agronomía&ambiente
Revista de la Facultad de Agronomía UBA
41 (1)

ACTUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE RIEGO POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE REGADÍO DEL RÍO MENDOZA

Adriana Mariani,[1] Leandro Martín, Rocío Hernández y José Morábito

Instituto Nacional del Agua, Subgerencia Centro Regional Andino (INA-SCRA)
Mendoza, Argentina
[1] E-mail: amariani@ina.gob.ar

Recibido: 08/01/2021
Aceptado: 21/05/2021

RESUMEN

El estudio de los parámetros y las evaluaciones del desempeño de los sistemas de riego a campo, brindan información necesaria para la simulación y calibración de modelos de evaluación de riego agrícola. Por ello, el objetivo de este estudio es caracterizar parámetros físicos y de manejo del riego por superficie, en el área de regadío del río Mendoza. En 53 propiedades con derecho de riego superficial se analizaron los parámetros: método de riego, tamaño de las unidades de riego, pendiente del terreno, caudal de manejo, tiempos de aplicación y de avance del riego, velocidad de infiltración y lámina aplicada. Los resultados indicaron que, de las 53 fincas analizadas, el 57% de las propiedades riegan por melgas y el 43% por surcos, siendo los caudales de manejo promedio de 134 l s^{-1} para melgas y 93 l s^{-1} para surcos. La infiltración básica varió entre 6,23 mm h^{-1} y 4,34 mm h^{-1} y los tiempos medios de aplicación del riego en surcos y melgas fueron de 144 y 134 min, respectivamente. Las láminas medias brutas de 155 mm para melgas y de 90 mm para surcos.

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

UPDATING OF THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF SURFACE RUNOFF IRRIGATION IN THE AREA IRRIGATED BY THE MENDOZA RIVER

SUMMARY

The study of the parameters and performance assessments of field irrigation systems provides crucial information for the simulation and calibration of irrigation assessment models. Therefore, the goal of the present study was to characterize physical and surface irrigation management parameters in the area irrigated by the Mendoza River. Different parameters, such as irrigation method, size of the irrigation units, slope of the terrain, management flow, timing of application and irrigation advance, infiltration rate, and applied water depths, were analyzed in 53 plots with surface irrigation rights. Results showed that 57% plots are irrigated through basin irrigation and 43% are irrigated through furrow irrigation. The mean management flows were 134 l s^{-1} for basin irrigation and 93 l s^{-1} for furrows, while basic infiltration varied from 6.23 mm h^{-1} to 4.34 mm h^{-1}, and mean application times of furrow and basin irrigation were 144 min and 134 min, respectively. Gross average water depths were 155 mm for basin irrigation and 90 mm for furrow irrigation.

Key Words: furrow irrigation, basin irrigation, infiltration, advance, management flow.

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más crítico para el desarrollo agrícola sostenible en todo el mundo (Chartzoulakis y Bertaki, 2015). Las áreas irrigadas aumentan año a año, mientras que los suministros de agua dulce destinados a la agricultura deben satisfacer la creciente demanda del uso doméstico y de la industria. Por lo tanto, en condiciones de escasez de agua y cambio climático resulta primordial introducir políticas destinadas a aumentar la eficiencia del uso del agua, mejorando la infraestructura de riego, ajustando las láminas y tiempos de riego o implementando modificaciones que permitan disminuir las pérdidas de agua por infiltración. El área de regadío del río Mendoza, no escapa a esta problemática, y es, sin dudas, la zona donde se asienta gran parte de la población con actividades que involucran a los distintos usos del agua (doméstico, agrícola, industrial, recreativo y energético) (Morábito *et al*., 2007).

Para lograr una mayor eficiencia en el uso del agua es necesario cuantificar los parámetros que permiten caracterizar el desempeño de los sistemas de riego. El desempeño o performance de un método de riego por superficie puede definirse como la observación, documentación e interpretación sistemática de las actividades relacionadas al riego con el objeto de su continua optimización (Walker, 2003). Los ensayos de campo para evaluar los métodos de riego son necesarios para definir cuantitativamente su desempeño, no solamente en relación con las variables físicas del sistema, sino también en relación a su diseño y manejo.

Los riegos por surcos o melgas, pertenecen a los métodos de riego por superficie donde el suelo se humedece mediante la infiltración del agua a través del perímetro mojado de los surcos o melgas (Chambouleyron, 2005). Por lo cual, otro parámetro relevante es la infiltración, la cual puede ser definida como el ingreso del agua al perfil del suelo. Se trata de un proceso complejo ya que presenta alta variabilidad espacial y temporal, asociada al tipo y estado del suelo (texturas, coberturas vegetales, pendiente, laboreo, etc.) y a las condiciones en que ocurre el ingreso del agua al suelo, ya sea por precipitación o por riego. Por estos motivos, es necesario caracterizar la infiltración de manera representativa, es decir, a través de modelos matemáticos que permitan explicar con cierto grado de probabilidad el comportamiento del suelo frente al ingreso de agua. Numerosos autores utilizaron y compararon diferentes modelos empíricos de infiltración (Landini *et al*., 2007; Rodríguez *et al.*, 2008) y concluyeron que el modelo de Kostiakov [1932; mencionado por Grassi (1998)] y sus variantes como la ecuación propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [1974; mencionado por Grassi (1998)] son los más confiables para la predicción de las láminas de agua infiltrada (Pérez *et al*., 2020).

