0
3	6	17	42	122	122	0	42	80
Promedio			54	115	115	0	53	62
Promedio general			54	136	78	58	42	36

Cuadro 7-c: Láminas de riego obtenidas para el área regadía del río Mendoza (verano)

G	Z	O	dr (mm)	db (mm)	dinf (mm)	de (mm)	dal (mm)	dper (mm)
1	1	16	123	74	65	9	65	0
1	1	17	45	72	40	32	40	0
1	1	18	94	100	38	62	38	0
1	1	19	68	49	20	29	20	0
1	1	20	34	160	26	134	26	0
Promedio			73	91	38	53	38	0
1	2	10	91	44	44	0	44	0
1	2	11	77	58	37	21	37	0
1	2	12	12	122	107	15	12	95
1	2	13	127	43	43	0	43	0
1	2	14	155	85	10	77	10	0
1	2	15	77	69	17	52	17	0
Promedio			90	70	43	28	27	16
2	3	13	122	224	54	170	54	0
2	3	14	108	150	12	138	12	0
2	3	15	29	85	85	0	29	56
2	3	16	73	31	31	0	31	0
2	3	17	130	106	106	0	106	0
2	3	18	28	77	77	0	28	49
Promedio			82	112	61	51	43	18
2	4	11	49	202	202	0	49	153
2	4	12	70	230	230	0	70	160
2	4	13	27	76	76	0	27	49
2	4	14	118	77	77	0	77	0
2	4	15	115	75	75	0	75	0
Promedio			76	132	132	0	60	72
3	5	23	138	120	120	0	120	0
3	5	29	24	45	45	0	24	21
3	5	30	130	57	57	0	57	0
3	5	31	96	248	248	0	96	152
3	5	32	83	143	143	0	83	60
3	5	33	80	48	48	0	48	0
Promedio			92	110	110	0	71	39
3	6	24	113	184	184	0	113	71
3	6	25	101	66	66	0	66	0
3	6	26	97	157	157	0	97	60
3	6	27	148	67	67	0	67	0
3	6	28	56	68	68	0	56	12
Promedio			103	108	108	0	80	29
Promedio general			86	103	81	22	53	28

6.2.1. Análisis de las láminas de riego

En el cuadro 8 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 α considerado. En el anexo figura el resultado de la ADEVA.

Cuadro 8: 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 α (0,05).

Del análisis de los datos presentados en el cuadro 7, resumidos en el cuadro 8 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 periodos 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 periodos 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.

Con respecto a las láminas infiltradas (*dinf*) del análisis estadístico de los datos presentados en el cuadro 8 se observa que no existen diferencias entre las láminas infiltradas en los distintos periodos 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 8 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 8 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 por medio de surcos 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).

6.3. Parámetros físicos y de manejo

En los cuadros 9a, 9b y 9c se presentan, para cada propiedad y zona de riego, los parámetros de la ecuación de infiltración de Kostiaikov (A y B) (1932, mencionado por Grassi, 1998), el valor de infiltración básica (Ib), los parámetros de la ecuación de avance (p y r) (Grassi, 1998), el caudal de manejo utilizado por el regador en la “tapada” de riego, el caudal unitario para surcos ($L s^{-1}$) y para melgas ($L s^{-1} m^{-1}$), la pendiente del terreno y la relación V_{inf}/V_{en} (expresada en porcentaje), que representa la proporción de agua que se infiltra en la propiedad.

Cuadro 9-a: Parámetros de infiltración, avance, caudal, pendiente de riego y porcentaje de agua infiltrado respecto del total entrado a la propiedad (otoño – invierno)

G	Z	O	Infiltración			Avance		Caudal		Pendiente ($m m^{-1}$)	Relación V_{inf}/V_{en}
			A	B	Ib	p	r	Qm ($L s^{-1}$)	qu ($L s^{-1}$) qu ($L s^{-1} m^{-1}$)		
1	1	1	4,67	0,26	0,8	6,18	0,58	10,7	0,19	0,0040	-
Con el uso del desagüe									0,29	-	57
1	1	2	4,32	0,33	1,6	4,81	0,85	16,6	1,85	0,0001	-
1	1	3	5,54	0,22	0,6	2,82	0,98	11,9	0,59	0,0074	-
Con el uso del desagüe									0,59	-	63
1	1	4	1,37	0,17	0,1	6,41	0,73	23,2	0,46	0,0020	84
1	1	5	9,49	0,10	0,2	5,45	0,91	9,9	0,23	0,0100	68
Con el uso del desagüe									-	-	90
1	1	6	7,33	0,10	0,2	2,52	0,09	10,8	0,13	0,0050	34
Con el uso del desagüe									-	-	56
1	1	7	2,43	0,55	6,4	7,48	0,54	35,6	0,64	0,0060	39
1	1	8	11,77	0,33	4,3	4,76	0,70	4,0	0,50	0,0070	59
Promedio			5,87	0,26	1,8	5,05	0,67	15,3	0,55	0,0052	61
1	2	1	9,35	0,29	2,1	6,65	0,89	9,2	0,46	-0,0013	78
1	2	2	30,54	0,16	1,5	2,42	0,87	6,0	0,33	0,0020	41
1	2	3	5,93	0,35	2,5	3,24	0,70	15,7	0,39	0,0080	78
Promedio			15,27	0,27	2,0	4,10	0,82	10,3	0,39	0,0029	66
2	3	1	10,68	0,28	2,4	4,22	0,65	17,6	0,61	0,0039	60
2	3	2	25,08	0,24	3,4	7,21	0,62	5,9	0,34	0,0063	100
2	3	3	10,81	0,24	1,5	1,26	0,82	11,7	0,56	0,0043	90
2	3	4	3,14	0,32	1,0	4,42	0,72	16,2	0,45	0,0005	100
2	3	5	17,49	0,57	53,8	6,65	0,89	96,3	1,60	0,0110	58
2	3	6	3,41	0,37	1,8	3,80	0,70	30,2	1,44	-0,0003	100
Promedio			11,77	0,34	10,6	4,59	0,73	29,6	0,83	0,0043	85
2	4	1	6,34	0,66	39,9	12,90	0,52	171,8	8,60	0,0000	100
2	4	2	6,94	0,04	3,2	0,94	0,93	10,3	0,20	0,0000	100
2	4	3	3,79	0,33	1,3	2,50	0,81	20,0	0,34	0,0011	100
2	4	4	4,17	0,66	26,5	1,48	0,93	28,3	1,62	0,0001	100
2	4	5	15,07	0,31	4,3	1,15	0,97	38,0	0,21	0,0010	100
Promedio			7,26	0,40	15,0	3,79	0,83	53,7	2,19	0,0004	100
3	5	1	36,37	0,19	2,6	2,33	0,99	91,2	3,80	0,0016	100
3	5	2	13,42	0,23	1,6	6,87	0,85	129,2	2,72	0,0010	100
3	5	3	16,34	0,34	6,1	0,54	0,91	55,1	2,30	0,0005	100
3	5	4	1,93	0,32	0,6	3,93	0,86	71,7	2,39	0,0003	100
3	5	5	9,74	0,17	0,6	3,57	0,98	193,6	2,04	0,0007	100
3	5	6	10,89	0,36	5,1	6,25	0,78	102,5	2,41	0,0014	100
Promedio			14,78	0,27	2,8	3,92	0,89	107,2	2,61	0,0009	100
3	6	1	9,04	0,33	3,3	6,85	0,92	22,0	1,47	-0,0005	100
3	6	2	13,04	0,18	0,9	6,67	0,74	67,8	0,90	0,0008	100
3	6	3	7,95	0,32	2,7	2,67	0,79	80,7	0,95	0,0006	100
3	6	4	7,25	0,43	6,6	5,96	0,87	105	3,06	0,0010	100
3	6	5	10,57	0,41	8,0	3,20	0,98	177,3	5,54	0,0015	100
Promedio			9,57	0,33	4,3	5,07	0,86	90,6	2,38	0,0007	100
Prom. gral.			10,19	0,31	6,0	4,49	0,79	51,4	1,43	0,0026	84

Cuadro 9-b: Parámetros de infiltración, avance, caudal, pendiente de riego y porcentaje de agua infiltrado respecto del total entrado a la propiedad (primavera)

G	Z	O	Infiltración			Avance		Caudal		Pendiente (m m ⁻¹)	Relación <i>Vinf/Ven</i>
			A	B	Ib	p	r	Qm (L s ⁻¹)	qu (L s ⁻¹) qu (L s ⁻¹ m ⁻¹)		
1	1	9	9,72	0,25	1,4	1,57	0,83	12,9	0,61	0,0030	31
1	1	10	7,65	0,26	1,3	6,78	0,71	29,6	0,34	0,0030	9
1	1	11	3,02	0,20	0,3	2,91	0,71	51,2	0,16	0,0020	49
1	1	12	2,47	0,51	4,7	5,10	0,78	24,5	0,34	0,0050	38
1	1	13	15,04	0,30	3,9	5,15	0,77	33,3	1,52	0,0080	39
1	1	14	5,28	0,41	4,1	4,25	0,80	70,8	0,79	0,0020	100
1	1	15	3,59	0,34	1,4	2,91	0,75	23,7	0,09	0,0060	31
Promedio			6,68	0,32	2,4	4,10	0,76	35,1	0,55	0,0041	42
1	2	4	14,05	0,10	0,3	3,81	0,88	41,0	2,58	0,0010	100
1	2	5	11,93	0,26	2,1	7,92	0,68	7,0	0,58	0,0070	12
1	2	6	11,82	0,30	3,1	4,58	0,74	39,0	0,08	0,0060	100
1	2	7	23,32	0,31	7,0	3,46	0,67	10,0	1,00	0,0070	90
1	2	8	6,42	0,37	3,3	11,78	0,90	57,9	1,00	0,0070	64
1	2	9	10,07	0,17	0,6	7,13	0,59	4,0	0,29	0,0050	24
Promedio			12,94	0,25	2,7	6,45	0,74	26,5	0,92	0,0055	65
2	3	7	14,08	0,25	2,1	2,73	0,87	12,2	0,87	0,0010	100
2	3	8	20,99	0,34	8,2	4,02	0,91	28,0	0,93	0,0010	100
2	3	9	11,17	0,24	1,6	3,96	0,70	16,4	0,46	0,0013	100
2	3	10	3,93	0,44	4,1	4,72	0,81	24,9	1,56	0,0003	100
2	3	11	6,55	0,27	1,2	4,93	0,74	5,2	1,04	0,0050	60
2	3	12	10,08	0,20	0,8	9,28	0,62	11,8	2,94	0,0012	100
Promedio			11,13	0,29	3,0	4,94	0,78	16,4	1,30	0,0016	93
2	4	6	19,57	0,27	3,7	3,08	0,78	22,5	1,50	0,0010	100
2	4	7	14,85	0,41	11,6	3,18	0,90	13,5	0,96	0,0007	100
2	4	8	8,52	0,19	0,7	8,54	0,66	57,6	0,40	-0,0003	100
2	4	9	11,98	0,33	4,3	5,93	0,82	90,7	5,04	0,0012	100
2	4	10	23,85	0,32	7,6	7,40	0,71	108,4	2,71	0,0005	100
Promedio			15,75	0,30	5,6	5,63	0,77	58,5	2,12	0,0006	100
3	5	18	9,38	0,50	16,0	4,73	0,69	147,6	1,28	-0,0001	100
3	5	19	8,09	0,40	5,6	1,80	0,85	85,7	0,72	0,0007	100
3	5	20	8,23	0,27	1,6	7,33	0,70	173,3	2,28	0,0010	100
3	5	21	16,74	0,19	1,4	4,99	0,70	34,5	3,14	-0,0003	100
3	5	22	2,92	0,50	5,0	9,81	0,72	634,1	3,79	0,0027	100
Promedio			9,07	0,37	5,9	5,73	0,73	215,0	2,24	0,0008	100
3	6	12	8,39	0,37	4,3	1,72	0,84	109,8	4,58	-0,0001	100
3	6	13	15,88	0,28	3,5	5,56	0,67	107,2	0,86	-0,0003	100
3	6	14	3,09	0,46	3,6	8,96	0,70	99,0	1,62	-0,0003	100
3	6	15	8,25	0,27	1,6	1,47	1,00	228,4	7,14	0,0012	100
3	6	16	9,28	0,48	13,5	4,55	0,87	75,0	1,36	-0,0002	100
3	6	17	24,52	0,32	7,8	2,17	0,81	74,2	0,62	-0,0005	100
Promedio			11,57	0,36	5,7	4,07	0,81	115,6	2,70	0,0004	100
Prom. gral.			10,99	0,32	4,1	5,09	0,77	73,3	1,58	0,0022	81

Cuadro 9-c: Parámetros de infiltración, avance, caudal, pendiente de riego y porcentaje de agua infiltrado respecto del total entrado a la propiedad (verano)

G	Z	O	Infiltración			Avance		Caudal		Pendiente (m m ⁻¹)	Relación <i>Vinf/Ven</i>
			A	B	Ib	p	r	Qm (L s ⁻¹)	qu (L s ⁻¹) qu (L s ⁻¹ m ⁻¹)		
1	1	16	32,60	0,19	2,6	10,80	0,53	6,2	1,03	0,0103	88
1	1	17	10,49	0,14	0,4	9,42	0,54	38,6	0,51	0,0022	42
1	1	18	6,73	0,24	1,0	3,79	0,71	4,0	0,33	0,0012	95
1	1	19	1,53	0,78	25,2	5,56	0,81	4,3	0,36	0,0130	84
1	1	20	6,05	0,40	4,3	5,84	0,71	33,1	0,13	0,0040	27
Promedio			11,48	0,35	6,7	7,08	0,66	17,2	0,47	0,0061	67
1	2	10	3,38	0,45	3,7	2,87	0,79	23,9	0,66	0,0050	100
1	2	11	15,41	0,29	3,7	3,31	0,62	9,7	0,37	0,0090	94
1	2	12	8,31	0,50	14,4	3,56	0,68	14,6	0,73	0,0100	96
1	2	13	6,98	0,41	5,4	4,19	0,74	50,5	0,65	0,0010	100
1	2	14	13,24	0,25	1,9	1,50	0,99	12,9	0,17	0,0007	44
1	2	15	19,02	0,22	2,2	12,70	0,72	5,0	0,82	0,0110	82
Promedio			11,06	0,35	5,2	4,69	0,76	19,4	0,57	0,0061	86
2	3	13	7,51	0,41	5,9	4,46	0,63	56,5	0,38	0,0090	68
2	3	14	9,93	0,26	1,7	3,73	0,84	21,9	0,17	0,0080	
2	3	15	15,22	0,20	1,2	3,84	0,77	71,7	0,91	0,0030	100
2	3	16	1,56	0,60	6,2	5,09	0,80	30,7	0,67	0,0004	100
2	3	17	5,81	0,32	1,9	3,40	0,78		0,47	-0,0002	100
2	3	18	44,87	0,40	31,5	6,94	0,77	56,4	2,09	0,0008	100
Promedio			14,15	0,37	8,1	4,58	0,77	47,4	0,78	0,0035	94
2	4	11	17,18	0,21	1,7	3,88	0,65	631,0	4,21	0,0045	100
2	4	12	24,58	0,34	9,9	4,08	0,69	109,2	3,40	0,0002	100
2	4	13	16,69	0,27	3,3	3,73	0,80	107,6	0,84	0,0003	100
2	4	14	15,12	0,26	2,5	6,87	0,54	185,3	0,79	-0,0010	100
2	4	15	43,92	0,20	3,8	3,02	0,89	31,2	1,39	-0,0004	100
Promedio			23,50	0,26	4,2	4,32	0,71	212,9	2,13	0,0007	100
3	5	23	6,86	0,34	2,8	4,10	0,77	154,6	2,41	0,0003	100
3	5	29	22,35	0,23	2,7	8,04	0,51	106,4	1,77	-0,0003	100
3	5	30	19,69	0,32	6,1	18,50	0,68	286,0	3,42	0,0012	100
3	5	31	9,75	0,38	5,9	3,40	0,98	72,0	4,80	0,0027	100
3	5	32	9,14	0,17	0,6	14,53	0,56	184,8	9,24	0,0000	100
3	5	33	8,26	0,25	1,2	9,96	0,76	33,7	34,00	0,0010	100
Promedio			12,68	0,28	3,2	9,76	0,71	139,6	9,27	0,0008	100
3	6	24	11,02	0,55	28,5	3,78	0,97	135,3	2,51	-0,0007	100
3	6	25	9,05	0,30	2,3	1,13	0,99	45,9	1,53	-0,0003	100
3	6	26	8,03	0,23	1,0	2,02	0,84	39,2	1,96	0,0005	100
3	6	27	16,08	0,24	2,3	2,62	0,82	52,2	0,92	0,0001	100
3	6	28	7,43	0,49	11,9	9,23	0,70	56,6	3,14	-0,0002	100
Promedio			10,32	0,36	9,2	3,76	0,86	65,8	2,01	-0,0001	100
Prom. gral.			13,75	0,33	6,0	5,75	0,74	83,5	2,63	0,0029	91

6.3.1. Infiltración

La figura 4 muestra el área regadía del río Mendoza con las series de suelo descritas por Romanella (1957) y sobre ellas los números que identifican a las propiedades evaluadas. La figura 5 muestra los pares de datos de lámina acumulada en función del tiempo de la totalidad de los ensayos de velocidad de infiltración realizados en las propiedades evaluadas en el río Mendoza. Se ha ajustado una curva potencial de velocidad de infiltración promedio para toda el área regadía del río Mendoza.

La ecuación obtenida para toda el área resultó:

$$I_{cum} = A * t^B = 9.30 * t^{0.319} \quad (42)$$

y la infiltración básica:

$$I_b = a * 60 * (-600 * b)^b = 2,967 * 60 * (-600 * -0.681)^{-0.681} = 2.97 \text{ mm / h} \quad (43)$$

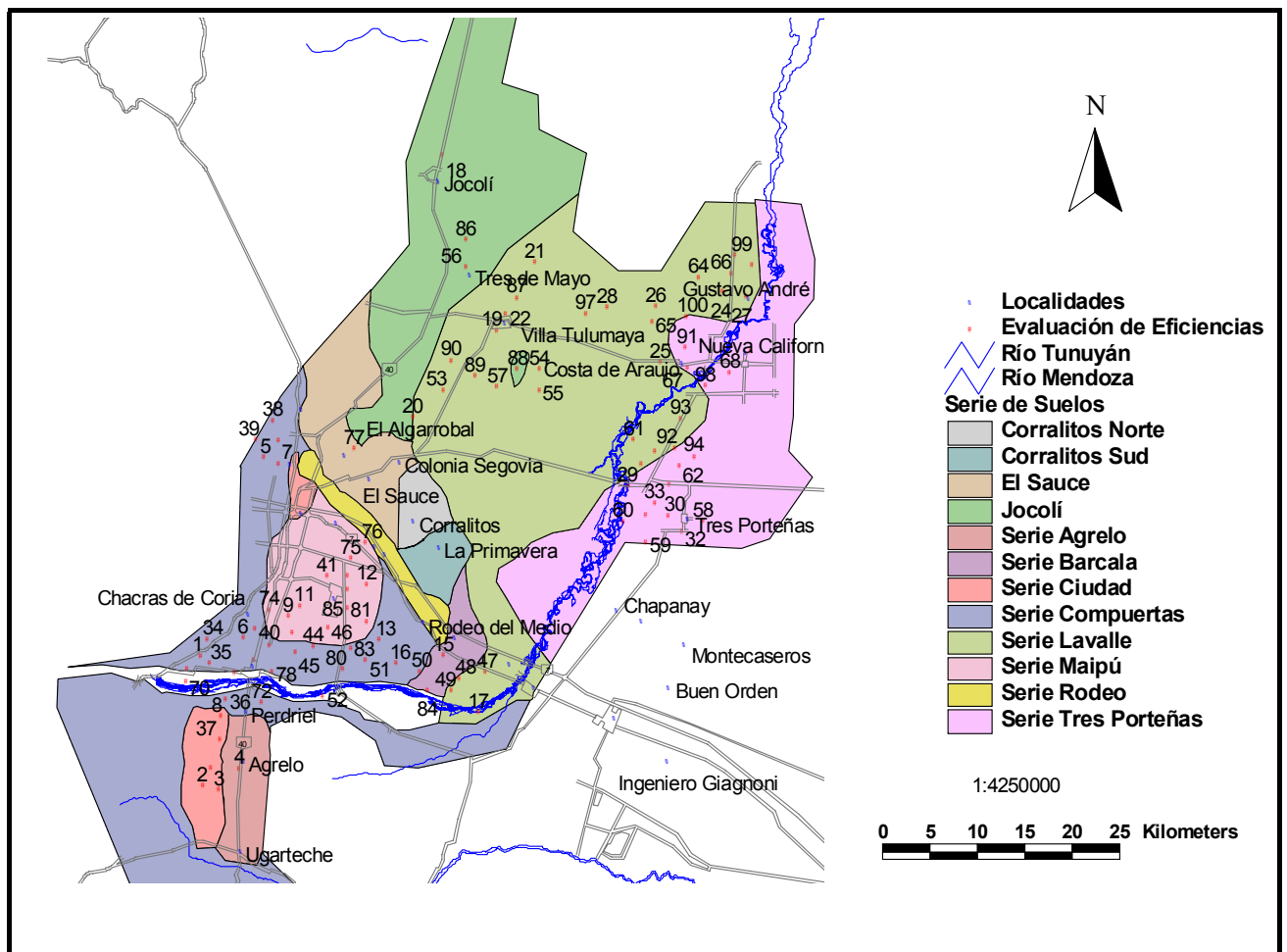


Figura 4: Ubicación de los puntos de muestreo respecto a las series de suelos (Romanella, 1957)

