

PARÁMETROS FÍSICOS DEL RIEGO POR SUPERFICIE EN EL ÁREA DE REGADÍO DE LA CUENCA DEL RÍO TUNUYÁN SUPERIOR, MENDOZA, ARGENTINA

Schilardi, C.^{1,2}, Morábito J. A.^{1,3} y Vallone, R.C.^{1,4}

(1) Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo
Almirante Brown (5507), Mendoza – Argentina. E-Mail: eschila@irrigacion.gov.ar

(2) Departamento General de Irrigación

(3) Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino

(4) E.E.A. INTA Mendoza

RESUMEN

El área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior abarca 41.601 ha con derechos de riego superficial. El 94% del área de la cuenca es utilizada con fines agrícolas, siendo indispensable el desarrollo de indicadores que permitan conocer la eficiencia del uso del agua para riego y detectar los principales problemas y soluciones para un desarrollo sustentable de la cuenca. El objetivo general del estudio, en una primera etapa, es caracterizar los parámetros físicos del riego por superficie que permitan posteriormente, en una segunda etapa, conocer el grado de aprovechamiento del agua de riego en el interior de las propiedades agrícolas del área de influencia del Río Tunuyán en su tramo superior. Se utiliza la metodología de Chambouleyron y Morábito (1982) en riegos sin desagüe al pie y la de Walker & Skogerboe (1987) y los estándares de ASAE (American Society of Agricultural Engineering, 2000) para los casos de riego con desagüe al pie. Se realiza una evaluación de riego cada 800 ha en coincidencia con tres momentos del ciclo de cultivo que implican distintos requerimientos de agua (otoño-invierno, primavera y verano). Se determinan los principales parámetros físicos del riego por superficie. Los mismos se analizan según zona de manejo, estación y método de riego. Los resultados obtenidos para la cuenca indican: i) predomina el riego por surcos con desagüe, texturas de suelo franco, pendientes del 0,87 %; ii) caudales de manejo y unitario de 53 L s⁻¹ y 1,24 L s⁻¹m⁻¹ respectivamente, longitud promedio de la parcela de riego 123 m, tiempo de aplicación de 7hs; iii) la infiltración básica de los suelos es de 5,3 mm h⁻¹; iv) lámina promedio de reposición (dn), bruta (db), infiltrada (dinf), escurrida (de), almacenada (dal) y percolada (dper), 63 mm, 153 mm, 79 mm, 75 mm, 55 mm, 26 mm respectivamente. Los parámetros obtenidos permiten caracterizar el riego agrícola que normalmente ejecutan los agricultores sobre el área de estudio, y en una posterior etapa permitirá caracterizar las eficiencias o rendimientos de riego actuales y potenciales de la zona bajo estudio.

Palabras clave: parámetros físicos, infiltración básica, caudal unitario, láminas de riego.

INTRODUCCIÓN

El área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior está ubicada entre 33° 34' de latitud Sur y entre 69° 00' de longitud Oeste, está conformada por los departamentos de Tupungato, Tunuyán y San Carlos, cuenta con una superficie de 41.601 ha con derechos de riego superficial en las 20 Inspecciones de Cauce involucradas (DGI, 2009, datos no publicados). El 94% del área total de la cuenca es utilizada para actividades agrícolas, y el resto está ocupado básicamente por construcciones e infraestructura, cuerpos de agua y vegetación natural. Actualmente la cuenca del río Tunuyán Superior posee aproximadamente unas 54.000 has cultivadas, de las cuales el 37% es regado exclusivamente con agua superficial, el 36% con agua subterránea exclusiva y el 27% con ambas, uso conjunto (Hernández y Martinis, 2008). Del total de la superficie bajo riego el 84,1% corresponde a sistemas de riego superficiales, el 12,2% a sistemas de riego por goteo, el 2,5 % a sistemas de microaspersión y el 1,2 restante a otros sistemas de riego (INDEC, 2002). Las excelentes condiciones agroecológicas para la producción de frutas frescas y vinos de alta calidad han incentivado fuertes inversiones que han ampliado las fronteras agrícolas de la cuenca bajo estudio.

El uso eficiente del recurso agua es por lo tanto un factor estratégico que adecuadamente manejado garantizaría el desarrollo autosustentable de las zonas regadías, es por ello indispensable la caracterización de parámetros físicos del riego superficial, que permitan cuantificar las eficiencias o rendimientos de riego actuales y potenciales, lo que posibilitará detectar los principales problemas y soluciones del riego agrícola, optimizando de forma general la utilización del recurso agua en una cuenca en continuo crecimiento y con demandas de múltiples sectores.

Los parámetros físicos que determinan el resultado de un evento de riego pueden agruparse en: (i) variables del sistema (parámetros físicos cuya magnitud puede cambiar en un amplio rango en función de la decisión del usuario) y (ii) parámetros del sistema, son parámetros físicos propios del sistema y que poco o nada de margen de cambio tienen (Reyen y Zerihun 1999). Como parámetros del sistema podemos considerar a: lámina de riego a aplicar (dn), velocidad máxima del agua admitida para evitar erosión, pendiente del terreno (S), coeficiente de rugosidad (n), parámetros de la ecuación de infiltración (A , B , f_0), geometría de surcos. Las variables del sistema son: caudal de manejo y/o caudal unitario (Q_m , q_u), tiempo de aplicación o corte (T_{ap}), y en menor medida la longitud de la unidad de riego (L).

Para la mejora de los sistemas de riego es necesario, la caracterización de parámetros físicos ya que influyen en los procesos hidráulicos del riego, determinando la uniformidad y la aplicación del agua sobre la superficie. La uniformidad de distribución (DU) en la aplicación del agua de riego, resulta de variables de diseño y manejo, como así también de características del evento de riego (Pereira, 1999). Por lo tanto la uniformidad de distribución es función del: caudal unitario o de manejo (q_u , Q_m), longitud de la unidad de riego (L), rugosidad o coeficiente de rugosidad de superficie (n), pendiente longitudinal de la unidad de riego (S), características de infiltración del suelo (A , B , f_0), geometría o sección del surco o melga y tiempo de aplicación o corte (T_{ap}).