La velocidad de avance del frente de agua sobre la superficie del suelo es otro concepto importante a tener en cuenta, ya que tiempos de riego excesivos generan elevadas pérdidas de agua por percolación en la cabecera de los surcos/melgas e inadecuada distribución del agua a lo largo de los mismos (Tornés Olivera *et al*., 2016). En la ecuación de la curva de avance del frente de agua propuesta por Nugteren [1969; mencionado por Grassi, (2000)], la distancia de avance X depende de los parámetros p y r, donde p es función de la pendiente, el caudal, las características hidráulicas del flujo y la rugosidad de la superficie, y r está relacionado con las características físicas del suelo (Tornés Olivera *et al*., 2016).

Los modelos de simulación del riego por superficie constituyen una herramienta muy útil para facilitar el análisis de problemas complejos, aunque la fiabilidad de los resultados dependerá de las correctas mediciones de las variables de entrada y la variabilidad espacial del suelo. Entre los modelos disponibles se encuentran el SIRMOD de la universidad de Utah, y el WinSRFR del USDA (Bautista *et al*., 2009). El uso de estos programas requiere el ingreso de datos como: longitud y ancho de la unidad de riego, caudal, tiempos de riego, parámetros de infiltración, rugosidad del terreno, pendiente, lámina de riego, presencia o ausencia de desagüe al pie, entre otras variables (Valipour, 2012). El propósito de este trabajo fue caracterizar y analizar los principales parámetros del riego por escurrimiento superficial en la zona irrigada de la cuenca del río Mendoza, con la finalidad de obtener información que resulta fundamental para la modelación del proceso de riego y la estimación de la eficiencia actual y potencial al nivel de finca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El río Mendoza, de origen nival, da lugar (junto al río Tunuyán inferior) al denominado Oasis Norte de la provincia de Mendoza. Con un módulo de 50 $m^3\ s^{-1}$ se riegan aproximadamente 80.000 ha. Además, el río alimenta un importante acuífero subterráneo (Morábito *et al*., 2018). El Oasis Norte de la provincia de Mendoza

(2.700 km²) se ubica en la región centro-oeste de Argentina, entre las latitudes 32º 30′ – 33º 50′ S y longitudes 67º 50′ – 69º 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 (Morábito, 2003). En Mendoza, el 89% del agua disponible es utilizada para el riego (UNCUYO, 2004), con predominancia de métodos de riego superficiales. El área regadía del río Mendoza está dividida en Asociaciones de Usuarios (AU), las cuales están conformadas por Inspecciones de Cauce asociadas (responsables de la administración y distribución del agua en cada zona). Existen ocho AU, de las cuales seis administran el agua de riego proveniente del rio y las dos restantes operan con aguas servidas tratadas de las dos plantas depuradoras más grandes de la provincia: Campo Espejo y El Paramillo para su reutilización en la agricultura, denominadas Áreas de Cultivos Restringidos (ACRE).

El Proyecto de Modernización de la red de riego de los Oasis de Mendoza (2012) permitió el financiamiento de importantes obras de infraestructura en los canales Naciente-Chachingo-Pescaca (Gobierno de Mendoza, Prensa, 2012) en canales Vertiente Corralito (Pipp, 2014) y en la red de riego Bajada de Araujo, San Pedro-San Pablo, California, Natalio Estrella, Gustavo André y dos ramas del canal Galigniana Segura (Reina y Marienhoff) (PROSAP, 2014). Estas obras han mejorado la red de riego, impactando en la distribución del agua a los regantes y en los valores de parámetros disponibles medidos por Morábito (2003), Morábito *et al.* (2007) y Schilardi *et al.* (2010). Por lo tanto, la actualización de esta información contribuiría con acciones para la mejora del desempeño del sistema.

Es posible distinguir distintas zonas de riego en el área de regadío del río Mendoza (Figura 1), donde se realizan diferentes cultivos. En orden de importancia, los cultivos imperantes en la 5ta y 6ta zona de riego son: vid (65%), hortalizas (16%), frutales (10%), olivos (6%) y otros (3%). En cambio, en la 3ra zona –donde se encuentra la mayor parte del cinturón verde de la ciudad de Mendoza– la producción de hortalizas es mayor (42%), seguida por vid (23%), olivos (20%), frutales (11%) (Duek, 2018). Para la realización del presente trabajo se seleccionaron al azar 53 propiedades agrícolas con riego por superficie en las tres zonas de riego descriptas (3ra, 5ta y 6ta; Figura 1), las cuales fueron evaluadas durante el período comprendido entre diciembre 2017 y mayo 2019. Las evaluaciones se realizaron en 5 propiedades de la 3ra zona [Inspecciones Naciente Chachingo (3) y Vertiente Corralitos (2)], 35 propiedades de la 5ta zona [Inspecciones Bajada de Araujo (16), San Pedro-San Pablo (2), California (8), Gustavo André (4) y Natalio Estrella (5)] y 13 propiedades pertenecientes a la 6ta zona [Inspecciones Reina (5) y Galigniana (8)]. En cada finca se escogió la unidad de