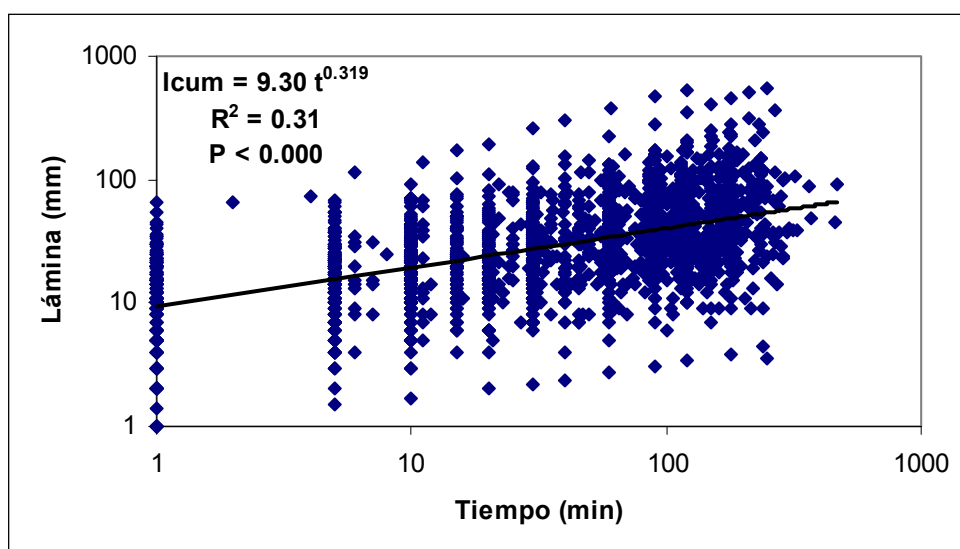


Figura 5: Ecuación potencial que ajusta a la totalidad de los ensayos de infiltración realizados en el área regadía del río Mendoza

El cuadro 10 presenta los resultados de las ecuaciones de infiltración obtenidas agrupadas según las series de suelo definidas por Romanella (1957), se incluyen los coeficientes (A) y los exponentes (B) de la ecuación de infiltración de Kostiakov (1932, mencionado por Grassi, 1998), se indica el número de propiedades evaluadas en cada serie, la cantidad de pares de datos utilizados, los coeficiente de correlación (R^2), los valores de infiltración básica (I_b), el tiempo que tarda en infiltrarse 100 mm de agua (T_{100}) y los números que identifican a las familias de infiltración (F) que representan cada serie de suelo. Las curvas de infiltración características de cada serie son presentadas en la figura 6. Si bien los valores de “A” y “B” no presentaron grandes variaciones, los resultados extremos de infiltración básica (1,33 y 7,28 mm/h) y de T_{100} (286 y 21116 minutos) ejemplifican las diferencias existentes entre las distintas series de suelos presentes.

Cuadro 10: Parámetros de la ecuación de infiltración de Kostiakov para distintas series de suelo del área regadía del río Mendoza (A y B: coeficiente y exponente de la ecuación de infiltración de Kostiakov, N° de fincas evaluadas, N° de pares de datos utilizados, I_b : infiltración básica, T_{100} : tiempo que tarda en infiltrarse 100 mm de agua, F: valor de la familia de infiltración)

Serie	A	B	N° de fincas	N° de pares	I_b (mm/h)	T_{100} (min)	F (°/h)	R^2	P <
Compuertas	7.97	0.268	24	454	1.49	12561	0.06	0.24	0.000
Ciudad	5.59	0.415	3	64	4.51	1043	0.18	0.52	0.000
Barcala	4.32	0.316	2	40	1.33	21116	0.05	0.57	0.000
Sauce Jocolí	10.49	0.399	5	98	7.28	286	0.29	0.60	0.000
Lavalle	10.71	0.330	32	588	3.82	871	0.15	0.37	0.000
Maipú	10.43	0.269	13	229	1.97	4462	0.08	0.51	0.000
Tres Porteñas	11.38	0.290	16	298	2.69	1798	0.11	0.44	0.000
General	9.30	0.319	96	1883	2.97	1710	0.12	0.31	0.000

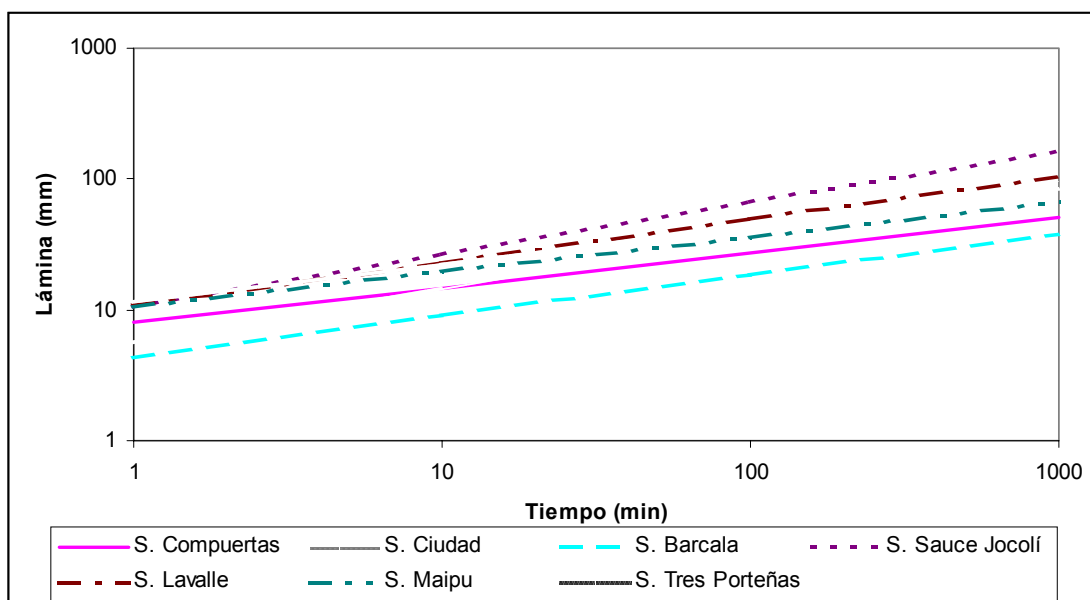


Figura 6: Curvas de infiltración características de cada serie de suelos del área regadía del río Mendoza

6.3.2. Avance

El cuadro 11 presenta los parámetros de avance obtenidos para el área en estudio, según las ecuaciones 19 ($x = p * t^r$) y 21 ($x = u * q^s * t^r$). Los mismos fueron calculados sobre la base de 2788 pares de datos (949 para surcos con desagüe al pie, 862 para surcos sin desagüe y 977 pares de datos para melgas sin desagüe).

Cuadro 11: Estimación de los parámetros “p”, “s” y “r” de las ecuaciones de avance del frente de agua en función del método de riego para el área regadía del río Mendoza

Ecuación Método	Estimación de “p”	Estimación de “s” (L/s o L/s*m)	Estimación de “r” (min)	N	R ²
S C/D	6.63 P < 0.000	-	0.60 P < 0.000	949	0.70 P < 0.000
	6.86 P < 0.000	0.039 P < 0.04	0.60 P < 0.000		0.70 P < 0.000
S s/D	8.12 P < 0.000	-	0.55 P < 0.000	862	0.64 P < 0.000
	7.23 P < 0.000	0.121 P < 0.000	0.58 P < 0.000		0.67 P < 0.000
Melgas	8.12 P < 0.000	-	0.56 P < 0.000	977	0.65 P < 0.000
	6.90 P < 0.000	0.204 P < 0.000	0.59 P < 0.000		0.68 P < 0.000
Todos General	7.72 P < 0.000	-	0.57 P < 0.000	2788	0.67 P < 0.000

La figura 7 ilustra los pares de datos del avance del frente de agua. Si bien no hay diferencias importantes entre las distintas ecuaciones, la incorporación del caudal unitario en las mismas es significativa.

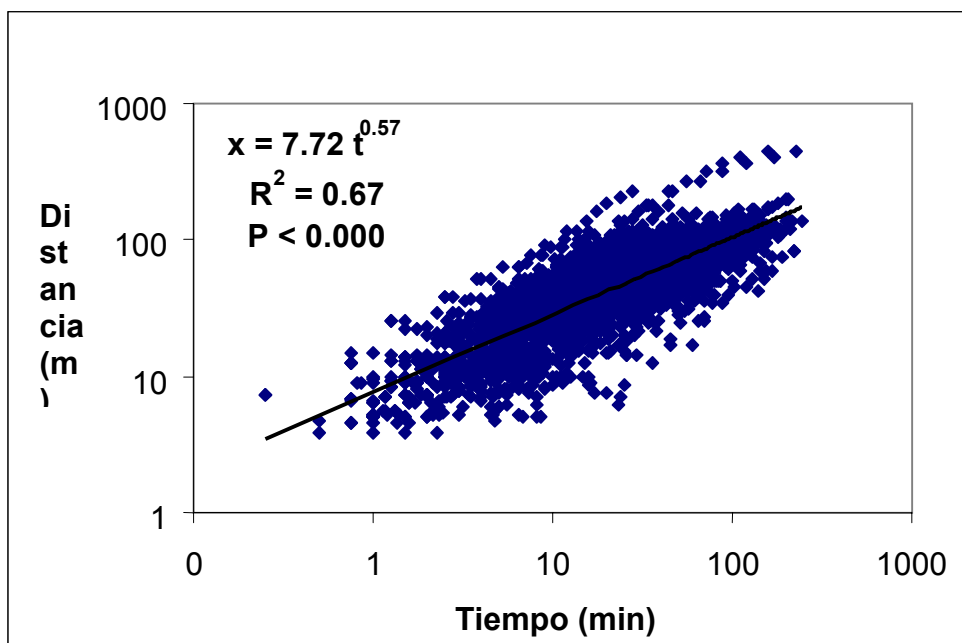


Figura 7: Distancia avanzada por el frente de agua para distintos tiempos en el área regadía del río Mendoza

6.3.3. Geometría del surco

A partir de las relaciones establecidas entre el área del frente del flujo, perímetro mojado y ancho superior con el tirante de agua en el surco (ecuaciones 29, 30 y 32) y la fórmula que vincula el producto del cuadrado del área y el radio hidráulico elevado a la (4/3) con el área del frente del agua en el surco (ecuación 33) se obtuvieron los distintos coeficientes que caracterizan a cada una de las categorías de surcos propuestas. El valor de los mencionados coeficientes puede ser observado en el cuadro 12.

Cuadro 12: Coeficientes calculados para las distintas categorías de surcos consideradas en el área de riego del río Mendoza

Identificación / categoría	σ_1	σ_2	γ_1	γ_2	α_1	α_2	ρ_1	ρ_2
1 / Pequeño	1.181	1.619	2.561	0.691	2.186	0.659	0.314	2.764
2 / Mediano	1.544	1.660	3.477	0.739	3.108	0.717	0.245	2.739
3 / Grande	2.178	1.663	4.904	0.759	4.490	0.740	0.193	2.725
4 / (< 40)	0.829	1.484	2.112	0.626	1.774	0.592	0.331	2.770
5 / (41 – 50)	0.979	1.566	2.621	0.712	2.234	0.684	0.272	2.726
6 / (51 – 60)	1.175	1.586	2.744	0.693	2.369	0.664	0.285	2.750
7 / (61 – 70)	1.546	1.655	3.384	0.733	3.028	0.712	0.254	2.743
8 / (71 – 80)	1.513	1.573	2.949	0.632	2.616	0.605	0.231	2.784
9 / (81 – 90)	1.728	1.528	3.035	0.565	2.780	0.545	0.295	2.798

Los perfiles transversales de los surcos medios obtenidos para cada una de las categorías, pueden ser vistos en la figura 8.

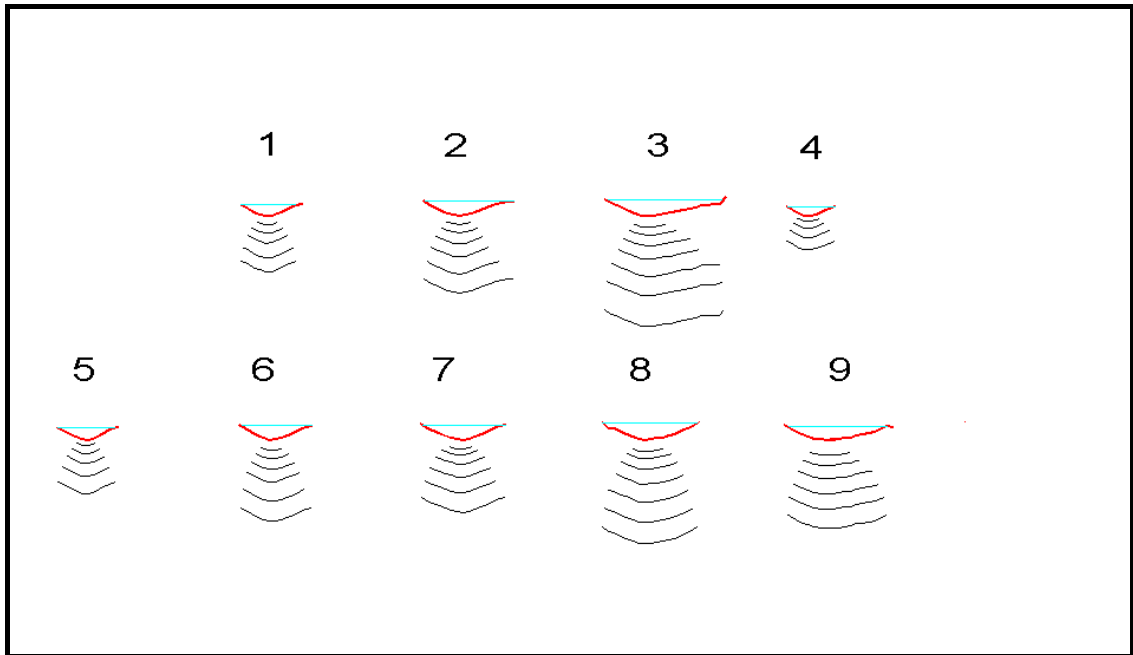


Figura 8: Cortes transversales de los surcos medios de cada una de las distintas categorías consideradas en el área regadía del río Mendoza. Los números arriba de cada figura indican la categoría del surco según el cuadro 12.

En la figura 9 se ilustra mediante un gráfico la distribución de frecuencias de las distintas categorías de surcos observadas a campo para los diversos cultivos (H = hortalizas y F = frutales) y para el método de riego considerado (S c/D = surcos con desagüe al pie y S s/D = surcos sin desagüe al pie).

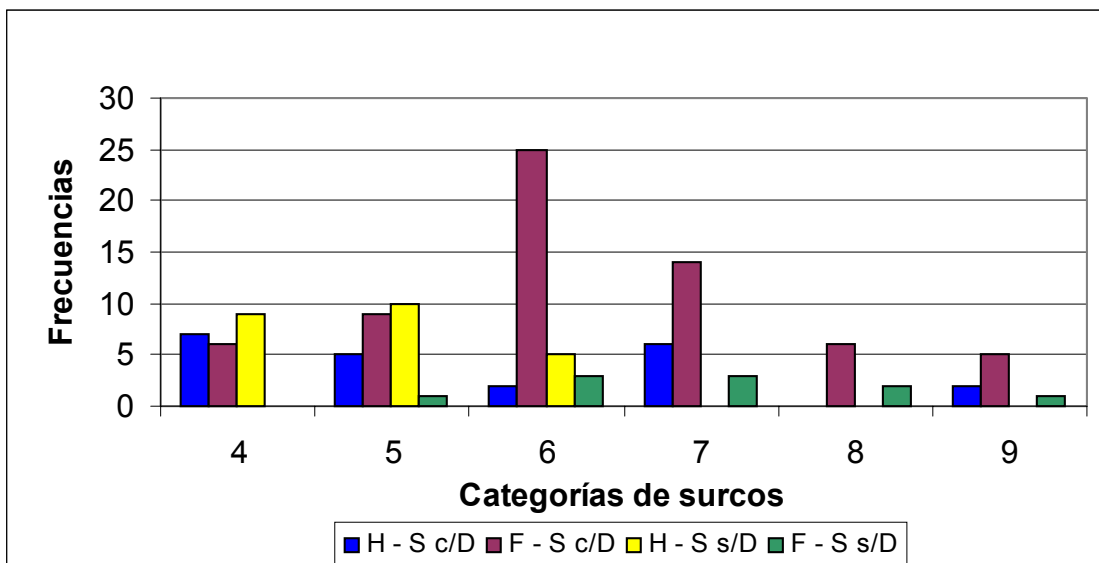


Figura 9: Frecuencias observadas de las distintas categorías de surcos en el área regadía del río Mendoza

Dada la distribución de frecuencias observadas en la figura anterior se puede considerar que los parámetros del surco n° 4 (< 40cm) pueden ser utilizados en el diseño y evaluación de cultivos hortícolas regados por medio de surcos chicos con desagüe que generalmente son empleados en cultivos como ajo y cebolla en nuestro medio. En el caso de cultivos hortícolas regados también, por medio de surcos con desagüe al pie, pero de mayor tamaño se recomienda usar los parámetros del surco n° 7 (61-70cm). Si se tratara de surcos sin desagüe y para hortalizas se recomienda usar los parámetros de los surcos correspondientes al tipo n° 5 (41-50cm). En el caso de frutales se recomienda usar los parámetros del surco n° 6 (51-60cm) cuando se trate de surcos con desagüe y los parámetros del surco n° 8 (71-80cm) cuando se trate de surcos sin desagüe.

6.3.4. Caudal de manejo y unitario

El cuadro 13 muestra los resultados de los valores medios y la desviación estándar referidos a los caudales de manejo y unitario. En el anexo figuran las salidas de ADEVA.

Cuadro 13: Valores medios y desviación estándar del caudal de manejo (Qm) y unitario (qu) según zona de riego y el método de riego en el río Mendoza

VARIABLES		n	CAUDALES			
			Qm (L s ⁻¹)		qu (L s ⁻¹ o L s ⁻¹ m ⁻¹)	
			Media	S	Media	S
Zona de riego	1	20	23 b	18	---	---
	2	15	20 b	18	---	---
	3	17	30 b	25	---	---
	4	15	108 ab	155	---	---
	5	17	150 a	141	---	---
	6	16	92 ab	53	---	---
Estación	Invierno	33	51 a	54	1,49 a	1,77
	Primavera	35	73 a	110	1,58 a	1,58
	Verano	32	83 a	119	1,63 a	1,84
Cultivo	Hortícolas	23	36 a	27	0,63 b	0,49
	Frutícolas	77	79 a	110	1,84 a	1,85
Método de riego	Surcos c/d	33	19 b	15	0,50 b	0,33
	Surcos s/d	29	69 ab	60	2,22 a	2,50
	Melgas s/d	38	114 a	137	1,99 a	1,24

Valores seguidos por una misma letra indica que no son estadísticamente diferentes para un α (0,05).

Del análisis estadístico de los datos de Qm del cuadro 13 surge que existen diferencias significativas entre las zonas 1, 2 y 3 respecto de 5 pero no respecto a las zonas 4 y 6. Tampoco hay diferencias entre la mencionada zona 5 con respecto a las zonas 4 y 6. Además se encontraron diferencias significativas entre los métodos de riego específicamente hay diferencias entre el método surcos con desagüe respecto a melgas sin desagües. No hay diferencias significativas entre cultivos ni entre los periodos de estudio.

Del análisis estadístico de los datos de “qu” del cuadro 13 se encontraron diferencias significativas entre cultivos y entre los métodos de riego resultando el método surcos con desagüe diferente a los otros dos métodos mientras que éstos dos últimos no resultan distintos entre si. No se han incluido los datos de “qu” por zonas de riego ya que sólo resultan de utilidad cuando se refieren a los distintos métodos de riego (surcos c/D, surcos s/D o melgas).

6.3.5. Pendiente longitudinal, tiempo de aplicación y número de surcos o melgas regados simultáneamente

Con respecto a la pendiente longitudinal de la unidad, el cuadro 14 presenta los resultados de los valores medios y la desviación estándar respectivos para cada uno de los métodos de riego. Del análisis estadístico de los datos surge que existe diferencia significativa entre el método de riego (S c/D) respecto de los otros dos métodos. Se observa también que existen diferencias significativas en el tiempo de aplicación empleado en los métodos de riego. El riego mediante surcos con desagüe resulta más prolongado respecto al tiempo de aplicación de riego en los métodos sin desagüe. Se incluyen también los valores medios y la desviación estándar referidos a número de surcos y melgas que se riegan simultáneamente.

