

PARÁMETROS DE RIEGO POR SUPERFICIE EN EL ÁREA REGADÍA DEL RÍO MENDOZA

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

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

RESUMEN

El área regadía del río Mendoza es la más importante de la provincia y sobre ella está asentada gran parte de la población provincial. Este trabajo es parte de otro cuyo objetivo general es conocer el aprovechamiento del agua de riego en las propiedades del área mencionada. Los objetivos específicos de esta parte son: conocer la salinidad del suelo en la rizósfera y del agua de riego superficial, conocer los parámetros físicos (velocidad de infiltración y ecuaciones de avance del frente de agua) y operativos (caudal de manejo y unitario).

La unidad de análisis fue la propiedad, se evaluaron 101 fincas. La selección fue realizada considerando: igual cantidad de propiedades en cada una de las 6 asociaciones en las cuales está dividida la cuenca del río Mendoza, y evaluar aquellas que estuvieran regando con derecho de riego superficial. Las propiedades se seleccionaron al azar dentro de estos grupos.

Se midió la infiltración con el método de doble anillo de USDA del año 1956, en cabeza y pie de la unidad de riego, y se calcularon las ecuaciones de infiltración que caracteriza a los suelos.

Para conocer la salinidad de los suelos se extrajeron seis muestras -cabeza, medio y pie de la parcela- a dos profundidades. En cada una se midió la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes). También se analizó de salinidad del agua superficial. Se evaluó la respuesta de la salinidad del suelo a diferentes factores mediante un análisis de varianza unifactorial. La comparación de medias de los niveles de cada uno de los factores se realizó con prueba de Scheffé. Se analizó la variación de la salinidad del agua superficial en las zonas.

La infiltración básica de los suelos resultó con valores extremos de 1,3 y 7,3 mm.h⁻¹. Hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) en caudales de manejo y unitarios.

En cuanto a la salinidad del suelo, la 4ta. Zona presenta los valores más altos (3,8 dS m⁻¹), con diferencias significativas ($\alpha=0,05$) del resto. El agua de riego posee un nivel de sales mayor en la zona 4 ($\alpha = 0,05$) que la 2 (0,926 dS.m⁻¹).

Palabras clave: infiltración, avance, caudal de manejo, caudal unitario, surcos, melgas.

INTRODUCCIÓN

El sector riego representa en Argentina el 70% de todas las extracciones para uso consuntivo del agua y tiene una eficiencia promedio del 40% (Chambouleyron y otros, 1982), 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.

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).

Desde el punto de vista estructural el Oasis Norte está constituido esencialmente por dos áreas sistematizadas, cuyo suministro de agua depende de dos sistemas hidrológicos distintos: los ríos Mendoza y Tunuyán.

El área regadía del río Mendoza es -sin dudas- la más importante de la provincia y sobre ella está asentada gran parte de la población provincial. Cuenta con un gran desarrollo industrial y con actividades que involucran a los distintos usos del agua (potable, agrícola, recreativo, energético, etc.). Para una distribución más eficientemente el recurso hídrico, el área de influencia de río Mendoza, se encuentra administrativamente dividida en 6 asociaciones de inspecciones de cauce que planifican la distribución del recurso a sus usuarios en concordancia de la jefatura de operación del río en mencionado.

Este trabajo es parte de uno mayor (Morábito, 2003) cuyo objetivo general 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. Se presenta en esta parte un análisis de aspectos relacionados con la salinidad de los suelos y del agua de riego de origen superficial en las distintas unidades de manejo del río Mendoza; se incluye también información relacionada a los parámetros de riego que caractericen el área de estudio, entre otros: la velocidad de infiltración, la velocidad de avance del frente de agua sobre la superficie del suelo, los caudales de manejo y unitarios usados por los agricultores.

