

Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo

Drip irrigation in Mendoza, Argentina: evaluation of irrigation uniformity and of the increment of salinity, sodicity and chloride ion in the soil

Carolina Fontela ¹

José Morábito ^{1,2}

José Maffei ²

Santa Salatino ¹

Carlos Mirábile ¹

Leandro Mastrantonio ²

Originales: Recepción: 17/02/2009 - Aceptación: 14/04/2009

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto evaluar la uniformidad del riego por goteo en las zonas de regadío de las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán (zonas Alta y Baja), de la provincia de Mendoza, Argentina. Las evaluaciones -en 17 propiedades- permitieron determinar: coeficientes de uniformidad, salinidad del agua de riego y del suelo en cabeza, medio y pie de la subunidad de riego, y en el bulbo húmedo e interfilas en dos estratos del perfil del suelo (0,10-0,30 m y 0,30-0,50 m). Se determinó, además, la textura del suelo y su posible relación con los niveles de salinidad de la rizósfera. Se estimó que el 18% de las subunidades de riego evaluadas presentan un coeficiente de uniformidad por debajo del rango recomendable y que en el 94% de las propiedades existen diferencias significativas entre caudales medios registrados entre subunidades y entre sectores de operación de riego. Se encontraron diferencias significativas en la salinidad del extracto de saturación, en la sodicidad y en la concentración del anión cloruro, al comparar el suelo extraído del bulbo de mojado respecto del interfilas. Asimismo, los resultados muestran que no existen diferencias significativas de esas variables en las distintas profundidades de suelo analizadas. El aumento

ABSTRACT

This paper aims at assessing performance of drip irrigation in irrigated areas of the Mendoza and Tunuyán river basins in the Province of Mendoza, Argentina. Assessments in 17 properties made it possible to determine uniformity coefficients, irrigation water salinity and soil salinity at the head, center and tail of the irrigation unit, in the wet bulb and in the spacing between laterals in two layers of the soil profile (0.10-0.30 m and 0.30-0.50 m). Soil texture and its possible relation with salinity levels measured in the rhizosphere were also determined. The uniformity coefficient in 18% of the irrigation subunits was below the recommended range and significant differences were observed in 94% of the properties between mean flows in irrigation subunits and operational sectors. When soil extracted from the bulb was compared with soil extracted from the spacing between laterals, significant differences were found in salinity of the soil saturation extract, in sodium content and in chloride anion content. No differences in the above variables were found at different soil depths. Increase in salinity levels was due to: sampling location (bulb or spacing between laterals), irrigation water quality, and soil

1 Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (INA-CRA). Belgrano Oeste 210. Mendoza. Argentina. M5500FIF.

2 Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. jmorabito@fca.uncu.edu.ar

de la salinidad resultó en función del lugar de muestreo (bulbo o interfilar), la calidad del agua de riego y la textura del suelo. La variación de sodicidad, en cambio, dependió del lugar de muestreo (bulbo o interfilar) y del contenido de bicarbonatos en el suelo. Los resultados indican la importancia de realizar evaluaciones rutinarias del comportamiento de los sistemas de riego en términos de uniformidad y salinización inducida.

texture. Variations in sodium content, on the other hand, depended on sampling location (bulb or spacing between laterals) and bicarbonate content in the soil. Results show that routine assessments of uniformity of irrigation systems and irrigation-induced-salinization should be carried out.

Palabras clave

riego localizado • sistemas de riego • evaluación • mantenimiento

Keywords

localized irrigation • irrigation systems • assessments • maintenance

INTRODUCCIÓN

En 1993 se reportaban en la provincia de Mendoza, Argentina, aproximadamente 400 ha con sistemas de riego presurizado (25), la mayoría establecidos en parcelas con cultivos perennes, principalmente viñedos y frutales (duraznero, ciruelo, damasco, cerezo, etc.). En 1997, la superficie bajo riego presurizado en Mendoza creció significativamente como consecuencia de que 1996 fue un año hidrológico seco: hubo incentivos fiscales provinciales y difusión de experiencias exitosas en provincias vecinas (17). Actualmente se estima una superficie de regadío de 270000 ha de las cuales se encuentran abastecidas con riego localizado, principalmente goteo, cerca del 8% (13). La demanda de productos agrícolas argentinos se ha incrementado en la última década debido a la reactivación mundial del mercado de vinos finos, a la apertura del comercio a través del MERCOSUR y a la promoción de las exportaciones agropecuarias argentinas en otros bloques comerciales del mundo. En este contexto el riego localizado en la provincia de Mendoza es una pieza muy importante del "paquete" tecnológico necesario para obtener rendimientos competitivos, en calidad y cantidad.

La adopción de nuevos sistemas de riego requiere inversiones significativas y habilidades especializadas de los agricultores que obligan además a elaborar estrategias modernas de entrega de agua a los usuarios, con caudales más reducidos y con mayor frecuencia de riegos. Aunque la inversión de los equipos presurizados varía sustancialmente de acuerdo con el cultivo y el sistema, implementar el riego por goteo para las condiciones de Mendoza estaría -actualmente- en el orden de 1400 USD/ha para frutales y 2500 USD/ha para vid.

En la provincia de Mendoza se han realizado evaluaciones dispersas de sistemas de riego localizado. Los resultados reportan bajos coeficientes de uniformidad, altos consumos energéticos (expresados como HP/ha) y problemas de salinización de los suelos. Esto evidencia una sub-utilización del potencial tecnológico instalado y un ineficiente uso del recurso económico que ponen a prueba la sustentabilidad de la unidad productiva. Chambouleyron *et al.* (8) realizaron una evaluación general sobre

sistemas de riego presurizado en diferentes cultivos, en el oeste semiárido de Argentina, en la que se evaluaron diferentes parámetros. En el estudio se resalta el bajo coeficiente de uniformidad (en varios casos inferior al 70%) de los distintos sistemas así como los elevados consumos energéticos (1,6 a 4,6 HP/ha) y se evidencia una tendencia general a la subutilización del potencial tecnológico asociado al riego presurizado.

Los métodos de riego localizado permiten la aplicación de caudales controlados, asegurando un mejor acoplamiento de la aplicación del riego con las necesidades hídricas de los cultivos. En el caso de la vid permite un mejor manejo del estrés hídrico, a partir del cual se logran intensificar las características varietales deseables del producto final (aroma y color). Dichos sistemas generan un bulbo húmedo -lo más deseable en torno a la zona radical del cultivo- que constituye la reserva de agua aprovechable por la planta. Por condiciones de flujo de una fuente puntual (localizada) existe una acumulación de las sales hacia la periferia del bulbo húmedo que -en algunos casos- podrían concentrarse a niveles detrimentales para el cultivo. El proceso de salinización de los suelos afecta la productividad de los cultivos por lo que se requiere una operación y mantenimiento eficiente de los sistemas de riego con un monitoreo permanente de parámetros e indicadores del estado hídrico y químico de la zona radical.

La distribución de las sales bajo riego localizado ha sido estudiada por varios autores. Nijensohn (18) menciona la importancia del riego por goteo, con espaciamiento de emisores en función del cultivo, desarrollo, edad y estado general, al permitir la producción agrícola en suelos salinos. Recalca además que en condiciones de aridez el proceso de desalinización se presenta únicamente en un área cercana a la planta bajo los goteros, mientras que la salinidad original del suelo se mantiene y puede aumentar aun en los espacios interfilares, ello implica una amenaza permanente para los cultivos y una barrera química para la extensión del sistema radical. Gornat (12) sostiene que el uso continuo de sistemas de riego genera una acumulación salina en profundidad, lo que podría traer aparejado -a mediano plazo- un casi seguro deterioro de las condiciones físico-químicas del suelo.