Cuadro 14: Valores medios y desviación estándar referidos a la pendiente longitudinal, tiempo de aplicación y número de surcos y melgas regados simultáneamente para el área regadía del río Mendoza

VARIABLES		n	S (m m ⁻¹)		Tap (min)		N° sur mel	
			Media	S	Media	S	Media	S
Método de riego	Surcos c/d	33	0,0059 a	0,0031	871 a	639	42 ab	57
	Surcos s/d	29	0,0006 b	0,0013	114 b	89	56 a	79
	Melgas s/d	39	0,0012 b	0,0022	122 b	103	18 b	17

Valores seguidos por una misma letra indica que no son estadísticamente diferentes para α (0,05)

6.3.6. Longitud de surcos y melgas

Con respecto a la longitud de los surcos y de las melgas, no hay diferencias importantes ni entre cultivos ni entre métodos. Los valores registrados (cuadro 15) son los siguientes.

Cuadro 15: Valores medios y desviación estándar de la longitud de surcos y melgas según el cultivo y el método de riego, para el área regadía del río Mendoza

VARIABLES		n	Long (m)	
			Media	S
Cultivo	Hortícolas	23	94 a	26
	Frutícolas	78	109 a	59
Método de riego	Surcos c/d	33	123 a	74
	Surcos s/d	29	90 a	23
	Melgas s/d	39	103 a	45

6.4. Eficiencias de riego medidas

En los cuadros 16a, 16b y 16c se presentan, para cada propiedad y agrupados por zona de riego, los valores de eficiencias medidos en las evaluaciones realizadas en los períodos de otoño-invierno, primavera y verano, en el área dominada por el río Mendoza. Para cada propiedad se indican los resultados obtenidos con los modelos ERFIN (Morábito *et al*, 1991) y SIRMOD (Walker *et al*, 1993). Las eficiencias calculadas son: *ECI*: eficiencia de conducción interna; *EAP*: eficiencia de aplicación; *EDI*: eficiencia de distribución; *EAL*: eficiencia de almacenaje; *ERI*: eficiencia de riego interna y *EDiA*: eficiencia de distribución absoluta.

Cuadro 16-a: Eficiencias de riego en el área dominada por el río Mendoza en el período otoño-invierno

G	Z	O	Eficiencias ERFIN (%)					Eficiencias SIRMOD (%)				
			ECI	EAP	EDI	EAL	ERI	EAP	EAL	EDI	EDiA	ERI
1	1	1	100	33	99	77	33	42	99	97	95	42
1	1	2	99	62	99	100	61	62	100	95	93	62
1	1	3	99	4	100	26	4	8	50	100	100	8
1	1	4	97	70	94	68	67	52	49	98	96	52
1	1	5	100	9	100	23	9	16	43	99	99	16
1	1	6	99	8	100	93	8	9	100	97	96	9
1	1	7	99	36	96	28	35	43	33	98	67	43
1	1	8	100	76	88	41	76	83	43	87	77	83
Promedio			99	37	97	57	37	39	65	96	90	39
1	2	1	97	57	98	100	55	48	84	29	18	47
1	2	2	97	30	99	36	29	35	41	99	98	34
1	2	3	98	32	98	73	32	45	100	97	95	44
Promedio			97	40	98	70	39	43	75	75	70	42
2	3	1	95	16	99	100	15	16	100	98	96	15
2	3	2	97	100	86	51	97	94	48	76	76	91
2	3	3	94	94	82	48	88	82	42	88	80	77
2	3	4	96	77	100	100	75	78	100	95	92	75
2	3	5	100	8	96	100	16	8	100	99	97	8
2	3	6	99	76	68	98	76	68	88	64	32	67
Promedio			97	62	89	83	61	58	80	87	79	56
2	4	1	91	26	96	100	23	26	100	98	97	23
2	4	2	98	77	95	100	76	78	100	96	93	76
2	4	3	93	56	89	100	52	57	100	72	70	53
2	4	4	94	97	70	85	91	100	88	89	84	94
2	4	5	93	84	88	100	78	81	96	71	56	75
Promedio			94	68	88	97	64	68	97	85	80	64
3	5	1	99	23	100	100	23	23	100	84	79	23
3	5	2	99	56	100	100	56	56	100	63	47	56
3	5	3	86	43	99	100	37	43	100	96	89	37
3	5	4	91	98	100	100	89	94	96	87	83	86
3	5	5	100	59	100	100	59	61	100	80	64	61
3	5	6	97	44	100	100	43	44	100	77	69	43
Promedio			95	54	100	100	51	54	99	81	72	51
3	6	1	96	33	99	100	32	33	100	82	76	32
3	6	2	98	39	100	100	38	39	100	71	62	38
3	6	3	100	100	100	96	100	100	96	90	85	100
3	6	4	95	100	99	94	95	92	86	64	52	87
3	6	5	96	100	100	62	96	100	63	92	85	96
Promedio			97	74	100	90	72	73	89	80	72	71
Promedio gral.			97	55	94	79	53	55	81	89	83	53

Cuadro 16-b: Eficiencias de riego en el área dominada por el río Mendoza en el período primavera.

G	Z	O	Eficiencias ERFIN (%)					Eficiencias SIRMOD (%)				
			ECI	EAP	EDI	EAL	ERI	EAP	EAL	EDI	ED1a	ERI
1	1	9	95	29	98	100	28	26	90	99	99	25
1	1	10	94	10	100	76	9	13	100	98	97	12
1	1	11	94	6	99	100	5	6	100	99	98	6
1	1	12	95	32	97	69	30	46	100	97	96	44
1	1	13	96	2	99	100	2	2	100	100	100	2
1	1	14	93	65	99	100	60	65	100	73	64	60
1	1	15	98	30	98	57	30	53	100	92	88	52
Promedio			95	25	99	86	23	30	99	94	92	29
1	2	4	93	25	99	100	24	25	100	95	94	23
1	2	5	100	22	99	38	22	28	48	98	98	28
1	2	6	91	100	87	47	91	100	47	100	100	91
1	2	7	95	86	85	54	82	71	45	93	88	67
1	2	8	94	32	97	75	30	37	88	99	98	35
1	2	9	98	31	99	58	30	35	68	98	96	34
Promedio			95	49	94	62	47	49	66	97	96	46
2	3	7	99	100	98	87	99	100	87	93	90	57
2	3	8	97	100	93	28	97	100	29	89	82	97
2	3	9	95	20	95	100	20	21	100	76	73	20
2	3	10	96	100	86	85	96	100	83	97	96	96
2	3	11	97	14	99	100	13	14	100	100	100	14
2	3	12	98	43	100	100	42	44	94	37	18	43
Promedio			97	63	95	83	61	63	82	82	77	54
2	4	6	98	43	92	100	42	43	100	74	65	42
2	4	7	96	52	89	99	50	53	100	96	93	51
2	4	8	96	100	90	85	96	88	76	85	73	84
2	4	9	86	16	100	99	14	17	100	89	85	15
2	4	10	92	100	100	75	92	100	74	93	90	92
Promedio			94	62	94	92	59	60	90	87	81	57
3	5	18	92	80	71	96	74	83	99	82	74	76
3	5	19	96	100	90	53	96	100	53	79	71	96
3	5	20	96	93	100	100	89	81	88	54	39	78
3	5	21	93	63	100	100	59	69	100	98	98	64
3	5	22	98	100	99	97	98	100	98	97	96	98
Promedio			95	87	92	89	83	87	88	82	76	82
3	6	12	89	62	100	100	55	61	100	99	99	54
3	6	13	99	98	98	100	97	94	96	93	90	93
3	6	14	94	32	100	100	30	33	100	97	96	31
3	6	15	99	21	100	100	21	23	100	81	75	23
3	6	16	97	100	95	76	97	100	75	91	87	97
3	6	17	93	34	99	100	32	35	100	92	89	33
Promedio			95	58	99	96	55	58	95	92	89	55
Promedio gral.			95	55	96	84	53	56	87	90	86	52

Cuadro 16-c: Eficiencias de riego en el área dominada por el río Mendoza en el período verano

G	Z	O	Eficiencias ERFIN (%)					Eficiencias SIRMOD (%)				
			ECI	EAP	EDI	EAL	ERI	EAP	EAL	EDI	ED1a	ERI
1	1	16	95	88	90	53	84	78	47	91	84	74
1	1	17	96	56	98	89	54	48	77	97	94	46
1	1	18	97	38	98	41	37	36	39	96	94	35
1	1	19	98	41	94	29	40	80	58	89	81	78
1	1	20	98	16	99	76	16	22	100	97	95	22
Promedio			97	48	96	58	46	53	64	94	90	51
1	2	10	96	100	80	48	96	100	48	65	61	96
1	2	11	97	64	94	48	62	43	32	98	96	42
1	2	12	97	10	78	100	10	10	100	83	68	10
1	2	13	97	100	82	34	97	100	34	73	72	97
1	2	14	97	36	97	20	35	75	41	91	87	73
1	2	15	99	41	98	37	40	62	57	94	91	62
Promedio			97	59	88	48	57	65	52	84	79	63
2	3	13	94	24	99	44	23	42	76	99	98	39
2	3	14	82	32	98	44	26	44	61	97	95	36
2	3	15	98	34	100	100	34	34	100	76	67	33
2	3	16	96	100	99	43	96	100	44	86	80	42
2	3	17	92	100	100	82	92	94	76	91	87	86
2	3	18	96	36	98	100	35	36	100	65	64	35
Promedio			93	54	99	69	51	58	76	86	82	45
2	4	11	95	24	100	100	23	26	99	36	13	25
2	4	12	99	30	97	100	30	30	100	99	89	30
2	4	13	98	36	100	100	35	36	100	84	48	35
2	4	14	97	100	96	65	97	100	65	99	99	97
2	4	15	98	100	99	65	98	100	65	84	78	98
Promedio			97	58	98	86	57	58	86	80	65	57
3	5	23	99	100	100	87	99	100	86	96	95	99
3	5	29	97	53	100	100	52	53	100	99	99	51
3	5	30	95	100	84	44	95	100	41	32	31	95
3	5	31	97	39	100	100	38	41	100	86	83	40
3	5	32	99	58	98	100	58	62	100	98	95	62
3	5	33	97	100	97	60	97	100	63	59	26	97
Promedio			97	75	97	82	73	76	82	78	72	74
3	6	24	98	61	98	100	60	61	100	94	92	60
3	6	25	98	100	100	65	98	98	64	98	97	96
3	6	26	96	62	100	100	59	62	100	99	90	60
3	6	27	92	100	97	45	92	100	45	50	46	92
3	6	28	98	82	97	100	80	81	99	91	68	79
Promedio			96	81	98	82	78	80	82	86	79	77
Promedio gral.			96	62	96	70	60	65	73	85	78	61

6.4.1. Eficiencia de riego

Como puede observarse en el cuadro 17 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%.

Cuadro 17: 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
Río Mendoza		101	59	31	6	81	24	5	87	15	3

Respecto a la variable "zona de riego" (figura 10), 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" (figura 11) 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 12) 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 13) 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.

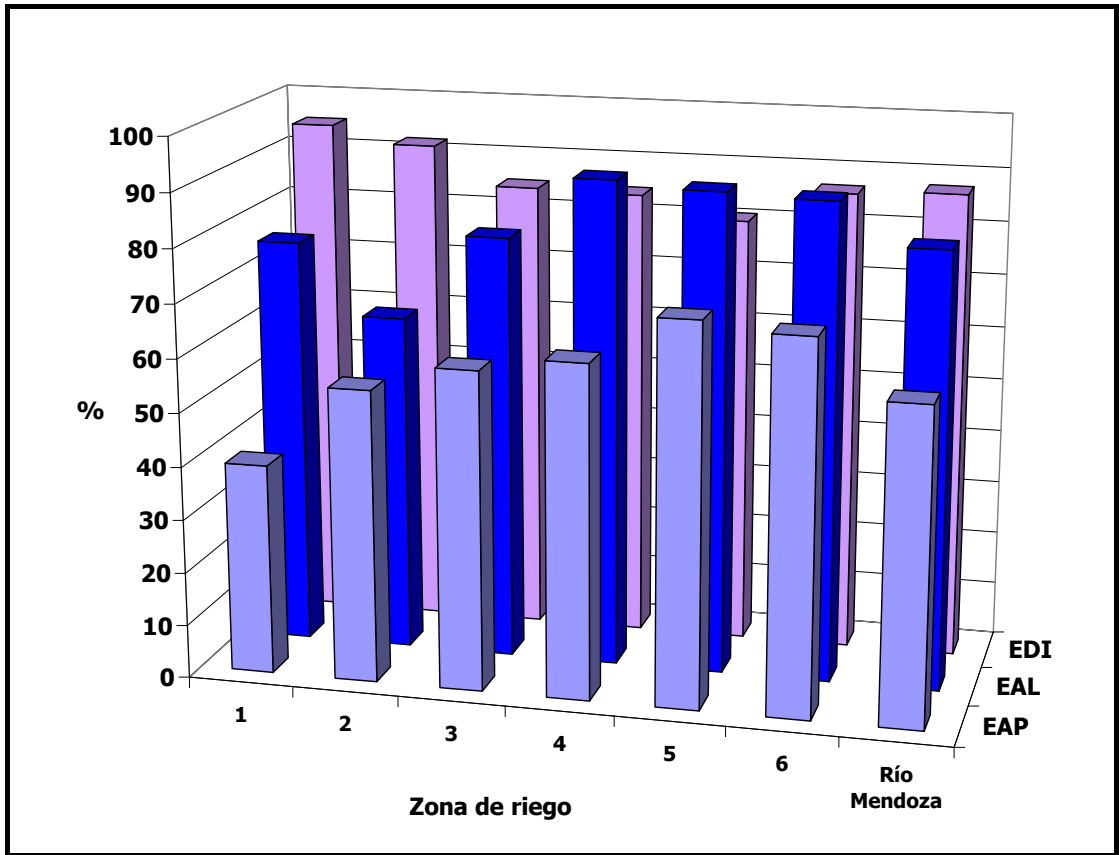


Figura 10: Eficiencias de riego media (EAP, EAL y EDI), expresadas en porcentaje, según la zona de riego del río Mendoza y para todo el río.

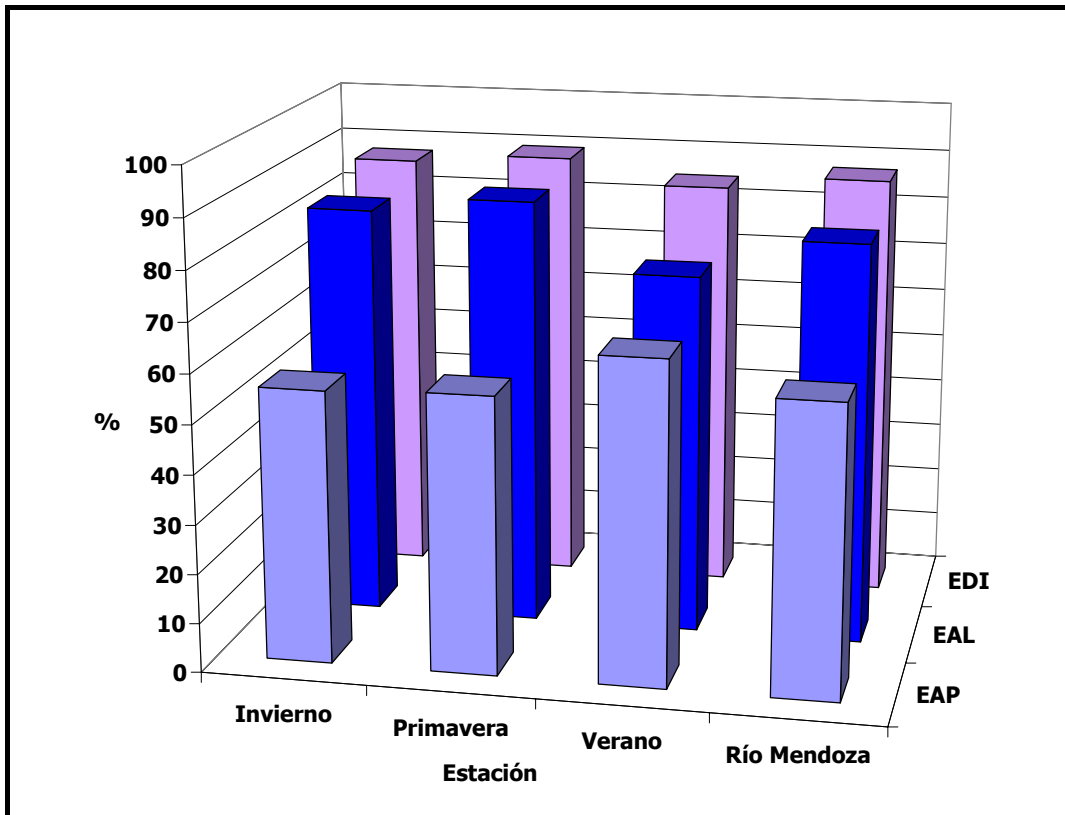


Figura 11: Eficiencias de riego media (EAP, EAL y EDI), expresadas en porcentaje, según la estación del año y para todo el río Mendoza.

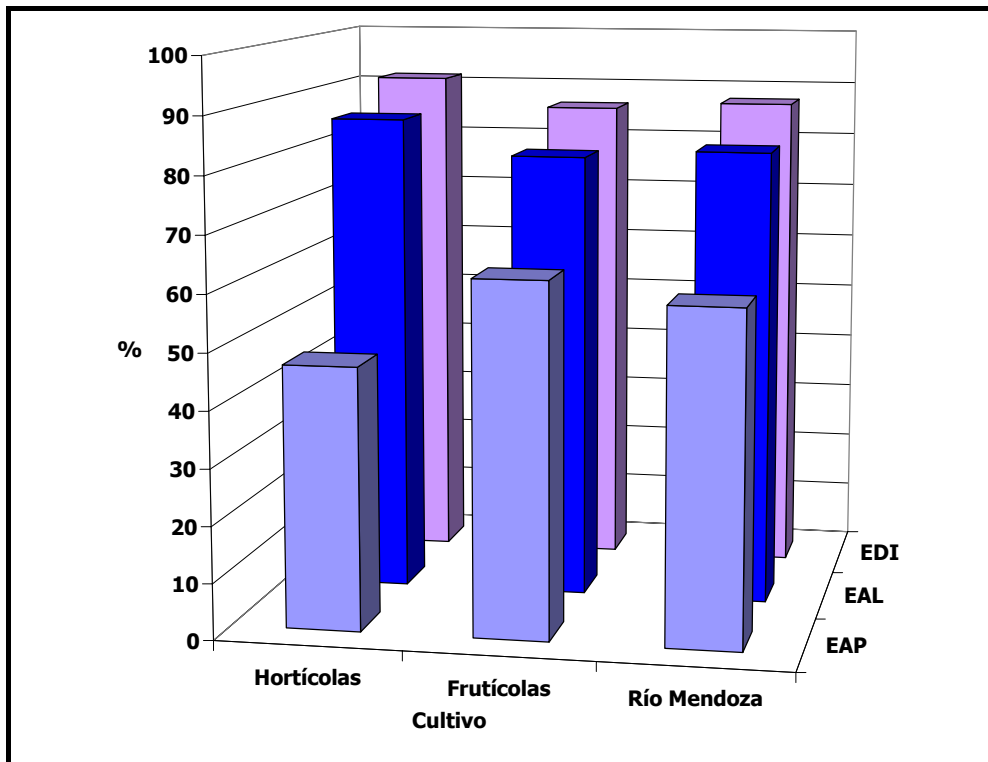


Figura 12: Eficiencias de riego media (EAP, EAL y EDI), expresadas en porcentaje, según tipo de cultivo y para todo el río Mendoza.