En referencia a los antecedentes de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, ésta puede ser determinada a través de varias metodologías, una de las más utilizadas es aquella del infiltrómetro de doble anillo, la cual 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) Para expresar la velocidad de infiltración como una función del tiempo han sido propuestas varias ecuaciones empíricas, la más difundida de todas es la ecuación de Kostikov (1932, mencionado por Grassi, 1998) que expresa la velocidad de infiltración en un punto como:

$$I = a * t^b \quad (1)$$

donde I: velocidad de infiltración ($\text{mm}\cdot\text{minuto}^{-1}$ o $\text{mm}\cdot\text{hora}^{-1}$), t: tiempo (minutos), a: coeficiente que representa la velocidad de infiltración a $t = 1$ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-(1+b)}$) y 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.

$$I_{\text{cum}} = \int a * t^b = \frac{a}{b+1} * t^{b+1} = A * t^B \quad (2)$$

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. Si bien “b” no es constante puesto que se incrementa con el tiempo, 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.

$$I = a' * t^{b'} + c' \quad (3)$$

$$I_{\text{cum}} = A' * t^{B'} + C' \quad (4)$$

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:

$$Z = I_{\text{cum}} = k * t^a + fo * t + c = A * t^B + Ib * t + c \quad (5)$$

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 es la velocidad de infiltración básica en unidades de volumen por unidad de longitud y por tiempo ($\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$), k, a son parámetros empíricos y c es la cantidad de agua almacenada en las grietas o en las depresiones al suelo una vez iniciado el riego ($\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$). La velocidad de infiltración de los suelos es una característica propia de cada suelo y permite la agrupación de los mismos en familias de infiltración con igual comportamiento. 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 la tabla 1. Lamentablemente todavía no hay valores disponibles de “c”.

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

$$x_{(m)} = p * t_{(\text{min})}^r \quad (6)$$

donde: x es la 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 y r el exponente empírico cuyo valor es menor que 1.

Tabla 1. 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

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:

$$\text{Velocidad de avance} = \frac{dx}{dt} = p \cdot r \cdot t^{r-1} \quad (7)$$

También se puede escribir que:

$$x(m) = u \cdot q^z \cdot t^r \quad (8)$$

donde q: es el caudal unitario por surco o por metro de ancho de melga ($L \cdot s^{-1}$ o $L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$). Se observa que: $p = u \cdot q^z$, donde u es un coeficiente empírico y z depende de la pendiente de riego, para pendientes bajas (0,1 %) z toma valores pequeños (0,5) y si es alta z toma valores altos (tiende a 1). Las eficiencias medias complementarias de este trabajo son: eficiencia de aplicación (59%), eficiencia de almacenaje (81%) y de distribución parcelaria (87%) (Morábito, 2003).

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 de esta parte se mencionan: 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 e identificar los parámetros de riego que caractericen el área de estudio (velocidad de infiltración de los suelos, velocidad de avance del frente de agua, caudal de manejo y unitario, pendiente de riego y tiempo de aplicación, entre los más importantes).

MATERIALES Y MÉTODOS

El equipamiento utilizado comprendió 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.). Una vez localizada la finca a evaluar 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 Kempten tipo C2 “10.150” de alta precisión.
- infiltración con el método de doble anillo (USDA, 1956, mencionado por Grassi, 1998) en cabeza y pie de la unidad de riego (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). Las ecuaciones de infiltración obtenidas en cada una de las propiedades (método de los mínimos cuadrados) fueron agrupadas según las series de suelo descritas en el área regadía del río Mendoza por Romanella (1957). 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). La infiltración básica ha sido obtenida según Grassi (1998).
- medición de la velocidad de avance y de receso del frente de agua y medición de la pendiente (parcial y total) de la unidad de riego utilizando un 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 con 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 espaciamiento 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.
- textura del suelo. Se extrajeron muestras de suelo hasta la profundidad explorada por el cultivo para la determinación de la textura por volumen de sedimentación (Nijensohn, 1978).
- salinidad del suelo. Se extrajeron 6 muestras de suelo en cabeza, medio y pie y a dos profundidades distintas variables de acuerdo al cultivo, para frutales (0 – 50 cm y 50 a 100 cm) y para hortalizas (0 –25 cm y 25 a 50 cm) a fin de determinar la salinidad total por el método del extracto de saturación del suelo (USDA, 1954) expresando el resultado de la variable Conductividad Eléctrica del Extracto de Saturación (CEes), en dS m⁻¹ a 25°C. Aspectos complementarios referidos a los análisis de salinidad son meciados por Morabito y otros (2002).
- complementariamente se tomó una muestra de agua de riego, en la bocatoma de la propiedad, para la determinación de su salinidad, la cual se expresó en dS m⁻¹ a 25°C.

Toda la información fue registrada y sistematizada oportunamente en gabinete confeccionándose luego una base de datos con información general de cada propiedad y las distintas variables medidas.