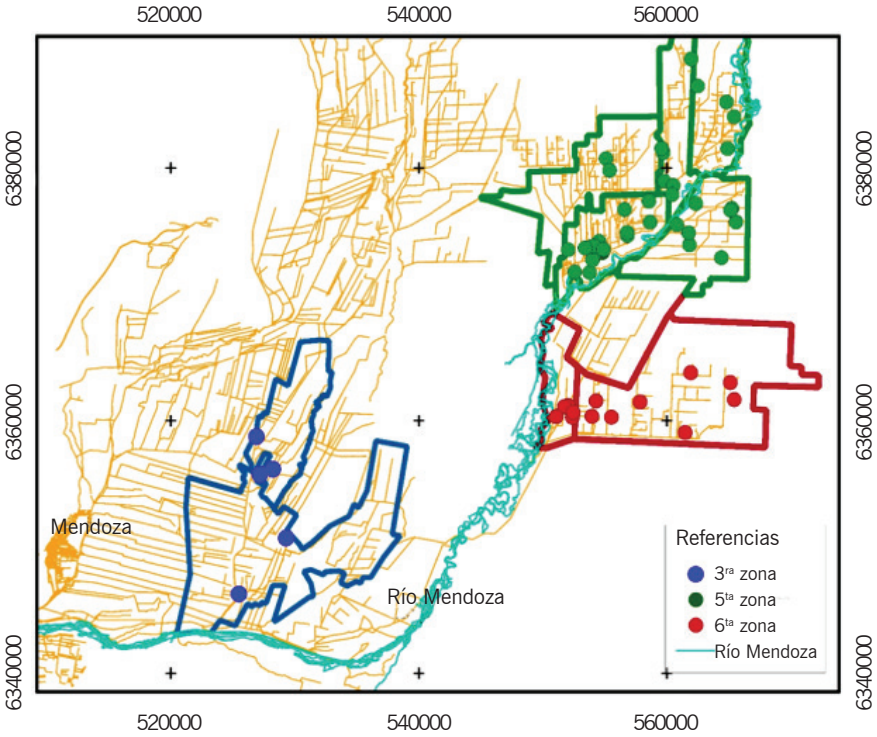

Figura 1. Ubicación geográfica de las propiedades evaluadas en la 3ra (en azul), 5ta (en verde) y 6ta (en rojo) zona de riego del río Mendoza durante el período 2017-19.

riego a evaluar (unidad de análisis), en la cual el agricultor realizó la práctica de riego según su técnica habitual, lo que permitió conocer detalladamente su modalidad de riego y de trabajo.

CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Las evaluaciones a campo consistieron en la caracterización de los parámetros físicos de riego según la metodología de Chambouleyron *et al.* (1982) y Morábito (2003) para riego sin desagüe al pie. Los parámetros caracterizados se enumeran a continuación:

1. Medición de la unidad de riego (largo, ancho y número de surcos o melgas regadas simultáneamente). En surcos: espaciamiento, ancho superior, medio e inferior y perímetro mojado y en melgas: ancho y altura de bordo.
2. Nivelación de la pendiente longitudinal del surco/melga con nivel óptico.
3. Extracción de muestras de suelo en tres sitios: cabeza, medio y pie del surco/melga y a dos profundidades (0 a 0,5 m y 0,5 a 1 m) para evaluar el contenido de humedad gravimétrico antes y después del riego.
4. Extracción de muestras de suelo en los mismos sitios y profundidades anteriores, para la determinación de la textura del suelo por el método de volumen de sedimentación (Nijensohn, 1978).
5. Toma de muestras de agua de turno en bocatoma de finca para determinar conductividad eléctrica (*CE*a) por el Método Estándar (APHA, AWWA, WPCF, 1992).
6. Aforo del caudal de ingreso, a partir de la medición de la sección del canal con cinta métrica y la velocidad del agua con molinete. Se determinaron las siguientes variables a partir del hidrograma generado: caudal de manejo total (l s^{-1}) y caudal unitario en surco (l s^{-1}) y en melga (l s^{-1} m^{-1} de ancho de melga).
7. Ensayos de infiltración, con infiltrómetro de doble anillo, en cabeza y pie de la unidad de riego. A partir de estos datos, se obtuvieron las ecuaciones de infiltración acumulada en cada propiedad agrícola, ajustando la ecuación de infiltración según zona de riego (3ra, 5ta y 6ta) y textura del suelo: gruesa (arenosos y franco arenoso), media (francos) y fina (franco-limosos, francos arcillosos, limosos y arcillosos).
8. Avance y receso en campo: se dividió la longitud de la unidad de riego en 10 partes iguales (identificadas con estacas), midiendo los tiempos de avance (llegada del agua) y receso (desaparición del agua en la superficie del suelo) en cada estaca. Posteriormente, en gabinete, se obtuvo la ecuación de avance del frente de agua ($x = p * T^r$) a partir de los pares de datos de distancia (x) y tiempo de avance (*T*L) en surcos y melgas. También se registró el tiempo de aplicación o corte del riego (*Tco*) a campo.
9. Diagnóstico del estado actual del riego (ultimo riego aplicado a la unidad evaluada, utilización de agua de perforación, intervalo de riego), su infraestructura (canales, compuertas, lonas regadoras, presencia de bordos y surcos de riego) y del estado general de la propiedad (fallas, malezas, pérdidas de agua fuera de la unidad de riego, entre otras variables).