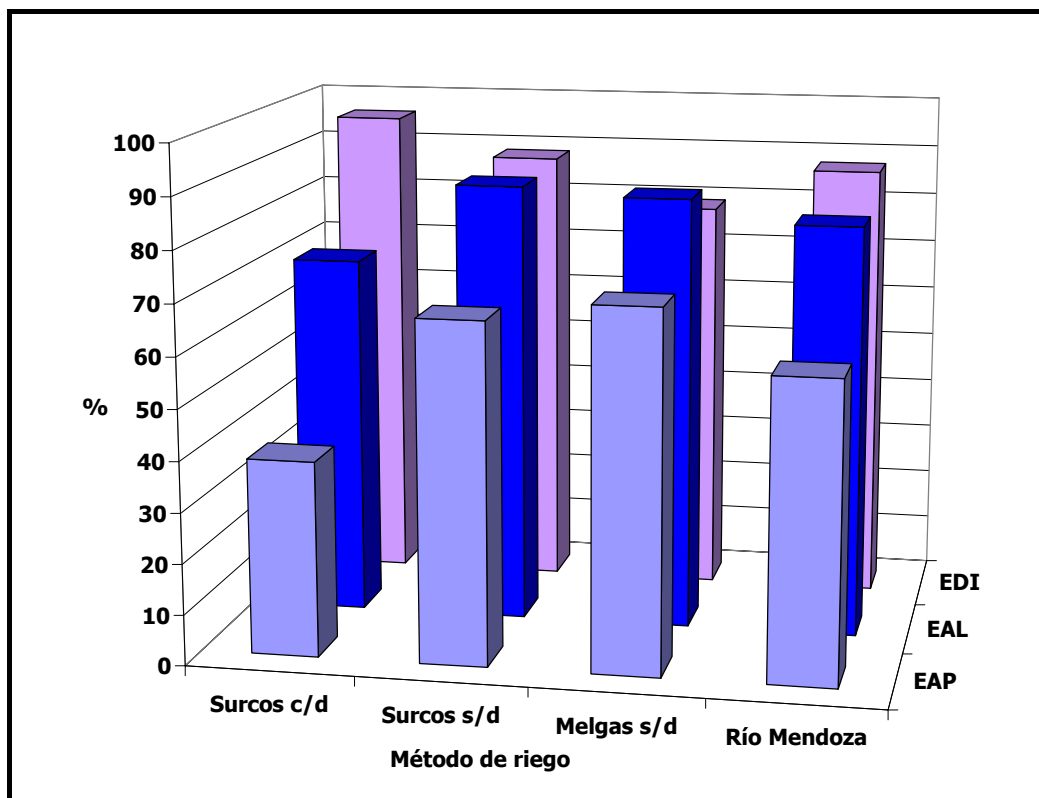


Figura 13: Eficiencias de riego media (EAP, EAL y EDI), expresadas en porcentaje, según el método de riego y para todo el río Mendoza.

Como puede observarse en el cuadro 18, en el cual 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.

Cuadro 18: 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 en el cuadro 19 en el cual se presentan los datos de eficiencia de riego agrupados por zona y método de riego, no existieron 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 19: 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 20 en el cual se presentan los datos de eficiencia de riego 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 20: 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

Los datos de eficiencia de riego desagregados por zona y estación climática presentados en el cuadro 21 permiten observar que durante el verano resultó en promedio mayor el valor de EAP y menores los valores medios de EAL y EDI respecto a los otros dos períodos de estudio.

Cuadro 21: Eficiencias de riego media agrupadas según zona de riego y periodo de estudio para el área de riego del río Mendoza.

Estación	Eficiencia media	Zona de riego					
		1	2	3	4	5	6
Otoño- Invierno	EAP (%)	39	46	58	68	54	73
	EAL (%)	65	80	80	97	99	89
	EDI (%)	96	97	87	85	81	80
Primavera	EAP (%)	30	49	63	60	87	58
	EAL (%)	99	66	82	90	88	95
	EDI (%)	94	97	82	87	82	92
Verano	EAP (%)	53	65	58	58	76	80
	EAL (%)	64	52	76	86	82	82
	EDI (%)	94	84	86	80	78	86

En el cuadro 22 son presentados la totalidad de los datos separados por zonas, cultivo y métodos de riego. Los casilleros vacíos indican que no hay evaluaciones realizadas en esa combinación de categorías de las variables analizadas. Debido a la desagregación de factores algunos datos incluidos en el cuadro resultan de una sola evaluación, motivo por el cual deben ser considerados con cautela. Tales observaciones se identifican en letra *cursiva*.

Cuadro 22: Eficiencias de riego agrupadas por zona, según cultivo y el método de riego para el área regada por el río Mendoza.

Cultivo	Método de riego	Eficiencia media	Zona de riego					
			1	2	3	4	5	6
Hortícolas	Surcos con desagüe	EAP (%)	22	10	16			
		EAL (%)	81	100	100			
		EDI (%)	98	83	98			
	Surcos sin desagüe	EAP (%)		100	66	66		50
		EAL (%)		47	76	95		91
		EDI (%)		100	87	84		92
Frutícolas	Surcos con desagüe	EAP (%)	46	48	38			
		EAL (%)	69	58	76			
		EDI (%)	95	96	97			
	Surcos sin desagüe	EAP (%)			76	63	61	73
		EAL (%)			82	87	100	87
		EDI (%)			78	96	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

6.4.2. Planificación del tamaño de la muestra (n)

El cuadro 23 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: $B = ((d \cdot \text{media}) / 100)$. 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 17). Esto se visualiza en la figura 14 y 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%. El cuadro 23 y la figura 14 presentadas permiten 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 23: 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

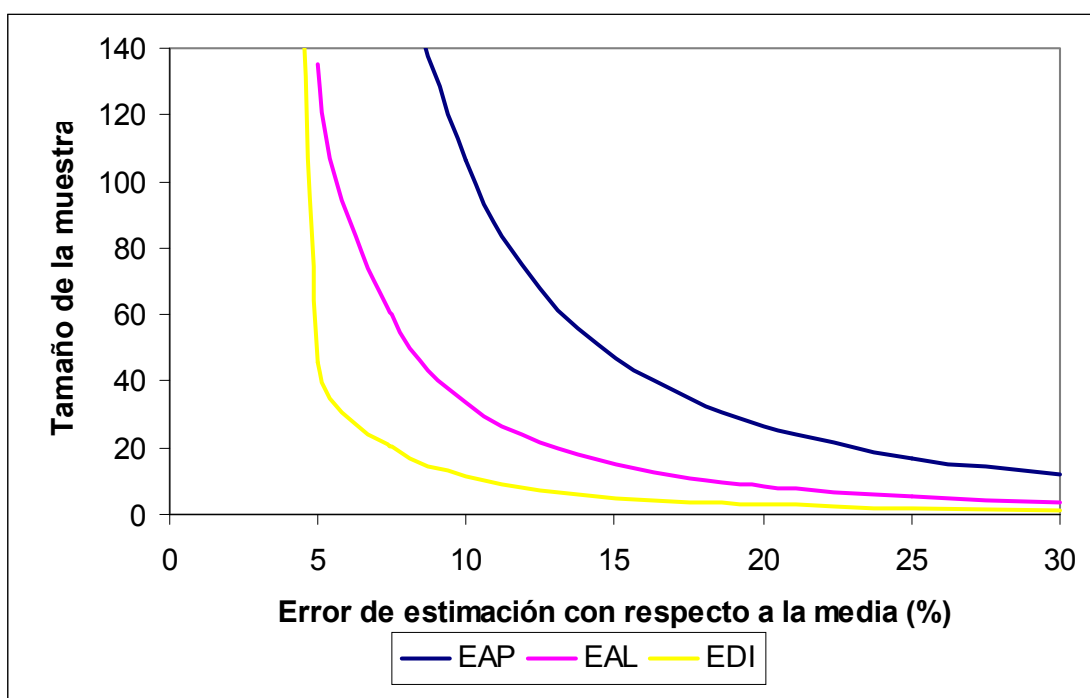


Figura 14: Variación del tamaño de muestra en función del error de estimación respecto de la media para las variables EAP, EAL y EDI, ($1-\alpha=0,95$)

6.5. Análisis de la salinidad en la rizósfera del área regada

Del análisis de las posibles respuestas de la CEes a los factores: zona de riego, cultivo, ubicación dentro de la parcela, estrato de suelo y método de riego surge que: existen diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre las zonas de riego, entre los cultivos, entre las ubicaciones dentro de la parcela, entre los estratos de suelo y entre los métodos de riego. Se realizó la prueba de Scheffé para comparar las medias de los niveles de cada uno de los factores.

Los datos de CEes media para cada zona de riego del río Mendoza presentados en la figura 15 permiten observar como la zona de riego 4 presentó una CEes media significativamente ($\alpha=0,05$) mayor respecto al resto de las zonas de riego siendo además, la única zona que supera el valor medio para toda el área regada por el río Mendoza. El resto de las zonas de riego presentan valores medios de CE similares.

Cuadro 24: CEes media, desviación típica (S) y error de muestreo (B) según zona de riego para toda el área del río del río Mendoza, expresada en $dS\ m^{-1}$ a $25^{\circ}C$

Zona de riego	Número de observaciones	Conductividad eléctrica ($dS\ m^{-1}$)		
		Media	S	$\pm B$
1	99	1,814 b	0,987	0,194
2	78	2,058 b	1,118	0,248
3	86	2,133 b	1,343	0,284
4	78	3,796 a	1,882	0,418
5	102	1,905 b	1,127	0,219
6	94	1,834 b	0,988	0,200
Toda el área	537	2,209	1,414	0,120

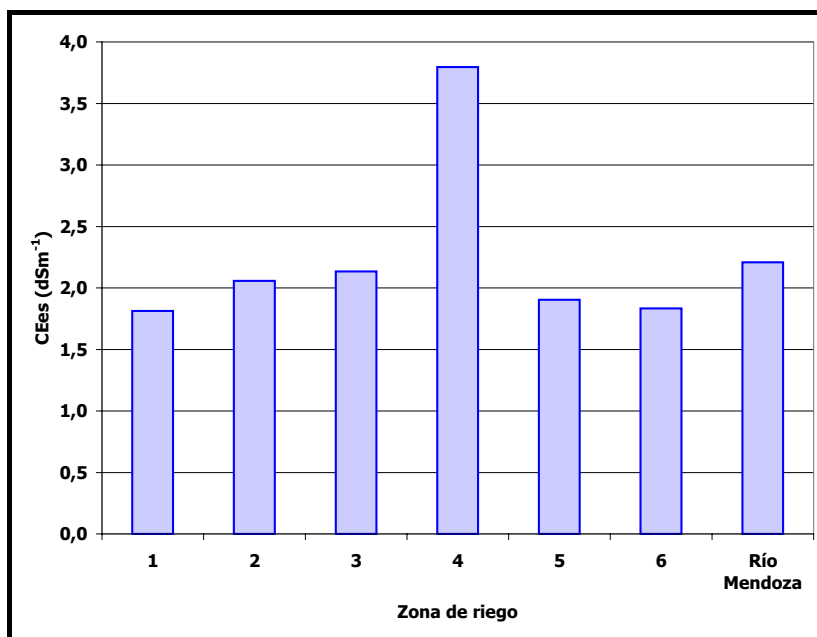


Figura 15: CEes media de cada una de las seis zonas de riego y para toda el área del río Mendoza, expresada en dS m⁻¹ a 25°C

Los datos de CEes separados según las dos categorías de la variable "tipo de cultivo" presentados en la figura 16 permitieron observar que, en aquellos cultivos que poseen una menor profundidad de exploración radical la CEes del área de suelo por ellos explorada resultó mayor.

Cuadro 25: CEes media, desviación típica (S) y error de muestreo (B) según las categorías asignadas a la variable "tipo de cultivo" y para toda el área regada por el río Mendoza, expresada en dS m⁻¹ a 25°C

Cultivo	Número de observaciones	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)		
		Media	S	±B
Frutícolas	415	2,138 b	1,331	0,128
Hortícolas	122	2,449 a	1,649	0,293
Toda el área	537	2,209	1,414	0,120

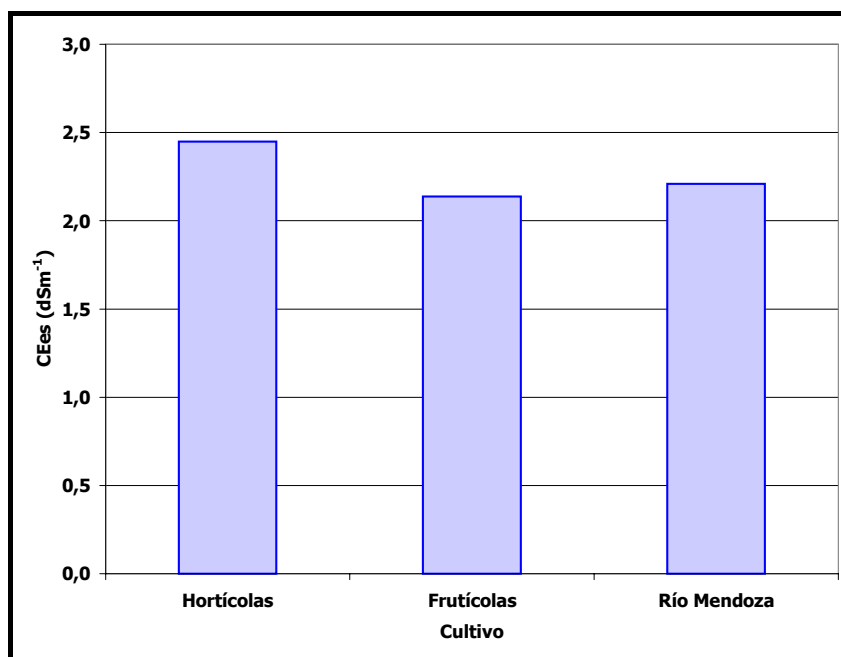


Figura 16: CEes media según las categorías asignadas a la variable "tipo de cultivo" y para toda el área regada por el río Mendoza, expresada en dS m⁻¹ a 25°C

Como puede observarse el cuadro 26 presenta los datos de CEes del suelo del área regada por el río Mendoza separada por métodos de riego “con y sin desagüe” y según la posición en donde fueron extraídas las muestras dentro de la unidad de riego (cabeza, medio y pie). En surcos con desagüe no hay diferencias significativas entre las medias del factor ubicación dentro de la parcela, pero para los métodos de riego sin desagüe, existe diferencia significativa entre las medias, siendo cabeza significativamente mayor que medio y pie, a su vez, entre medio y pie no existe diferencia significativa. La figura 17 ilustra el caso de riego sin desagüe.

Cuadro 26: CEes media, desviación típica (S) y error de muestreo (B) para los diferentes puntos de muestreo dentro de las parcelas regadas según métodos de riego con y sin desagüe para el área del río Mendoza, expresada en dS m^{-1} a 25°C

Ubicación	Surcos con desagüe				Surcos y melgas sin desagüe			
	Número	Media	S	$\pm\text{B}$	Número	Media	S	$\pm\text{B}$
Cabeza	64	1,753 a	0,841	0.429	130	2,746 a	1,878	0.472
Medio	40	1,822 a	0,993	0.565	113	2,216 b	1,423	0.409
Pie	63	1,818 a	1,125	0.449	127	2,198 b	1,133	0.382

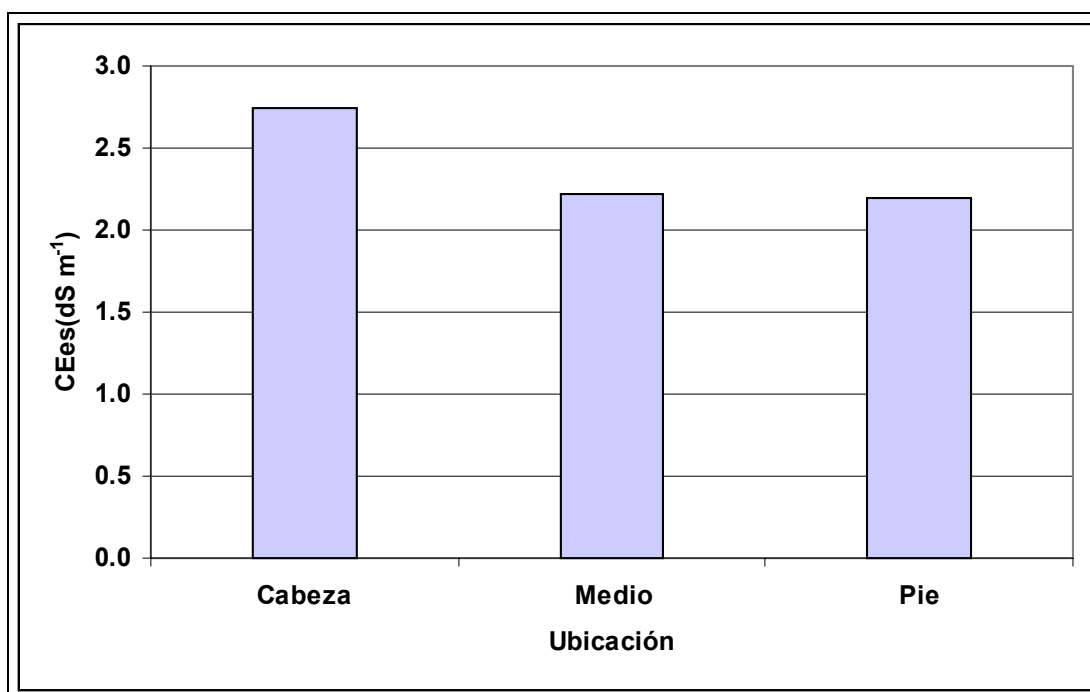


Figura 17: CEes media en los diferentes puntos de muestreo dentro de las parcelas regadas para el caso de riego sin desagüe en el área del río Mendoza, expresada en dS m^{-1} a 25°C

Los datos de CEes agrupados por estrato de suelo analizado, presentados en el cuadro 27 permiten observar como en surcos con desagüe no hay diferencias significativas entre las medias del factor estrato de suelo mientras que para el caso de surcos y melgas sin desagüe, existe diferencia significativa entre las medias, siendo el segundo estrato significativamente mayor que el primero. La figura 18 muestra la situación para el caso de los métodos de riego sin desagüe.

Cuadro 27: CEes media, desviación típica (S) y error de muestreo (B) de los dos estratos de suelo analizados para todas las propiedades estudiadas en el área del río Mendoza por método de riego (con y sin desagüe), expresada en dS m^{-1} a 25°C

Estrato	Surcos con desagüe				Surcos y melgas sin desagüe			
	Número	Media	S	$\pm\text{B}$	Número	Media	S	$\pm\text{B}$
Primero	89	1,795 a	0,959	0.373	190	2,186 b	1,463	0.311
Segundo	78	1,793 a	1,024	0.398	180	2,618 a	1,580	0.311

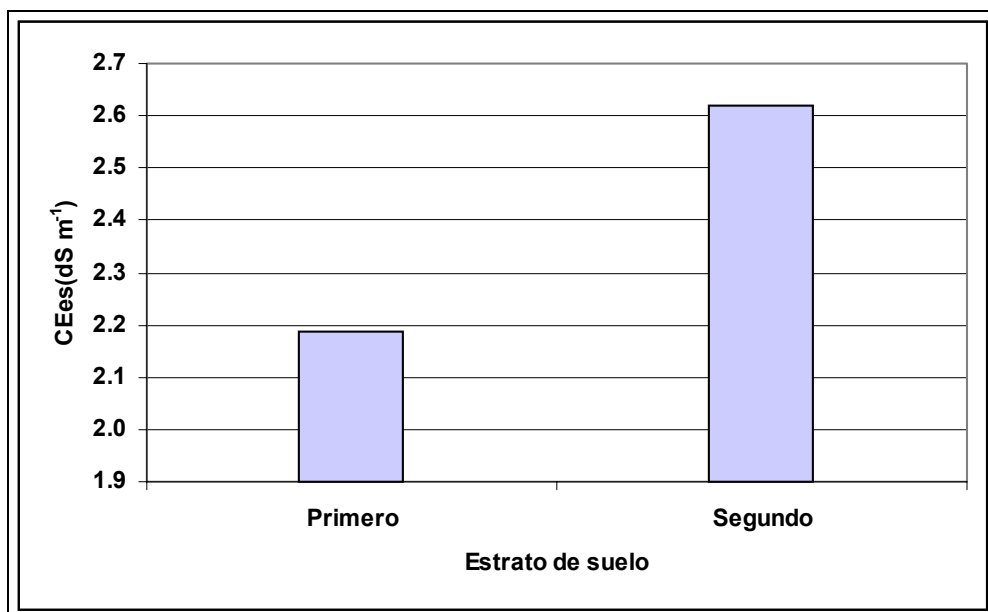


Figura 18: CEes media de los dos estratos de suelo analizados para el caso de riego sin desagüe del área del río Mendoza, expresada en dS m⁻¹ a 25°C

Como puede ser observado en el cuadro 28 y en la figura 19 en la cual se presentan los datos de CEes media de toda el área regada por el río Mendoza agrupados según el tipo de riego realizado por los agricultores, el valor medio de salinidad del suelo en los métodos de riego sin desagüe al pie resultaron mayores respecto a aquellos con desagüe al pie. Es también interesante notar que los métodos sin desagüe al pie no resultaron diferentes entre si.

Cuadro 28: CEes media, desviación típica (S) y error de muestreo (B) de las diferentes categorías consideradas para la variable "método de riego" del área regada por el río Mendoza, expresada en dS m⁻¹ a 25°C.