La eficiencia de aplicación también es dependiente de variables de diseño como de manejo, siendo función del: caudal unitario y de manejo (q_u , Q_m), longitud de la unidad de riego (L), rugosidad o coeficiente de rugosidad de superficie (n), pendiente longitudinal de la unidad de riego (S), características de infiltración del suelo (A , B , f_0), geometría o sección del surco o melga, tiempo de aplicación o corte (T_{ap}) y del déficit del agua en el suelo o lámina de reposición (d_n). Estas funciones muestran que la eficiencia de aplicación es función de la uniformidad de distribución como del criterio de programación de los riegos (Pereira, 1999).

Las evaluaciones de los sistemas de riego a campo juegan un papel fundamental para la optimización de los mismos, brindando valiosa información a los agricultores y/o ingenieros proyectistas para la mejora del diseño y prácticas de manejo. La cuenca bajo estudio no posee actualmente ningún estudio integral que permita caracterizar el riego superficial de la misma, solo se mencionan algunos estudios puntuales como: Parámetros y eficiencia de riego en el área de influencia del Arroyo Claro en Tunuyán, Mendoza (Salatino, S et al, 1995) y estudios globales de alcance limitado como: Plan director de la Cuenca del Río Tunuyán (DGI, 2004).

3. OBJETIVOS

Objetivos generales:

Contribuir al mejor aprovechamiento del agua de riego bajo el área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior.

Caracterizar los principales parámetros físicos del riego por superficie que influyen en la optimización del recurso agua en el interior de las propiedades agrícolas.

Objetivos específicos:

Caracterizar en función de las zonas de manejo, estación del año y método de riego, los siguientes parámetros físicos del riego: velocidad de infiltración de los suelos, velocidad de avance del frente de agua, caudal de manejo y unitario, tiempo de aplicación, tiempo de riego, longitud de la unidad de riego.

Cuantificar las diferentes láminas de riego que permitan en una segunda etapa la obtención de indicadores parcelarios como: Eficiencia de aplicación, almacenaje, distribución, porcentaje de percolación y porcentaje de escurrimiento.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para una adecuada precisión del estudio se realiza una evaluación de riego aproximadamente cada 800 has (Morábito, 2003). Se evaluaron 48 propiedades, 1/3 en otoño - invierno, 1/3 en primavera y 1/3 en verano. Las distintas estaciones son coincidentes con momentos del ciclo de cultivo con distintos requerimientos de agua (especialmente en el caso de cultivos permanentes como vid y frutales, predominantes en el área de influencia del río). En la práctica, dado que el río Tunuyán Superior está dividido en Asociaciones de Usuarios e Inspecciones de Cauce, 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 para llevar a cabo las evaluaciones. Se trató que las mismas cubrieran la totalidad de las zonas de riego y los canales más representativos de cada una de ellas. El criterio de selección de las fincas donde se realizaría la evaluación de la eficiencia de riego fue el de evaluar aquella propiedad -con derecho de riego superficial- que, en oportunidad de la visita, estuviera recibiendo el turno de riego. Durante la evaluación el agricultor efectuó el riego según su técnica habitual, de manera que la evaluación permite conocer detalladamente su modalidad de riego y de trabajo.

Durante el riego se llevaron a campo las siguientes determinaciones: aforo de caudal ingresado y derivado, ensayo de infiltración con el método de doble anillo (cabeza y pie de la unidad de riego), avance y receso del frente de agua, tiempo de riego, dimensiones de la unidad de riego (largo, ancho y número de surcos o melgas regadas simultáneamente), espaciamiento y perímetro mojado de surco, determinación de la pendiente, y perfil de surco. La humedad de suelo se determinó en forma gravimétrica en seis sitios y a dos profundidades (antes y después del riego), muestreo de suelo a dos profundidades (para la determinación de textura, conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes), pH en pasta y RAS y en el agua de riego se analizó CE.

Para la caracterización de los parámetros físicos de riego se ha utilizado la metodología desarrollada por Chambouleyron y Morábito (1982) en riegos sin desagüe al pie y la de Walker & Skogerboe (1987) y los estándares de ASAE (American Society of Agricultural Engineering 2000) para los casos de riego con desagüe al pie.

Los parámetros físicos del riego por superficie calculados en esta primer etapa son: velocidad de infiltración de los suelos, velocidad de avance del frente de agua, caudal de manejo y unitario, tiempo de aplicación, tiempo de riego, longitud de la unidad de riego. Tales parámetros fueron posteriormente analizados teniendo en cuenta como variables explicativas: zona de manejo, cultivo y método de riego. Para cada uno de los análisis por factor se aplicó análisis de la varianza unifactorial. En los casos 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 STATGRAPHICS Plus 5.1 (Statistical Graphics Corp., 2000).

Además, y ante la necesidad de cuantificar las láminas de reposición (dn), bruta (db), infiltrada (dinf), escurrida (de), almacenada (dal) y percolada (dper), con la información obtenida a campo se han aplicado los modelos SIRMOD (Walker, 1993) y WINSRF 3.1 (USDA, 2009; Bautista et al, 2007; Strelkoff et al, 1998) para su cuantificación.

RESULTADOS

Evaluaciones realizadas, fechas, cultivos y métodos de riego

El cuadro 1 resume las evaluaciones efectuadas, desagregadas por zona, cultivo y método de riego. El cuadro 2 expresa los porcentajes de métodos de riego por zona. En función del método de riego se designa el siguiente detalle: (S) corresponde a surcos, (M) melgas, (c/D) con desagüe y (s/D) sin desagüe.

Cuadro 1: Cantidad de evaluaciones efectuadas, desagregadas por zona, cultivo y método de riego.