Castro (7), en ensayos realizados en San Juan (Argentina), en vid regada por goteo, comprobó que la salinidad promedio del bulbo aumentó de 1,95 a 2,86 dS.m⁻¹ en el primer año y de 2,07 a 3,24 dS.m⁻¹ en el segundo año; recomendó la aplicación de una lámina de lavado para evitar la salinización del bulbo. Suponer que el volumen mojado tiene una forma semi-esférica o esférica no es exacto, ya que ésta más bien responde a una situación particular que debería ser analizada en cada caso (20). Chambouleyron *et al.* (9), en estudios realizados en riego por goteo en la zona alta del río Mendoza, midieron -en el interior del bulbo- valores de conductividad eléctrica de 3 a 4 dS.m⁻¹, salinidad que podría causar disminución en la producción sin llegar a provocar una intoxicación. En el estudio se reportan además acumulaciones salinas muy elevadas (20 a 25 dS.m⁻¹) en la periferia del bulbo, las que -frente a un deficiente manejo del riego o como consecuencia de lluvias ligeras- podrían emigrar al interior del mismo y poner en peligro el cultivo. En dicho trabajo se determinó que la calidad del agua de riego tiene un papel muy importante en la salinización del perfil, ya que no hubo aumento de la salinidad en el interior de los bulbos en viñedos regados con agua de baja salinidad total (conductividad eléctrica de 0,5 dS.m⁻¹).

Burt *et al.* (5) estandarizaron definiciones de indicadores de desempeño para calificar el uso del agua en todos los sistemas de riego y demostraron que el manejo de riego (tiempo de aplicación y presión en cabecera de la unidad de riego) influye en los resultados: coeficientes de rendimiento de aplicación del riego (Ra) -parámetro que coincide con la uniformidad de distribución (UD) si la lámina requerida por el cultivo es igual a la obtenida en el 25% de los goteros de menor caudal. En el trabajo se menciona también la importancia de determinar los coeficientes de déficit y de percolación profunda. Más específicamente, Burt (4), en su evaluación rápida de la uniformidad de distribución (DU) global sobre 260 fincas de California central, presentó los procedimientos de campo y las fórmulas utilizadas; los componentes de la DU incluyen las diferencias de presión, otras causas (variación de fabricación, obturaciones y desgaste), el drenaje natural y las variaciones de espaciamiento entre emisores. En el trabajo se consignan valores medios de UD para el cuarto más perjudicado (UD_{iq}): 0,85 para goteo y 0,80 para microaspersión.

Aunque existe evidencia del bajo desempeño de los sistemas de riego por goteo en zonas áridas, la mayoría de los estudios son puntuales y no cubren grandes áreas de riego. Para conocer la sustentabilidad de los sistemas de riego es cada vez más necesario tener estudios sobre el comportamiento de los mismos bajo diferentes escenarios de manejo.

Objetivo

Evaluar la uniformidad del riego y la salinidad de los suelos, así como caracterizar la situación actual de los sistemas de riego por goteo en viñedos para vinificación existentes en las áreas de regadío de los ríos Mendoza y Tunuyán (Oasis* Norte y Centro) de la provincia de Mendoza, Argentina, identificados con los números 1 y 6 de la figura 1.

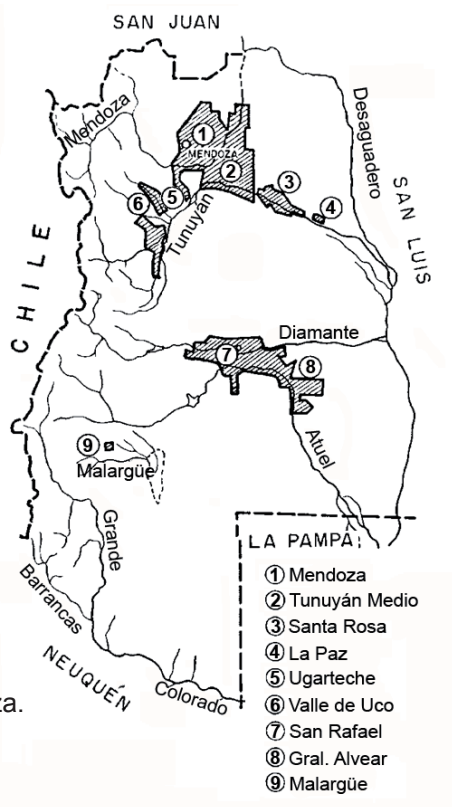


Figura 1.
Áreas de regadío de la Provincia de Mendoza.

Figure 1.
Irrigated areas in the Province of Mendoza.

* En Mendoza, las zonas áridas y semiáridas regadías se llaman oasis.

MATERIALES Y MÉTODOS

La provincia de Mendoza está situada en el centro oeste del país y pertenece a la región de Cuyo. Posee la mayor superficie bajo riego de Argentina (aproximadamente 270000 ha), aunque representa sólo el 4,2% (150839 km²) de la superficie total del país, con un territorio totalmente desértico situado a los 33° de latitud sur, limitando con Chile al Oeste a través de la Cordillera de Los Andes. Su clima es árido, con un promedio anual de precipitación de 190 mm de lluvias estacionales concentradas de septiembre a febrero, con precipitación nival de junio a septiembre (en la región cordillerana), con un reducido porcentaje de humedad relativa (59%) y alta heliofanía.

En los Andes Centrales nacen los cinco ríos que atraviesan el territorio provincial de Oeste a Este, con módulos que no superan los 50 m³.s⁻¹. Dichos ríos son la fuente de abastecimiento de los oasis de la provincia, en cuyos márgenes se concentra toda la actividad y el desarrollo agroindustrial. Los ríos más importantes son el Mendoza y el Tunuyán.

En las márgenes del río Mendoza se asienta una importante población (800000 habitantes) y se ha construido la "Presa Potrerillos" que permite su total regulación. El río Tunuyán, por su parte comprende -desde el punto de vista administrativo- dos cuencas: la superior y la inferior, ambas divididas por el dique de embalse "El Carrizal".

El río Mendoza y el río Tunuyán Inferior conforman el denominado Oasis Norte y el río Tunuyán Superior el Oasis Centro. En la zona "alta" del Oasis Norte de la provincia de Mendoza (Departamentos Maipú y Luján de Cuyo) los suelos son aluviales, profundos, de textura media a pesada, con abundancia de elementos finos (limos) y de mediana fertilidad natural (torrifuventes típicos). En la zona baja del oasis (Departamentos San Martín, Rivadavia, Junín y Lavalle), los suelos son también aluviales aunque mucho más heterogéneos, estratificados, de textura media a gruesa (francoarenosa) con presencia de estratos de baja velocidad de infiltración y un poco más pobres, especialmente en fósforo y nitrógeno (24).