Método de riego	Número de observaciones	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)		
		Media	S	± B
Surcos c/d	167	1,794 b	0,987	0,150
Surcos s/d	159	2,477 a	1,512	0,235
Melgas s/d	211	2,335 a	1,551	0,209

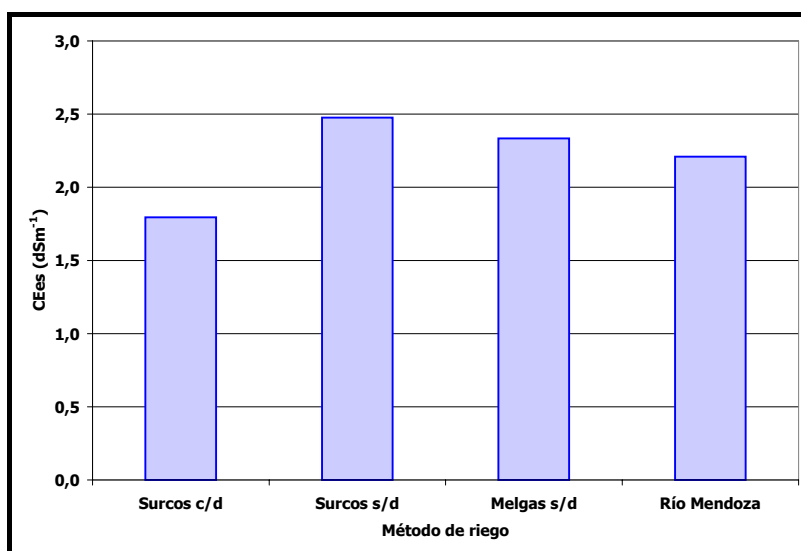


Figura 19: CEes media de las diferentes categorías consideradas para la variable "método de riego" para toda el área regada por el río Mendoza, expresada en dS m⁻¹ a 25°C.

6.5.1. Planificación del tamaño de la muestra (n)

El cuadro 29 presenta el tamaño de la muestra para la salinidad del suelo en función del error de estimación para una confiabilidad del 95%. Se ha considerado para el cálculo de n el valor de $\hat{\sigma}$ que se ha obtenido de las 537 muestras realizadas. Así al valor medio de 2,209 dS m⁻¹ medido le corresponde un $\hat{\sigma} = 1,414$ dS m⁻¹ (cuadro 24). Esto se visualiza en la figura 20 y se observa que para un tamaño de muestra utilizado ($n = 537$) se corresponde con una precisión como porcentaje de la media para CEes = 6%. El cuadro 24 y la figura 20 permiten además, fijar el tamaño de muestra adecuado para la precisión deseada en futuros estudios de salinidad de suelos en el área regada por el río Mendoza.

Cuadro 29: Variación del error de estimación como porcentaje de la media en función del tamaño de muestra para CEes, ($1 - \alpha = 0,95$)

Tamaño de muestra (n)	Error de estimación con respecto a la media (%)
15741	1
630	5
280	7,5
157	10
101	12,5
70	15
51	17,5
39	20
25	25
17	30

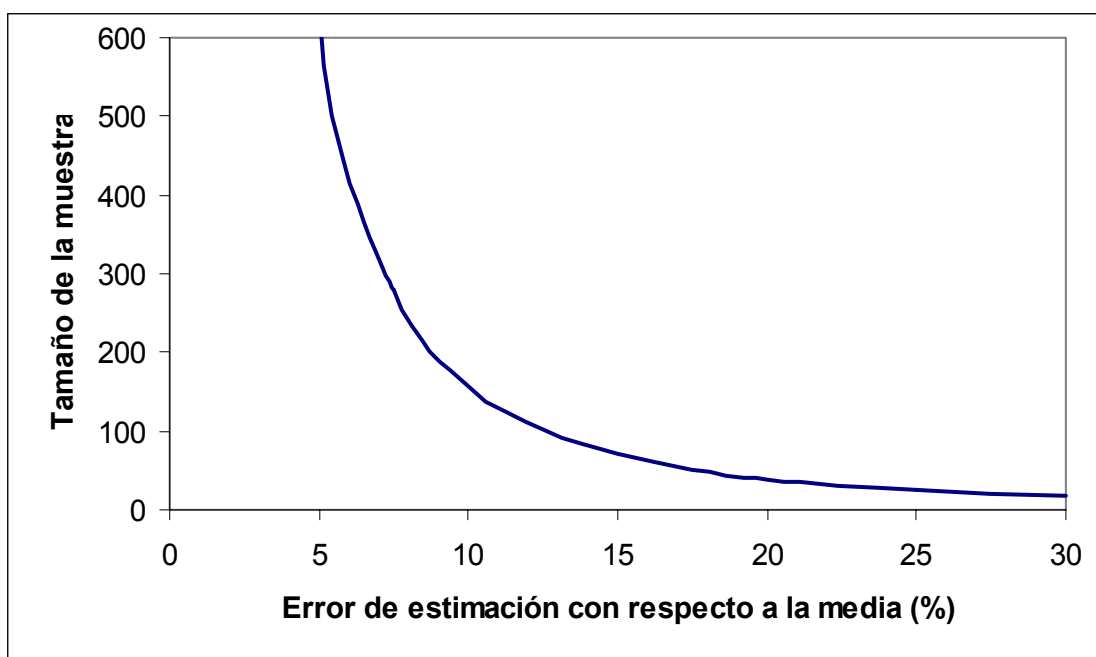


Figura 20: Variación del tamaño de muestra en función del error de estimación de la CEes con respecto al valor de la media, ($1 - \alpha = 0,95$)

6.6. Relación CEes del perfil del suelo y la eficiencia de riego

Se mencionó que la variación de la salinidad del suelo está vinculada a la eficiencia de distribución. Del análisis de la relación entre la CEes del suelo y la eficiencia de riego de las parcelas estudiadas surge que el criterio c (eficiencia de almacenaje es mayor o igual a 80 % y menor a

100 %) resulta eficiente para la discriminación de los datos. A su vez, solo algunas variables resultaron explicar en forma significativa la variación de la CEes. Resulta por lo tanto para el caso del *criterio c* y considerando las dos categorías de la variable "método de riego" y solo cultivos frutícolas para la variable "tipo de cultivo" la siguiente ecuación para $n = 9$:

$$CV_2 = 80,26 - 0,53 EDI \quad \text{Prob} > F = 0,0493 \quad (44)$$

$$(0,003)_2 \quad (0,049)_1 \quad R^2 = 0,45$$

La ecuación anterior indica que cuando la eficiencia de almacenaje es mayor o igual a 80 % y menor a 100 %, y para cultivos de raíz profunda, a medida que aumenta la eficiencia de distribución interna, disminuye el coeficiente de variación de la CEes del estrato de suelo más profundo, como puede ser visto en la figura 21. Por lo tanto un valor alto de EDI aseguraría una menor variación de la salinidad en el perfil del suelo contribuyendo con una producción más uniforme en la parcela.

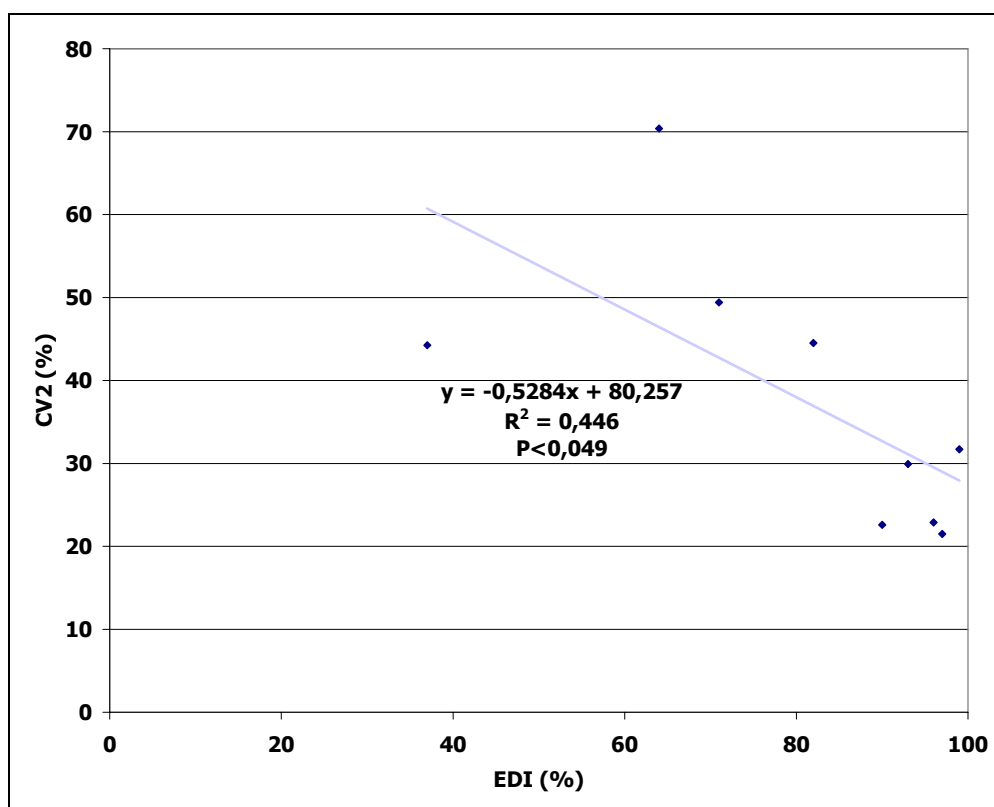


Figura 21: Coeficiente de variación de la CEes del segundo estrato de suelo (CV_2) en cultivos frutícolas versus la eficiencia de distribución del agua de riego en las propiedades analizadas del área de riego del río Mendoza.

6.7. Variación de la salinidad del agua de riego superficial en las distintas zonas de riego

Se presenta a continuación el resultado del análisis de la salinidad del agua de riego. El mismo indicó que existen diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre la zona 4 y el resto de las zonas según el cuadro 30. La figura 22 ilustra con claridad las variaciones de la salinidad del agua de riego para las 6 zonas de riego del río Mendoza. La figura 23 presenta el aumento relativo (%) de la salinidad del agua de riego respecto a la zona 2. Es de destacar que la zona 4 riega con una salinidad del agua 75% mayor que la zona 2 y la zona 5 aproximadamente 25% más alta respecto a la misma zona.

¹ Los valores entre paréntesis, debajo de los coeficientes, indican la probabilidad de obtener valores mayores al estadígrafo t calculado.

Cuadro 30: Salinidad media, desviación típica (S) y error de muestreo (B) del agua superficial en las distintas zonas de riego del río Mendoza, expresada en dS m^{-1} a 25°C

Zona de riego	Número de observaciones	Conductividad eléctrica (dS m^{-1})		
		Media	S	$\pm B$
1	20	0,939 b	0,094	0,041
2	15	0,926 b	0,098	0,050
3	18	0,934 b	0,163	0,075
4	16	1,624 a	0,477	0,234
5	15	1,161 b	0,259	0,131
6	16	0,948 b	0,170	0,083

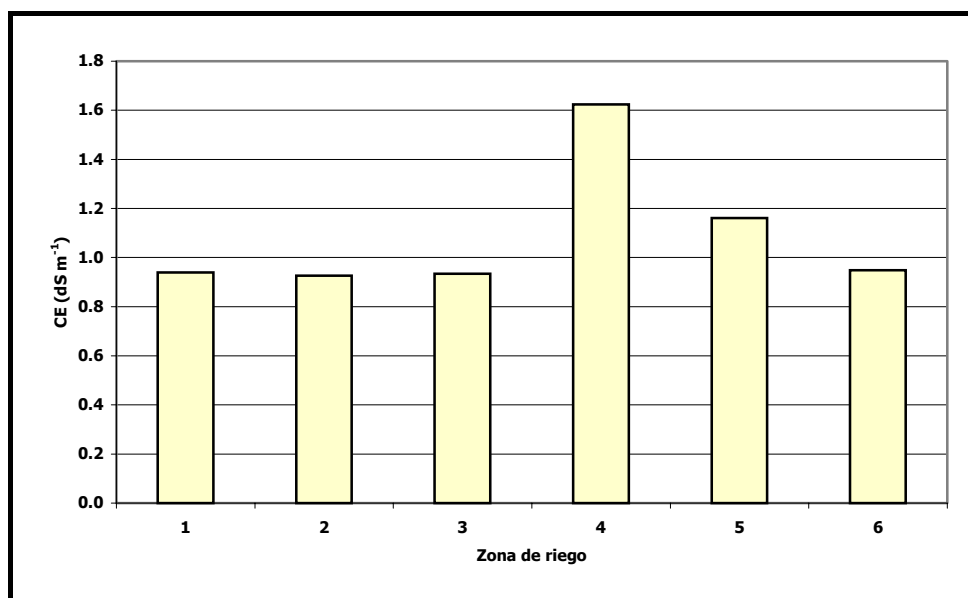


Figura 22: Conductividad eléctrica media del agua de riego superficial según zona de riego del río Mendoza.

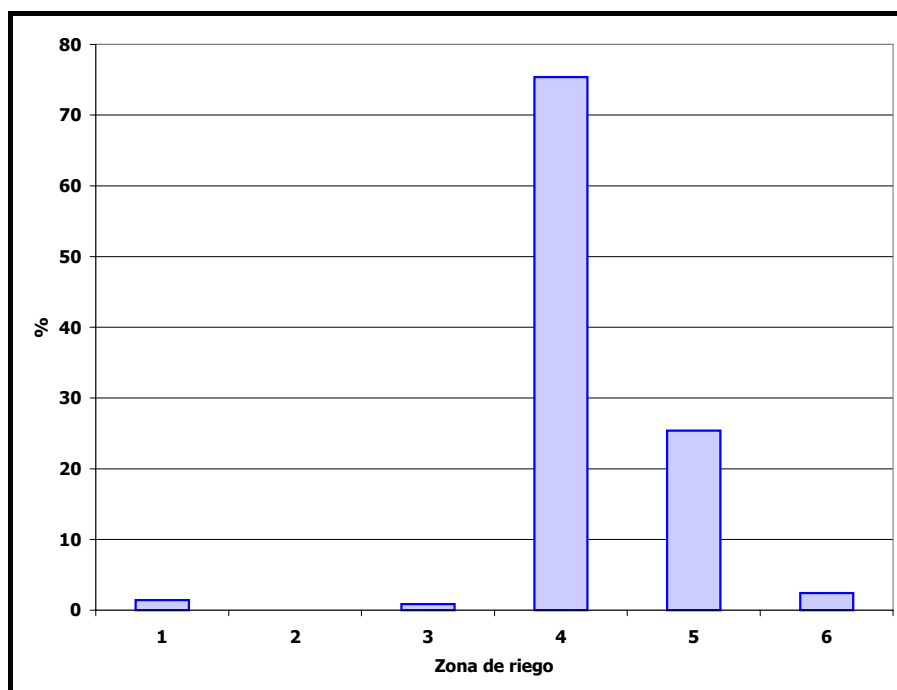


Figura 23: Aumento relativo (expresado en porcentaje) de la CE del agua de riego de las distintas zonas de riego del río Mendoza respecto a la zona 2.

Es factible transformar el valor de CE del agua en gramos de sales por litro de agua (Ayers y Westcot, 1976). La siguiente ecuación ha sido usada para ello:

$$\text{Sales (g L}^{-1}\text{)} = \text{CE}_{\text{agua}} (\text{dS m}^{-1}) \times 0,64 \quad (45)$$

La figura 24 muestra la cantidad de sales aportadas con el agua de riego durante un ciclo agrícola, considerando un volumen de agua de $7000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, como puede ser observado la mayoría de las zonas reciben un aporte anual de 4 Ton ha^{-1} mientras que la zona 5 recibe 5 Ton ha^{-1} y la zona 4 recibe más de 7 Ton ha^{-1} .

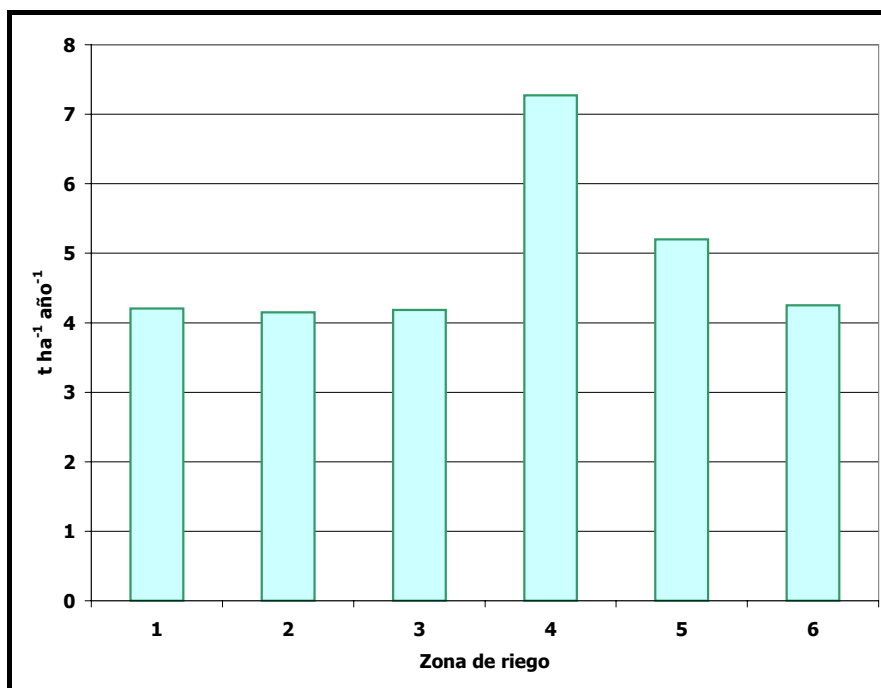


Figura 24: Cantidad de sales ($\text{Tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) aportadas al suelo por el agua de riego para un volumen de agua entregado de $7.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

El cuadro 31 presenta el tamaño de la muestra para la salinidad del agua de riego superficial en función del error de estimación para una confiabilidad del 95% en las zonas 1 ($\text{CV} = 0,10$) y 4 ($\text{CV} = 0,29$) que poseen valores extremos de coeficientes de variación (CV). Se ha considerado para el cálculo de n el valor de $\hat{\sigma}$ obtenido de las 20 muestras realizadas en la zona 1 y de las 16 muestras para la zona 4. Así al valor medio de $0,939 \text{ dS m}^{-1}$ medido en la zona 1 le corresponde un $\hat{\sigma} = 0,094 \text{ dS m}^{-1}$ mientras que al valor medio de $1,624 \text{ dS m}^{-1}$ medido en la zona 4 le corresponde un $\hat{\sigma} = 0,477 \text{ dS m}^{-1}$ (cuadro 30). Esto se visualiza en la figura 25 y se observa que para un tamaño de muestra utilizado ($n = 20$ en zona 1 y $n = 16$ en zona 4) se corresponde con una precisión para $\text{CE}_{\text{agua}} < 5\%$ del valor de la media (zona 1) y $\text{CE}_{\text{agua}} < 13\%$ del valor de la media (zona 4). El cuadro 31 y la figura 25 permiten además, fijar el número de muestra adecuado para la precisión deseada en futuros estudios de salinidad de agua superficial en el área regada por el río Mendoza.

Cuadro 31: Variación del error de estimación como porcentaje de la media en función del tamaño de muestra para CEagua, ($1 - \alpha = 0,95$)

Tamaño de muestra (n)		Error de estimación con respecto a la media (%)
Zona 1	Zona 4	
385	3314	1
15	133	5
7	59	7,5
4	33	10
2	21	12,5
2	15	15
1	11	17,5
1	8	20
1	5	25
0	4	30

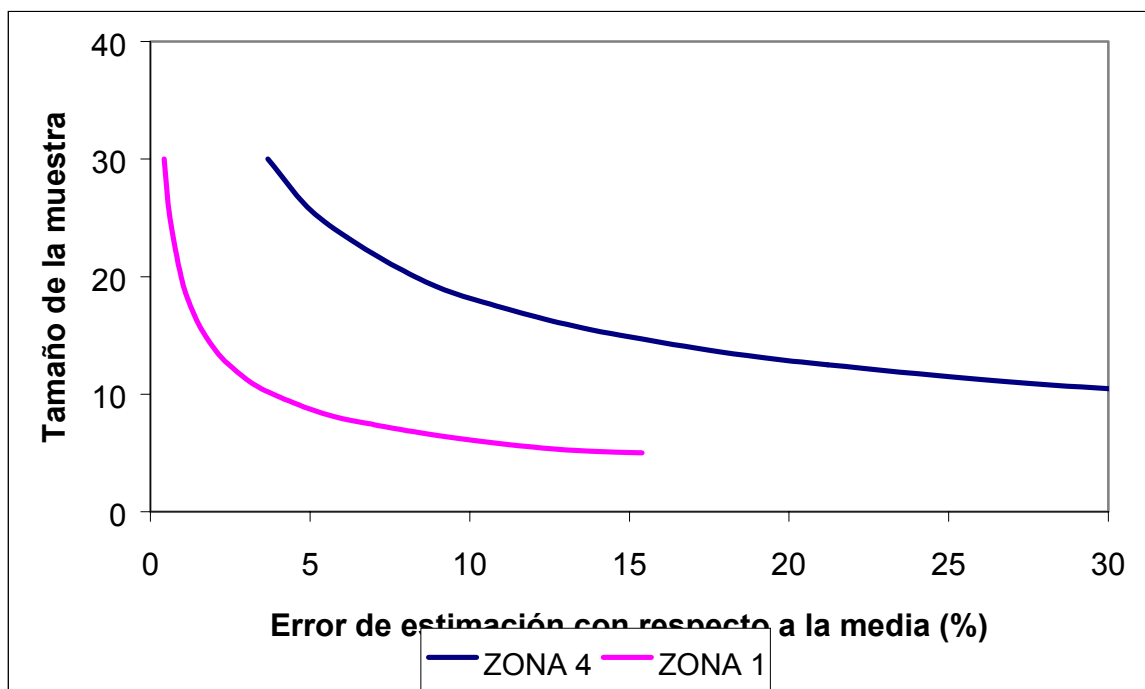


Figura 25: Variación del tamaño de la muestra en función del error de estimación de la CEagua con respecto al valor de la media, ($1 - \alpha = 0,95$)

6.8. Eficiencia de riego potencial

6.8.1. Eficiencia de riego potencial según el manejo del método de riego

En los cuadros 32a, 32b y 32c se presentan los valores potenciales de eficiencia de riego para cada una de las propiedades evaluadas obtenidos con el modelo SIRMOD.