Las láminas de riego (*d*) se calcularon a partir de la determinación gravimétrica de la humedad y las propiedades físicas del suelo.

dr (lámina de reposición): diferencia entre el contenido de humedad del suelo antes del riego y 48 h después del riego (capacidad de campo).

db (lámina de agua aplicada o lámina bruta): relación de volumen de agua ingresado a la parcela regada y su superficie.

dinf (lámina infiltrada en el perfil del suelo): diferencia entre la lámina bruta aplicada y la lámina escurrida al pie de la parcela regada (considerada en este caso como "nula" debido a que todos los riegos fueron sin desagüe).

dal (lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo): diferencia entre la lámina infiltrada en la parcela y la lámina percolada por debajo de la rizósfera.

dper (lámina percolada): lámina infiltrada y que ha superado la profundidad radical del cultivo.

Los datos obtenidos se analizaron a través del análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico Infostat, versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a los métodos de riego, de las 53 evaluaciones realizadas, el 57% de las propiedades riegan por melgas sin desagüe al pie (melgas) y el 43% restante, por surcos sin desagüe al pie (surco). Según las zonas de riego, todas las fincas evaluadas de la 3ra zona riegan por surcos, en la 5ta zona de riego el 69% de propiedades riega con melgas y el 31% restante con surcos y en la 6ta zona el 54% de las fincas presentan surcos y el 46%, melgas. En relación a los cultivos, el 85% de las fincas cultivan frutales (predominantemente vid) y el 15% restante cultivan hortalizas (ajo, tomate, remolacha y apio).

La superficie promedio de las unidades de riego evaluadas fue de 2,5 ha, 6,9 ha y 10 ha en la 3ra, 5ta y 6ta zona, respectivamente. Las longitudes de la unidad de riego no presentaron diferencias significativas respeto al tipo de cultivos ni al método de riego (p= 0,86), siendo la longitud promedio de 97,2 m en hortalizas y 103,8 m en frutales regadas por surcos o melgas.

En cuanto a la textura de los suelos, el 49% de las propiedades presentó textura gruesa, 31% textura fina y el 20% restante textura media. Entre las características físicas del suelo, la pendiente longitudinal media difirió significativamente (p= 0,037) en función del método de riego (Cuadro 1). Esta fue de 0,0015±0,004 m m^{-1} en surcos y de 0,00038±0,0036 m m^{-1} en melgas. Las menores pendientes observadas en el riego por melga podrían atribuirse al hecho que en este tipo de riego se debe contemplar no solo la pendiente longitudinal sino también la pendiente transversal a fin lograr mayor uniformidad en el riego.

Los caudales de manejo medios totales (*Q*t) no difirieron significativamente entre métodos de riego (Cuadro 2), siendo el *Q*t en melgas de 134±89 l s^{-1} y de 93±84 l s^{-1} en surcos. En cuanto a los caudales unitarios

Cuadro 1. Pendiente longitudinal (S) y número de melgas/surcos regados simultáneamente en función del método de riego (melga o surco) en el área regadía del río Mendoza analizada.

Método de riego	N	S (m m^{-1})		N° melgas/surcos	
		Media	EE	Media	EE
Melga	30	0,00038 b	0,0036	32 a	9,44
Surco	23	0,00150 a	0,0004	58 a	10,78

N refiere al número de fincas analizadas, y EE, al error estándar. Medias con letras similares indican que no son diferentes para un α= 0,05 (LSD Fisher).

Cuadro 2. Caudales de manejo total (*Q*t) y unitario (*Q*u) según la zona de riego (3ra, 5ta, 6ta), el tipo de cultivo (frutal u hortaliza) y el método de riego (melga o surco) en el área regada del río Mendoza analizada.

Variable		N	Q total (Qt; l s^{-1})		Q unitario (Qu) (l s^{-1} $surco^{-1}$; l s^{-1} m^{-1} ancho melga)	
			Media	EE	Media	EE
Zona de riego	3ra	5	14 b	11	1,0 a	0,5
	5ta	35	122 a	83	2,1 a	1,6
	6ta	13	139 a	97	2,6 a	2,5
Cultivo	Frutales	45	121 a	82	2,3 a	1,9
	Hortalizas	8	85 a	122	1,1 a	0,4
Método de riego	Melga	30	134 a	89	1,9 a	0,7
	Surco	23	93 a	84	2,4 a	2,6

N refiere al número de fincas analizadas, y EE, al error estándar. Medias con letras similares indican que no son estadísticamente diferentes para un α= 0,05 (LSD Fisher).

(*Q*u) se registraron valores de 2,3±1,9 l s^{-1} en frutales y de 1,1±0,4 l s^{-1} en hortalizas que, comparados con los registrados por Morábito (2003) resultan ser mayores (1,84 l s^{-1} en frutales y 0,63 l s^{-1} en hortalizas), no obstante a ello, el tamaño de muestra y variabilidad de datos del citado autor fue mayor respecto al presente trabajo.