Variable		Estación			Total	Total General
		Otoño	Primavera	Verano		
Zona	Centro Norte	6	6	5	17	48
	Centro Sur	4	4	4	12	
	Norte	4	3	2	9	
	Sur	3	4	3	10	
Cultivo	Frutal	4	7	4	15	48
	Hortaliza	6	5	2	13	
	Pastura	-	1	-	1	
	Vid	7	4	8	19	
Método de Riego	M c/D	3	4	1	8	48
	M s/D	1	1	3	5	
	S c/D	11	11	8	30	
	S s/D	2	1	2	5	

Cuadro 2: Resumen porcentual del la distribución del método de riego por zona de análisis y bajo toda la cuenca irrigada.

Zona	M c/D	M s/D	S c/D	S s/D	Total	c/D	s/D
Centro Norte	29%	24%	35%	12%	100%	65%	35%
Centro Sur	8%	0%	92%	0%	100%	100%	0%
Norte	11%	0%	67%	22%	100%	78%	22%
Sur	10%	10%	70%	10%	100%	80%	20%
Total general	17%	10%	63%	10%	100%	79%	21%

En función de los cuadros 1 y 2, podemos afirmar que se han realizado una total de 48 evaluaciones a campo (35% en otoño, 35% en primavera y 30% en verano). La diferencia en la cantidad y/o porcentaje de evaluaciones realizadas con respecto a la estación verano y a las planificadas para el total del presente estudio, se debe a la gran cantidad de tormentas de lluvia ocurridas en dicha estación durante el periodo 2007-2008.

En cuanto a los métodos de riego superficiales utilizados para regar los cultivos bajo la cuenca en estudio, predominan los sistemas de riego con desagüe al pie (79%), respecto a los sistemas de riego sin desagüe (21%), predominando los sistemas de riego

por surcos con desagüe (63%), posteriormente las melgas con desagüe (17 %), finalmente los surcos y melgas sin desagüe (ambos en un 10%).

La célula de cultivo evaluada es próxima a la presentada mediante análisis de imágenes satelitales recientes (Femenía y Mustoni; 2009), por lo que afirmamos, que tanto por los cultivos bajo riego, su distribución en el territorio y por el muestreo periódico a lo largo del ciclo agrícola, la muestra bajo estudio es representativa de las características agrícolas de la cuenca bajo estudio.

Parámetros físicos y de manejo

Se analizan los siguientes parámetros físicos y de manejo que caracterizan el riego de la zona bajo estudio: ecuación de infiltración de Kostiakov (A y B) (1932, mencionado por Grassi, 1998), infiltración básica del suelo (Ib), parámetros de la ecuación de avance (p y r) (Grassi 1998), caudal de manejo utilizado por el regador, el caudal unitario por surcos ($L s^{-1}$) y para melgas ($L/s^{-1}.m^{-1}$), pendiente del terreno, tiempo de aplicación o corte (Tap) y láminas de riego.

Infiltración

La siguiente ecuación de infiltración representa la curva potencial de velocidad de infiltración promedio y básica para toda la zona regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior. La misma fue ajustada sobre 1.059 pares de datos provenientes de los ensayos de infiltración realizados en cabeza y pie en cada una de las propiedades evaluadas.

$$I_{cum} = A.t^B = 19,35.t^{0,304}$$

Ib = 5,29 mm/h

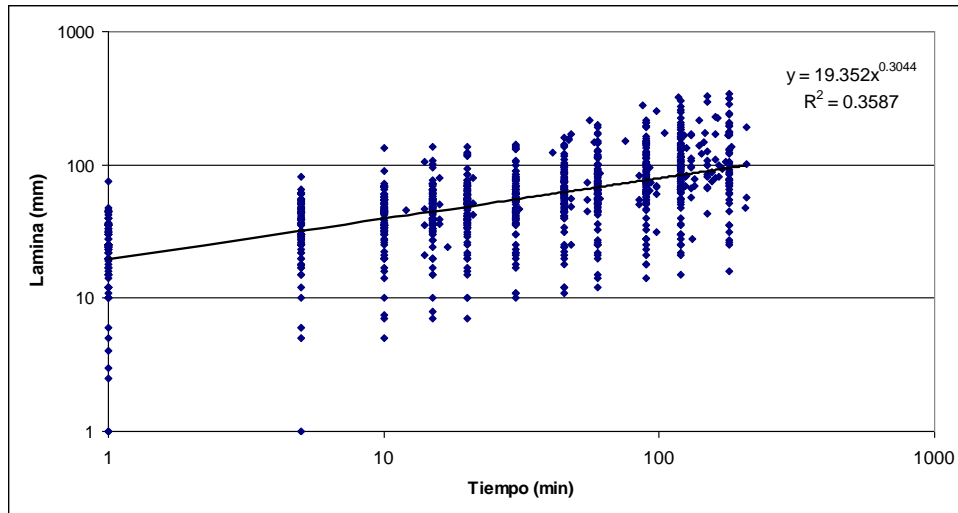


Figura 1: Ecuación potencial que ajusta a la totalidad de los ensayos de infiltración realizados en el área regadía del río Tunuyán Superior.

Las ecuaciones de infiltración, han sido agrupadas en función de la unidades de suelo definidas por Vallone, R. et al; 2007. Se incluye los coeficientes (A) y los exponentes (B) de la ecuaciones de Kostiakov (1932), se detalla el número de propiedades evaluadas para cada serie, la cantidad de pares de datos utilizados, los coeficientes de correlación (R^2), los valores de infiltración básica (Ib), el tiempo que demora en infiltrarse 100 mm de agua (T_{100}), infiltración básica en pulgadas/hora F ("h), identificando la familia de infiltración que representa cada unidad de suelo (Walker et al, 2006). Las curvas de infiltración de cada unidad de suelo se presentan en la figura 2.

Cuadro 3: Parámetros de la ecuación de Kostiakov para las distintas unidades de suelo del área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior. A y B: coeficiente y exponente de la ecuación de infiltración de Kostiakov, N de Fincas evaluadas, N pares de datos utilizados, Ib: infiltración básica, T100: tiempo en infiltrarse 100 mm de agua, F: valor de la familia de infiltración.