Cuadro 32-a: Eficiencias de riego potenciales para el área dominada por el río Mendoza en el periodo otoño – invierno.

G	Z	O	EAP	EAL	EDI	EDLa
1	1	1	54	97	95	92
1	1	2	88	100	93	90
1	1	3	34	97	97	96
1	1	4	67	94	91	87
1	1	5	67	100	82	71
1	1	6	56	100	93	89
1	1	7	70	100	90	82
1	1	8	72	100	88	80
Promedio			64	99	91	86
1	2	1	89	100	98	96
1	2	2	64	99	94	90
1	2	3	67	100	91	84
Promedio			73	100	94	90
2	3	1	67	100	87	79
2	3	2	82	100	85	80
2	3	3	69	79	92	87
2	3	4	94	100	95	92
2	3	5	75	97	91	84
2	3	6	86	100	91	88
Promedio			79	96	90	85
2	4	1	92	100	95	93
2	4	2	84	100	95	92
2	4	3	88	100	99	99
2	4	4	91	99	89	84
2	4	5	87	100	92	89
Promedio			88	100	94	91
3	5	1	69	100	86	81
3	5	2	80	100	86	81
3	5	3	81	100	91	87
3	5	4	90	100	88	84
3	5	5	88	100	89	85
3	5	6	79	100	85	80
Promedio			81	100	88	83
3	6	1	86	100	95	94
3	6	2	88	100	87	83
3	6	3	100	96	90	85
3	6	4	85	100	93	91
3	6	5	91	100	96	95
Promedio			90	99	92	90
Promedio general			78	99	91	87

Cuadro 32-b: Eficiencias de riego potenciales para el área dominada por el río Mendoza en el periodo primavera

G	Z	O	EAP	EAL	EDI	EDIa
1	1	9	82	96	85	76
1	1	10	72	99	75	59
1	1	11	48	100	87	80
1	1	12	87	94	85	74
1	1	13	37	100	72	50
1	1	14	87	100	99	98
1	1	15	63	100	91	86
Promedio			68	98	85	75
1	2	4	84	100	92	90
1	2	5	67	93	93	89
1	2	6	92	100	98	94
1	2	7	82	98	85	71
1	2	8	71	85	94	89
1	2	9	76	95	89	83
Promedio			79	95	92	86
2	3	7	88	100	99	98
2	3	8	100	80	94	91
2	3	9	40	100	79	58
2	3	10	92	100	99	98
2	3	11	80	91	86	80
2	3	12	100	95	92	90
Promedio			83	94	92	86
2	4	6	91	94	94	89
2	4	7	82	100	91	83
2	4	8	82	100	99	98
2	4	9	75	100	96	94
2	4	10	90	100	93	90
Promedio			84	99	95	91
3	5	18	84	100	93	89
3	5	19	96	100	98	97
3	5	20	92	100	96	95
3	5	21	88	100	98	98
3	5	22	100	98	97	96
Promedio			81	100	88	83
3	6	12	89	100	99	99
3	6	13	90	100	94	92
3	6	14	88	100	96	95
3	6	15	45	100	97	96
3	6	16	100	97	97	95
3	6	17	86	100	93	88
Promedio			83	100	96	94
Promedio general			81	98	92	87

Cuadro 32-c: Eficiencias de riego potenciales para el área dominada por el río Mendoza en el periodo verano

G	Z	O	EAP	EAL	EDI	EDIIa
1	1	16	88	95	87	75
1	1	17	63	98	93	89
1	1	18	58	96	94	91
1	1	19	70	100	89	81
1	1	20	56	98	94	91
Promedio			67	97	91	85
1	2	10	92	99	90	86
1	2	11	64	97	94	90
1	2	12	49	100	72	46
1	2	13	92	100	95	93
1	2	14	62	98	93	89
1	2	15	72	99	86	76
Promedio			72	99	88	80
2	3	13	79	88	91	85
2	3	14	69	97	92	87
2	3	15	93	100	95	93
2	3	16	84	100	99	99
2	3	17	94	100	96	94
2	3	18	78	100	91	87
Promedio			83	98	94	91
2	4	11	80	100	85	80
2	4	12	61	100	93	90
2	4	13	59	100	93	90
2	4	14	85	100	99	99
2	4	15	77	100	99	99
Promedio			72	100	94	92
3	5	23	94	100	97	96
3	5	29	80	100	97	96
3	5	30	87	100	100	100
3	5	31	87	100	98	97
3	5	32	85	100	94	92
3	5	33	83	100	93	91
Promedio			86	100	97	95
3	6	24	80	100	92	90
3	6	25	85	100	99	98
3	6	26	88	100	96	90
3	6	27	87	100	98	96
3	6	28	82	100	98	97
Promedio			84	100	97	94
Promedio general			78	99	93	89

La EAP_M media del área de estudio resultó ser del 79% y como puede observarse en el cuadro 33 y en las figuras 26 a 28, existen diferencias de EAP_M 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.

Cuadro 33: EAP_M 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
Río Mendoza		101	79	14.4

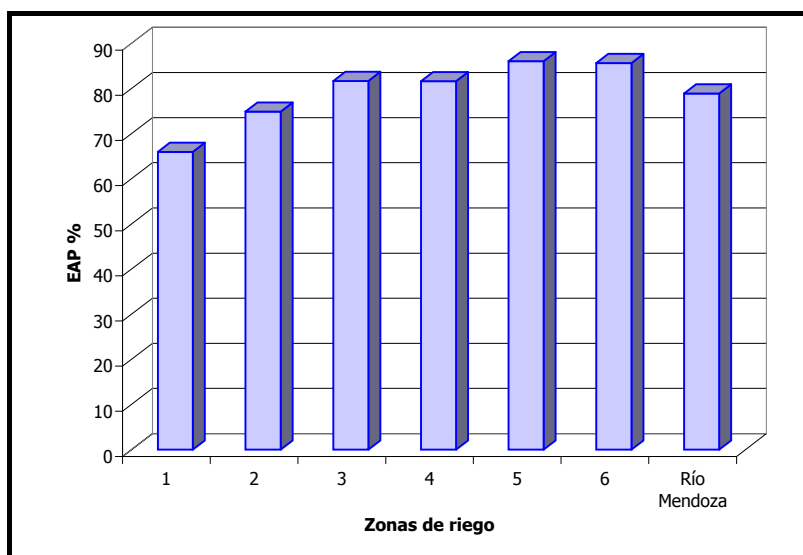


Figura 26: EAP_M (expresada en porcentaje) según zona de riego del río Mendoza

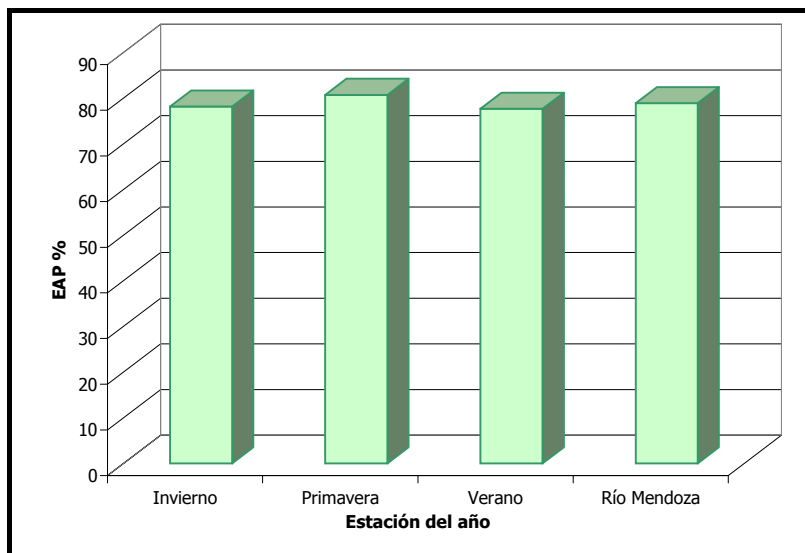


Figura 27: EAP_M (expresada en porcentaje) según estación del año en toda el área de influencia del río Mendoza.

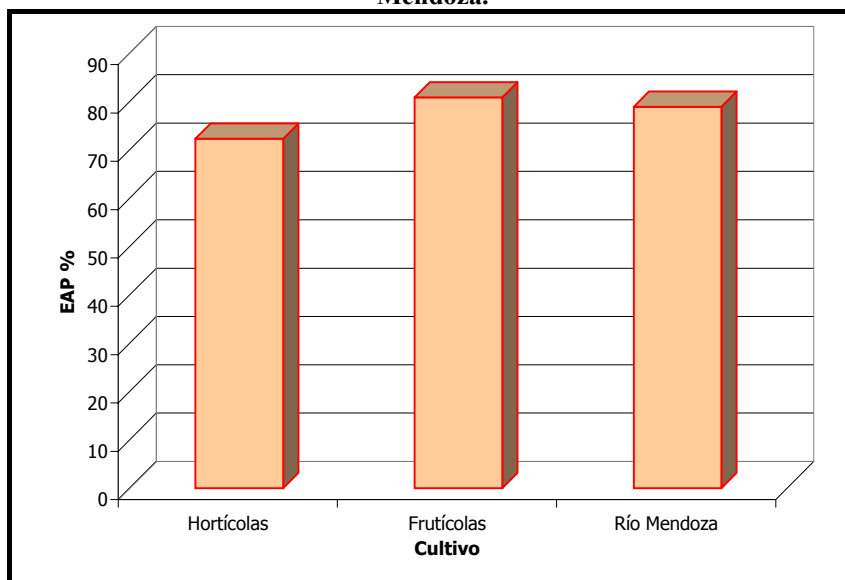


Figura 28: EAP_M (expresada en porcentaje) según tipo de cultivo en el área de influencia del río Mendoza.

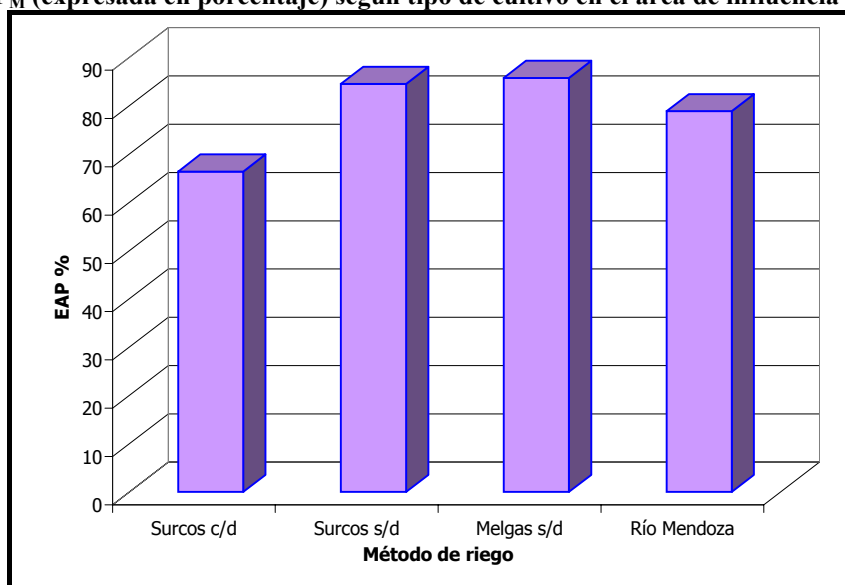


Figura 29: EAP_M (expresada en porcentaje) según método de riego en el área de influencia del río Mendoza.

6.8.2. Eficiencias de aplicación potenciales considerando el balance salino

Como se observa en los cuadros 34-a y 34-b, no existe variación de la EAP_s 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_s 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.

Cuadro 34-a: Eficiencias de aplicación potenciales medias (expresadas en porcentaje ± 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±6,3	1	61±4,5	Chacras de Coria	64±5,0	Franco arenoso	65±5,3
Duraznero	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 ($\alpha=0,05$)

Cuadro 34-b: Eficiencias de aplicación potenciales medias (expresadas en porcentaje ± desviación estándar) considerando el balance salino de cada una de las variables analizadas

Evapotranspiración		Precipitación		Probabilidad de ocurrencia		CE _{es} final *		CE _{agua} *	
Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media	Nivel	Media
Máxima	63±5,7	50 % del total	63±5,7	20%	63±5,7	CE _{es} inicial	63±4,9	CE _{agua} actual	63±5,2
90 % de la máxima	63±5,8	Efectiva	63±5,8	50%	63±5,8	90 % de CE _{es} inicial	59±4,9	90 % de CE _{agua} actual	66±5,0
80 % de la máxima	63±5,9	Cero	63±5,9	80%	63±6,1	110 % de CE _{es} inicial	67±4,9	110 % de CE _{agua} actual	60±5,4

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

Considerando los factores que afectan a la EAP_s, 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:

1. Zona de riego: 11 %
2. CE es suelo final: 8 %
3. CE agua de riego: 6 %

- 4. Textura del suelo: 4 %
- 5. Estación meteorológica: 3 %

Cabe recordar que los distintos niveles de $CE_{es\ suelo}$ y CE_{agua} 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_S de 4 % y 3 % respectivamente.

Las Cuadros 35 y 36 y las figuras 30 y 31 muestran los cambios de los valores de EAP_S como resultado de la variación de la $CE_{es\ suelo}$ final, y la CE_{agua} respectivamente, discriminado por zona. En las mismas se observa que la variable respuesta no presenta diferencias entre el análisis zonal respecto al global.

Cuadro 35: EAP_S media (expresada en porcentaje) por zona de riego y según $CE_{es\ suelo}$ final del área de influencia del río Mendoza.

Zona de riego	CE _{es} final			Diferencia máxima
	Igual a CE _{es} inicial	90 % de CE _{es} inicial	110 % de CE _{es} 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
Diferencia máxima	11	11	12	-

Cuadro 36: EAP_S media (expresada en porcentaje) por zona de riego y según CE_{agua} de riego de área de influencia del río Mendoza

Zona de riego	CE _{agua}			Diferencia máxima
	Igual a CE _{agua} actual	90 % CE _{agua} actual	110 % CE _{agua} 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
Diferencia máxima	11	11	12	-

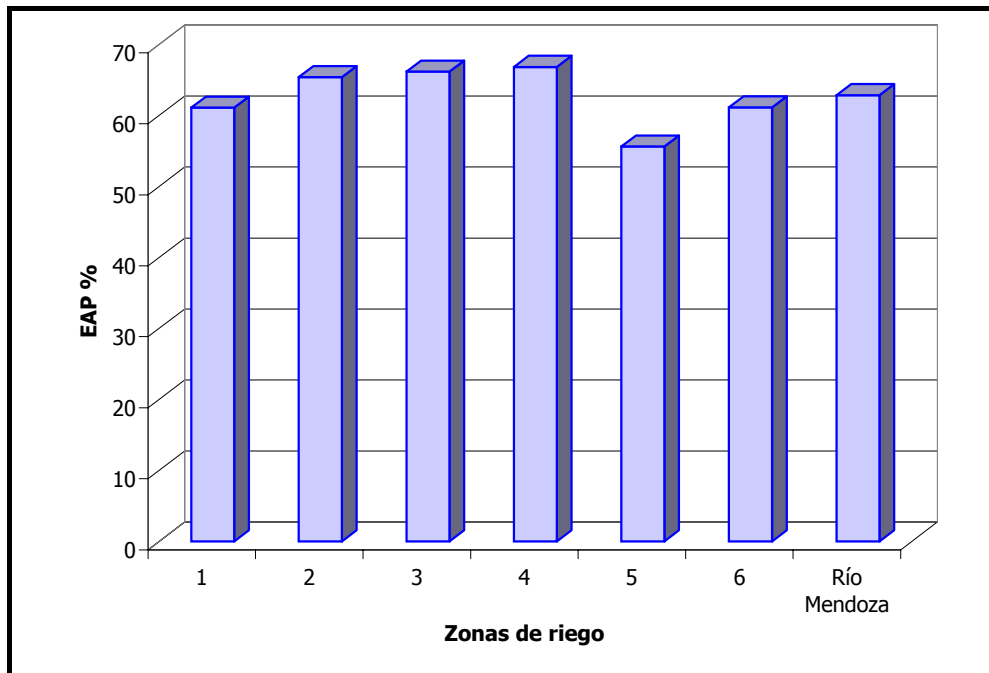


Figura 30: EAP_s (expresada en porcentaje) según zona de riego del río Mendoza

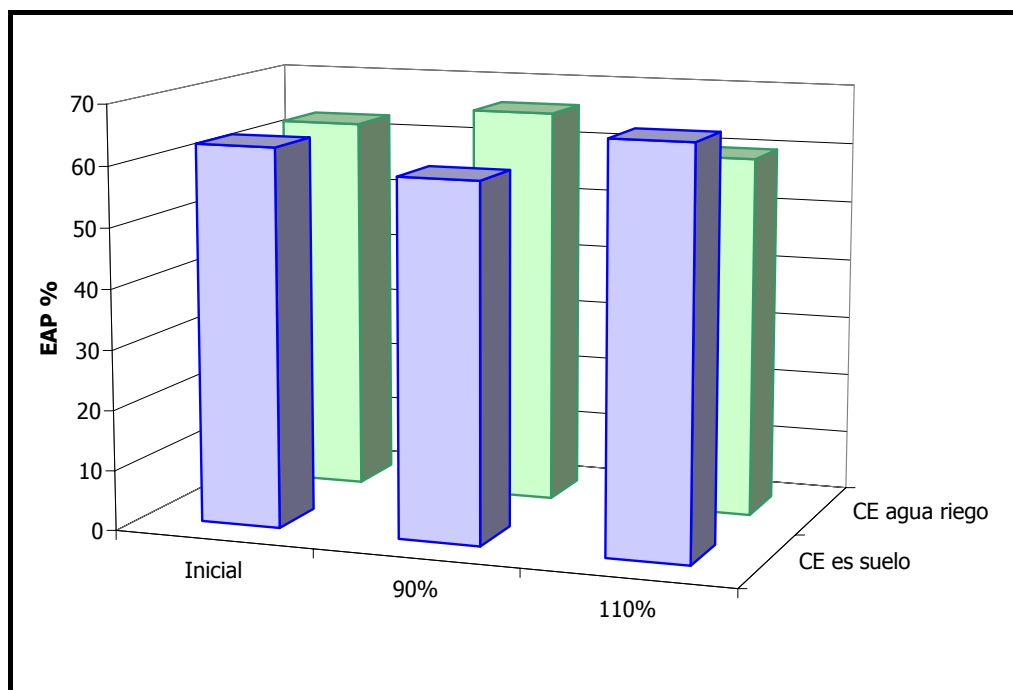


Figura 31: EAP_s para distintos niveles de CE_{es suelo} y CE_{agua} de riego en el área de influencia del río Mendoza

El cuadro 37 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 (cuadro 11.2.9 del anexo). 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_{es} 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.

