



Instituto Nacional  
de Tecnología Agropecuaria

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE DESEMPEÑO DEL MÉTODO DE  
RIEGO POR GOTEO EN VID (*Vitis vinifera*L.), EN LA ZONA  
ESTE Y NORTE DEL OASIS DE TULUM,  
SAN JUAN, ARGENTINA**

**INTEGRAL PERFORMANCE EVALUATION OF DRIP  
IRRIGATION METHOD IN GRAPEVINE (*Vitis  
vinifera* L.), IN THE EAST AND NORTH  
AREA OF THE TULUM VALLEY,  
SAN JUAN, ARGENTINA**

**ALFREDO OLGUÍN PRINGLES**

**MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

**DICIEMBRE DE 2016**

## RESUMEN

La provincia de San Juan presenta clima árido, donde la agricultura sólo se desarrolla bajo riego integral. El cultivo principal es la Vid y en los últimos años se ha incrementado la superficie con riego por goteo, impulsado principalmente por la marcada escasez de agua y por los créditos y subsidios promovidos por el gobierno. Resulta imperante determinar y calificar el desempeño integral del riego por goteo, para identificar las principales variables que lo caracterizan y las posibles causas que puedan generar bajos desempeños. El estudio comprendió la evaluación de la uniformidad de distribución, programación de riego y mantenimiento de los componentes de riego por goteo en 50 establecimientos vitícolas (1056 ha), ubicados en la zona norte y este del Oasis de Tulum. El procedimiento de evaluación a campo fue el propuesto por Merriam y Keller (1978). El cálculo de demanda de riego se realizó según Allen *et al.* (2006) y Pizarro (1996) y el balance hídrico del suelo, según Grassi (1998). Se efectuó un análisis multifactorial para calificar el desempeño de riego. La uniformidad de distribución de sistema promedio fue Buena (81%), pero podría mejorarse (90%), esto generaría un ahorro de agua del 9%. La programación de riego no fue adecuada, porque hubo pérdidas de agua por percolación profunda y/o déficit hídrico, aunque la tendencia general fue al exceso de riego. Con una programación adecuada, se podría ahorrar 35% de agua y de energía eléctrica. Se observaron fallas de mantenimiento en todos los equipos evaluados, siendo las más importantes la falta regulación de presión de válvulas de paso y la limpieza inapropiada de filtros. Las variables coeficiente de uniformidad de caudales, percolación acumulada anual y variación de presión real del emisor respecto a la presión de diseño, fueron las más representativas de la variabilidad conjunta y permitieron calificar el desempeño integral. Sólo el 35% de los equipos tuvo un desempeño integral “Muy Bueno” y ninguno fue “Excelente”. La optimización de las tareas de mantenimiento y programación permitirían obtener un ahorro de agua cercano al 44% en la zona de estudio. Los resultados ponen de manifiesto que el desempeño debe estudiarse desde la uniformidad, la programación de riego y el mantenimiento.

**PALABRAS CLAVE:** riego localizado, uva, uniformidad de distribución, mantenimiento, programación de riego.

## ABSTRACT

San Juan province has arid climate, where agriculture only be developing under integral irrigation. Main crop is grapevine and, in recent years, the drip irrigation area has grown motivated by water scarcity and the availability of soft credits and subsidies promoted by the government. It is imperative to measure and qualify the performance of drip irrigation to identify the main variables of characterization and possible reasons for low performance. This study evaluates the distribution uniformity, irrigation scheduling, and system maintenance of 50 grape farms (1,056 ha) located in the north and east of the Tulum Valley. The procedure for field evaluation was the proposed by Merriam and Keller (1978). Irrigation requirements were calculated according to Allen *et al.* (2006) and Pizarro (1998) and soil water balance according to Grassi (1998). A multifactorial analysis was used to qualify irrigation performance. The average distribution uniformity even though considered good at 81% could be improved to 90%, generating a 9% water savings. Irrigation scheduling was not considered appropriate due to deep percolation and water deficits, though the general trend was towards an excess irrigation. A better scheduling could save 35% of water and energy. Deficient maintenance was observed in all the evaluated farms, being the most important the lack of pressure regulation in the valves and inadequate cleaning of filters. The variables uniformity coefficient of flows, annual accumulated percolation and deviation of actual vs design pressure at points of emission were the most representative of joint variability and allowed to qualify the integral performance of systems. Only 35% of them showed a “very good” performance, none an “excellent” one. Optimization of maintenance and scheduling would allow water savings close to 44% in the area of study. The results make it clear that performance must be studied including uniformity, scheduling, and maintenance.