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. El primero, que las mismas se distribuyeran aproximadamente en igual cantidad en las distintas zonas de manejo (D.G.I., 1977) y sobre los canales más representativos de cada una de ellas y el 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 (Fasciolo, 2002) .

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:

$$y_{ij} = \mu + t_j + e_{ij} \quad (9)$$

donde:

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

μ : es la media general

t_j : es el efecto del j-ésimo tratamiento

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

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 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) y Método de riego (surcos con y sin desagüe al pie y melgas sin desagüe al pie). 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.

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. En el análisis de varianza correspondiente se utilizó como variable explicativa sólo la zona de manejo.

RESULTADOS

En la figura 1 se muestra el área de estudio, las 6 zonas de riego que la componen, la localización de las propiedades evaluadas y la delimitación de los polígonos de Thiessen correspondientes a las distintas estaciones meteorológicas.

Parámetros físicos y de manejo

Con los parámetros de la ecuación de infiltración de Kostiakov (A y B) (1932, mencionado por Grassi, 1998) obtenidos a campo para cada propiedad y zona de riego, el valor de infiltración básica (I_b), 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) y la pendiente del terreno, se concretaron los siguientes resultados:

En relación al parámetro *Infiltración* la figura 2 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 3 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:

$$I_{cum} = A * t^B = 9.30 * t^{0.319} \quad (10)$$

y la infiltración básica:

$$I_b = a * 60 * (-600 * b)^b = 2,967 * 60 * (-600 * -0.681)^{-0.681} = 2.97 \text{ mm/h} \quad (11)$$