El área cultivada de la provincia de Mendoza ocupa alrededor del 4% de su superficie y los cultivos principales son: vid (142879 ha); frutales, principalmente duraznero, ciruelo, manzano, peral, damasco y nogal (66784 ha); hortalizas, tomate, papa, ajo, cebolla, zapallo y zanahoria (40368 ha); olivos (8327 ha) y otros (46312 ha). De la totalidad de la superficie provincial cultivada con vid, un 98% corresponde a uva para vinificar (el 70% de la superficie cultivada en el país).

Predomina el riego por escurrimiento superficial, en surcos o melgas rectas, nivelados a cero (sin pendiente en el sentido del riego) y sin desagüe al pie en las zonas medias y bajas. En la zona alta el agua se aplica con pendiente y desagüe al pie, aunque en los últimos diez años se ha incrementado notablemente el uso de los sistemas presurizados localizados (goteo) pudiendo estimarse en la actualidad más de 21000 ha.

Dado que la zona de estudio es clasificada como árida, los aportes de la lluvia son limitados y no alcanzan para lavar las sales acumuladas en el suelo, siempre se

está ante riesgos potenciales de salinización. El peligro salino en la provincia es amonorado por la buena calidad del agua de riego y la solución de suelo (altos contenidos de bicarbonatos y sulfatos de calcio), producto de la meteorización de los minerales constituyentes de los mismos.

En las evaluaciones de los sistemas de riego presurizado se trabajó con una muestra de 17 fincas cuyos viñedos eran regados por goteo, considerando diferentes características de manejo, tipo de fuente de abastecimiento, tamaño y antigüedad del cultivo, ubicadas en las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán (zonas Alta y Baja), en los departamentos Tupungato, Tunuyán, Maipú, San Martín, Junín, Rivadavia, Santa Rosa y Lavalle. Del total de propiedades evaluadas, 8 se encuentran ubicadas en la zona Alta y 9 en la zona Baja.

Previamente a la evaluación de campo se elaboró un cuestionario para el llenado de información durante la visita a cada finca. Dicho cuestionario establecía tres tipos de información: datos generales de la finca y del sistema, datos hidráulicos del equipo (caudales - presiones) y datos fisicoquímicos de los suelos y del agua de riego. La visita a cada explotación agrícola seleccionada consistía en el llenado del cuestionario como resultado de las entrevistas a los responsables de la operación del riego, en la medición de las variables hidráulicas de interés y en la toma de muestras de suelo a distintas profundidades, en el sector evaluado. El cuestionario también contenía diferentes preguntas relacionadas con el cultivo y su manejo, el diseño del sistema de riego, la operación del riego en la finca y el mantenimiento del equipo. Además, se incorporaron al mismo los comentarios generales de los responsables del manejo de los sistemas.

En cada propiedad se efectuaron mediciones de caudales en dos sectores (u operaciones) de riego y en, por lo menos, dos subunidades por sector de operación (figura 2).

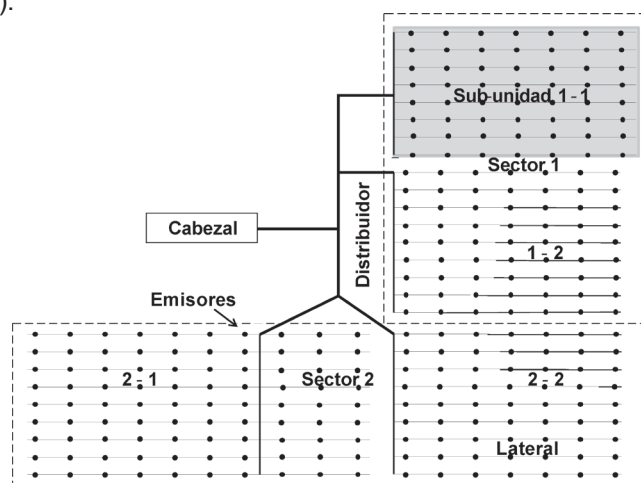


Figura 2. Esquema de un sistema de riego localizado.

Figure 2. A trickle irrigation system.

Los sectores y subunidades de riego seleccionadas corresponden a aquellas ubicadas a menor y mayor distancia respecto del cabezal del sistema de riego, con el objetivo de evaluar la situación de riego más y menos favorable, respectivamente (caso de terrenos planos o levemente inclinados). Para establecer los puntos de medición, en cada subunidad de riego se midieron cuatro laterales de riego: el primero y el último y los que correspondían a 1/3 y 2/3 del ancho de la subunidad evaluada. A su vez cada lateral fue dividido imaginariamente en cuatro secciones (inicio, 1/3, 2/3 y final). En cada sección se eligió el "claro" (plantas incluidas entre dos postes sucesivos del sistema de conducción del viñedo) ubicado en el centro y, dentro del mismo, el primer y segundo gotero ubicados luego de la segunda planta. Se midió el caudal erogado en 8 goteros por lateral de riego, totalizando 32 goteros por subunidad de riego y 128 por finca evaluada. Para complementar los datos de caudales, se midieron las presiones al inicio de cada subunidad y al final de cada lateral evaluado.

Como última actividad se extrajeron muestras de suelo a lo largo de un lateral de riego representativo de la propiedad para lo que se abrieron calicatas en tres sitios del lateral elegido (inicio, medio y final). En cada sitio, se muestrearon dos ubicaciones (bulbo húmedo e interfilar) a dos profundidades 10-30 cm y 30-50 cm desde la superficie, totalizando cuatro muestras por sitio y doce en total (figura 3). Complementariamente se tomó una muestra del agua de riego. Las muestras de agua y suelo fueron analizadas en laboratorio obteniéndose textura por el método del volumen de sedimentación (VS) (19), valores de salinidad del suelo medida como conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) y aniones y cationes de la solución del suelo. Además se calculó la relación adsorción de sodio (RAS).

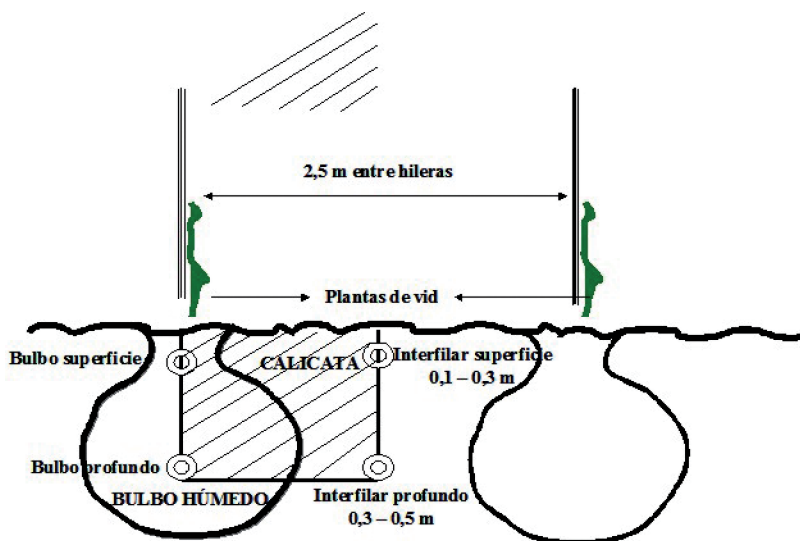


Figura 3. Sitios de extracción de muestras de suelo (adaptada de Chambouleyron *et al.*, 10).

Figure 3. Soil sampling sites (adapted from Chambouleyron *et al.*, 10).