**KEYWORDS:** localized irrigation, grapevine, uniformity distribution, maintenance, irrigation scheduling.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), por brindarme su apoyo económico y tiempo para realizar este posgrado.

A mi esposa Florencia, por brindarme su apoyo incondicional y aliento para poder concluir el posgrado.

A mis padres, Rina y Alfredo y a mi hermana, María Gema, por su apoyo durante toda mi vida para estudiar y perfeccionarme.

A mis tíos Yayo y Peti, por recibirme en su casa cuando viajé a Mendoza por los cursos de la Maestría.

A mi director, Ing. M. Sc. Carlos Schilardi, por brindarme sus conocimientos, su tiempo y dedicación.

A mi codirector, Ing. M. Sc. Luis Bueno, por brindarme sus consejos, su tiempo y dedicación.

A mi asesor, Ing. Dr. Pierluigi Pierantozzi, por su inestimable colaboración para resolver aspectos teóricos, metodológicos y estadísticos que me permitieron concluir la tesis.

Al equipo de trabajo de Riego del INTA San Juan formado por el Tec. Hidr. Mario Liotta, Tec. Qco. Pedro Gil, Ing. Agr. Federico Montenegro, Ing. Agr. Alberto Ibañez y Tec. Enol. Lisandro Bustos, ya que sin ellos no hubiera podido realizar el trabajo de campo y laboratorio.

A los alumnos de la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de San Juan, Facundo Martin, Joel Mateo y William Varela, por la responsabilidad y compromiso que tuvieron para realizar todas las tareas encomendadas.

A mis compañeros del INTA, Lic. Daniela Pacheco, Lic. M. Sc. Mónica Ruiz e Ing. M. Sc. Alejandro Oviedo, por sus aportes durante la etapa de formulación del proyecto de tesis.

A la Lic. M. Sc. Jimena Andrieu y la Lic. Dra. Mariela Torres, por su colaboración en el análisis estadístico de los datos.

A la Ing. M. Sc. Marta Paz, por revisar la tesis y efectuar valiosos aportes.

Al Ing. Agr. M. Sc. Fernando Gonzalez Aubone, por ayudarme a traducir la tesis.

Al director de la Maestría de Riego y Drenaje, Ing. M.Sc. José Morábito, por su excelente predisposición para colaborar en todo momento.

A los profesores de la maestría de Riego y Drenaje, por brindarme sus conocimientos.

A los Ings. Agrs. Oscar Montilla y Horacio Pugliese, por su colaboración para vincularme con los productores con riego por goteo en el área de estudio.

A los productores entrevistados, que gentilmente respondieron a todas las preguntas y permitieron realizar las mediciones de campo.

A todos, muchas gracias.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Características generales del riego por goteo.....	21
1.2. Desempeño del riego por goteo.....	23
1.2.1. Uniformidad de distribución.....	25
1.2.2. Programación de riego.....	37
1.2.3. Salinidad de suelo y riego por goteo.....	44
1.2.4. Mantenimiento del equipo de riego.....	46
1.3. Justificación.....	54
1.4. Objetivos.....	55
1.5. Hipótesis de investigación.....	55
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
2.1. Ubicación del área de estudio.....	57
2.2. Variables bajo estudio.....	58
2.3. Identificación de viñedos con riego por goteo en la zona de estudio.....	58
2.4. Determinación del tamaño de la muestra (n).....	59
2.5. Confección de encuesta de riego.....	61
2.6. Trabajo de campo.....	61
2.6.1. Medición de caudales y presiones.....	62
2.6.2. Extracción de muestras de agua de riego y de suelo.....	64
2.7. Trabajos de laboratorio.....	66
2.8. Trabajos de gabinete.....	66
2.8.1. Cálculo de indicadores de desempeño.....	66
2.8.1.1. Cálculo de indicadores de uniformidad de distribución....	66
2.8.1.2. Cálculo del consumo hídrico anual del cultivo. Cálculo de la variación entre la lámina aplicada y la lámina de riego óptima ( $\Delta_{Lám\ anual}$ ).....	67
2.8.1.3. Obtención del balance hídrico mensual del cultivo. Cálculo de $Perc_{acum\ anual}$ y $Déf_{acum\ anual}$ .....	71
2.8.1.4. Cálculo de $\Delta P_{filtro}$ .....	74
2.8.1.5. Cálculo de $\Delta h_n$ .....	75
2.8.1.6. Cálculo de $\Delta I_p$ .....	75
2.8.2. Tratamiento estadístico de los datos.....	76
2.8.2.1. Estadística descriptiva.....	76
2.8.2.2. Agrupamiento y reducción de variables.....	77
2.8.2.3. Análisis de componentes principales.....	77
2.8.2.4. Análisis de correlación lineal.....	79
2.8.2.5. Análisis de clasificación por conglomerados.....	80
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	83
3.1. Descripción de los equipos de riego evaluados.....	83
3.1.1. Ubicación del área de estudio.....	83