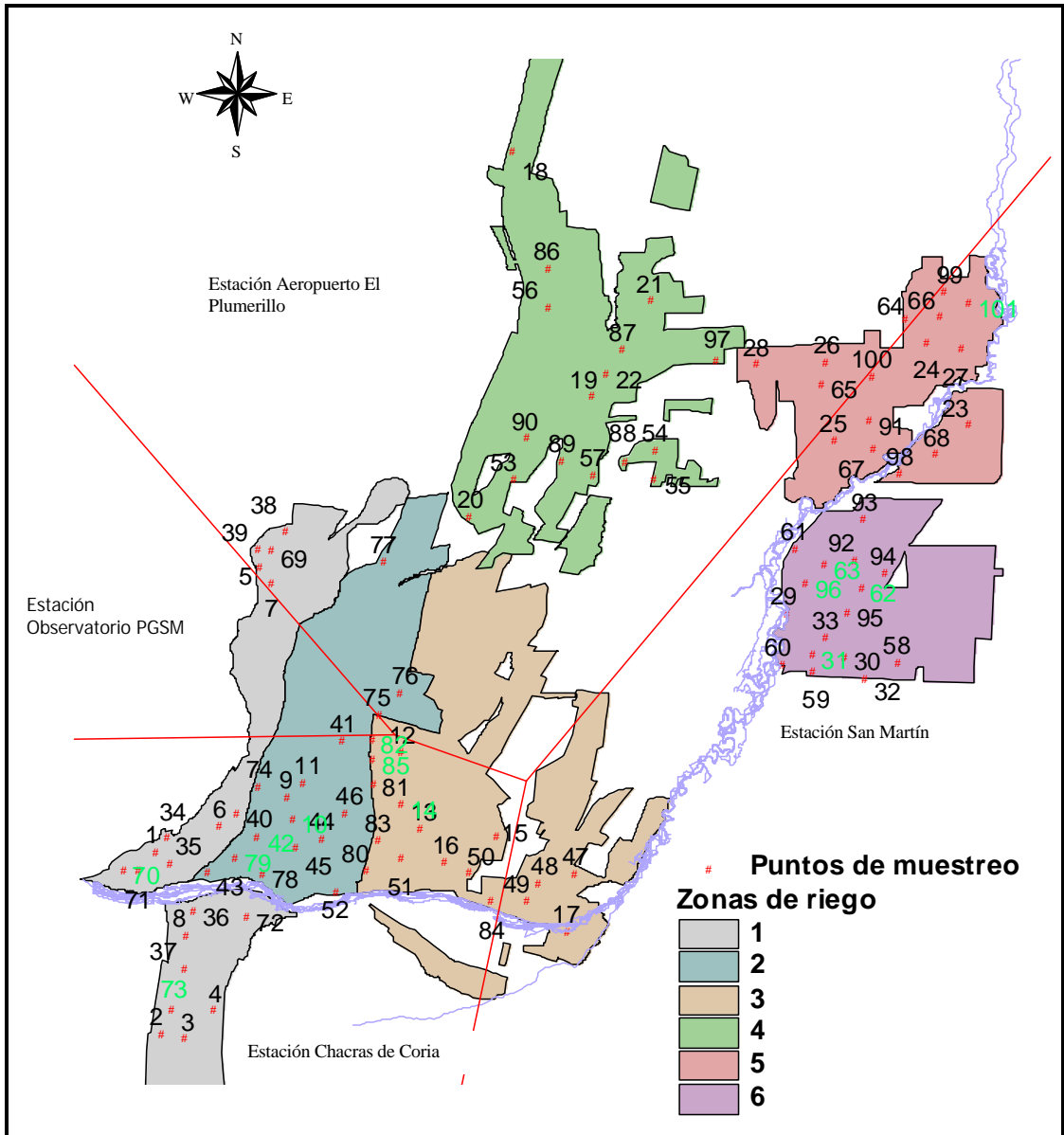


Figura 1. Mapa del área de estudio, localización de las propiedades evaluadas y delimitación de los polígonos de Thiessen correspondientes a las distintas estaciones meteorológicas existentes

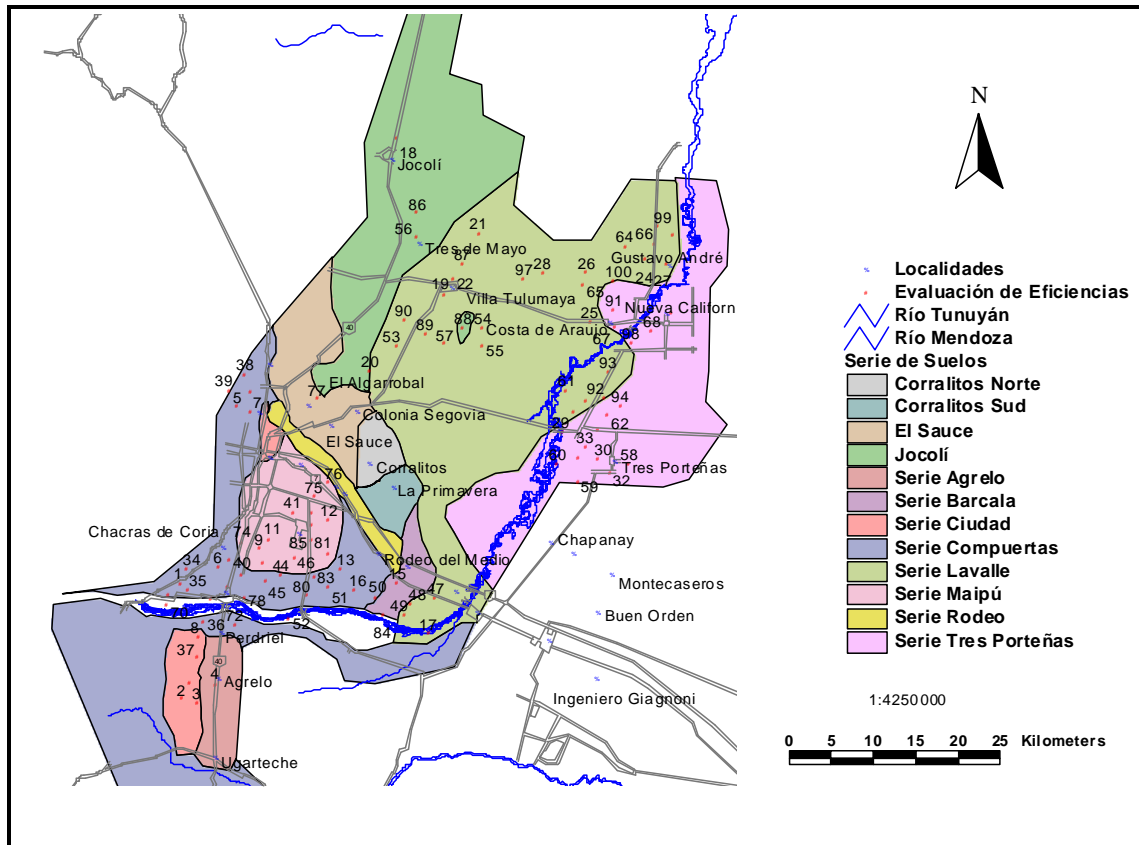


Figura 2: Ubicación de los puntos de muestreo respecto a las series de suelos (Romanella, 1957)