Unidad	A	B	N Fincas	N Pares	Ib (mm/h)	T100 (min)	F ("h)	R2	P <
Aguanda	20.50	0.198	4	77	2.46	481	0.10	0.70	0.000
Consulta Este	21.87	0.339	9	203	8.52	89	0.34	0.48	0.000
Consulta Oeste	21.42	0.288	2	44	4.96	211	0.2	0.76	0.000
Cordon del Plata	21.73	0.250	1	22	3.34	448	0.13	0.85	0.000
E Bustos	22.38	0.282	5	110	4.86	202	0.19	0.52	0.000
El Zampal	6.08	0.409	2	44	4.64	940	0.18	0.32	0.000
Las Carreras	39.52	0.347	1	20	16.72	14	0.66	0.96	0.000
Las Pintadas	14.94	0.292	7	154	3.61	672	0.14	0.33	0.000
Las Tunas	20.86	0.445	2	44	22.18	34	0.87	0.78	0.000
San Carlos	14.81	0.213	1	22	1.49	7836	0.06	0.53	0.000
Tunuyán	13.27	0.291	2	44	3.17	1033	0.12	0.31	0.000
Tupungato	23.33	0.275	4	88	4.7	199	0.19	0.31	0.000
Vista Flores	22.2	0.304	7	154	6.07	141	0.24	0.58	0.000
General	19.35	0.304	48	1059	5.29	222	0.21	0.36	0.000

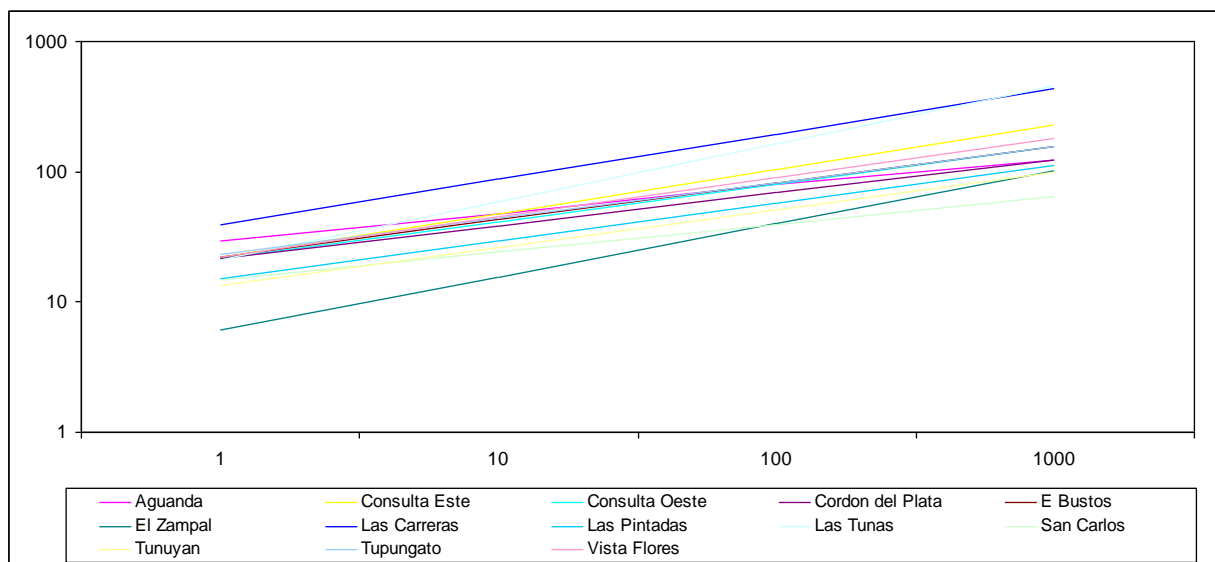


Figura 2: Curvas de infiltración características de las unidades de suelos del área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior.

Avance

La siguiente ecuación representa la curva de avance para toda la zona regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior.

$$x = p.t^r = 9,94.t^{0,55}$$

La misma ecuación resulta del ajuste de 1.459 pares de datos provenientes de los ensayos de avance en cada una de las propiedades evaluadas.

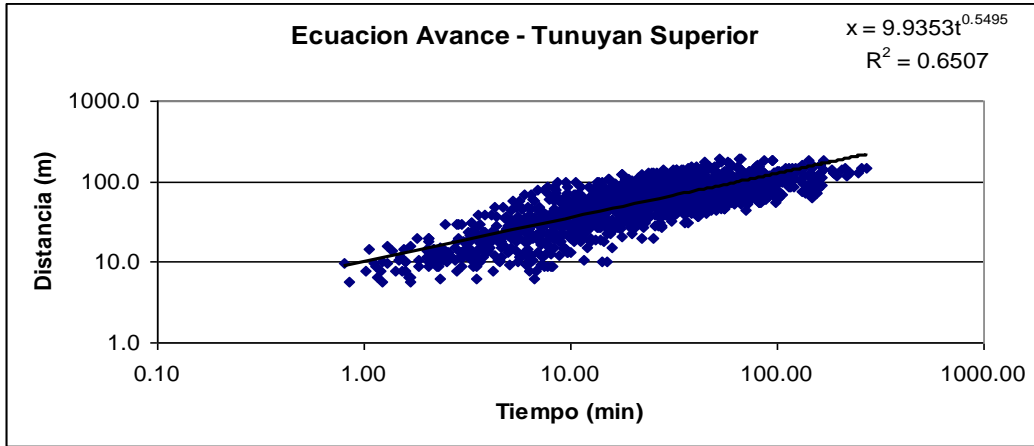


Figura 3: Distancia avanzada por el frente de agua para distintos tiempo en el área irrigada por el río Tunuyán Superior.

Los cuadros 4 y 5 muestran los parámetros de la ecuación de avance para el área bajo estudio, según las ecuaciones:

$$x = p.t^r \tag{1}$$

$$x = u.q^s .t^r \tag{2}$$

Los parámetros fueron calculados sobre la base de 1.459 pares de datos (922 para surcos con desagüe, 150 para surcos sin desagüe, 210 para melgas con desagüe y 150 para melgas sin desagüe). Se observa en los cuadros 4 y 5 que las diferentes ecuaciones de avance del frente de agua no presentan diferencias importantes.