En relación con la conductividad eléctrica promedio del agua de riego (*CE*a), se observó que la 3ra zona presentó valores más altos (1184 µS cm^{-1}) respecto a la 5ta y 6ta (que registraron 935 µS cm^{-1} y 911 µS cm^{-1}, respectivamente). Esta diferencia en la *CE*a podría atribuirse al hecho que el área recibe en forma permanente los aportes de vertientes y, eventualmente, desagües industriales, pluviales y de drenaje de fincas cercanas. Zuluaga *et al*. (2010) midieron en la zona, valores superiores a 1800 µS cm^{-1} alcanzándose un valor máximo de 2680 µS cm^{-1} en octubre de 2009, el que corresponde a un *d*ren parcelario (finca Fuster) cuando se lixivian las sales del suelo agrícola antes de iniciar un nuevo ciclo. Estudios realizados en la cuenca del río Mendoza demuestran que, a lo largo del recorrido del río y de los canales de distribución, el agua para riego sufre un deterioro en su calidad (aumento de la conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio, RAS) proveniente de la actividad urbana, industrial y agrícola (Mariani *et al.*, 2017).

La ecuación de infiltración de Kostiakov ($I\text{cum} = A*T^B$) ajustada para la zona de estudio (obtenida de los 847 pares de datos de ensayos de infiltración en cabeza y pie) presentó valores del coeficiente A y del exponente B de 7,36 y 0,404, respectivamente (Figura 2). La infiltración básica fue de 5,17 mm h^{-1}. Este valor corresponde a la clasificación de infiltración "muy lenta" a "lenta", según las familias de infiltración del NRCS-USDA (Walker, 2003). Morábito *et al*. (2007) manifestaron que las velocidades de infiltración representativas de las series de suelos del río Mendoza son en general bajas, alcanzando valores extremos de infiltración básica de 1,3 mm h^{-1} a 7,3 mm h^{-1}. Según estos autores, esto se asocia a los bajos contenidos de materia orgánica del suelo y a la presencia de capas compactadas en el perfil del suelo que limitan la infiltración del agua en los suelos.

Al agrupar los parámetros de la ecuación de infiltración de Kostiakov de 1932 (Ravi *et al*., 1998) según la textura del suelo y la zona de riego (Cuadro 3), se encontró que los suelos de textura gruesa presentaron una infiltración básica de 6,23 mm h^{-1}, mientras que para los de textura fina esta fue de 5,15 mm h^{-1}. Estos valores corresponden a las familias de infiltración del Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Servicio de Agricultura de Estados Unidos (NRCS-USDA) de "Muy lenta" a "Lenta". Respecto a las zonas de riego, la menor infiltración básica y el menor valor del coeficiente A de la ecuación de infiltración de Kostiakov [1932; mencionado por Grassi (1998)] se observó en la 5ta zona. Comparando estos resultados con los obtenidos por Morábito *et al.* (2007), observamos que existe coincidencia en los parámetros de la ecuación respecto a la 3ra zona principalmente. Los parámetros de las ecuaciones de infiltración del Servicio de Conservación

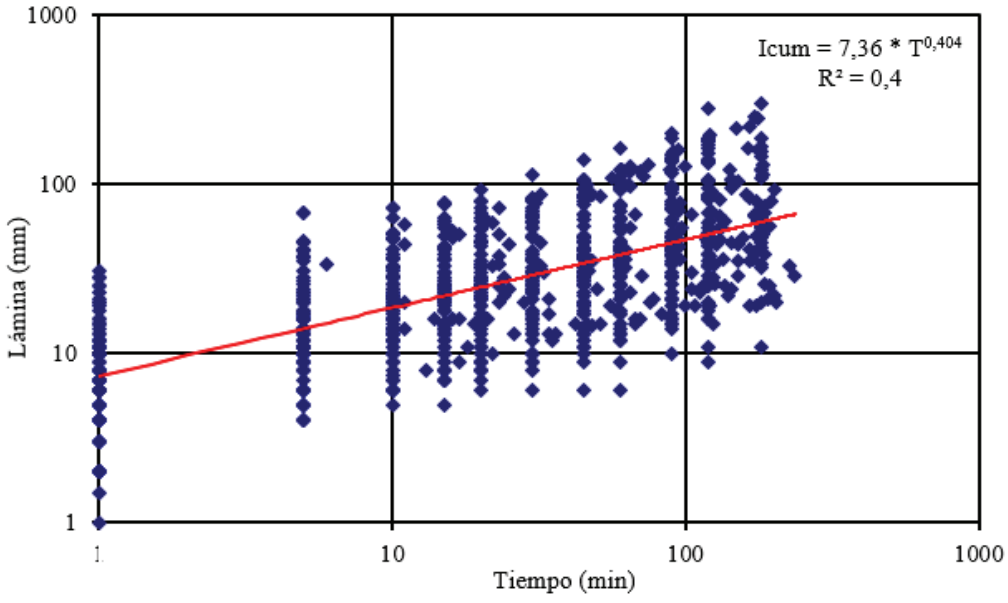

Figura 2. Valores de Lámina inflitrada (mm) en función del tiempo. Los datos fueron obtenidos de ensayos de infiltración en el área regadía del río Mendoza. La ecuación de ajuste de la regresión lineal, junto con su respectivo valor de R^2, se encuentra dentro del panel.

de Recursos Naturales de Estados Unidos "NRCS- USDA" (Icum= $A´ * T^{B´} + C´$) fueron también estimados, según Grassi (1998) (Cuadro 4).