Análisis estadístico

Se analizaron los caudales erogados por los emisores evaluados y los resultados de las variables indicadoras de salinidad, sodicidad y contenido de cloruros de las muestras de suelo obtenidas.

El análisis estadístico para determinar diferencias entre caudales erogados en los sectores de operación y subunidades de riego de cada finca fue realizado utilizando el programa estadístico Statgraphics. Para el mismo se efectuó primeramente un análisis descriptivo de los caudales, y luego se aplicó análisis de la varianza de efectos fijos y la prueba de Kruskal-Wallis en el caso de violación del supuesto de normalidad de los errores. La variable respuesta es el caudal y las explicativas los sectores y subunidades de riego.

Hipótesis del ADEVA:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t & \quad \text{Todas las medias son iguales.} \\ H_1: \mu_i \neq \mu_k & \quad \text{Al menos una de las medias es distinta del resto.} \end{aligned}$$

Se considera un $\alpha = 0,05$.

Hipótesis de Kruskal-Wallis:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t & \quad \text{Todas las medianas son iguales.} \\ H_1: \mu_i \neq \mu_k & \quad \text{Al menos una de las medianas es distinta del resto.} \end{aligned}$$

Se considera un $\alpha = 0,05$.

Con respecto a los análisis de suelo, se calculó la media aritmética y la desviación estándar de las variables edáficas indicadoras de salinidad-sodicidad, para cada profundidad de muestreo y ubicación respecto del gotero. Además se elaboraron diagramas de caja para esas variables respuesta, respecto de cada uno de los niveles del factor "ubicación".

Se aplicó análisis de la varianza de efectos fijos, considerando la ubicación y la profundidad de muestreo como variables explicativas, y como variables respuesta: CE, RAS y concentración de cloruros.

Hipótesis:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_t & \quad \text{Todas las medias son iguales.} \\ H_1: \mu_i \neq \mu_k & \quad \text{Al menos una de las medias es distinta del resto.} \end{aligned}$$

Se considera un $\alpha = 0,05$.

Finalmente se aplicó análisis de regresión lineal simple y múltiple entre las variables analizadas anteriormente y otras que explicarían la variabilidad de salinidad y sodicidad edáficas, como textura, salinidad y concentración de cloruros del agua de riego.

Análisis de la información

Para evaluar el desempeño de los sistemas de riego se utilizaron dos indicadores: el coeficiente de uniformidad (CU) y el coeficiente de variación total (CV_t).

Para determinar la uniformidad de riego de un sistema se calcula -generalmente- el coeficiente de uniformidad (CU). Para ello existen varias ecuaciones propuestas por diferentes autores. No obstante, para riego por goteo, la versión más utilizada, Merriam & Keller (16), es una modificación de la ecuación obtenida originalmente para riego por aspersión por Christiansen (11).

$$CU = 100 \left(1 - \frac{\sum |z - m|}{\sum z} \right)$$

donde:

CU = coeficiente de uniformidad

z = caudal individual de cada emisor medido

m = caudal medio de los emisores medidos

El CU es función de factores constructivos, térmicos, hidráulicos, de envejecimiento y obturaciones, por lo que es usado tanto para evaluar nuevos sistemas como para el seguimiento del funcionamiento de sistemas ya instalados. El taponamiento de emisores es uno de los problemas más importantes de los sistemas de riego por goteo (15) ya que disminuye el CU y en consecuencia la eficiencia de aplicación de los sistemas. Es difícil y costoso detectar y limpiar o reemplazar emisores obturados (6). Los valores de CU recomendados (21) para climas áridos, terrenos con pendiente uniforme menor a 2%, donde los emisores se ubican espaciados a menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes, oscilan entre 0,85-0,90. Para cultivos permanentes o semipermanentes, de zonas áridas y pendiente uniforme u ondulada mayor al 2% el rango recomendado de CU es 0,80-0,90.

Se usó también el coeficiente de variación total de caudales (CV_t) propuesto por Bralts & Kesner (3) y mencionado como CV por Keller (14) quien prefiere usar el coeficiente de variación de volúmenes de agua como medida de la uniformidad, para una evaluación pos instalación, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$CV_t = \frac{\sigma_q}{q_a} * 100$$

donde:

CV_t = coeficiente de variación total de caudales

σ_q = desviación típica de los caudales medidos

q_a = caudal medio de los caudales medidos de los emisores

La tabla 1 presenta una clasificación de la uniformidad en función del valor del coeficiente de variación total de caudales (CV_t) según Bralts y Kesner (3).

CV_t	Uniformidad
> 0,4	Inaceptable
0,4 - 0,3	Baja
0,3 - 0,2	Aceptable
0,2 - 0,1	Muy Buena
0,1 - 0	Excelente

Tabla 1.

Clasificación de la uniformidad de riego en función del CV_t (Bralts & Kesner, 3).

Table 1.

Classification of irrigation uniformity according to the CV_t (Bralts & Kesner, 3).

Para estudiar el efecto de la salinidad en la producción agrícola se recurrió a la fórmula de Maas-Hoffman (21). En el caso de la vid se considera que la producción será del 100% cuando la salinidad del extracto de saturación del suelo sea inferior a 1,5 dS.m⁻¹, la producción estará comprendida entre 100 y 90% cuando la salinidad total se encuentre en el rango de 1,5- 2,5 dS.m⁻¹ y será menor al 90% cuando la salinidad sea mayor de 2,5 dS.m⁻¹.

RESULTADOS

Coefficiente de uniformidad

A partir de los caudales de los goteros medidos en cada una de las 17 propiedades seleccionadas en el muestreo (tabla 2) se determinaron 65 valores de coeficientes de variación y de uniformidad correspondientes a cada subunidad evaluada.

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar de caudales erogados por los goteros; coeficiente de variación (CV), calificación del CV y coeficiente de uniformidad (CU) de cada propiedad evaluada.

Table 2. Mean flow and standard deviation of emitters; coefficient of variation (CV), CV classification and uniformity coefficient (CU) in each plot.

Propiedad	Sector	Subunidad	Media (L h ⁻¹)	Desv. Est. (L h ⁻¹)	CV	Calificación del CV	CU %
1	1	1	1,46	0,09	0,0616	E	95
		2	2,18	0,1	0,0459	E	97
		3	2,18	0,12	0,0550	E	95
	2	5	2,02	0,21	0,1040	MB	91
		6	2,29	0,08	0,0349	E	97
2	1	1	3,03	0,21	0,0693	E	93
		2	3,02	0,31	0,1026	MB	91
	4	7	2,65	0,16	0,0604	E	93
		8	2,65	0,15	0,0566	E	95
3	1	1	1,63	0,14	0,0859	E	94
		2	1,74	0,54	0,3103	B	78
4	1	14	1,67	0,16	0,0958	E	91
		29	1,53	0,09	0,0588	E	94
		21	1,42	0,09	0,0634	E	93
	2	25	1,4	0,18	0,1286	MB	87
5	1	1	1,49	0,37	0,2483	A	84
		5	1,54	0,36	0,2338	A	86
	4	4	1,5	0,25	0,1667	MB	87
		8	1,32	0,46	0,3485	B	74
6	1	2	1,87	0,15	0,0802	E	94
		6	1,87	0,14	0,0749	E	94
	3	2	1,79	0,11	0,0615	E	95
		6	1,8	0,17	0,0944	E	92