3.1.2. Características generales.....	84
3.1.3. Indicadores de desempeño.....	86
3.1.3.1. Indicadores de uniformidad de distribución.....	86
3.1.3.1.1. Coeficiente de uniformidad de caudales ( $CU_c$ )..	86
3.1.3.1.2. Coeficiente de uniformidad de presiones ( $CU_h$ ).....	88
3.1.3.1.3. Coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de emisores ( $CV_e$ ).....	90
3.1.3.1.4. Coeficiente de uniformidad de sistema ( $CU_s$ ).....	92
3.1.3.2. Indicadores de programación de riego.....	93
3.1.3.2.1. Variación entre la lámina de riego aplicada y teórica ( $\Delta_{Lám\ anual}$ ).....	94
3.1.3.2.2. Percolación profunda acumulada anual ( $Perc_{acum\ anual}$ ).....	95
3.1.3.2.3. Déficit hídrico acumulado anual ( $Déf_{acum\ anual}$ ).....	98
3.1.3.3. Indicadores de mantenimiento del equipo de riego.....	102
3.1.3.3.1. Variación de pérdida de carga de filtro real respecto a pérdida de carga de filtro limpio ( $\Delta P_{filtro}$ ).....	102
3.1.3.3.2. Variación de presión real de emisores respecto a la presión de diseño ( $\Delta_{hn}$ ).....	105
3.1.3.3.3. Variación de intensidad pluviométrica real respecto a intensidad pluviométrica de diseño ( $\Delta_{Ip}$ ).....	108
3.1.3.3.4. Mantenimiento del reservorio.....	110
3.1.3.3.5. Limpieza química de tuberías y emisores.....	110
3.1.3.3.6. Limpieza física de tuberías y emisores.....	111
3.1.4. Salinidad y pH del suelo.....	112
3.2. Análisis estadístico.....	114
3.2.1. Agrupamiento y reducción de variables.....	115
3.2.2. Análisis multivariado de componentes principales.....	117
3.2.3. Análisis de correlación lineal.....	127
3.2.3.1. Análisis de correlación lineal entre la variable $Perc_{acum\ anual}$ y variables relacionadas.....	127
3.2.3.2. Análisis de correlación lineal entre $CU_c$ y variables relacionadas.....	130
3.2.3.3. Análisis de correlación lineal entre las variables Superficie, $CV_e$ y otras variables en estudio.....	132
3.2.3.4. Análisis de correlación lineal entre $\Delta_{hn}$ y otras variables en estudio.....	137
3.2.4. Análisis de clasificación por conglomerados.....	139
4. CONCLUSIONES.....	149
5. BIBLIOGRAFÍA.....	154
6. ANEXO.....	165

## LISTA DE ABREVIATURAS

- $\alpha$ : coeficiente de pérdida, siempre valores entre 0 y 1
- $A_e$ : área mojada por el emisor ( $m^2$ )
- B: límite del error de muestreo para la confiabilidad que fija z
- Borde: distancia (m) del borde de área seca hasta el área de cultivo verde (Caso B)
- CC: capacidad de campo ( $g\%g$ )
- $CE_a$ : conductividad eléctrica del agua de riego ( $dS.m^{-1}$ )
- $CE_{es\text{mín}}$ : conductividad eléctrica del extracto de saturación ( $dS.m^{-1}$ ), valor que se impone como objetivo a conseguir con el lavado, generalmente coincide con un rendimiento del 100%
- $CE_{es\text{máx}}$ : conductividad eléctrica del extracto de saturación máxima ( $dS.m^{-1}$ ) que soporta el cultivo con una reducción de rendimiento del 100%
- $CU_a$ : coeficiente de uniformidad absoluta (%)
- $CU_c$ : coeficiente de uniformidad de caudales (%)
- $CU_h$ : coeficiente de uniformidad de presiones (%)
- $CU_s$ : coeficiente de uniformidad del sistema (%)
- $CV_e$ : coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de emisores, siempre valores entre 0 y 1
- $CV_m$ : coeficiente de variación de fabricación del emisor, siempre valores entre 0 y 1
- $CV_h$ : coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas, siempre valores entre 0 y 1
- $CV_q$ : coeficiente de variación total de caudales, siempre valores entre 0 y 1
- $Déf_{\text{acum anual}}$ : déficit acumulado anual (%)
- DU: uniformidad de distribución de las láminas aplicadas
- $DU_{1q}$ : uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado (%)
- $DU_{1qg}$ : uniformidad de distribución global o del sistema, siempre valores entre 0 y 1
- $DU_{1q1}$  y  $DU_{1q\Delta P}$ : uniformidad de distribución debido a diferencias de presión, siempre valores entre 0 y 1
- $DU_{1q2}$ : uniformidad de distribución debido a “otras causas”, siempre valores entre 0 y 1