El análisis de los valores promedios de tiempo de riego (*Tco*), tiempo de avance (*T*L) y tiempo de receso (*T*R) medidos a campo, no mostraron diferencias significativas entre métodos de riego, siendo los valores promedios de *Tco* (139 min), de *T*L (53,5 min) y de *T*R (1118 min).

Respecto a la ecuación de avance ajustadas [X (m)= $p * T(\text{min})^r$], dicha ecuación resultó del ajuste de 1034 pares de datos (N° pares) provenientes de los 53 ensayos (N) de avance realizados en las propiedades evaluadas. Se determinaron así los valores de los coeficientes *p* y *r* obtenidos según el método de riego (melgas y surcos) y para la zona en estudio (Cuadro 5). A su vez, la ecuación de ajuste para toda el área regadía del río Mendoza pudo ser obtenida utilizando los datos de distancia en función del tiempo (Figura 3).

Los valores promedios de las láminas de riego fueron calculados a partir de la determinación gravimétrica de la humedad y de las propiedades físicas del suelo agrupadas por método de riego (surco y melgas) y por cultivo (hortalizas y frutales) (Cuadro 6).

Cuadro 3. Parámetros de la ecuación de infiltración de Kostiakov (coeficiente A y exponente B) e infiltración básica (Ib) según la textura de suelo (gruesa, media o fina) y por zona (3ra, 5ta o 6ta) del área regadía del río Mendoza analizada.

Parámetro considerado	Clasificación	N	A	B	Ib (mm h^{-1})
Textura del suelo	Grueza	25	8	0,40	6,23
	Media	10	7,6	0,36	4,34
	Fina	16	6,2	0,42	5,15
Zona de riego	3ra	5	10,3	0,36	5,58
	5ta	32	6,3	0,40	4,82
	6ta	11	10,1	0,41	8,00

N refiere al número de fincas analizadas, y EE, al error estándar. No hay letras similares o distintas, indican que no son estadísticamente diferentes para un α= 0,05 (LSD Fisher).

Cuadro 4. Parámetros de la ecuación de infiltración del Servicio de conservación de suelos de la USDA (coeficiente A, exponente B y coeficiente C) por zona (3ra, 5ta o 6ta) del área regadía del río Mendoza.

Zona de riesgo	N	A'	B'	C'
3ra	5	6,9	0,39	7
5ta	32	3,2	0,50	7
6ta	11	6,0	0,49	7

N refiere al número de fincas analizadas.

Cuadro 5. Parámetros de la ecuación de avance del frente de agua (coeficiente *p* y exponente *r*) para el área regadía del río Mendoza, en función del método de riego (melga o surco) empleado en las fincas evaluadas.

Método de riego	N	N° pares	*p*	*r*	R^2
Melgas	30	555	8,58	0,53	0,54
Surcos	23	479	7,56	0,63	0,67
Ambos	53	1034	8,42	0,56	0,58

N refiere al número de fincas analizadas y N° pares, a los pares de datos (distancia y tiempo).

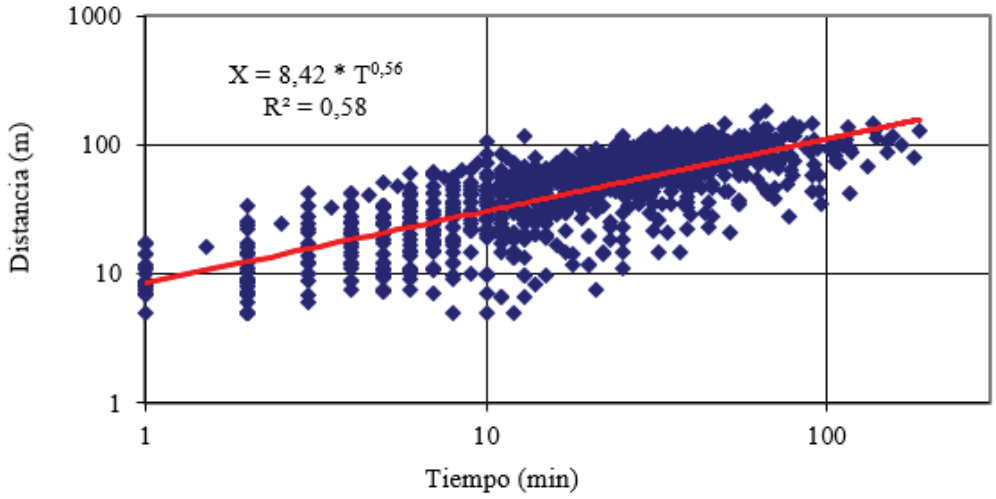

Figura 3. Valores de Distancia (m) en función del tiempo. La ecuación de avance del frente de agua [x (distancia) = $p * T^r$] representativa del área regadía del río Mendoza se encuentra dentro del panel junto con su respectivo valor de R^2.