7	3	1	1,35	0,16	0,1185	MB	90
		3	1,02	0,34	0,3333	B	80
	4	4	1,72	0,15	0,0872	E	93
8	1	20 norte	1,48	0,17	0,1149	MB	91
		20 sur	1,46	0,13	0,0890	E	93
	2	21	1,5	0,14	0,0933	E	94
9	1	1	3,14	1,22	0,3885	B	75
		4	4,26	0,63	0,1479	MB	93
	5	1	4,3	5,69	1,3233	I	51
		4	4,2	0,79	0,1881	MB	92
10	1	1	2,04	0,16	0,0784	E	94
		7	1,36	0,27	0,1985	MB	89
	2	2	1,98	0,19	0,0960	E	92
		7	1,83	0,38	0,2077	A	89
11	1	15	2,06	0,38	0,1845	MB	93
		19	1,49	0,13	0,0872	E	94
	2	14	1,63	0,38	0,2331	A	86
		18	1,62	0,36	0,2222	A	88
12	1	1	2,51	0,16	0,0637	E	95
		6	2,52	0,19	0,0754	E	95
	3	1	2,29	0,43	0,1878	MB	92
		6	2,41	0,11	0,0456	E	96
13	1	1	2,01	0,08	0,0398	E	97
		2	1,59	0,32	0,2013	A	90
	3	3	2,09	0,1	0,0478	E	96
		4	1,84	0,09	0,0489	E	96
14	1	47	2,31	0,27	0,1169	MB	90
		58	2,46	0,28	0,1138	MB	91
	4	49	2,52	0,25	0,0992	E	92
		52	2,45	0,48	0,1959	MB	86
15	1	33	1,59	0,73	0,4591	I	67
		38	1,66	0,68	0,4096	I	71
	2	34	1,86	0,6	0,3226	B	78
		37	1,82	0,47	0,2582	A	85
16	2	1	2,4	0,37	0,1542	MB	86
		6	2,37	0,11	0,0464	E	97
	7	13	1,5	0,31	0,2067	A	89
		14	1,39	0,61	0,4388	I	69
17	2	4	1,6	0,38	0,2375	A	86
		6	1,4	0,64	0,4571	I	55
	3	7	1,56	0,51	0,3269	B	76
		9	1,73	0,38	0,2197	A	87

E: excelente MB: muy bueno A: aceptable B: baja I: inaceptable
 E: excellent MB: very good A: fair B: low I: unacceptable

Los coeficientes de uniformidad (CU) de cada una de las subunidades estudiadas se agruparon en tres categorías denominadas: recomendado, menor y mayor (figura 4, pág. 146), en función de las condiciones locales (CU: 80-90% si la pendiente es mayor al 2%, y CU: 85-90 % si la pendiente es menor al 2%).

Los resultados indican que un 18% de las subunidades estudiadas se encuentra por debajo del rango recomendado, presentando reducidos coeficientes de uniformidad. No obstante, el 82 % restante presenta buena uniformidad y, dentro de ese porcentaje, el 25% pertenece al rango recomendado y el 57% sobrepasa esas condiciones con coeficientes de uniformidad que superan el 90%. Se realizó un análisis similar utilizando la metodología de Bralts & Kesner (3) para analizar el CVt (tabla 1, pág. 143): las categorías baja e inaceptable conforman el 17% de los casos y las tres categorías restantes integran una mejor situación desde aceptable a excelente (figura 5).

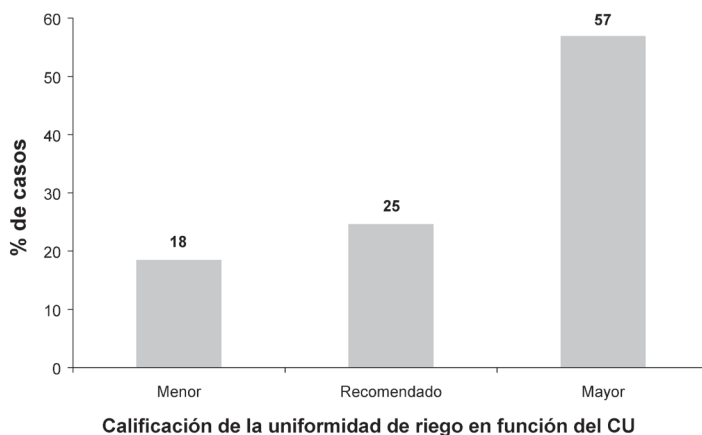


Figura 4. Categorías de coeficiente de uniformidad expresadas en porcentaje.
Figure 4. Uniformity coefficient categories expressed as percentages.

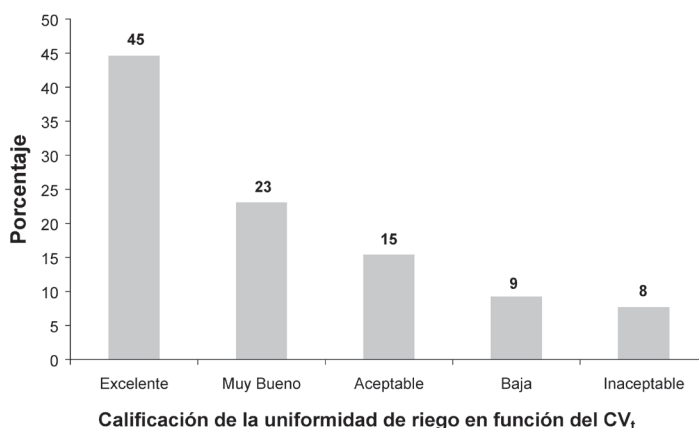


Figura 5. Coeficientes de variación total de caudales según Bralts & Kesner (3) expresado en porcentaje.
Figure 5. Total flow variation coefficients according to Bralts and Kesner (3), expressed as percentages.

Los indicadores, en cuanto medida de variación de caudales, permiten estimar también las láminas aplicadas y -en muchas oportunidades- la reducción del volumen de agua entregado al cultivo. La diferencia en los valores de la uniformidad se traduce en una variabilidad espacial del agua aplicada a las plantas señalando que una determinada fracción de la parcela no puede cubrir sus necesidades netas de riego. Los resultados muestran que el 18% de las subunidades evaluadas presenta un bajo valor de CU, lo cual indica la necesidad de aplicar sobre-riegos para asegurar que todas las plantas puedan satisfacer su requerimiento. Sin embargo, el sobre-riego tiene problemas colaterales: una innecesaria percolación, el aumento de los costos de bombeo, pérdidas de fertilizantes y contaminación potencial de fuentes de agua.

Caudales entregados

A partir de los caudales erogados por los goteros de subunidades y sectores de riego de cada finca evaluada se efectuó un análisis estadístico para determinar posibles diferencias significativas entre ellos. Sólo una de las fincas evaluadas (finca 8) no presenta diferencias significativas entre sectores de riego ni entre subunidades de riego (tabla 2, pág. 144-145). El resto de las evaluaciones llevadas a cabo presenta diferencias significativas en alguno de los análisis realizados (entre sectores de riego, entre subunidades de un sector de operación, o entre subunidades de sectores de operación de riego diferentes). La tabla 2 muestra una alta variabilidad en los caudales de los emisores entre y dentro de sectores y subunidades.