$DU_{IqOther}$ : uniformidad de distribución relacionada con otras causas, siempre valores entre 0 y 1

$\Delta h_n$ : variación de presión real de emisor respecto a presión de diseño (%)

$\Delta I_p$ : variación de intensidad pluviométrica real respecto a intensidad pluviométrica de diseño (%)

$\Delta L_{\text{ám anual}}$ : variación de lámina aplicada anual respecto a la lámina óptima de riego (%)

$\Delta P$ : variación de presión admisible dentro del sistema ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

$\Delta P_{\text{filtro}}$ : variación de gradiente de presión real de filtros respecto a gradiente de presión de filtro cuando funcionan limpios (%)

$\Delta P_{\text{filtro real}}$ : pérdida de carga real de filtro ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

$\Delta P_{\text{filtro limpio}}$ : pérdida de carga de filtros limpio ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

e: número de emisores por planta

E: margen de error máximo admitido en el cálculo de n (10%)

Ee: error de estimación (%)

$E_{Ap}$ : eficiencia de aplicación (%)

Ec: características de descarga del emisor seleccionado (caudal vs. presión)

$E_o$ : evaporación de agua del tanque ( $\text{mm.día}^{-1}$ )

$ET_c$ : evapotranspiración del cultivo (mm)

$ET_o$ : evapotranspiración de referencia (mm)

$ET_{rl}$ : evapotranspiración del cultivo bajo riego localizado ( $\text{mm.día}^{-1}$ )

$E_s$ : evaporación del agua del suelo ( $\text{mm.día}^{-1}$ )

EU: uniformidad de emisión (%)

f: factor de corrección de descargas

$F_{ah}$ : fracción de área humedecida por los emisores, siempre valores entre 0 y 1

FI: capacidad y desempeño del sistema de filtrado

G: aporte capilar

h: presión de trabajo del emisor (mca)

$h_n$ : presión de gotero según diseño ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

HR: humedad relativa media (%)

$h_{\text{real}}$ : presión promedio de goteros medida a campo ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

$I_p$ : intensidad pluviométrica del equipo de riego ( $\text{mm.h}^{-1}$ )

IR: intervalo de riego (días)  
 K: coeficiente de descarga del emisor  
 K<sub>a</sub>: factor constante igual a 1,27  
 K<sub>c</sub>: coeficiente de cultivo  
 K<sub>p</sub>: coeficiente de tanque, siempre valores entre 0 y 1  
 K<sub>s</sub>: conductividad hidráulica del suelo (m.día<sup>-1</sup>)  
 K<sub>1</sub>: coeficiente reductor por localización, siempre valores entre 0 y 1  
 K<sub>2</sub>: coeficiente de mayoración por condiciones climáticas adversas, siempre valores entre 1,1 y 1,2  
 K<sub>3</sub>: coeficiente de corrección por advección, siempre valores entre 0,7 y 1,2  
 L<sub>ApI</sub>: lámina aplicada (mm)  
 L<sub>d</sub>: lámina disponible total (mm)  
 L<sub>def</sub>: lámina deficitaria mensual (mm.mes<sup>-1</sup>)  
 L<sub>def anual</sub>: lámina deficitaria anual (mm.año<sup>-1</sup>)  
 L<sub>perc</sub>: lámina percolada mensual (mm.mes<sup>-1</sup>)  
 L<sub>perc anual</sub>: lámina percolada anual (mm.año<sup>-1</sup>)  
 N: tamaño de la población  
 n: tamaño de la muestra  
 N<sub>br</sub>: necesidad bruta de riego (mm)  
 N<sub>nr</sub>: necesidad neta de riego (mm)  
 p: proporción que se espera encontrar cuando se calculó n. Como no se sabía que se podía esperar, la opción más prudente fue usar el peor caso, por lo que p = 50%  
 $\bar{P}_{1/4}$ : presión promedio del cuarto más perjudicado (kg.cm<sup>-2</sup>)  
 $\bar{P}$ : presión promedio de todos los emisores medidos (kg.cm<sup>-2</sup>)  
 P'<sub>25%</sub>: media de las presiones mínimas medidas en las tuberías terciarias que representen la cuarta parte de más baja presión de la operación seleccionada (kg.cm<sup>-2</sup>)  
 P'<sub>prom</sub>: media de todas las presiones mínimas medidas en las tuberías terciarias de la operación seleccionada (kg.cm<sup>-2</sup>)  
 P<sub>e</sub>: precipitación efectiva (mm)  
 PEA: peso específico aparente del suelo (g.cm<sup>-3</sup>)  
 Perc<sub>acum anual</sub>: percolación acumulada anual (%)