Cuadro 6. Lámina de reposición (*d*r), lámina bruta (*d*b), lámina infiltrada (*d*inf), lámina almacenada (*d*al) y lámina percolada (*d*per) según tipo de cultivo (frutal u hortaliza) y método de riego (melga o surco) en la 3ra, 5ta y 6ta zona del área regadía de Mendoza analizada.

Variable		N	Láminas de riego (d, mm)									
			dr		db		dinf		dal		dper	
			Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
Cultivos	Frutales	45	109 a	6,1	133 a	9,6	133 a	9,6	92,5 a	5,2	41 a	7,3
	Hortalizas	8	54 b	14,4	91 a	22,7	88,6 a	22,8	48,4 b	12,2	40 a	17,3
Método de riego	Surcos	30	88 a	9,2	90 b	12	89 a	12	64 b	6,8	26 a	9,8
	Melgas	23	111 a	8	155 a	10,5	155 b	10,5	103 a	5,9	52 a	8,6

N refiere al número de fincas analizadas y EE, al error estándar. Medias con letras similares indican que no son estadísticamente diferentes para un α= 0,05 (LSD Scheffe).

Los datos obtenidos mostraron que la *dr* (lámina de reposición) para frutales (109±6,1 mm) fue significativamente superior respecto a la de hortalizas (54±14,4 mm), debido a un mayor requerimiento hídrico, una mayor profundidad radical de las especies cultivadas y a mayores intervalos de riego. Situación similar se dio con las *d*inf (láminas infiltradas en el perfil del suelo). Respecto a las *d*inf, *d*b (lámina de agua aplicada o lámina bruta), y *d*al (lámina almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces del cultivo), éstas presentaron diferencias estadísticamente significativas según el método de riego (p= 0,0002), siendo el riego por melgas el que aplicó las mayores láminas en la unidad de riego (Cuadro 6). Además, para todos los cultivos y métodos de riego, los valores de *d*b superaron a los de *d*r, existiendo percolación profunda.

Analizando las *d*b aplicadas se observó que las láminas que presentaron mayor frecuencia absoluta fueron las comprendidas entre 100 a 150 mm (17 casos) (Figura 4). Los siguientes valores de lámina con mayor frecuencia fueron aquellas comprendidas entre los 150 a 200 mm (12 casos), mientras que las de menor frecuencia absoluta fueron las comprendidas entre los 60 a 100 mm (11 casos) (Figura 4).

En este contexto, si bien no existen diferencias significativas entre las *d*per según el método de riego y según el tipo de cultivo, es importante mencionar que la percolación respecto a la lámina media bruta en frutales representó el 31% y en hortalizas el 44%, mientras que para los riegos con surco y melgas estos porcentajes alcanzaron el 29% y 33%, respectivamente.

En estudios realizados en la cuenca del río Mendoza y del río Tunuyán Superior también se observó similar respuesta en la percolación profunda según cultivo y método de riego (Morábito, 2003; Schilardi *et al*., 2010).

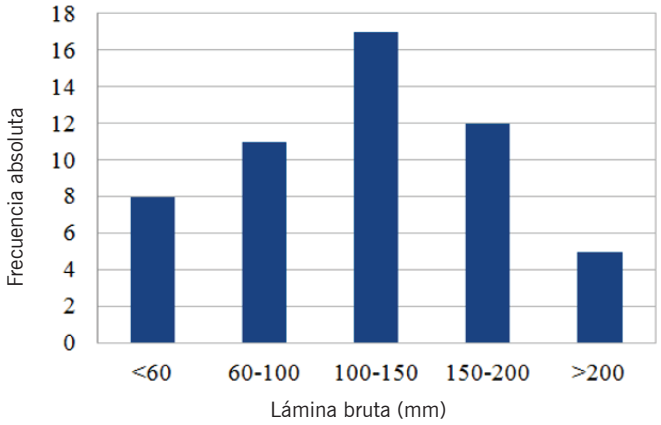

Figura 4. Frecuencias absolutas de *d*b aplicadas en propiedades agrícolas del área de riego del río Mendoza.

CONCLUSIONES

El estudio de los parámetros de riego realizado en el presente trabajo determinó que las velocidades de infiltración en el área de regadío del río de Mendoza en general son bajas, alcanzando valores extremos de infiltración básica de 4,34 y 6,23 mm h^{-1}, los cuales corresponden a las familias de infiltración del NRCS-USDA "Lento". A su vez, en este trabajo se han obtenido las ecuaciones de avance del frente de agua que caracterizan a los métodos de riego evaluados (melga y surco).