Cuadro 37: 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% MaasHoffman	100% MaasHoffman	100% Nijensohn	90% MaasHoffman	100% MaasHoffman	100% 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

En el cuadro 38 y en la figura 32 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 38: 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 % MaasHoffman	CE_{es} 100 % MaasHoffman	CE_{es} 100 % Nijensohn
1	81	61	95
2	81	61	94
3	79	60	91
4	57	43	63
5	69	52	85
6	76	58	92
Río Mendoza	76	58	90

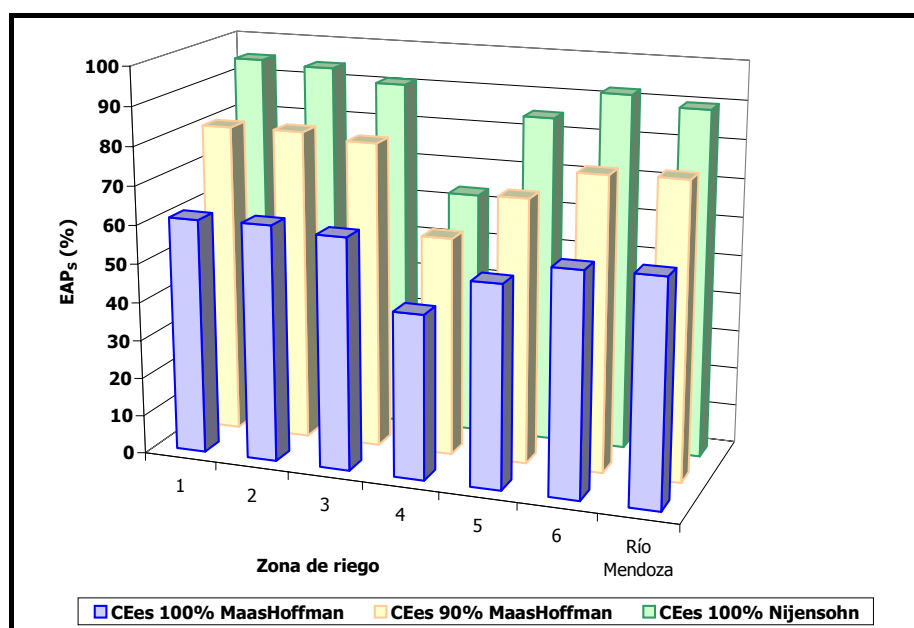


Figura 32: EAP_s media (expresada en porcentaje) por zona de riego y según CE_{esf} del área de influencia del río Mendoza.

6.8.3. Comparación entre eficiencias de aplicación potenciales obtenidas por diferentes métodos

La figura 33 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.

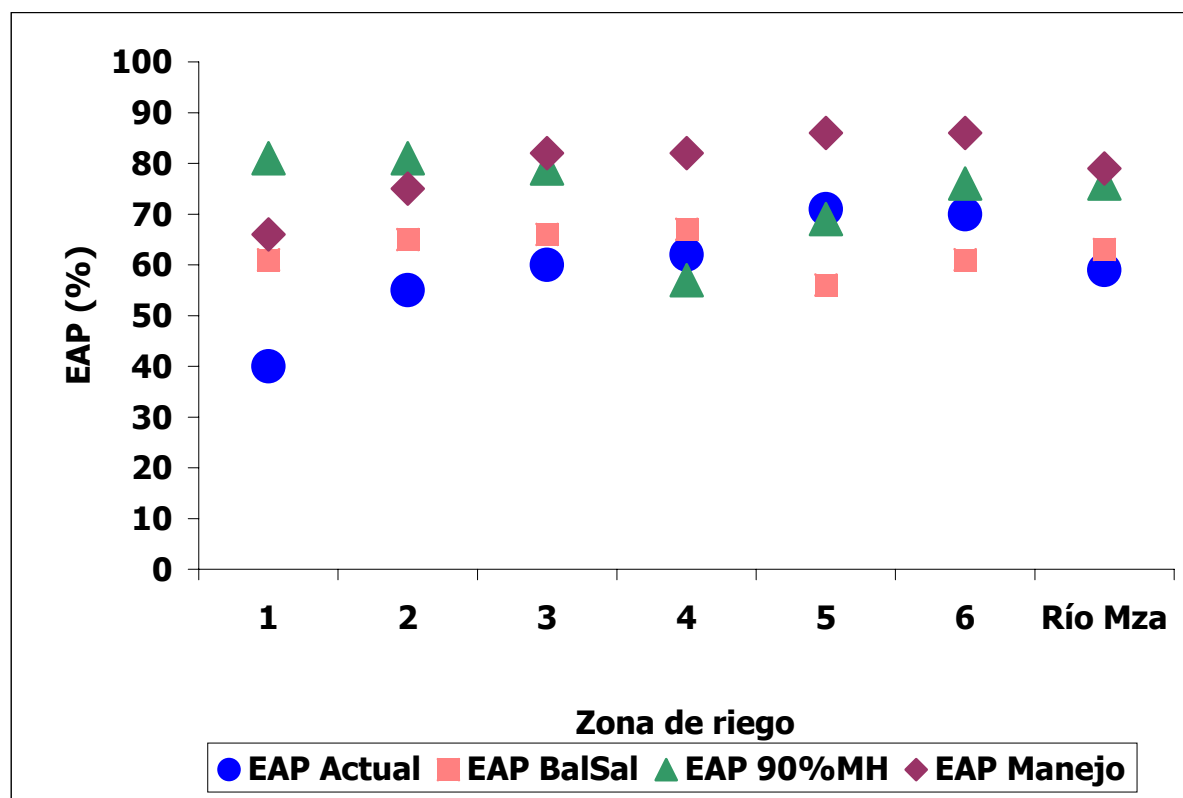


Figura 33: Eficiencia de aplicación actual (EAP Sirmod) y eficiencias de aplicación potenciales en las distintas zonas de riego del río Mendoza

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_M, 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_M) supera el 70%. El cuadro 39 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 39: 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)

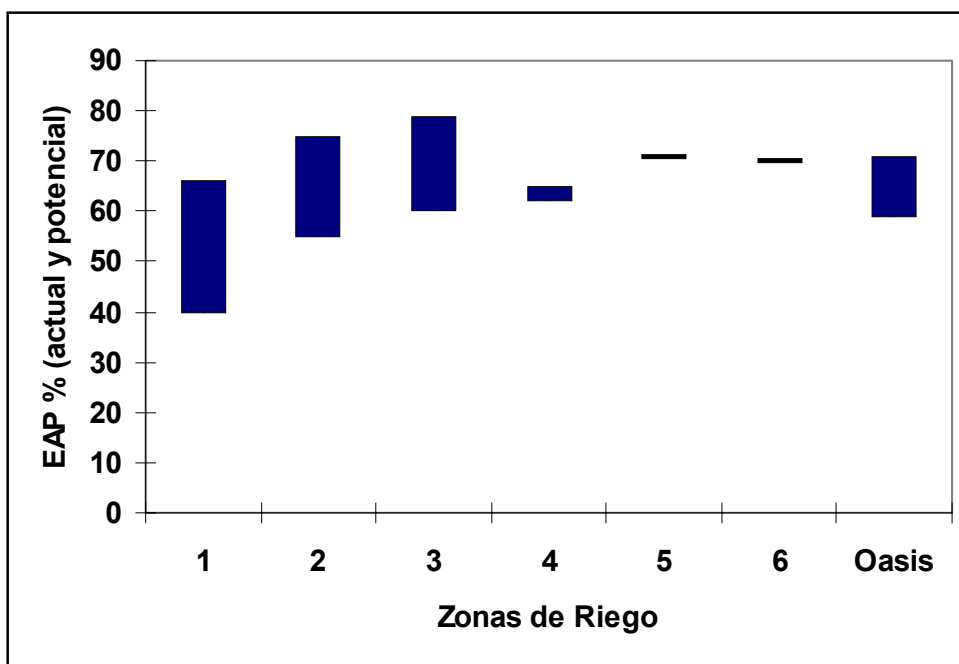


Figura 34: Distancia entre eficiencias “aplicación actual y potencial” en cada una de las zonas de riego del río Mendoza y del oasis

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 (61%).

7. 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.

Se observa que las ecuaciones de velocidad de infiltración que caracterizan las distintas series de suelos definidas por Romanella (1957) generan valores bajos de infiltración básica correspondientes a suelos más pesados que las texturas que los caracterizan, clasificándolos dentro de la familia de infiltración (F): Lenta (L) a Muy Lenta (ML) comportándose entonces como suelos de textura “franco arcilloso a arcilloso”. Posiblemente los bajos contenidos de materia orgánica, la falta de estructura y la presencia de capas compactadas contribuyen a reducir dicha velocidad de infiltración.

Con respecto a las ecuaciones de avance los valores del coeficiente “p” y del exponente “r” presentan valores normales coincidentes con los mencionados en la literatura nacional e internacional. Si se observan valores bajos del exponente “s” que afecta al caudal unitario.

Con respecto a la geometría de los surcos, se obtuvieron los distintos coeficientes (σ_1 , σ_2 , γ_1 , γ_2 , α_1 , α_2 , ρ_1 , ρ_2) que caracterizan a cada una de las categorías de surcos que se encuentran en la zona del río Mendoza. Si comparamos los resultados obtenidos en la categoría “1 surcos pequeños” con los mencionados por Walker & Skogerboe (1987), los valores σ_1 y σ_2 medidos (1,18 y 1,62) son similares (1,07 y 1,65). Con respecto a los valores de γ_1 presentados por Walker & Skogerboe (1987) se observa que son menores (1,4) que los encontrados (2,5) y los valores de γ_2 están bastante próximos (Walker & Skogerboe, 1987: 0,56 y medido: 0,69). Los valores de α_1 encontrados (2,18) son mayores a los mencionados por Walker & Skogerboe (1987) (1,71) mientras que los valores de α_2 son parecidos (0,66 versus 0,73). Con respecto a los valores de ρ_1 medidos (0,31) están dentro de los valores mencionados por Walker & Skogerboe (1987) mientras que el valor de ρ_2 medido (2,76) es muy superior (1,5). Se observa que las diferencias encontradas se deben a que los surcos del área regadía del río Mendoza son menos profundos y más anchos. No hay datos en la bibliografía para surcos de mayor tamaño.

Con respecto a los caudales de manejo resulta interesante observar el caso de Melgas. En ellas el caudal medio (114 L/s) resulta relativamente alto, no obstante ello las grandes variaciones observadas (desviación estándar de 137 L/s) generan caudales exagerados, imposibles de ser manejados por un regador. Evidentemente esto contribuye a reducir las eficiencias de aplicación observadas. Los caudales unitarios están dentro de los valores mencionados por la bibliografía internacional.

Los métodos de riego 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 debida a las cortas longitudes y a los largos tiempo de riego.

Los dos modelos matemáticos usados (SIRMOD y ERFIN) resultaron de utilidad para interpretar la situación del riego analizada en cada caso en particular, no obstante ello los resultados del modelo SIRMOD son más precisos mientras que el modelo ERFIN resulta poco exacto en el caso de la resolución de eficiencias en riego con desagüe al pie.

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.

Chambouleyron (1977) muestra los resultados de la evaluación de eficiencias de riego realizadas en los años 1973/74 en propiedades distribuidas en las áreas dominadas por 7 canales de riego seleccionados como representativos de cada una de las zonas del río Mendoza. Las diferencias que se observan entre las dos campañas de estudio analizadas, 1973/74 y 2001/02 (Cuadro 40) resultan relativamente poco importantes, tal es así que el promedio general para el río resulta idéntico (57 %) en ambas. Al tomar separadamente los datos de eficiencia de las distintas zonas de riego se observó que las diferencias fundamentales se dieron en las zonas 1 y 5. El minucioso análisis de tales diferencias permite explicar en alguna medida estos hechos. Los factores a tener en cuenta en el análisis de las posibles causas de las diferencias son en primer lugar el menor número de propiedades evaluadas en la campaña 73/74 respecto de la campaña '01/02, 80 y 101 propiedades respectivamente; y en segundo lugar, el criterio empleado en el muestreo, mientras que en las campañas 1973/74 se tomaron los canales considerados más importantes del área regadía, en la 2001/02 se realizó un muestreo aleatorio donde las propiedades se distribuyeran aproximadamente en igual cantidad en las distintas zonas de manejo para que las comparaciones fueran equivalentes. Cuando se comparan las eficiencias de riego en las diferentes estaciones del año, también en este caso se observan diferencias de escasa importancia en cada una de ellas entre las campañas 1973/74 y 2001/02 (Cuadro 40). Es probable que éstas diferencias respondan a las mismas causas que aquellas analizadas anteriormente.

Cuadro 40: 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 y 2001/02

Zona de Riego	ERI Primavera		ERI Verano		ERI Otoño Invierno		ERI anual	
	1973/74	2001/02	1973/74	2001/02	1973/74	2001/02	1973/74	2001/02
1	49,5	28,5	58,2	51,4	S/d	38,6	59,0	38,8
2	50,8	46,6	29,4	63,1	S/d	44,6	46,5	52,8
3	58,1	61,1	30,4	53,9	S/d	56,3	55,8	57,6
4	62,5	56,4	55,1	56,3	67,2	63,9	63,0	58,9
5	51,7	82,7	35,7	73,7	61,1	51,3	52,0	68,2
6	98,7	55,1	44,9	76,8	48,5	70,8	73,0	67,2
Total	63,8	53,2	46,5	62,4	61,2	53,4	57,0	56,6

Con respecto a la salinidad del suelo en toda la cuenca se ha visto como, en las zonas 3 y 4, sobre todo en ésta última, la CEes es más elevada que en el resto. Al analizar la salinidad con relación a los

métodos de riego se observó que los valores medios de CEes en los métodos sin desagüe al pie (surcos y melgas) no son diferentes, mientras que resulta mayor que en aquellos con desagüe al pie. Estas dos situaciones están relacionadas pues los métodos sin desagüe predominan en las zonas bajas de la cuenca, donde además el agua superficial llega con mayor salinidad (zona 4 y 5) y existen problemas de freática salina cercana a la superficie sobre todo en la zona 4. La variación de la salinidad referida a los cultivos presenta algunas peculiaridades, en este caso si bien en la cuenca la situación general predominante es que en los lugares donde se cultivan hortalizas la CEes del suelo es menor o en algunos casos igual a aquella en la que se cultivan frutales, en la zona 3 esta situación se revierte. Probablemente éste hecho particular se debe a que generalmente en ésta última zona las hortalizas son cultivadas en aquellos lugares en los cuales la presencia de una capa freática cercana a la superficie impide el cultivo de especies que realizan una exploración radical profunda como es el caso de los frutales. Otra característica de los suelos de la cuenca es que generalmente la salinidad del estrato más profundo resulta mayor que aquella del estrato superior, esto resulta lógico, pues las capas superficiales son totalmente atravesadas y lavadas por el agua de riego mientras que las más profundas reciben las sales de las superiores y no en todos los casos la lámina de riego aplicada por el agricultor resulta suficiente para lixiviar tales sales.

Ya con respecto a la distribución de las sales a lo largo de la parcela regada, existen diferencias en los niveles de salinidad del suelo entre los distintos puntos de muestreo, presentando la cabeza los mayores valores. Esto sólo es válido para métodos de riego sin desagüe al pie. Ello indica que hay más percolación de agua en el pie y en el medio de la parcela regada que en la cabeza. Es decir que el patrón de infiltración está alterado respecto a la situación teórica que se presenta en riego sin pendiente ni desagüe. Esto es así por cuanto en la práctica existe una pendiente de riego longitudinal (reducida pero distinta de cero) y suelos con baja velocidad de infiltración, esto determina que el agua se acumule superficialmente más en el pie que en la cabeza. Por ello en suelos de baja velocidad de infiltración las correcciones topográficas en el sentido del riego, resultan muy importantes.

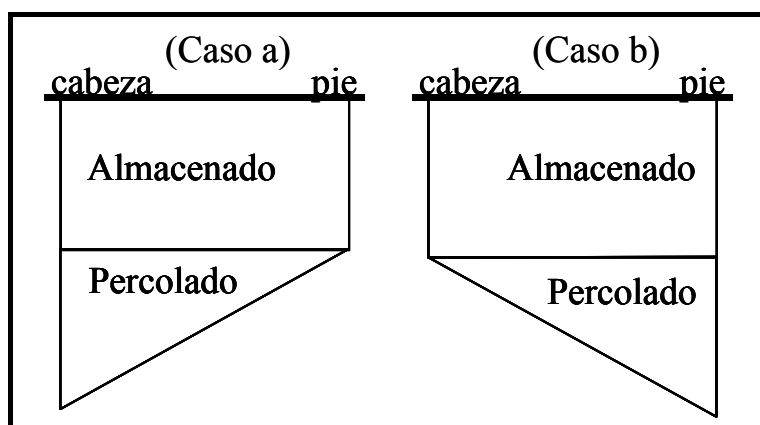


Figura 35: Esquema que representa el patrón de infiltración en riego sin pendiente y sin desagüe. Caso a: situación hipotética si la pendiente longitudinal fuese “0”. Caso b: situación típica del área regada del río Mendoza

Otro aspecto a resaltar está vinculado a la relación que existe entre la uniformidad del riego -medida a través de la EDI- y la variación de la salinidad del suelo dentro de la parcela regada cuando la eficiencia de almacenaje es mayor o igual al 80 % y menor a 100 %. Esto se ve reflejado en que al aumentar la eficiencia de distribución interna se logra mayor homogeneidad en el contenido salino de la capa de suelo de 0,50 a 1 m de profundidad, aspecto que contribuye a mejorar la productividad (Katerji *et al.*, 2003) en cultivos de raíz profunda. La variación de la salinidad del suelo y su vinculación con el riego a través de la EAL y la EDI, dada la elevada dispersión observada, justificaría un estudio más profundo dirigido a este punto en particular.

El agua de riego posee un nivel de sales significativamente mayor en las zonas 4 y 5 respecto a las zonas 1, 2, 3 y 6. Los valores de aumento observados son: 75 % de salinidad mayor en la zona 4 que en la 2, y 25 % mayor en la zona 5 también que en la 2. Por lo tanto si se aplica en la parcela un volumen de riego de 7.000 m³ ha⁻¹ año⁻¹, esos incrementos significan 3,13 y 1,05 toneladas por

hectárea y por año de sales adicionales en las zonas 4 y 5 respectivamente, frente a lo que se entrega de sales con el mismo volumen de riego en la zona 2. La mayor cantidad de sales detectadas en las zonas 4 y 5 es consecuencia de la contaminación producida por la actividad agrícola - urbano - industrial que se produce aguas arriba. Es importante recalcar que el uso de aguas marginales requiere un monitoreo más intensivo del suelo y de la planta (Tanji y Keyes, 2002). Es de esperar que las obras complementarias de impermeabilización de los tramos inferiores del canal San Martín ya terminadas permitan igualar la calidad del agua de riego de la zona 5 a valores similares a la zona 2. Los aspectos descriptos anteriormente muestran cómo la zona 4 ve reducido su potencial productivo respecto a las otras, situación que podría ser revertida evitando la contaminación del agua superficial y manteniendo y mejorando la red de drenaje.

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 EAP_s , 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.

8. 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 s/D 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.

Las velocidades de infiltración representativas de las series de suelos del río Mendoza en general son bajas alcanzando valores extremos de infiltración básica de 1,3 y 7,3 mm/h que corresponden respectivamente a las familias de infiltración del SCS-USDA de Muy Lento (ML) a Lento (L).

Se han obtenido ecuaciones de avance del frente de agua que caracterizan los tres métodos de riego evaluados, ya sea en función del tiempo como en función del tiempo y el caudal unitario.

Se ha caracterizado la geometría de los distintos tamaños o categorías de surcos locales a través de los coeficientes ($\sigma_1, \sigma_2, \gamma_1, \gamma_2, \alpha_1, \alpha_2, \rho_1, \rho_2$) disponiendo de información para mejorar el diseño.

Hay diferencias importantes en los caudales de manejo. Merecen especial atención los caudales usados para el riego de melgas, cuyo valor medio resulta alto pero dentro de valores razonables, no obstante ellos debería reducirse la variabilidad observada si se desea mejorar las eficiencias.

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” muy cerca del límite inferior, 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.

En cuanto respecta al estudio de la salinidad en la cuenca del río Mendoza resultan las zonas de riego 3 y 4, principalmente ésta última, con mayor salinidad en el suelo respecto al resto de las zonas. Particularmente la situación de la zona 4 se debe a la interacción entre el nivel elevado de la capa freática con elevada salinidad (Ortiz Maldonado et al, 2002) y la baja calidad de agua de riego.

Los cultivos hortícolas se realizan en suelos que presentan menor salinidad respecto a aquellos utilizados para los frutícolas, a excepción de la zona 3. Éste aspecto se encuentra ligado estadísticamente con la variación de la salinidad en las distintas zonas de riego. Resulta además, significativamente mayor la salinidad de la capa de suelo inferior respecto a la superior para los métodos de riego sin desagüe.

En el ámbito parcelario y para métodos de riego sin desagüe ha quedado demostrado que la salinidad del suelo en la zona de la cabeza resulta claramente superior a aquella del pie aspecto vinculado estrechamente a la pendiente longitudinal (en el sentido del riego) del terreno, lo cual determina una acumulación de agua en el pie.

El agua de riego posee un nivel de sales significativamente mayor en las zonas 4 y 5 respecto a las zonas 1, 2, 3 y 6, resultando la zona 4 con una CE 75% mayor que aquella de la zona de referencia (zona 2) y la zona 5 con una CE 25 % mayor respecto a la misma zona.

La precisión del muestreo realizado para determinar las eficiencias de riego en la zona de influencia del río Mendoza como también para la determinación de la salinidad del suelo (número de muestras estudiadas 101 y 537), resultan respectivamente en % respecto de la media del 10% y del 5,4%, 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 asegure 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%.

9. 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.

9.1. Métodos de riego con desagüe

En general estos métodos de riego 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.

9.2. Métodos de riego sin desagüe

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 asegurar 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.