Causas de la baja uniformidad del riego

A partir de las visitas realizadas a las fincas y del análisis del contenido de las encuestas, los problemas más frecuentemente encontrados se resumen a continuación:

1. Problemas de diseño

- Equipos subdimensionados para la demanda máxima del cultivo.
- Ausencia de filtros.
- Ausencia de manómetros en el cabezal de riego que permitan medir la diferencia de presión entre filtros, de utilidad para conocer la necesidad y oportunidad de lavado de los mismos.
- Distribuidores y/o laterales de menor diámetro a los establecidos en el diseño.

2. Problemas de manejo del equipo

- No se efectúan actividades adecuadas de limpieza y mantenimiento del equipo de riego.
 - ✓ Limpieza rutinaria de reservorios (presencia frecuente de materia orgánica, por ejemplo: algas).
 - ✓ Limpieza de filtros: mediante un retrolavado (con agua) o lavado manual y limpieza con ácidos (para eliminar sales y/o materia orgánica).
 - ✓ Limpieza de mangueras o laterales de riego: punta de manguera mínimo una vez por mes en la época de riego (se recomienda realizarlo cada 15 días para evitar acumulación de sales).
 - ✓ Limpieza con ácido para eliminar sales al menos una vez por año.
 - ✓ Limpieza con cloro si existen problemas de materia orgánica.
 - ✓ Colocación de un mecanismo adecuado de cierre del final de manguera que permita una apertura y cierre fácil y rápido. En general se encuentran las mangueras retorcidas y atadas a los postes, esto complica al operario quien finalmente por falta de practicidad no efectúa la limpieza de punta de manguera.

- Pérdidas de presión muy importantes entre inicio y final de lateral de riego.
- Roturas y pinchaduras: en laterales y en uniones tipo T.
- Corrimiento de las gotas a través del lateral de riego: los laterales de riego no mantienen la horizontalidad, ya sea porque no se encuentran adecuadamente tensados, porque no poseen enganches con el alambre, o bien porque estos últimos están mal ubicados (corridos).
- Punta de mangueras caídas al final de línea.
- Laterales enterrados con emisores que no son los recomendados por los fabricantes.
- Emisores totalmente obturados, ya sea por las sales o bien por algas, incluso después de la limpieza anual. Cuando la obstrucción es importante y no se obtiene una mejoría con la limpieza, deben cambiarse los emisores.

Los resultados de la evaluación indican que -si bien ha habido un cambio significativo en la calidad del servicio de post-venta de equipos de riego en los últimos tiempos- ésta todavía resulta insuficiente. Un seguimiento periódico por parte de los especialistas tanto del equipo de riego como del de fertilización aseguraría al productor eliminar ineficiencias que se trasladan a sus costos y, sumadas, afectan el desempeño del sistema productivo y significan una gran pérdida de tiempo (23). Un adecuado servicio de post-venta es un valioso complemento del asesoramiento técnico y del conocimiento in situ del encargado de la finca. Ambos, eficientemente coordinados, se traducen en eficiencia y en menores costos de la tecnología aplicada.

3. Problemas agronómicos

- El criterio del momento del riego se maneja -en la mayoría de los casos- por determinación visual y no se acompaña con ningún otro método de calendarización científica del riego. Sólo tres de las 17 fincas evaluadas contaban con tanques de evaporación tipo A, pero no se usaban.
- Ausencia de registro de caudales entregados: los encargados no conocen el volumen de agua que entregan diariamente al cultivo, pese a disponer de caudalímetros en sus sistemas.

Salinidad del extracto de saturación, sodicidad (RAS) y anión cloruro de los suelos

Se sostiene que toda agua de riego contiene sales disueltas que se concentran y son transferidas hacia los bordes del bulbo húmedo durante el ciclo de riego (goteo). Mediante la aplicación de una lámina mayor de lo necesario para satisfacer la necesidad de riego del cultivo, un gran porcentaje de estas sales puede mantenerse fuera del alcance de las raíces pero es imposible evitar la existencia de una concentración salina importante en determinadas zonas de la parcela. Keller & Bliesner (15) reportaron que la zona más crítica de acumulación de sales se encuentra en el borde del bulbo, con un peligro latente de que las sales ingresen a la zona de las raíces. Para minimizar este efecto resulta necesario eliminar las sales acumuladas: para ello se utiliza algún método de riego, adecuándolo a cada situación particular, desde riego por escurrimiento superficial hasta aspersion. En las zonas áridas existe el peligro

de salinización de los suelos, especialmente para una precipitación anual inferior a los 150 - 250 mm. Los valores de CE del agua de riego dieron un promedio de 0,88 dS.m⁻¹, una desviación estándar de 0,53 dS.m⁻¹ y valores extremos de 0,26 y 1,79 dS.m⁻¹.

En la tabla 3 no se advierten grandes diferencias de las variables salinidad, sodicidad (expresadas a través de los indicadores relación de adsorción de sodio RAS y anión cloruro Cl⁻) entre las distintas profundidades de muestreo. No obstante, se visualiza que los valores medios de las mencionadas variables resultan siempre mayores en el interfilar que en el bulbo húmedo.

Tabla 3. Media y desviación estándar (DS) de las variables indicadoras de salinidad, sodicidad y anión cloruro según profundidad y ubicación de muestreo.

Table 3. Mean and standard deviation (SD) of salinity, sodicity and chloride anion variables according to sampling depth and location.

Variables respuesta	Profundidad de muestreo (m)	Ubicación			
		Bulbo		Interfilar	
		Media	DS	Media	DS
CEes (dS/m)	0,10 - 0,30	2,15 (a)	1,75	3,41 (b)	3,79
	0,30 - 0,50	1,80 (a)	1,39	3,70 (b)	3,91
RAS	0,10 - 0,30	2,53 (a)	1,60	4,51 (b)	6,49
	0,30 - 0,50	2,46 (a)	1,77	4,12 (b)	5,16
Cl (me/L)	0,10 - 0,30	6,32 (a)	7,35	13,71 (b)	26,04
	0,30 - 0,50	5,32 (a)	5,22	17,65 (b)	30,11

Letras diferentes muestras diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)

Las figuras 6 a 8 muestran -además- que la dispersión de los datos es también mayor en el interfilar.

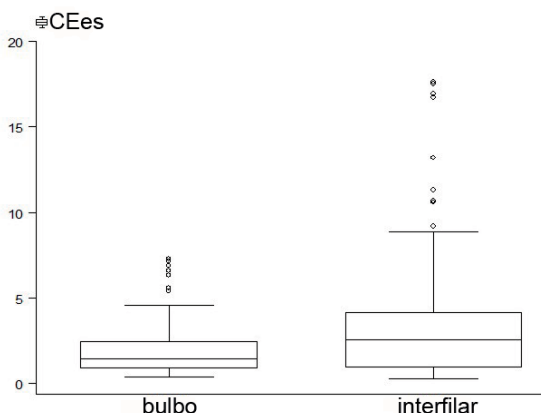


Figura 6. Diagrama de caja de CE_{es} (dS.m⁻¹) según la ubicación de muestreo.

Figure 6. Box and whiskers diagram of CE_{es} (dS.m⁻¹) according to sampling location.