Cuadro 4: Estimación de parámetros de avance “p” y “r” según ecuación (1) para el frente de agua en función del método de riego para el área irrigada de la cuenca del río Tunuyán Superior.

Método de riego	n	p	r	R ²	P
Sc/D	922	9.90	0.60	0.67	P<0.000
Ss/D	150	8.17	0.56	0.79	P<0.000
Mc/D	210	9.86	0.61	0.86	P<0.000
Ms/D	150	5.57	0.58	0.80	P<0.000
Con desagüe	1132	9.96	0.58	0.67	P<0.000
Sin desagüe	300	7.49	0.55	0.76	P<0.000

Cuadro 5: Estimación de parámetros de avance “u”, “s” y “r” según ecuación (2) para el frente de agua en función del método de riego para el área irrigada de la cuenca del río Tunuyán Superior.

Método de riego	n	u	s	r	R ²	P
Sc/D	922	10.10	0.12	0.59	0.68	P<0.000
Ss/D	150	7.02	0.44	0.59	0.81	P<0.000
Mc/D	210	6.46	0.48	0.64	0.83	P<0.000
Ms/D	150	4.98	0.23	0.62	0.86	P<0.000
Con desagüe	1132	10.19	0.15	0.58	0.68	P<0.000
Sin desagüe	300	6.62	0.30	0.57	0.80	P<0.000

Caudal de manejo y unitario

El cuadro 6 muestra los resultados obtenidos de los valores medios y la desviación estándar referida a los caudales de manejo y unitario, caracterizados por zona de manejo, estación, cultivo y método de riego.

Cuadro 6: Valores medios y desviación estándar del caudal de manejo (Qm) y unitario (qu) según zona de manejo y método de riego para la cuenca irrigada del río Tunuyán Superior.

VARIABLES		n	CAUDALES			
			Qm (L s ⁻¹)		qu (L s ⁻¹ o L s ⁻¹ m ⁻¹)	
			Media	S	Media	S
Zona de Manejo	Centro Norte	17	53.6 a	17	--	--
	Centro Sur	12	46.6 a	13	--	--
	Norte	9	34.1 a	17	--	--
	Sur	10	78.7 b	31	--	--
Estación	Otoño	17	45.5 a	24	0.88 a	0.42
	Primavera	17	57.9 a	23	1.53 a	1.91
	Verano	14	57.8 a	26	1.34 a	0.83
Cultivo	Frutícola	35	49.7 a	23	1.46 a	1.39
	Hortícola	13	63.5 a	27	0.67 b	0.43
Método de Riego	c/D	38	52.6 a	25	1.04 a	0.60
	s/D	10	56.6 a	22	1.05 a	0.34
Total		48	53.4	24	1.24	1.25

Respecto al caudal de manejo (Qm), existen diferencias significativas únicamente en función de la zona de manejo, siendo la zona sur la que presenta mayores valores, no existen diferencias significativas entre las zonas centro norte, centro sur y norte. No se observan diferencias significativas para el resto de los factores considerados: estación, cultivo, método de riego.

Respecto al caudal unitario (qu), solamente se observa una diferencia significativa según tipo de cultivo, siendo en los cultivos hortícolas, menor que para el caso de cultivos frutícolas. Para el resto de los factores considerados no se observan diferencias significativas.

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

El cuadro 7 presenta los valores medios y la desviación estándar respecto a la pendiente longitudinal y tiempos de aplicación de la unidad de riego evaluada, como así también número de surcos o melgas regadas en forma simultánea con el turno de riego recibido en función de los factores: cultivo y métodos de riego.

Cuadro 7: Valores medio y desviación estándar referidos a la pendiente longitudinal, tiempo de aplicación y número de surcos y melgas evaluados simultáneamente para el área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior.

VARIABLES		n	S (m m ⁻¹)		Tap (min)		N surco o melgas	
			Media	S	Media	S	Media	S
Cultivo	Frutícola	35	0.0082 a	0.0078	422 a	579	36 b	37
	Hortícola	13	0.0064 a	0.0031	425 a	409	121 a	64
Método de Riego	c/D	38	0.0087 a	0.0072	422 a	379	69 a	63
	s/D	10	0.0042 b	0.0039	150.6 b	71	25 b	15

Respecto a la pendiente longitudinal de la parcela evaluada, del análisis estadístico de los datos surge que existe diferencia significativa entre el método de riego, siendo mayor, para los métodos con desagüe al pie.

Respecto a los tiempos de aplicación por método de riego, se observan diferencias significativas. Los mayores valores de tiempos de aplicación se observan en los métodos de riego con desagüe al pie de la parcela, mientras que los métodos de riego sin desagüe presentan los valores más bajos respecto al tiempo de aplicación.

Respecto del número de surcos o melgas regados en forma simultánea, surge que existen diferencias estadísticas significativas respecto al factor cultivo y método de riego, siendo el número de surcos y/o melgas irrigados en forma simultánea, mayor para los cultivos hortícolas y para los métodos de riego con desagüe al pie.

Longitud de surcos y melgas

El cuadro 8 detalla los valores medios y la desviación estándar de la longitud de surcos y melgas evaluados en la zona bajo estudio según, cultivo y método de riego. La longitud se analiza desde dos puntos de vista: longitud de cuartel (Long Cuartel, m), y longitud encadenada (Long Finca, m), que considera la longitud total de todos los cuarteles encadenados al efectuar el riego, principalmente en riegos con desagüe al pie.

Cuadro 8: Valores medios y desviación estándar de la longitud de surcos y melgas según cultivo y método de riego, cuantificada en función del cuartel de riego (Long Cuartel m) y considerando los encadenamiento realizados en el riego para cada caso (Long Finca m).