10. BIBLIOGRAFÍA

AMALI, S.; ROLSTON, D.E.; FULTON, A.E.; HANSON, B.R.; PHENE, C.J.; OSTER, J.D. 1997. Soil water variability under subsurface drip and furrow irrigation. Irrigation science. Berlin, W. Ger.: Springer - Verlag. v. 17 (4) p. 151-155.

AutoCADLT 2000. Copyright 1999. Autodesk, INC. USA.

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.

ASAE. Standards 2000. Evaluation of irrigation furrows. American Society of Agricultural Engineering. EP419.1. USA, p. 893 – 898.

AYERS, R.S. y D.W. WESTCOT. 1976. Water quality for Agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper # 29. Rome, Italy.

BANCO MUNDIAL – 2000 – “Argentina, gestión de los recursos hídricos. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI”. Volumen I – Informe principal. Informe n° 20729/AR.

BOONSTRA and JURRIENS. 1988. Bascad: a design and operation level basin irrigation model. ILRI Publication # 43, Wageningen, The Netherlands.

BOS M. AND J. NUGTEREN. 1982. On irrigation efficiencies. Publication 19 ILRI. The Netherlands.

CHAMBOULEYRON J. 1977. Evaluación de la eficiencia de uso del agua de riego a nivel zonal. INCyTH – CRA, Mendoza – Argentina (18 pp).

CHAMBOULEYRON, J. – 1999 – “Manual de Riego y Drenaje. Libro de texto para el curso de Hidrología Agrícola”. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

CHAMBOULEYRON, J. y MORÁBITO, J. – 1982 – “Evaluación del riego en fincas”. INCyTH-CRA. Mendoza. Argentina.

CHAMBOULEYRON, J., MENENTI, M., FORNERO, L., MORÁBITO, J. y STEFANINI, L. 1982. "Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego". INCyTH – IILA. Roma. Italia.

CHAMBOULEYRON, J., SALATINO, S., MORÁBITO, J. y FORNERO, L. – 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.

CLEMMENS, A. J. , A. DEDRICK, and R. STRAND. 1995 BASIN, a computer program for the design of Level-Basin irrigation systems (version 2). USDA/ARS, US Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona. 58 pp.

CRIDDLE W., S. DAVIS, C. PAIR, D. SHOCKLEY. 1956. Methods for evaluating irrigation systems. U.S. Department of Agriculture Handbook 82, 24p.

DECHMI F., E. PLAYÁN, J. M. FACI, M. TEJERO and A. BERCERO. 2003. Analysis of an irrigation district in north-eastern Spain. II, Irrigation evaluation, simulation and scheduling. Agricultural Water Management. Volume 61, Issue 2. P. 93-109.

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.

HERNÁNDEZ, L.; ROBY, H.; SANCHO, E.; CHAMBOULEYRON, J.; MORÁBITO, J.; ZULETA, J.; SALATINO, S.; MIRÁBILE, C. y GARCÍA, J. 1985. "Metodología para la evaluación del costo del agua de riego en función de la eficiencia en el uso del recurso a nivel de finca". En XII Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

HOFFMAN G.J. & MARTIN D.L. 1994. Enhanced surface irrigation systems. Department of Biological Systems Engineering, University of Nebraska, USA. International Water and Irrigation Review. 14: 1, p. 8-11.

JURRIENS M., D. ZERIHUM, J. BOONSTRA and J. FEYEN. 2002. Surface irrigation Software. Design, operation and evaluation of basin, border and furrow irrigation with SURDEV computer package. ILRI publication. Wageningen, The Netherlands.

KATERJI, N., J. W. VAN HOORN, A. HAMDY And M. MASTRORILLI. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. Agricultural Water Management. Volume 62, Issue 3.

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.

MERRIAM J., J. KELLER & J. ALFARO. 1973. Irrigation system evaluation and improvement. Department of Agriculture and Utah Water Research Laboratory. 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., CHAMBOULEYRON, J., SALATINO, S. y FORNERO, L. – 1991 – "ERFIN Modelo para el cálculo de eficiencias de riego en finca". En II Jornadas Internacionales Sobre Uso de Computadoras en Investigaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ingeniería Universidad de Mendoza. Mendoza. Argentina.

MORABITO, J. A. - 1997 - El riego en el mundo, Argentina y Mendoza. Publicación interna INA - CRA.

MORÁBITO, J., SALATINO, S., ROBY, O. y SOLSONA, J. – 1997 – "Análisis Técnico Económico comparativo de métodos de riego en Olivo. Un caso en la provincia de Mendoza, Argentina". En 1º Seminario de Actualización en Riego Presurizado. Centro de Ingenieros Agrónomos de Mendoza – Instituto Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

MORÁBITO, J.A.; MARTÍNEZ TÍVOLI, J.; MANZANERA, M.; SALATINO, S.E.; MIRÁBILE, C.S.; IBÁÑEZ, G. – 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.; MIRÁBILE, C.S.; SALATINO, S.E.; PIZZUOLO, P.; TOZZI, F.M.; LUQUI, R.G.; PÉREZ, P.V.; LUCERO, G.; TOZZI, D.A.; LUCERO, C.; SARDÁ, L.; TOZZI, A. – 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.

NUGTEREN J. 1969. Ingenieurscollege Veldirrigatie. Landbouwhogeschool. The Netherlands.

ORTIZ MALDONADO G., J. MORABITO y E. REARTE. 2002. Calidad del agua freática en el área regadía del río Mendoza. INA – DGI – FCA UNCuyo. Jornadas de investigación de la FCA-UNCuyo. Mendoza – Argentina.

PIZARRO, F. – 1996 – "Riegos localizados de alta frecuencia". 3ª Edición. Ed. Mundi Prensa. España.

ROMANELLA CARLOS. 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.

ROMAY, C., MORÁBITO, J., SALATINO, S., ROBY, O., SOLSONA, J. y ALTURRIA, L. – 2001 – "Evaluación integral del riego por pulsos en los oasis regadíos argentinos. Eficiencia de riego, análisis económico y evaluación de los usuarios". En IV Diálogo Interamericano de Gerenciamiento de Aguas. En busca de soluciones. Foz de Iguazú. Paraná. Brasil.

ROSCHE K. 1985. Surface irrigation. Characteristics, design and performance. Department of irrigation and civil engineering. Agricultural University, Wageningen. The Netherlands.

SALATINO, S. 1985. "Parámetros de diseño del río Tunuyán medio e inferior". En XII Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

- STRELKOFF, T. 1985. BRDRFLW: a mathematical model of border irrigation. USDA, Agricultural Research Service Report # 29, Phoenix, Arizona. 104 pp.
- STRELKOFF, T. 1990. SRFR: a computer program for simulating flow in surface irrigation. Version 20. WCL report # 17 US Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona. 69 pp.
- STRELKOFF, T. 1999. SRFR: a computer program for simulating flow in surface irrigation. Version 39. WCL report # 46 US Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona. 58 pp.
- TANJI K. and C. KEYES JR. 2002. Water quality aspects of irrigation and drainage: past history and future challenges for civil engineers. Journal of irrigation and drainage engineering. Volume 128, n° 6. p. 332- 340.
- USDA. 1954. Manual de diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura N° 60. USA.
- VALLONE, R.; NIJENSOHN, L. – 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. 1993. “SIRMOD Surface Irrigation Simulation Software”. Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University. Logan. Utah 84322-4104. USA.
- 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 – Hall.

11. ANEXO

11.1. Propiedades agrupadas según el período de evaluación

Se consigna como (G) grupo de trabajo, (Z) zona de riego, (O) número de orden de la evaluación, número de encuesta, nombre del propietario, cultivo regado y método de riego donde (S) corresponde a surcos, (M) melgas, (c/D) con desagüe y (s/D) sin desagüe.

Cuadro 11.1.1-a: Propiedades evaluadas en el área regadía del río Mendoza, en otoño-invierno

Grupo	Zona	Orden	Fecha	Nº encuesta	Propietario	Cultivo	Método de riego
Otoño- Invierno (33 evaluaciones)							
1	1	1	04/05/01	1	De Blasis	Vid	S c/D
1	1	2	29/05/01	2	Norton	Vid	M s/D
1	1	3	30/05/01	3	Baldini	Vid	S c/D
1	1	4	01/06/01	4	Muñoz	Zanahoria	S c/D
1	1	5	11/06/01	5	Scanio	Clavel	S c/D
1	1	6	12/06/01	6	Videla	Ajo	S c/D
1	1	7	13/06/01	7	Constantino	Ciruelos	S c/D
1	1	8	14/06/01	8	Ferrante	Vid	S c/D
1	2	1	02/08/01	9	Nieto y Senetiner	Vid	M s/D
1	2	2	03/08/01	10	Chandon	Vid	S c/D
1	2	3	07/08/01	11	Bianchi	Vid	S c/D
2	3	1	26/06/01	12	Lara	Lechuga	S c/D
2	3	2	28/06/01	13	Tolini	Olivos	M s/D
2	3	3	29/06/01	14	Fernandez	Vid	S c/D
2	3	4	03/07/01	15	Balmaceda	Lechuga	S s/D
2	3	5	06/07/01	16	Caprioli	Olivos	M c/D
2	3	6	13/07/01	17	Sanchez	Vid	M s/D
2	4	1	24/05/01	18	Seminara	Olivo	S s/D
2	4	2	07/06/01	19	Martín Hnos.	Ajo	S s/D
2	4	3	08/06/01	20	Pandolfino	Ajo	S s/D
2	4	4	31/07/01	21	Lercari	Vid	M s/D
2	4	5	08/08/01	22	Martínez	Ajo	S s/D
3	5	4	20/06/01	23	San Cayetano	Vid	M s/D
3	5	5	27/06/01	24	Talet	Vid	M s/D
3	5	6	04/07/01	25	Lourdes	Alfalfa	M s/D
3	5	7	11/07/01	26	Lamantía	Vid	M s/D
3	5	8	20/07/01	27	Gagleano	Vid	M s/D
3	5	9	24/07/01	28	Buono	Vid	M s/D
3	6	1	23/05/01	29	Tupungato SACIFA	Ajo	S s/D
3	6	2	05/06/01	30	Sideral de Cuyo	Vid	M s/D
3	6	3	15/06/01	31	Don Francisco	Vid	M s/D
3	6	10	31/07/01	32	Bernard	Vid	M s/D
3	6	11	01/08/01	33	Bustan S.A.	Ciruela	S s/D

Cuadro 11.1.1-b: Propiedades evaluadas en el área regadía del río Mendoza, en primavera

Grupo	Zona	Orden	Fecha	Nº encuesta	Propietario	Cultivo	Método de riego
Primavera (35 evaluaciones)							
1	1	9	23/10/01	34	Fioretti	Vid	S c/D
1	1	10	24/10/01	35	Marconi	Vid	S c/D
1	1	11	06/11/01	36	Pisinatti e hijos SA	Zanahoria	S c/D
1	1	12	07/11/01	37	Giol	Vid	S c/D
1	1	13	14/11/01	38	Galiotti	Rosas	S c/D
1	1	14	15/11/01	39	González Videla	Vid	M s/D
1	1	15	19/10/01	40	FCA	Vid	S c/D
1	2	4	26/09/01	41	Zea	Almendro	M s/D
1	2	5	27/09/01	42	Bertona	Vid	S c/D
1	2	6	04/10/01	43	Lazaro	Zanahoria	S s/D
1	2	7	05/10/01	44	Dicicco	Vid/Olivo	S c/D
1	2	8	31/10/01	45	Peñaflor II	Olivos	S c/D
1	2	9	22/11/01	46	Bochi	Olivos / Durazneros	S c/D
2	3	7	01/10/01	47	Linzi	Peral	S s/D
2	3	8	09/10/01	48	López	Zapallo	S s/D
2	3	9	10/10/01	49	Millán	Ajo	S s/D
2	3	10	16/10/01	50	López SA	Vid	S s/D
2	3	11	26/10/01	51	Pisi	Olivos	S c/D
2	3	12	22/10/01	52	Peñaflor	Vid	S s/D
2	4	6	18/09/01	53	Romero	Vid	M s/D
2	4	7	20/09/01	54	Fernández	Cebolla	S s/D
2	4	8	21/09/01	55	BenVan	Cebolla	S s/D
2	4	9	12/10/01	56	Sanchez	Vid	M s/D
2	4	10	22/10/01	57	Moricci	Olivos	S s/D
3	5	18	01/11/01	64	Recio	Vid	M s/D
3	5	19	09/11/01	65	Maski	Vid	M s/D
3	5	20	12/11/01	66	Manresa	Vid	M s/D
3	5	21	19/11/01	67	Galeano	Vid	S s/D
3	5	22	20/11/01	68	Agrodado	Vid	M s/D
3	6	12	25/09/01	58	Manzanares	Vid	S s/D
3	6	13	02/10/01	59	Gasparoni Hnos.	Vid	M s/D
3	6	14	09/10/01	60	Verdaguer G.	Ajo	S s/D
3	6	15	11/10/01	61	Eten J.	Vid	S s/D
3	6	16	25/10/01	62	Marini	Vid	S s/D
3	6	17	26/10/01	63	Ferrer	Papa	S s/D

Cuadro 11.1.1-c: Propiedades evaluadas en el área regadía del río Mendoza, en verano

Grupo	Zona	Orden	Fecha	Nº encuesta	Propietario	Cultivo	Método de riego
Verano (33 evaluaciones)							
1	1	16	07/03/02	69	Sarmiento	Ciruelos	S c/D
1	1	17	26/03/02	70	Sabina	Tomate	S c/D
1	1	18	28/03/02	71	Chandon	Vid	S c/D
1	1	19	22/04/02	72	Felix	Vid	S c/D
1	1	20	23/04/02	73	Viana	Ajo	S c/D
1	2	10	05/03/02	74	Lazaro	Ciruelo	M s/D
1	2	11	12/03/02	75	Letar	Vid	S c/D
1	2	12	14/03/02	76	San Martín	Maíz	S c/D
1	2	13	19/03/02	77	Sejas	Vid	M s/D
1	2	14	21/03/02	78	Etchart P.R. Arg.	Vid	S c/D
1	2	15	04/04/02	79	Etchart P.R. Arg.	Olivos	S c/D
2	3	13	14/02/02	80	Corinto SACAH	Vid	S c/D
2	3	14	19/02/02	81	Lovecchio	Ciruelo	S c/D
2	3	15	21/02/02	82	Caraguel	Almendro	S s/D
2	3	16	26/02/02	83	Rubino	Vid	S s/D
2	3	17	27/02/02	84	Arizu	Vid	M s/D
2	3	18	28/02/02	85	Cícero	Olivos	M s/D
2	4	11	24/04/02	86	Juárez	Vid	M s/D
2	4	12	29/04/02	87	Manzano	Vid	M s/D
2	4	13	30/04/02	88	Garcia	Ajo	S s/D
2	4	14	23/04/02	89	Domingo Caldas	Vid	M s/D
2	4	15	24/04/02	90	Rechia	Vid	M s/D
3	5	23	12/02/02	91	Marañon	Vid	M s/D
3	5	29	14/03/02	97	Rodihero	Vid	S s/D
3	5	30	15/03/02	98	Agrodado	Vid	M s/D
3	5	31	03/04/02	99	Virra	Vid	M s/D
3	5	32	04/04/02	100	Tonelli	Vid	S s/D
3	5	33	10/04/02	101	Cooperativa Tulumaya	Vid	M s/D
3	6	24	21/02/02	92	Castano Vallejo SRL	Vid	M s/D
3	6	25	28/02/02	93	Tonetto	Tomate	S s/D
3	6	26	01/03/02	94	Nieto y otros	Ciruelo	M s/D
3	6	27	05/03/02	95	Finca Campomar	Ciruelo	M s/D
3	6	28	12/03/02	96	Barley Trading	Duraznero	S s/D

11.2. Componentes del balance salino que afectan la eficiencia de aplicación potencial

En los cuadros 11.2.1 a 11.2.9 se presentan los valores utilizados para realizar el análisis, según los niveles de cada factor y la relación entre los factores.

Cuadro 11.2.1: Evapotranspiración de los cultivos para el período de expresión vegetativa (mm año⁻¹) en la estación meteorológica Chacras de Coria, para tres probabilidades de ocurrencia (Morábito *et al.*, 2001)

Cultivo	Probabilidad de ocurrencia (%)		
	20	50	80
Vid	686	713	740
Duraznero	852	886	917
Peral	906	944	981
Olivo	832	871	909
Tomate	644	670	693
Ajo	616	616	646
Alfalfa	1035	1078	1120
Álamo	1182	1262	1337
Espacios verdes	964	1010	1057

Cuadro 11.2.2: Evapotranspiración de los cultivos para el período de expresión vegetativa (mm año⁻¹) en la estación meteorológica Observatorio Parque GSM, para tres probabilidades de ocurrencia (Morábito *et al.*, 2001)

Cultivo	Probabilidad de ocurrencia (%)		
	20	50	80
Vid	687	724	760
Duraznero	852	898	943
Peral	899	949	995
Olivo	948	883	933
Tomate	647	679	709
Ajo	587	563	624
Alfalfa	1035	1098	1156
Álamo	1201	1262	1322
Espacios verdes	967	1026	1083

Cuadro 11.2.3: Evapotranspiración de los cultivos para el período de expresión vegetativa (mm año⁻¹) en la estación meteorológica Aeropuerto El Plumerillo, para tres probabilidades de ocurrencia (Morábito *et al.*, 2001)

Cultivo	Probabilidad de ocurrencia (%)		
	20	50	80
Vid	687	724	760
Duraznero	921	963	1005
Peral	921	1027	1069
Olivo	885	931	975
Tomate	718	744	772
Ajo	647	647	647
Alfalfa	1118	1170	1221
Álamo	1326	1376	1430
Espacios verdes	1025	1077	1132

Cuadro 11.2.4: Evapotranspiración de los cultivos para el período de expresión vegetativa (mm año⁻¹) en la estación meteorológica San Martín, para tres probabilidades de ocurrencia (Morábito *et al.*, 2001)

Cultivo	Probabilidad de ocurrencia (%)		
	20	50	80
Vid	772	808	844
Duraznero	969	1013	1057
Peral	1014	1060	1106
Olivo	927	973	1019
Tomate	729	759	789
Ajo	688	688	688
Alfalfa	1157	1211	1266
Álamo	1369	1414	1474
Espacios verdes	1074	1127	1183

Cuadro 11.2.5: Profundidad de suelo explorado por las raíces de los cultivos

Cultivo	Profundidad de suelo (m)
Vid	1,0
Duraznero	1,0
Peral	1,0
Olivo	0,8
Tomate	0,5
Ajo	0,5
Alfalfa	1,3
Álamo	1,0
Espacios verdes	0,5

Cuadro 11.2.6: Precipitación total y efectiva según estación meteorológica (Morábito *et al.*, 2001).

Estación meteorológica	Precipitación total (mm año ⁻¹)	Precipitación efectiva (mm año ⁻¹)
Chacras de Coria	201,38	68,16
Observatorio Parque GSM	196,46	60,26
Aeropuerto El Plumerillo	157,9	50,54
San Martín	154,8	45,86

Cuadro 11.2.7: Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo y conductividad eléctrica del agua superficial, según zona de riego de río Mendoza (Morábito *et al.*, 2002).

Zona de riego	CE _{es} (dS m ⁻¹)	CE agua (dS m ⁻¹)
1	1,814	0,987
2	2,058	1,118
3	2,133	1,343
4	3,796	1,882
5	1,905	1,127
6	1,834	0,988

Cuadro 11.2.8: Eficiencia de lavado y capacidad de campo según la textura del suelo

Textura	Eficiencia de lavado*	Wc (g%g)**
Franco arenoso	0,60	19,03
Franco	0,55	21,71
Franco limoso	0,50	24,27

*van der Molen, 1983. **Morábito *et al.*, 2002

Cuadro 11.2.9: Célula de cultivo por zona de riego del río Mendoza, y conductividad eléctrica del extracto de saturación conducente a una producción del 90 y 100 % según Pizarro(1996) y de 100% según Vallone – Nijensohn (2002), por cultivo.

Cultivo	Zona de riego						CE _{es} (dS m ⁻¹)		
							Maas-Hoffman		Nijensohn
	1	2	3	4	5	6	90 %	100 %	100 %
Vid	0,41	0,38	0,37	0,44	0,71	0,57	2,5	1,5	3,5
Fr. carozo	0,04	0,12	0,11	0,04	0,02	0,08	2,2	1,7	3,5
Fr. pepita	0,04	0,12	0,11	0,04	0,02	0,08	2,3	1,7	3,5
Olivo	0,04	0,11	0,11	0,03	0,02	0,08	3,8	2,7	4,7
Hort. verano	0,12	0,05	0,11	0,17	0,06	0,06	3,5	2,5	3
Hort. invierno	0,12	0,05	0,11	0,17	0,06	0,06	1,8	1,2	3,2
Pasturas	0,07	0,08	0,04	0,06	0,07	0,05	3,4	2	4
Forestales	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	2	1,5	3,5
Espacios verdes	0,15	0,07	0,03	0,01	0,02	0,02	5	2,8	4,8