PMP: punto de marchitez permanente (g%g)

$P_t$ : precipitación total (mm)

$q_{avg}$ : caudal promedio de todos los emisores medidos ( $L.h^{-1}$ )

$q_d$ : caudal del emisor según diseño ( $L.h^{-1}$ )

$q_{minlq}$ : caudal promedio del cuarto más perjudicado ( $L.h^{-1}$ )

$q_n$ : caudal mínimo del emisor ( $L.h^{-1}$ )

$q_{real}$ : caudal promedio de los emisores medidos ( $L.h^{-1}$ )

$q_{12,5}$ : caudal promedio del 12,5% de los emisores de más alto caudal ( $L.h^{-1}$ )

$q_{25\%}$ : caudal promedio de la cuarta parte de más bajo caudal de emisor ( $L.h^{-1}$ )

$R_L$ : requerimiento de lixiviación (%)

$\sigma_h$ : desviación estándar de las presiones de los emisores medidos ( $kg.cm^{-2}$ )

$\sigma_q$ : desviación estándar de los caudales de los emisores medidos ( $L.h^{-1}$ )

$S$ : desviación estándar poblacional de la variable  $DU_{lq}$  (%)

$S_1$ : estimación de la desviación típica muestral, utilizada como estimador de la desviación típica poblacional

$S_h$ : separación entre hileras (m)

$S_{in}$ : concentración de sólidos suspendidos en ( $mg.L^{-1}$ ), antes de los filtros

$S_{out}$ : concentración de sólidos suspendidos ( $mg.L^{-1}$ ), después de los filtros

$S_p$ : separación entre plantas (m)

$T_{Ap}$ : tiempo de aplicación de riego (h)

$U_r$ : umbral de riego (mm)

Uneven spacing DU: uniformidad de distribución relacionada con espaciamiento desigual, siempre valores entre 0 y 1

Unequal drainage DU: uniformidad de distribución relacionada con drenaje desigual, siempre valores entre 0 y 1

$U_s$ : uniformidad estadística (%)

$u_2$ : velocidad media del viento ( $m.s^{-1}$ ), a 2m de altura

$W_a$ : humedad actual del suelo antes del riego (g%g)

$x$ : exponente de descarga del emisor

$X$ : media poblacional de la variable  $DU_{lq}$  (%)

Z: desviación del valor medio que se acepta para lograr el nivel de confianza deseado (90%). Para el caso,  $Z = 1,645$

z: percentil de la distribución normal. Para un 95% de confiabilidad,  $z = 1,96$

$z_1$ : profundidad radical efectiva (mm)

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de emisores según su coeficiente de fabricación ( $CV_m$ ).....	26
Tabla 2. Clasificación de indicadores de desempeño en riego por goteo.....	30
Tabla 3. Valores de $CU_c$ recomendados por ASAE EP405.1.....	31
Tabla 4. Clasificación de uniformidad de riego en función de $CV_q$ y $U_s$ .....	32
Tabla 5. Intervalo de riego (IR) por goteo según textura de suelo.....	38
Tabla 6. Eficiencia de aplicación en riego por goteo en zonas áridas (Pizarro, 1996).....	41
Tabla 7. Riesgo potencial de obturaciones de emisores debido al agua de riego.....	50
Tabla 8. Descripción del problema asociado a la variación en la presión y amperaje.....	53
Tabla 9. Descripción de problemas asociados a la variación del caudal real respecto al programado.....	53
Tabla 10. Cantidad de equipos de riego por goteo evaluados por departamento.....	60
Tabla 11. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente trabajo.....	67
Tabla 12. Diámetro mojado (m) por emisor según caudal del emisor y tipo de suelo.....	72
Tabla 13. Transformación de variables cualitativas.....	80
Tabla 14. Distribución de frecuencias de $CU_c$ (%).....	87
Tabla 15. Distribución de frecuencias de $CU_h$ (%).....	89
Tabla 16. Distribución de frecuencias de $CU_h$ (%) para equipos con goteros no autocompensantes.....	90
Tabla 17. Distribución de frecuencias de $CV_e$ .....	91
Tabla 18. Distribución de frecuencias de $CU_s$ (%).....	92
Tabla 19. Distribución de frecuencias de $\Delta_{Lám}$ anual (%).....	94
Tabla 20. Distribución de frecuencias de $Perc_{acum}$ anual (%).....	96
Tabla 21. Distribución de frecuencias de $Déf_{acum}$ anual (%).....	98