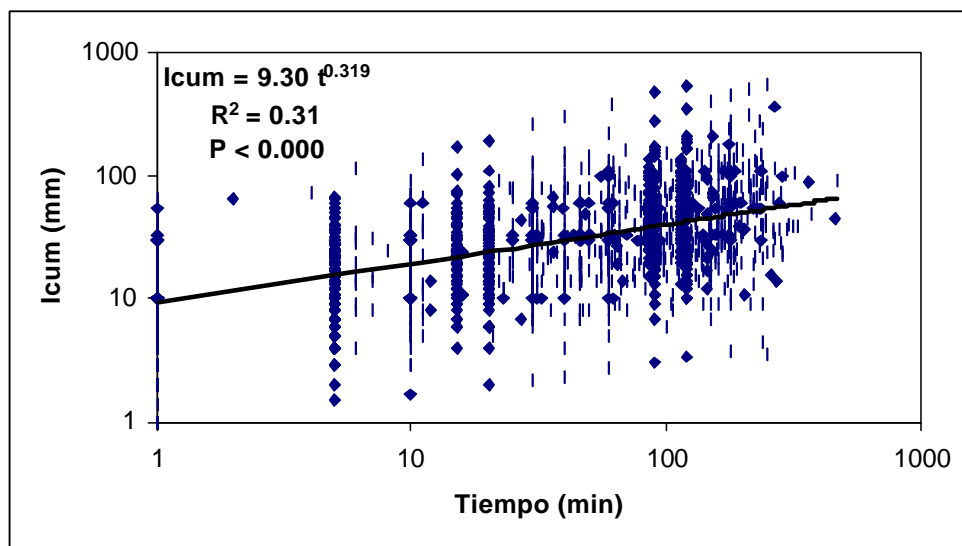


Figura 3. Ecuación potencial que ajusta a la totalidad de los ensayos de infiltración realizados en el área regadía del río Mendoza

La tabla 2 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 coeficientes 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 4. Si bien los valores de “A” y “B” no presentaron grandes variaciones, los resultados extremos de infiltración básica ($1,33$ y $7,28 \text{ mm.h}^{-1}$) y de T_{100} (286 y 21116 minutos) ejemplifican las diferencias existentes entre las distintas series de suelos presentes.

Tabla 2: 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^{-1})	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

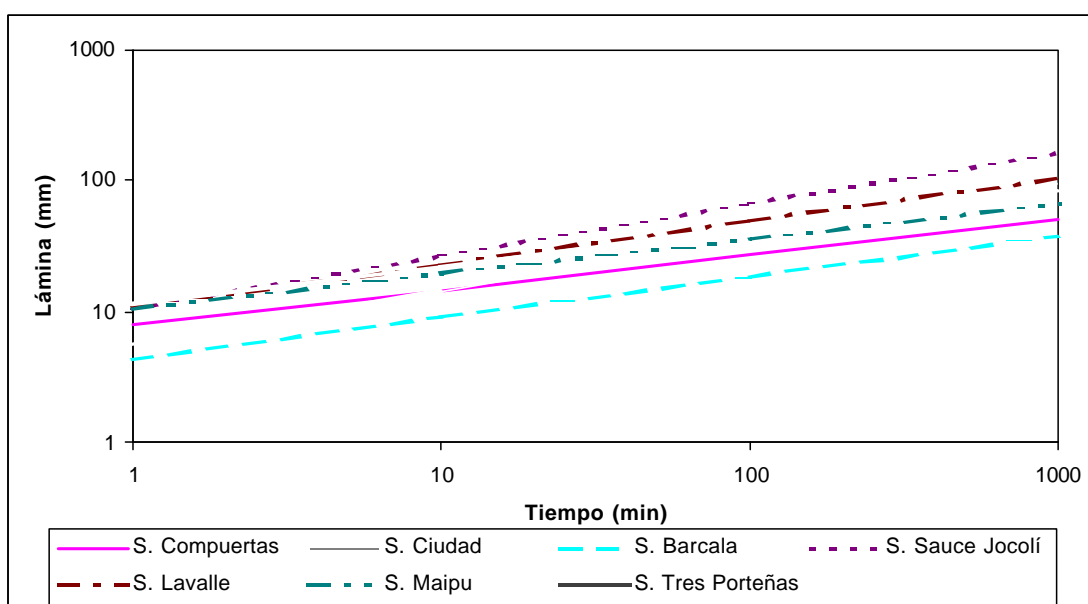


Figura 4. Curvas de infiltración características de cada serie de suelos del área regadía del río Mendoza