VARIABLES		n	Long Finca (m)		Long Cuartel (m)	
			Media	S	Media	S
Cultivo	Frutícola	35	156 b	76	123 a	44
	Hortícola	13	217 a	104	124 a	31
Método de Riego	c/D	38	192 a	88	130 a	42
	s/D	10	97 b	22	97 b	22

Considerando la longitud de la unidad de riego en su totalidad, para el factor cultivo se observan diferencias significativas, siendo los cultivos hortícolas aquellos que presentan mayor longitud en la unidad de riego (217 m), ello es debido en gran parte al encadenamiento de riego que se realiza en este tipo de cultivos respecto a los frutícolas. Respecto al método de riego se observa diferencias significativas para la longitud de la unidad de riego, siendo los cultivos con desagüe al pie, aquellos que presentan una mayor longitud en la unidad de riego, ello también responde principalmente al encadenamiento de riego que sobre ellos se realiza.

Considerando la longitud cuartel evaluado, respecto al factor cultivo no se observan diferentes significativas referidas a la longitud de cuartel. Respecto al método de riego se observan diferencias significativas, siendo los métodos de riego con desagüe al pie, aquellos que presentan mayor longitud del cuartel (130 m).

Láminas de Riego

Análisis de láminas de riego

El cuadro 9 detalla los valores medios y la desviación estándar de las láminas de reposición (dn), lámina bruta (db), lámina infiltrada (dinf), lamina escurrida (de), lámina almacenada (dal) y lámina percolada (dper), todas ellas expresadas en mm, agrupadas según estación, tipo de cultivo, y método del riego para la zona bajo riego del río Tunuyán Superior, para cada caso se indica el tamaño de la muestra (n).

Cuadro 9: Lámina de reposición (dn), lámina bruta (db), lámina infiltrada (dinf), lámina escurrida (de), lámina almacenada (dal), y lámina percolada (dper), expresadas en mm, agrupadas según estación, cultivo y método de riego para la zona bajo riego del río Tunuyán Superior

VARIABLES		n	Láminas de Riego (mm)											
			dn		db		dinf		de		dal		dper	
			Media	S	Media	S	Media	S	Media	S	Media	S	Media	S
Estación	Otoño	17	72 a	51	116 a	72	77 a	54	48 a	56	54 a	35	24 a	35
	Primavera	17	59 a	38	105 a	54	78 a	48	32 a	33	55 a	39	23 a	20
	Verano	14	56 a	36	142 a	105	82 a	63	61 a	75	56 a	31	30 a	44

Cultivo	Frutícola	35	75 a	43	121 a	82	72 a	33	42 a	58	64 a	35	20 a	30
	Hortícola	13	30 b	17	117 a	69	49 b	22	58 a	52	29 b	17	23 a	24
Método de riego	c/D	38	--	--	132 a	81	70 a	39	95 a	185	52 a	34	23 a	28
	s/D	10	--	--	64 b	25	64 a	25	0 b	0	63 a	36	22 a	21
Total		48	63	42	153	190	79	54	75	168	55	35	26	33

Respecto a la lámina de reposición (dn) se determina que los cultivos frutícolas necesitan mayores láminas que los cultivos hortícolas (debido al perfil explorado por las raíces), y que no presentan diferencias significativas respecto al período de estudio o estación (invierno-primavera-verano), ello puede estar influenciado por las abundantes lluvias ocurridas en el periodo de verano. No se incluyen en este análisis las láminas netas por método de riego ya que no existe relación entre ambos.

Respecto a la lámina bruta (db) se observa que no presentan diferencias significativas las láminas brutas aplicadas, en función del período estudiado y del cultivo evaluado, se observan diferencias significativas respecto al método de riego empleado, siendo los métodos de riego sin desagüe aquellos que aplican láminas brutas menores.

Respecto a la lámina infiltrada (dinf) no se observan diferencias significativas respecto a los factores estación y método de riego. Se observan diferencias significativas para la lámina infiltrada respecto al factor cultivo, siendo mayor para los cultivos frutícolas que para los cultivos hortícolas.

Respecto a las láminas escurridas al pie de la parcela (de), estas solo se producen en casos de riego en surcos o melgas con desagüe al pie, alcanzando para frutales valores de 90 mm (con desviación estándar de 274 mm), para vid 74 mm (con desviación estándar de 97 mm) y para hortalizas 58 mm (con desviación estándar de 52 mm). No se observa diferencias significativas respecto a los factores estación y cultivo.

Respecto a la lámina almacenada (dal) se observa que los cultivos frutícolas poseen una mayor lámina almacenada respecto a los cultivos hortícolas. No se presenta ninguna diferencia significativa respecto a los demás factores considerados (estación y método de riego).

Respecto a la lámina percolada (dper) no se observan diferencias significativas respecto a los factores considerados (estación, cultivo y método de riego).

DISCUSION

La ecuación de infiltración promedio que caracteriza la cuenca, presenta valores más bajos que los normales para las texturas de suelos predominantes (franco arenosos), clasificándola en la familia de infiltración (F): Lenta (L) a muy lenta (ML), comportándose como suelos de textura “franco arcillosos”, tal comportamiento podría explicarse por lo bajos contenidos de materia orgánica, presencia de capas compactadas, también se ha observado en algunas de las evaluaciones de campo la presencia de capas de caliche que limitan la infiltración del agua en los suelos. Los valores extremos de las

ecuaciones de velocidad de infiltración para las diferentes unidades de suelos caracterizadas por Vallote, R. et al, 2007; toman valores de 22 mm/h para la unidad “Las Tunas”, presentando valores similares que la unidad “Las Carreras” (16 mm/h) y 1,3 mm/h para la unidad “Aguanda”, el resto de las unidades de suelos toma valores promedios cercanos a la infiltración básica promedio de la cuenca bajo estudio (5,3 mm). Ello se explica, porque las evaluaciones realizadas en la unidad “Las Tunas” y unidad “Las Carreras”, presentaron en el perfil de suelo analizado un importante porcentaje de piedras y/o cantos rodados. Respecto a la unidad de suelo “Aguanda”, su comportamiento podría explicarse por la falta de materia orgánica y estructura de los suelos, también en una de las evaluaciones a campo realizadas en esta zona se encontró una capa importante en magnitud de caliche a 50 cm de profundidad.