Tabla 22. Distribución de frecuencias de $\Delta P_{\text{filtro}}$ (%).....	102
Tabla 23. Distribución de frecuencias de $\Delta_{\text{hn}}$ (%).....	105
Tabla 24. Distribución de frecuencias de $\Delta_{\text{Ip}}$ (%).....	108
Tabla 25. Variables originales consideradas en el presente trabajo.....	115
Tabla 26. Variables seleccionadas para el análisis multivariado.....	116
Tabla 27. Variables utilizadas en el análisis de componentes principales.....	118
Tabla 28. Matriz de correlaciones y niveles de significancia de las variables seleccionadas.....	119
Tabla 29. Test KMO y prueba de esfericidad de Bartlett.....	120
Tabla 30. Autovalores del análisis multivariado de componentes principales.....	121
Tabla 31. Autovectores del análisis multivariado de componentes principales.....	121
Tabla 32. Matriz de componentes rotados.....	122
Tabla 33. Aspectos del presente trabajo explicados por los componentes principales....	123
Tabla 34. Matriz de correlación y niveles de significancia entre las variables de suelo, agua de riego y de programación de riego.....	128
Tabla 35. Matriz de correlación entre variables de uniformidad, superficie y tiempo de funcionamiento de componentes del equipo.....	131
Tabla 36. Matriz de correlaciones entre superficie y variables relacionadas.....	133
Tabla 37. Correlación lineal entre $\Delta_{\text{hn}}$ y $\Delta_{\text{Ip}}$ para el total de equipos evaluados.....	137
Tabla 38. Correlación lineal entre $\Delta_{\text{hn}}$ y $\Delta_{\text{Ip}}$ para los equipos con goteros no autocompensantes.....	137
Tabla 39. Correlación lineal entre $\Delta_{\text{hn}}$ y $\Delta P_{\text{filtro}}$ .....	139
Tabla 40. Grupos conformados a partir del ACL.....	141
Tabla 41. Valores promedio de los grupos para las variables seleccionadas en el ACP.....	142
Tabla 42. Análisis de la varianza para la variable $CU_c$ .....	147

Tabla 43. Análisis de la varianza para la variable $\Delta_{hn}$ .....	147
Tabla 44. Análisis de la varianza para la variable Edad gotero.....	148
Tabla 45. Evapotranspiración diaria del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) y valores mensuales de $K_p$ (Allen <i>et al.</i> , 2006) obtenidos de la estación meteorológica del Campo Anexo San Martín, departamento San Martín, San Juan.....	171
Tabla 46. Evapotranspiración diaria del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) y valores mensuales de $K_p$ (Allen <i>et al.</i> , 2006) obtenidos de la estación meteorológica de la finca Expofrut, departamento Albardón, San Juan.....	172
Tabla 47. Valores de $K_c$ de vid utilizados para el cálculo de $ET_c$ (Ferreira <i>et al.</i> , 2001).....	173
Tabla 48. Propiedades físicas del suelo (Israelsen y Hansen, 1962).....	173
Tabla 49. Clases texturales de suelo según volumen de sedimentación (Nijensohn, 1977).....	174
Tabla 50. Precipitación total ( $P_t$ ) y efectiva ( $P_e$ , según ecuación 32) mensuales en las estaciones meteorológicas utilizadas en este trabajo.....	174
Tabla 51. Balance hídrico del suelo mensual de la propiedad n° ocho.....	175
Tabla 52. Variables de los equipos evaluados (parte uno).....	176
..	
Tabla 53. Variables de los equipos evaluados (parte dos).....	177
Tabla 54. Variables de los equipos evaluados (parte tres).....	178