En cuanto a las láminas de riego, se destaca la necesidad de reducir las láminas brutas aplicadas en hortalizas (104 mm), debido a que las láminas percoladas representan un 46% en promedio del total aplicado a la unidad de riego. También se destaca la importancia de realizar una nivelación uniforme a lo largo de la unidad de riego, ya que se observaron deficiencias importantes en la nivelación que afectan la uniformidad de distribución de la lámina de riego aplicada y, consecuentemente, la producción del cultivo. La necesidad de identificar los principales problemas y soluciones, tendientes a optimizar el manejo del agua dentro de las propiedades agrícolas en la cuenca irrigada del río Mendoza, es de suma importancia para los regantes y los organismos encargados de la gestión y distribución del agua. Para ello, es indispensable el conocimiento de los parámetros físicos del riego por superficie de la zona irrigada, información básica para la implementación de modelos de simulación y diseño de riego por superficie como el modelo WinSRFR, que permite determinar adecuadamente las eficiencias o requerimientos actuales y potenciales de riego.

BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales.* Ediciones Días de Santos.

Bautista, E., Clemmens, A. J, Strelkoff, T. S. y Schlegel, J. L. (2009). Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management, 96*, 1146-1154.

Chambouleyron, J. (2005). *Riego y Drenaje. Técnicas para el desarrollo de una agricultura ragadía sustentable* (Tomo I). Ediunc. 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.

Chartzoulakis, K. y Bertaki, M. (2015). Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, 4*, 88-98.

Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., González L., Tablada M. y Robledo C. W. (2017). *InfoStat versión 2017*. Grupo INFOSTAT, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: http://www.infostat.com.ar

Duek, A. (2018). *Escenarios de uso sostenible del recurso hídrico en el sector agrícola de Mendoza*. 4to Encuentro de investigadores en formación en recursos hídricos. Santa Fe, Argentina.

Gobierno de Mendoza, Prensa. (2012, octubre). Recuperado el 28/04/2021 de https://www.mendoza.gov.ar/prensa/a-traves-de-prosap-se-realizaron-obras-hidricas-por-440-millones/

Grassi, C. J. (1998). *Fundamentos del riego.* Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

Grassi, C. J. (2000) *Diseño y operación de riego por superficie.* Mérida, Venezuela. Centro Interamericano de Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

Landini, A., Martínez D., Díaz, H., Soza, E., Agnes, D. y Sainato, C. (2007). Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2*, 123-131.

Mariani, A., Bermejillo, A., Hernández, R., Stocco, A. y Morábito J. (2017, noviembre). *Variability of chemical parameters of irrigation water in Mendoza's northern and central oases*. XXth Reunión Internacional GIESCO. 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 de Magister Scientiae]. Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Nacional del Agua, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Mendoza, Argentina.

Morábito, J. A., Mirábile, C. y Salatino, S. (2007). Eficiencia de riego superficial, actual y potencial en el área de regadío del río Mendoza (Argentina). *Revista Ingeniería del Agua de la Universidad de Córdoba, España, 14*, 199-213.

Morábito, J., Schilardi, C., Mariani, A. y Hernández, R. (2018). *El regadío en Argentina. Indicadores de desempeño y variabilidad de parámetros de calidad del agua de riego en Mendoza*. 2° Congreso Internacional "Uso de tecnologías para el manejo racional del agua". Chillan, Chile.

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.

Pérez Hernández, R., Jiménez Espinosa, E. R. y Silveira Rivero, J. L. (2020). Evaluación de modelos de infiltración en riego por surcos en suelos oscuros plásticos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 41*, 43-55. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100043&lng=es&tlng=es

Plataforma de información para políticas públicas (PiPP-UNCUYO). (2014, junio). Recuperado de http://www.politicaspublicas.uncu.edu.ar/novedad/iniciaron-mejoras-en-el-sistema-de-la-cuenca-del-rio-mendoza

PROSAP. (2014). *Modernización de la red terciaria del tramo inferior del río Mendoza.* Provincia de Mendoza. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina.

Ravi, V. y Williams, J. (1998). Estimation of infiltration rate in the Vadose Zone: Compilation of simple mathematical models. Volume I. *Technical Report N° EPA/600/R- 97/128a*. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory. Ada, EE.UU.

Rodríguez-Vásquez A, Aristizábal-Castillo A. y Camacho-Tamayo J. (2008). Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip y Kostiakov en un suelo Ândico. *Eng. Agríc., Jaboticabal, 28*(1), 64-75.

Schilardi, C., Morábito, J. A. y Vallone, R. C. (2010). *Parámetros físicos del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior, Mendoza, Argentina*, XXI Congreso Nacional del Agua. 14-16 de noviembre de 2009, Trelew. Chubut, Argentina.

Tornés Olivera, N., Brown Manrique, O., Gómez Masjuan, Y. y Guerrero Alega, A. M. (2016). Eficiencia de aplicación máxima del agua y longitud del surco en función de los caudales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25*, 23-27. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=932/93242698004

UNCUYO. (2004). *Marco Estratégico para la Provincia de Mendoza. Parte I: Diagnóstico Físico-Ambiental* [Informe inédito]. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.

Valipour, M. (2012). Comparison of Surface Irrigation Simulation Models: Full Hydrodynamic, Zero Inertia, Kinematic Wave. J*ournal of Agricultural Science, 4*, 68-74.

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

Zuluaga, J., Drovandi, A., Bermejillo, A., Cónsoli, D., Valdés, A., Salcedo, C. y Morsucci, A. (2010). *Evolución de la contaminación del recurso hídrico en el cinturón verde de Mendoza.* V Jornada de actualización en riego y fertirriego. Mendoza, Argentina.