En cuanto al parámetro *Avance del frente de agua* la tabla 3 presenta los parámetros 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).

Tabla 3. 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	Estimación de “p”	Estimación de “s” L.s⁻¹ o L.s⁻¹.m⁻¹	Estimación de “r” (min)	N	R²
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 5 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.

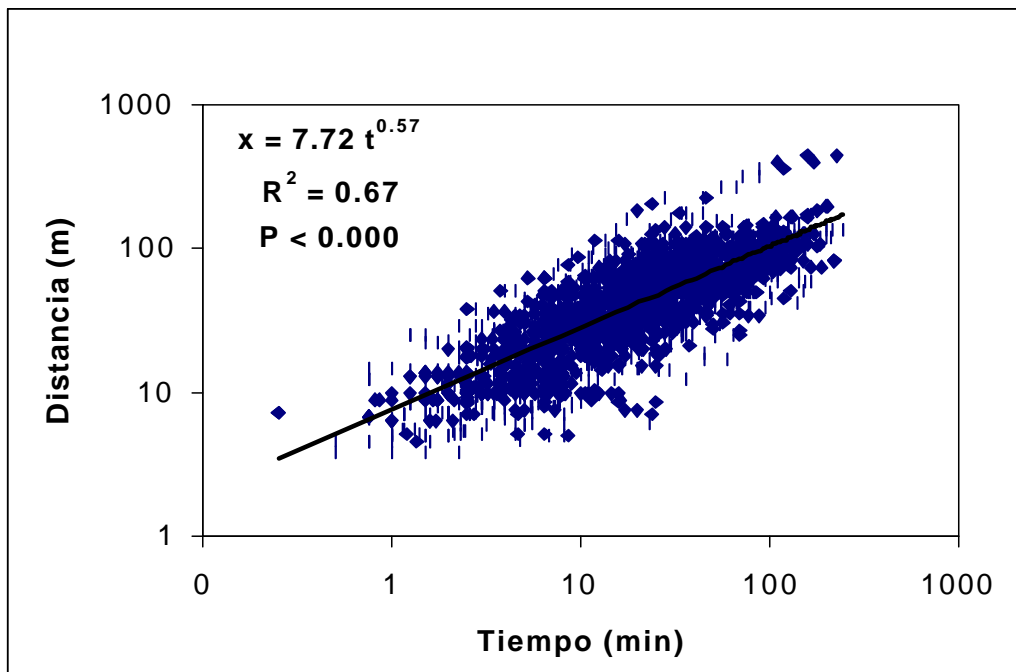


Figura 5. Distancia avanzada por el frente de agua para distintos tiempos en el área regadía del río Mendoza

La tabla 4 muestra los resultados de los valores medios y la desviación estándar referidos a los caudales de manejo y unitario.

Tabla 4. 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

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

Del análisis estadístico de los datos de caudal medio (Qm) de la tabla 4 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. En el análisis estadístico de los datos de “qu” de la tabla 4 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).

Con respecto a la pendiente longitudinal de la unidad, la tabla 5 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.

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 (tabla 6) son los siguientes.

Tabla 5. 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

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

Tabla 6. 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

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 tabla 7 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.

Tabla 7. 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°C

Zona de riego	Número de observaciones	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)		
		Media	S	±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

Los datos de CEes separados según las dos categorías de la variable "tipo de cultivo" presentados en la tabla 8 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.

Tabla 8. 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	$\pm\text{B}$
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

Como puede observarse en la tabla 9 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.

Tabla 9. 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

Los datos de CEes agrupados por estrato de suelo analizado, presentados en la tabla 10 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.

Tabla 10. 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

Como puede ser observado en la tabla 11 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.

La figura 6 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.