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oasis bajo riego de la provincia de San Juan.....	19
Figura 2. Relación caudal – presión de emisores según régimen.....	27
Figura 3. Efecto de la textura de suelo en la forma del bulbo húmedo (Schilardi, 2015) a) Arcilloso, b) Franco y c) Arenoso.....	39
Figura 4. Distribución típica de sales en riego por goteo (Schilardi, 2015).....	44
Figura 5. Tipo de obturaciones de emisores y formas de prevención y control.....	47
Figura 6. Mapa político de la provincia de San Juan. El círculo rojo marca el área de estudio.....	57
Figura 7. Esquema de las tareas realizadas a campo durante la evaluación de riego.....	61
Figura 8. Puntos de medición de caudales y presiones de goteros en una subunidad con distribución unilateral.....	63
Figura 9. Puntos de medición de caudales y presiones de goteros en una subunidad con distribución bilateral o pareada.....	63
Figura 10. Volumen colectado por dos emisores en simultáneo durante 3 minutos.....	64
Figura 11. Esquema de ubicación de extracción de muestras. La línea punteada representa el sitio donde se extrajeron las muestras (línea de plantación y zona media del interfilas).....	65
Figura 12 a) Muestra de suelo en estado de pasta de saturación. b) Embudos de extracción conectados a bomba de vacío. c) Obtención de extracto de saturación.....	66
Figura 13. Coeficiente de corrección por advección según tipo de cultivo y superficie regada.....	69
Figura 14. Imagen satelital del área de estudio (Google Earth). Las marcas de posición coloreadas de amarillo corresponden a los equipos de riego por goteo evaluados. ALB: Albardón, ANG: Angaco, CA: Caucete y SM: San Martín.....	83
Figura 15. Conductividad eléctrica en el extracto de saturación promedio y error estándar según ubicación en el cultivo y profundidad de suelo. Cab.: cabecera; LP: bajo línea de plantación; Int: medio interfilas; 0-40: profundidad desde 0 a 40cm; 40-80: profundidad desde 40 a 80cm.....	112



Figura 16. Valores promedio de pH y error estándar, según ubicación en el cultivo y profundidad de suelo.....114

Figura 17. Representación en el espacio factorial (Biplot) de las variables y los casos (CP1 y CP2). Los números indican los equipos de riego utilizados en el ACP.....123

Figura 18. Representación en el espacio factorial (Biplot) de las variables y los casos (CP1 y CP3). Los números indican los equipos de riego utilizados en el ACP.....124

Figura 19. Representación en el espacio factorial (Biplot) de las variables y los casos (CP2 y CP3). Los números indican los equipos de riego utilizados en el ACP.....124

Figura 20. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre las variables  $\Delta_{lp}$  y  $\Delta_{hn}$ .....138

Figura 21. Dendrograma de clasificación de los equipos. La línea vertical trazada en el medio del eje de abscisas permite identificar los grupos formados, que se ubicaron a la izquierda de la misma.....140

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el 70% de las extracciones de agua dulce es utilizado para la producción agrícola bajo riego. La superficie total cultivada es de 1600 millones de hectáreas, pero sólo el 20% se efectúa bajo riego. Sin embargo, produce el 40% de los alimentos del mundo (FAO, 2011). Por otro lado, a medida que aumenta el bienestar global, se incrementa el uso de agua para otros destinos como el doméstico, industrial y de esparcimiento, que compiten con la agricultura por el recurso hídrico (Schilardi, 2010). Asimismo, el crecimiento de la población mundial continúa y se estima que, para alimentar a la misma en el año 2050, el incremento de la producción deberá ser del 60%, en comparación con el presente (FAO, 2013). Ante este escenario de mayor demanda de alimentos y menor disponibilidad agua, la agricultura bajo riego deberá revisar y mejorar la eficiencia de uso del recurso hídrico ya que existe un amplio margen de mejora (Burt *et al.*, 1997; Turégano Pastor, 2014).

La superficie bajo riego en Argentina ocupa 2,1 millones de hectáreas y corresponde a un 5% de la superficie total cultivada en el país. Dicha superficie, a pesar de su baja eficiencia relativa, genera alrededor del 13% del valor de la producción agrícola nacional (FAO, 2015). Se piensa que Argentina en los próximos 30 años tendrá un papel fundamental en la producción mundial de alimentos porque posee un potencial de ampliación del orden de 6,2 millones de hectáreas, casi el triple de la superficie actualmente irrigada (FAO, 2015). No obstante, esto sólo será posible si se utilizan, cada vez en mayor proporción, métodos de riego más eficientes, como el riego por goteo.

El riego por goteo aplica láminas de agua de forma muy precisa, permitiendo controlar el nivel de humedad del suelo, reduciendo pérdidas de agua por percolación profunda (Schilardi, 2015). Asimismo, los volúmenes de agua infiltrados en toda la superficie del cultivo son muy uniformes (Schilardi, 2015). Es muy recomendable su utilización en zonas áridas, donde el balance hídrico es netamente deficitario. Como ejemplo, se puede citar a la provincia de San Juan, donde la evapotranspiración es ampliamente superior a

los aportes por precipitaciones que son, en promedio, inferiores de 100mm al año (Pereira, 2000).