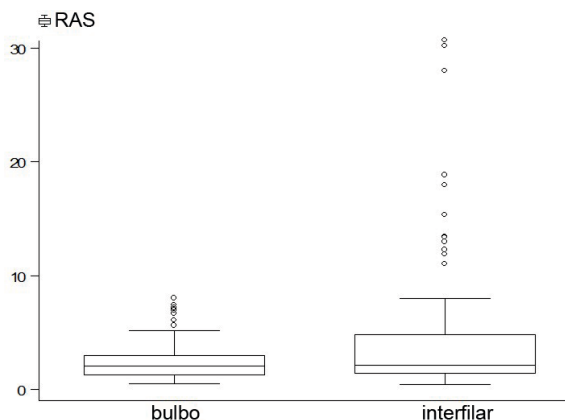


Figura 7. Diagrama de caja de RAS según la ubicación de muestreo.
Figure 7. Box and whiskers diagram of RAS according to sampling location.

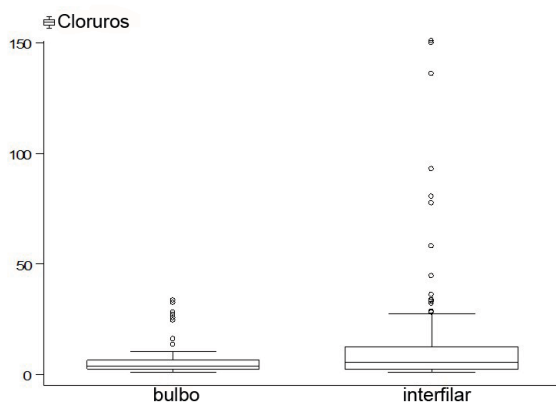


Figura 8. Diagrama de caja de cloruros (me.L^{-1}) según la ubicación de muestreo.
Figure 8. Box and whiskers diagram of chloride box (me.L^{-1}) according to sampling location.

El análisis inferencial indica que para un $\alpha = 0,05$ existen diferencias significativas entre las medias de la CE_{es} según la ubicación del sitio de muestreo: la salinidad en el interfililar es 59% mayor que en el bulbo para la profundidad de muestreo de 0,10-0,30 m y 106% mayor que en el bulbo para la profundidad de muestreo de 0,30-0,50 m. Un resultado similar se obtuvo en el análisis realizado con las variables RAS (78 y 67% mayor en el interfililar que en el bulbo para las respectivas profundidades) y presencia de anión Cl^- (respectivamente 117 y 232% mayor). Asimismo, no existen diferencias significativas entre las medias de las variables analizadas según la profundidad de muestreo. La tabla 3 (pág. 149) indica que se está produciendo una degradación del suelo vista a través de aumentos significativos de las variables analizadas entre el sitio interfililar y el bulbo húmedo, amenazando la producción y a más largo plazo la

sustentabilidad del sistema de riego. Rearte *et al.* (22) avanzaron en la realización de un modelo para la determinación de la evolución de la salinidad en vid, sin lograr la concreción de un resultado definitivo.

Del análisis de regresión se obtuvo un modelo significativo que explica la variación de salinidad en los suelos en función del sitio (interfilar o bulbo húmedo), la salinidad del agua expresada a través de la conductividad eléctrica (CE_{agua}) y la textura expresada a través del volumen de sedimentación (VS), consecuencia del manejo del riego que se realiza en las propiedades estudiadas (tabla 4).

Tabla 4. Modelo de regresión lineal significativo.

Table 4. Significant linear regression model.

Información del modelo			Parámetros del modelo		
Variable respuesta	N° observaciones	R ² ajustado	VARIABLES explicativas	Coefficiente	Error estándar
CE _{es}	204	0,13	Interfilar	1,59	0,40
			CE _{agua}	1,26	0,38
			Vol. sedimentación	0,06	0,02
			β_0	-4,62	1,88

Los resultados del modelo se sintetizan en la siguiente ecuación:

$$CE_{\text{es(bulbo o interfilar)}} = 1,59 * (\text{bulbo} = 0 ; \text{interfilar} = 1) + 1,26 * CE_{\text{agua}} + 0,06 \text{ VS} - 4,62$$

Cabe destacar que el presente trabajo ha permitido definir y aplicar una metodología de evaluación del riego localizado (goteo) que puede ser fácilmente transferida a productores, técnicos y encargados de riego que utilicen tanto agua superficial como subterránea. Un aporte adicional del trabajo está referido a instalar el concepto de necesidad de evaluación del desempeño del sistema de riego para asegurar la sustentabilidad de la inversión. Realizar esta práctica en forma sistemática y periódica asegura al productor un eficiente manejo del equipo y un aprovechamiento de las ventajas comparativas del método, sin la interferencia de desventajas e inconvenientes que se traducen en mayores costos de operación y menor rentabilidad final.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Del análisis de los resultados se concluye que el 18% de las subunidades estudiadas presentan un CU ubicado por debajo del rango recomendado y el 17% un coeficiente de variación de caudales (CV_v) con un desempeño que puede calificarse como menos que aceptable. Por otra parte, el 94% de las fincas evaluadas (16 de las 17) presenta diferencias significativas entre los caudales erogados por los emisores (entre sectores de riego, entre subunidades de un sector de operación o entre subunidades de sectores de operación de riego diferentes). Si bien existen diferentes

problemáticas en las propiedades visitadas y considerando sólo aquellos aspectos que el productor o el técnico a cargo logran modificar, puede afirmarse sin temor a error que la clave aquí es el manejo del riego ya que es el más factible de mejorar.

Resulta importante resaltar, además, que el inconveniente más frecuentemente observado en la gran mayoría de las propiedades visitadas fue el inadecuado mantenimiento del equipo. El productor debe comprender la importancia de la adecuada utilización de los componentes, funciones y mantenimiento del sistema: filtros, el control de presiones, las limpiezas rutinarias (con agua) y profundas (con ácidos y/o cloro) del sistema, el cambio de los elementos rotos o dañados, el control del cabezal del equipo y de éste en el campo. Respecto de las presiones, si bien es poco lo que se puede hacer para mejorar las diferencias de presión a lo largo de las tuberías, existen soluciones relativamente sencillas para hacerlo en las entradas de las tuberías o en las entradas de las subunidades, para homogeneizar los caudales medios entregados por las subunidades y mejorar la uniformidad del riego. Frecuentes y sistemáticos recorridos por la finca durante la operación del riego permitirían verificar el funcionamiento general del sistema de riego, así como el de los laterales y emisores. Si bien el riego por goteo es un método que permite la automatización, esto no implica que el regador pueda desentenderse del mismo. El control del equipo de riego requiere de -al menos- una persona dedicada a ello. Esta tarea debería ser incluida en las actividades anuales de la propiedad al igual que la poda, atadura, control de malezas, aplicación de herbicidas, fungicidas, cosecha, limpieza del sistema, etc., de manera de planificar perfectamente su ejecución.