En el presente trabajo 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 (Morábito y otros, 2002) 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.

Tabla 11. 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 $25^{\circ}C$

Método de riego	Número de observaciones	Conductividad eléctrica ($dS\ m^{-1}$)		
		Media	S	$\pm B$
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 6. Variación del tamaño de muestra en función del error de estimación de la CEes con respecto al valor de la media, ($1 - \alpha = 0,95$)

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 $n = 9$:

$$CV2 = 80,26 - 0,53 EDI \quad \text{Prob } >F = 0,0493 \quad (12)$$

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

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

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 7. 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.

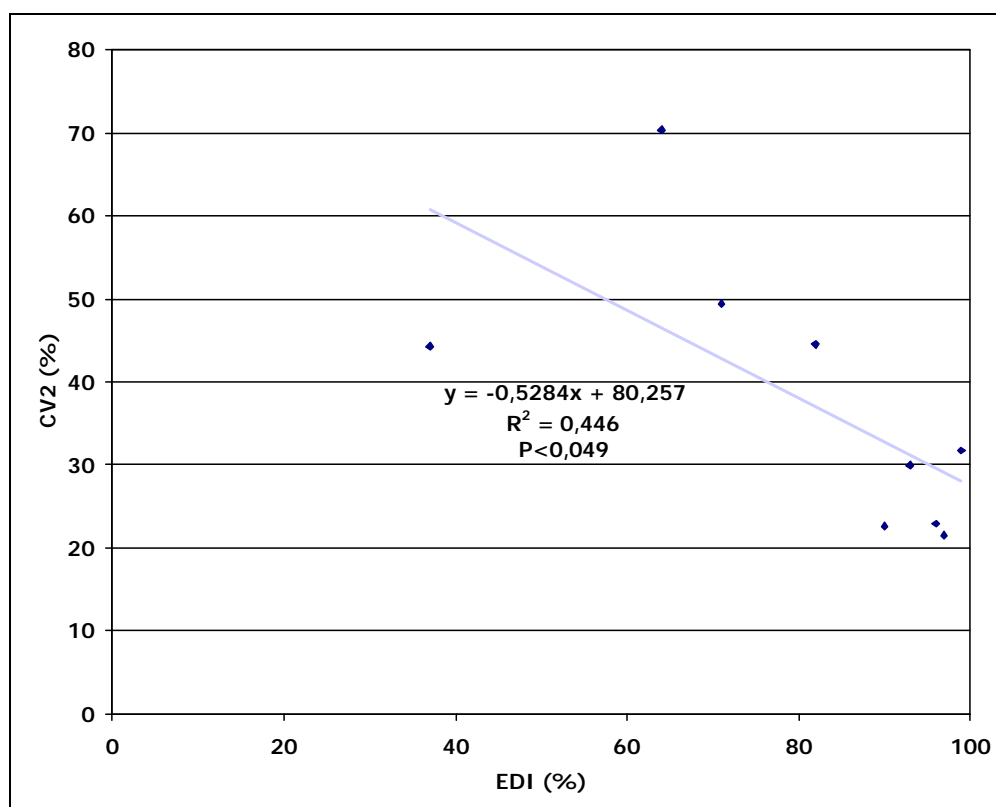


Figura 7. Coeficiente de variación de la CEes del segundo estrato de suelo (CV_2) en cultivos frutícolas versus la eficiencia de distribución del agua de riego en las propiedades analizadas del área de riego del río Mendoza.

Se presenta a continuación el resultado el análisis de la salinidad del agua de riego. El mismo indicó que existen diferencias significativas ($\alpha=0,05$) entre la zonas 4 y el resto de las zonas según la tabla 12. La figura 8 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.