Respecto a las ecuaciones de avance los valores obtenidos del coeficiente “p” y del exponente “r”, muestran valores normales con aquellos mencionados en literatura nacional e internacional (Morábito, 2003; Walker y Skogerboe 1987).

Respecto a los caudales de manejo, estos resultan ser mayores en la “zona sur” respecto a las demás zonas de manejo. Sus magnitudes son adecuadas para obtener eficiencias de riego aceptables en función de los sistemas de riego mayormente utilizados (con desagüe al pie). Respecto al método de riego no existen diferencias en el caudal de manejo, ello se debe a predominan melgas pequeñas (0,80 a 1 m), lo cual determina que el caudal de manejo no tenga grandes variaciones. Respecto al caudal unitario, sus valores se encuentran dentro de valores normalmente mencionados en bibliografía nacional e internacional (Playán et al 2005; Cuesta et al, 2004; Morábito, 2003). Sus valores sólo presentan diferencia respecto al tipo de cultivo, debido a la conformación de melgas o surcos para conducir el agua.

Respecto a la pendiente longitudinal de la parcela evaluada, concluimos que los métodos de riego con desagüe al pie poseen mayores pendientes longitudinales (0,0087 m/m), respecto a los métodos sin desagüe al pie, donde estos valores se reducen prácticamente a la mitad (0,0042 m/m).

Los mayores tiempos de aplicación se observan en los métodos de riego con desagüe al pie de la parcela (422 min), mientras que los métodos de riego sin desagüe presentan los valores más bajos respecto al tiempo de aplicación (151 min).

La cantidad promedio de surcos y/o melgas regadas en forma simultánea con el turno de riego es mayor para los cultivos hortícolas (121 surcos) que para los cultivos frutícolas (36 melgas y/o surcos), tal comportamiento determina que los métodos de riego con desagüe posean un mayor número de surcos y/o melgas regadas en forma simultánea (69), respecto a los métodos de riego sin desagüe (25).

Respecto a la longitud de la unidad de riego los métodos de riego sin desagüe presentan una menor longitud de cuartel de riego (97 m), respecto a los cuarteles regados por métodos con desagüe al pie (130 m). Si tenemos en cuenta el encadenamiento de

cuarteles efectuados en el riego, los cultivos hortícolas, así como los métodos de riego con desagüe al pie, presentan la mayor longitud de la unidad de riego (217 m, 192 m).

Las láminas de reposición en función de la estación no resultan ser diferentes entre si, aquellas correspondientes a verano están influenciada por las abundantes lluvias producidas en el periodo estival por lo cual no muestra valores normales, que deberían ser superiores a los valores obtenidos en primavera y otoño. Las láminas brutas aplicadas para cada estación no son diferentes entre si, inclusive aquellas de verano, que suelen ser las más elevadas, ello muestra un manejo poco adecuado del riego para la estación verano del ciclo bajo estudio (2007-2008). Las láminas de reposición son mayores en frutales respecto a cultivos hortícolas, ello resulta lógico respecto a la profundidad de suelo explorada por las raíces de los cultivos antes mencionados, el mismo comportamiento se traduce cuando analizamos las láminas almacenadas. Respecto a las láminas aplicadas en función del método de riego, los sistemas de riego con desagüe al pie aplican mayores láminas brutas, debido a su mayor longitud de la unidad de riego y tiempo de aplicación. Para las láminas infiltradas se observan diferencias respecto al tipo de cultivo, siendo mayores para frutales que para hortalizas. Los cultivos hortícolas al ser regados con eficiencias bajas y generalmente en suelos con buen tenor de humedad, logran infiltrar de esta manera láminas mas pequeñas respecto a los frutales, si bien no hay diferencias significativas respecto a las láminas escurridas, tal particularidad produce que en los cultivos hortícolas las láminas escurridas al pie sean mayores que para los cultivos frutícolas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a los métodos de riego superficiales utilizados para irrigar los cultivos bajo la cuenca en estudio, predominan los sistemas de riego con desagüe al pie (79%), respecto a los sistemas de riego sin desagüe (21%), predominando los métodos de riego por surcos con desagüe (63%), posteriormente las melgas con desagüe (17 %), finalmente los surcos y melgas sin desagüe (ambos en un 10%).

Las velocidades de infiltración representativas para las unidades de suelo del río Tunuyán Superior, se consideran bajas, alcanzando valores extremos de infiltración básica de 1,3y 22 mm/h que corresponden a las familias de infiltración del SCS-USDA de Muy Lenta (ML) y Moderadamente lenta (Mod. L).

Se determinan ecuaciones de avance del frente de agua que caracteriza el área regadía de la cuenca del río Tunuyán Superior.

Solo se observan caudales de manejo mayores para la zona sur respecto al resto de las restantes zonas de manejo analizadas. Los caudales unitarios son mayores para cultivos frutícolas (1,46 l/s o l/s.m) comparados al de los cultivos hortícolas (0,67 l/s).

Las pendientes de riego como así también los tiempos de aplicación son mayores para los métodos de riego con desagüe al pie (0,0087 m/m, 422 min), respecto a los métodos de riego sin desagüe al pie (0,0042 m/m, 151 min).

El número promedio de surcos y/o melgas bajo riego con el agua recibida en cada turnado es mayor para los cultivos hortícolas (121 surcos), respecto a los cultivos frutícolas (36 surcos y/melgas). Los métodos de riego con desagüe posean un mayor número de surcos y/o melgas regadas en forma simultánea (69), respecto a lo métodos de riego sin desagüe (25).

Los métodos de riego con desagüe al pie presentan las mayores longitudes de cuarteles de riego (130 m). La longitud de la unidad de riego, considerando el encadenamiento de riego es mayor para los cultivos hortícolas y para los métodos de riego con desagüe al pie (217 m, 192 m). El 40% de los casos analizados presentó encadenamientos de cuarteles en su operación.