Con respeto al aumento de salinidad, sodicidad y presencia del anión cloruro en los suelos del interfilar respecto del bulbo, existen diferencias significativas que evidencian un aumento gradual de la salinidad, sodicidad y del anión cloruro aumentando el riesgo de toxicidad. Este aumento, si bien en la mayoría de los casos no es exagerado, constituye una preocupación que obliga a un control más o menos frecuente del riego. A modo de recomendación de manejo se sugiere que -anualmente- se tomen muestras de suelo en los sitios bulbo e interfilar (cabeza, medio y pie) a diferentes profundidades en uno o más sectores de riego (operaciones) representativos y se analice su contenido salino-sódico a fin de monitorear la evolución del proceso de salinización en el tiempo. Si se observaran valores de salinidad elevados se deberían realizar (en invierno) lavados por inundación (riego superficial), aspersión o goteo. Otra forma de contrarrestar los efectos no deseados de la salinidad sería incrementar las láminas de riego programadas a lo largo del año con una lámina extra para satisfacer el requerimiento de lixiviación del suelo en cuestión. Para los casos analizados y según la ecuación de requerimiento de lixiviación RL utilizada (1, 21), los valores de requerimiento de lixiviación estarán comprendidos entre 3 al 33% y 1 al 7% para los dos extremos de calidad de agua de riego de las fincas evaluadas. No se han observado variaciones de salinidad, sodicidad ni presencia del anión cloruro a diferentes profundidades de muestreo. Ello podría deberse a que las muestras no fueron lo suficientemente espaciadas en profundidad por lo que -para la vid- sería recomendable llegar hasta una profundidad mayor a los 50 cm (0,10 a 0,30 m y 0,50 a 0,70 m, por ejemplo)

Otra observación importante es que en el 24% de los casos analizados (4 de 17) se observó un sub-dimensionamiento de equipos, que obliga al empleo de estrategias de riego diferenciales tales como regar anticipadamente al inicio del ciclo agrícola (durante el invierno) para almacenar suficiente agua en el perfil del suelo y asegurar una reserva de humedad disponible en el suelo, en los momentos de máximo requerimiento por parte del cultivo

Como conclusión del trabajo y en función de los resultados obtenidos puede afirmarse que, si bien la agricultura de riego de los oasis productivos de la provincia de Mendoza está en constante avance (desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías), su sustentabilidad estará en relación directa con el uso eficiente del recurso hídrico. En este contexto el manejo de cualquier método de riego adecuado a las condiciones de clima, suelo y cultivo de la zona (2) es una herramienta que permite el máximo aprovechamiento de su eficiencia potencial. En el caso del riego localizado (goteo) evaluado en este trabajo resulta claro que, de no asegurar una adecuada operación y mantenimiento de los sistemas, un seguimiento de la salinidad - sodicidad del suelo y del estado del cultivo, a corto y/o mediano plazo podrán verse afectados los rendimientos a causa de la salinización / sodificación progresiva de los suelos, especialmente en cultivos perennes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, R. G.; Smith, M.; Pereira, L.; Perrier, A. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. FAO consultation. Rome.
2. Araujo, F.; Williams, L.; Grimes, D.; Matthews, M. 1995. A comparative study of young 'Thompson Seedless' grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil water distributions. *Scientia Horticulturae* 60. p. 235-249.
3. Bralts, V.; Kesner, C. 1983. Drip irrigation field uniformity estimation. *Transactions of the ASAE*. Vol. 26, p. 1369-1374.
4. Burt, C. M. 2005. Evaluación rápida en el campo de la uniformidad de distribución de goteo y de micro-aspersión. Reunión internacional sobre avances en riego localizado. Monografías INIA: serie agrícola N° 17. Madrid. p. 92-110.
5. _____; Clemmens, A. J.; Strelkoff, T. S.; Solomon, K. H.; Bliesner, R. D.; Hardy, L. A.; Howell, T. A.; Eisenhauer, D. E. 1997. Irrigation performance measures efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain Eng. ASCE* 123(6): 423-442.
6. Capra, A.; Scicolone, B. 2004. Emitter and filter tests for wastewater reuses by drip irrigation. *Agricultural Water Management*. Vol. 68, p. 135-149.
7. Castro, T. 1997. Evaluación de sistemas de riego localizado en uva de mesa. 1^{er} Seminario de actualización en riego presurizado. Sección 6. Editores: Centro de Ingenieros Agrónomos de Mendoza e INA. 10 al 12 de julio. Mendoza, Argentina. p. 101-114.
8. Chambouleyron, J. 1993. Seminario Nacional de Riego Presurizado. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas - Centro Regional Andino, Universidad Nacional de Cuyo, Departamento General de Irrigación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Dirección Tecnología Frutihortícola del Gobierno de Mendoza, Centro de Ingenieros Agrónomos y Grupos CREA de Mendoza. Mendoza, Argentina. p. 265.
9. _____; Rearte, E.; Mármol, P.; Salatino, S.; Maffei, J.; Del Toro, S.; Castellanos, S. 1998. Desempeño del riego presurizado en la evolución de la salinidad y los nemátodos del suelo. XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur, Tomo 3. Santa Fe, Argentina. p. 287-289.

10. _____; Rearte, E.; Salcedo, C.; Ortiz-Maldonado, G.; Salatino, S.; Pombo, F.; Aguado, G. 2001. Pressurized irrigation in the evolution of salinity in drip irrigated vines. In: Proceedings of International symposium on irrigation and water relations in grapevine and fruit trees. Mendoza, Argentina. p. 44.
11. Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Bulletin 670. California Agric. Expt. Station, Univ. of Calif., Davis, Calif.
12. Gornat, B. 1974. Drip irrigation method. Ministry of Agriculture and Natural Resources of Iran. Teherán. Irán.
13. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). 2003. Censo Nacional Agropecuario 2002. Argentina.
14. Keller, J. 2005. Evolución del riego localizado: usos tradicionales y no tradicionales. Conferencia inaugural. Reunión internacional sobre avances en riego localizado. Monografías INIA: serie agrícola N° 17. Madrid. pp. 11-35.
15. _____; Bliesner, R. 1990. Sprinkle and Trickle irrigation. Chapman & Hall Editorial. New York. 652 p.
16. Merriam, J. L.; Keller, J. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A Guide to Management. Utah State University. Logan, Utah.
17. Morábito, J.; Salatino, S.; Mirábile, C.; Chambouleyron, J.; Fornero, L.; Nuñez, M. 1998. Evolución del riego presurizado en diferentes regiones de Argentina. XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur. Santa Fe, Argentina. p. 151-160.
18. Nijensohn, L. 1977. Criterios de eficiencia de lavado y desalinización con riego por goteo. Segundo Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo. OEA-IICA. Coahuila. México. p. 1-23.
19. _____. 1978. Determinación de la textura de suelos por el método del Volumen de Sedimentación. Cátedra de Edafología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
20. Oron, G.; Demalach, Y.; Gillerman, L.; David, I.; Rao, V. 1999. Improved saline-water use under subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management* 39. Elsevier. p. 19-33.
21. Pizarro, F. 1996. Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo Microaspersión y exudación. Ediciones Mundi Prensa. España. 513 p.
22. Rearte, E.; Chambouleyron, J.; Salatino, S.; Salcedo, C.; Maffei, J. 2004. Generación de modelos para la determinación de la evolución de la salinidad en vid regada por goteo. Secyt - UNCuyo. Mendoza, Argentina. 38 p.
23. Rodrigo López, J.; Hernández Abreu, J. M.; Pérez Regalado, A.; González Hernández, J. F. 1997. Riego localizado. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos. Ediciones Mundi Prensa, España. 407 p.
24. 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.
25. Satlari, J. G. 1994. Posibilidades de uso de aguas superficiales en riego presurizado en Mendoza. Seminario Nacional de Riego Presurizado. INCYTH-CRA, UNCuyo, DGI, INTA, Gobierno de Mendoza, CIAM y grupos CREA. Mendoza. Argentina.