Tabla 12. 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

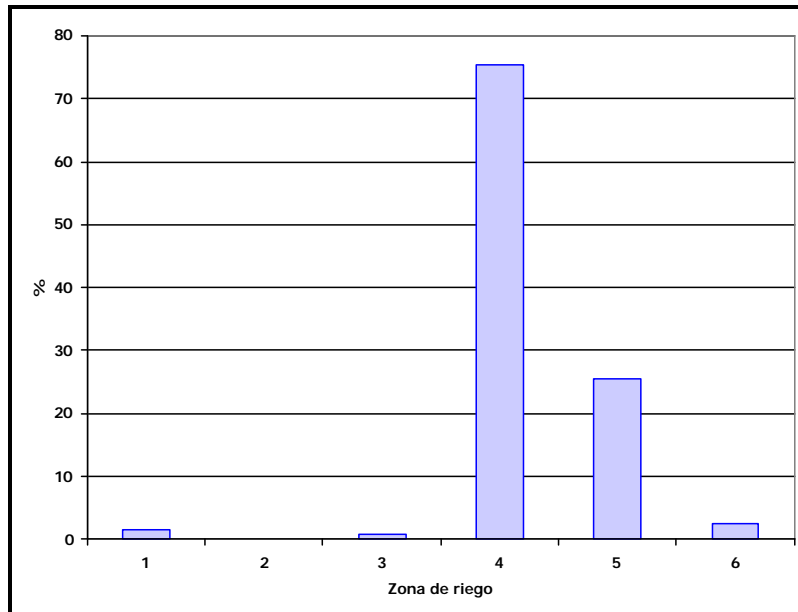


Figura 8. Aumento relativo (expresado en porcentaje) de la CE del agua de riego de las distintas zonas de riego del río Mendoza respecto a la zona 2

La tabla 13 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 (CV = 0,10) y 4 (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 $\hat{\sigma} = 0,477 \text{ dS m}^{-1}$ (tabla 12). 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 $CE_{\text{agua}} < 5\%$ del valor de la media (zona 1) y $CE_{\text{agua}} < 13\%$ del valor de la media (zona 4). La tabla 13 permite 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.

Tabla 13. Variación del error de estimación como porcentaje de la media en función del tamaño de muestra para CE_{agua} , ($1 - \alpha = 0,95$)

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

DISCUSIÓN

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 los caudales de manejo resulta interesante observar el caso de Melgas. En ellas el caudal medio ($114 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) resulta relativamente alto, no obstante ello las grandes variaciones observadas (desviación estándar de $137 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) generan caudales exagerados, imposibles de ser manejados por un regador. Evidentemente esto contribuye a reducir la eficiencia de aplicación del agua de riego. Los caudales unitarios están dentro de los valores mencionados por la bibliografía internacional y nacional (Roscher, 1986; Salatino 1985).

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.

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 $7.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, 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). En el caso de la zona 5, la situación mencionada ha comenzado a modificarse, dado que las obras complementarias de impermeabilización de los tramos inferiores del canal San Martín ya terminadas permiten actualmente igualar la calidad del agua de riego de ésta zona con aquella de la 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, manteniendo y mejorando la red de drenaje.

CONCLUSIONES

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 $7,3 \text{ mm.h}^{-1}$ 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.

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.

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). La zona 5 con una CE 25 % mayor –en el momento de éste estudio- respecto a la zona 2, hoy tiene mejor calidad de agua gracias a la terminación de obras de impermeabilización.

La precisión del muestreo realizado para la determinación de la salinidad del suelo (número de muestras estudiadas (537), resultan en % respecto de la media 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.

BIBLIOGRAFÍA

- Chambouleyron, J., M. Menenti, L. Fornero, J. Morábito. y L. Stefanini.** (1982). “*Evaluación y optimización del uso del agua en grandes redes de riego*”. INCyTH – IILA. Roma. Italia.
- 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.
- 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.
- 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.
- Morábito, J.A.; C. Mirábito, S. Salatino; P Pizzuolo; F. Tozzi, R. Luqui, P. Pérez, G. Lucero, D. Tozzi, C. Lucero, L. Sardá, A. Tozzi** (2002) “*Evaluación de la eficiencia actual del uso del agua*”. Centro Regional Andino – Instituto Nacional del Agua (INA – CRA). Mendoza. Argentina.
- Morábito, J. A.** (2003) *Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza. Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable*. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional de Cuyo - Instituto Nacional del Agua - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza – Argentina.
- 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*”. Ladbouwhogestschool. The Netherlads.
- Ortíz Maldonado G., J. Morábito 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.
- Romanella C.** (1957) “*Los suelos de la región del río Mendoza*”. *Boletín de estudios geográficos*. Volumen IV. Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- Roscher K.** (1986). *Irrigation delivery scheduling*. 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.
- 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, nº 6. p. 332- 340.
- USDA** (1954) *Manual de diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos*. Manual de Agricultura Nº 60. 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.