Las láminas de riego promedio para la lámina de reposición (dr), bruta (db), infiltrada (dinf), escurrida (de), almacenada (dal) y percolada (dper), son 63 mm, 153 mm, 79 mm, 75 mm, 55 mm, 26 mm respectivamente. Los métodos de riego con desagüe al pie logran aplicar láminas brutas mayores (132 mm) respecto a los sistemas de riego sin desagüe al pie (64 mm). Las láminas infiltradas para los cultivos frutícolas son mayores (72 mm) que para los cultivos hortícolas (49 mm).

Esta primera etapa del estudio, ha permitido obtener la caracterización integral de los principales parámetros físicos del riego por superficie de la zona bajo riego de la cuenca del río Tunuyán Superior. Tales estudios permitirán en una segunda etapa de análisis, caracterizar adecuadamente las eficiencias o requerimientos de riego actuales y potenciales (Morábito, 2003; Pereira, 1999; Burt et al, 1997; Walker y Skogerboe, 1987; Roscher, 1985; Bos y Nugteren, 1982; Chambouleyron et al, 1982; Merriam y Keller 1978), que harán posible detectar los principales problemas y soluciones para optimizar de forma general el manejo del agua dentro de las propiedades agrícolas bajo la cuenca irrigada del río Tunuyán Superior.

8. BIBLIOGRAFIA

- ASAE Standars** (2000) *“Evaluation of irrigation furrows”*. American Society of Agricultural Engineering EP419.1. USA, p893 – 898.
- Bautista, E.; Schlegel, J.L.; Strelkoff, T.; Clemmens, A.J.** (2007) *“Simulation, design and evaluation of surface irrigation systems with winsrfr”*. Meeting Proceedings. p. 395-408. United States Department of Agriculture.
- Bos, M; and Nugteren J.** (1982) *“On irrigation efficiencies”*. Publication 19 ILRI. The Netherlands.
- Burt, C.M.; Clemmens, A.J.; Strelkoff, T.S.; Solomon, K.H.; Bliesner, R.D.; Hardy, L.A.; Howell, T.A.; and Eisenhauer, D.E** (1997) *“Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity”*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 123(6):423-442.
- 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.
- Chambouleyron J. y Morábito J.** (1982) *“Evaluación del riego en fincas”*. INCyTH-CRA, Mendoza.
- Cuesta, T.; Neira, X.; Alvarez, C.; Cancela, J.** (2004) *“Evaluation of water-use in traditional irrigation. An application to the Lemos Valley irrigation district, northwest of Spain”*. Agricultural water Management 73 (2005) 223-245.
- DGI** (2004) *“Plan Director de la cuenca del Río Tunuyán”*. Departamento General de Irrigación, Mendoza.

- Femenía, A. y Mustoni, N.** (2009) “*Usos del suelo mediante interpretación visual de imágenes de alta resolución*”. Publicación Interna. Departamento General de Irrigación, Mendoza.
- Grassi, C. J.** (1998) “*Fundamentos del Riego*”. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Mérida, Venezuela.
- Hernandez, J. y Martinis, N.** (2008) “*Particularidades de las cuencas hidrogeológicas con fines de riego en la provincial de Mendoza*”. IV Jornadas de Riego y Fertirriego, 4 y 5 de Diciembre de 2008, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- INDEC** (2002) “*Censo Nacional Agropecuario 2002*”. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Gobierno de la República Argentina (www.indec.gov.ar).
- Kostiakov, A.N.** (1932) “*On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration*”. VI Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, Paris, Francia.
- Merriam, J. and Keller j.** (1978) “*Farm Irrigation System Evaluation. A guide for management. Department of Agriculture and Irrigation Engineering*”. Utha State University, Logan, Utha, USA.
- Morabito, J.** (2003) “*Desempeño del riego por superficie en el área de riego del rio Mendoza. Eficiencia actual y Potencial*”. Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis de Maestría.
- Playán, E.; Lecina, S.; Isidoro, D.; Dechmi, F.; Causapé, J.; Faci, J.M;** 2005. “*Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District V of Bardenas (Spain)*”. *Agricultural Water Management* 73 (2005) 223-245.
- Pereira, L.** (1999) “*Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion*”. *Agricultural Water Management* 40 (1999) 153-169.
- Salatino, S; Bagini, R.; Satlari, G; Morábito, J.** (1995) “*Parámetros y eficiencia de riego en el área de influencia del Arroyo Claro en Tunuyán, Mendoza*”. Instituto Nacional del Agua, Departamento General de Irrigación e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Reyen, J.; Zerihun, D.** (1999) “*Assessment of the performance of border and furrow irrigation systems an the relationship between performance indicators and system variables*”. *Agricultural Water Management*, 40 (1999) 353-362.
- Roscher, K.** (1985) “*Surface Irrigation. Characteristics, design and performance. Department of irrigation and civil engineering*”. Agricultural University, Wageningen. The Netherlands.
- Strelkoff, T.S.; Clemmens, A.J.; and Schmidt B.V.** (1998) “*SRFR, Version 3.31 – A model for simulating surface irrigation in borders, basins and furrows*”. USWCL, USDA/ARS, 4331 E. Broadway, Phoenix, AZ.
- USDA** (2009) “*WinSRFR 3.1 User Manual*”. U.S Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Arid Land Agricultural Research Center.
- Vallone, R.; Maffei, J.; Morábito, J.; Mastroantonio, L.; Lipinski, V.; Filippini, F.; Olmedo, F.** (2007) “*Mapa utilitario de suelos y riesgo de contaminación edáfica en los oasis irrigados de la provincia de Mendoza*”. Jornadas de Investigación en Recursos Hídricos, 27 de septiembre de 2007, Espacio para la Ciencias y Tecnología, Mendoza. (2009 en prensa).
- Walker, R.** (1993) SIRMOD: “*Surface Irrigation Simulation Software*”. *Biological and Irrigation Engineering Department*”. Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Walker, R. and Skogerboe** (1987) “*Surface Irrigation Theory and Practice*”. Utah State University, Prentice – Hall.
- Walker, R.; Prestwich, C.; Spofford, T** (2006) “*Development of revised USDA-NRCS intake families for surface irrigation*”. *Agricultural Water Management* 85 (2006) 157-164.