El oasis del valle de Tulum es el más importante de la provincia de San Juan. Cuenta con una superficie de 84484 ha, que representa el 80% de la superficie provincial cultivada (Departamento de Hidráulica, 2007), concentrando 13 de los 19 departamentos de San Juan (Paz *et al.*, 2010). Se ubica en la parte baja de la cuenca del Río San Juan y por su proximidad con los oasis de Ullum y Zonda, forman una unidad económica (Pugliese *et al.*, 2014). La Figura 1 muestra la ubicación de los oasis de la provincia de San Juan (CEFOCCA, 2010).



**Figura 1. Oasis bajo riego de la provincia de San Juan**  
**Figure 1. Irrigated areas in San Juan Province**

En el oasis de Tulum, el principal cultivo es la Vid, cuya superficie abarca el 56,5% del total. Le sigue el cultivo del Olivo, con el 17%. El 83% de la superficie se encuentra bajo la red de riego, siendo la principal fuente de agua el Río San Juan, aunque eventualmente

se complementa con agua subterránea. El resto (17%) se riega exclusivamente con agua subterránea porque se encuentra fuera del área abastecida por la red de riego (Departamento de Hidráulica, 2007). La explotación de tierras sin derecho de riego fue factible gracias a la Ley de Promoción Agrícola N° 22973, conocida como “Ley de Diferimiento Impositivo”, que, a partir de la década de 1990, permitió expandir la frontera agrícola sobre tierras de bajo valor económico, cuya habilitación fue posible por la extracción de agua subterránea y el empleo de riego presurizado (Miranda y Medina, 2005). No obstante, en el oasis de Tulum, predominan los riegos gravitacionales (73%), razón por la cual la eficiencia de uso del agua es muy baja (Castro y Liotta, 1986; Liotta *et al.*, 2010 y Pugliese *et al.*, 2014). Sólo el 27% se riega por métodos presurizados, principalmente riego por goteo (79,3%) (Paz *et al.*, 2010). Sin embargo, la superficie con riego por goteo se viene incrementando en los últimos años, especialmente en los cultivos perennes de alto valor, porque se asegura una eficiencia de riego que mantiene la productividad y la calidad de las cosechas a mediano y largo plazo (Miranda, 2008).

Sumado a las razones expresadas *supra*, la superficie con riego por goteo en el cultivo de Vid ha aumentado por la baja oferta hídrica del Río San Juan debido a las escasas precipitaciones níveas en altas cumbres ocurridas en los últimos cinco ciclos hidrológicos (Departamento de Hidráulica, 2016) y por las oportunidades de créditos y subsidios para instalar equipos de riego por goteo, ofrecidos por el Gobierno provincial y la Corporación Vitivinícola Argentina (CoViAr), respectivamente. Así, ha aumentado la cantidad de pequeñas explotaciones con esta tecnología de riego, cuando hace 20 años sólo era posible en propiedades de más de 50 ha, por una razón de economía de escala (Miranda, 2008). Asimismo, existe poca información local acerca del desempeño del riego por goteo (Castro, 1997 y Schilardi *et al.*, 2012). Por su parte, Pereira (1999) y Ortega *et al.* (2005) sostienen que, cuando los agricultores son impulsados a utilizar una tecnología de riego sólo para ahorrar agua, sin un apropiado apoyo técnico, la adopción de la misma fracasa o el impacto no es el esperado. Ante este escenario, es imperante que instituciones como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), realicen un diagnóstico prospectivo del desempeño del método de riego mencionado con el objeto de conocer la eficiencia de riego e identificar problemas que atenten contra el desempeño óptimo, para

que el aprovechamiento de los recursos puestos en juego sea máximo y se continúe incorporando el riego por goteo en el corto y mediano plazo.

### **1.1. Características generales del riego por goteo.**

El riego por goteo es un método que aplica agua sobre la superficie del suelo en forma de gotas, mojando sólo una parte del mismo, la más próxima a la planta (Schilardi, 2015). Esto lo convierte en un riego localizado. Asimismo, es un método presurizado porque el agua es conducida por tuberías donde la presión es mayor a la atmosférica. Por último, se caracteriza por entregar pequeños caudales a presiones bajas y posee la capacidad de regar en forma muy frecuente (Pizarro, 1996).

Entre las principales ventajas, RodrigoLópez *et al.* (1992) mencionan:

- No moja la totalidad del suelo, esto reduce las pérdidas de agua por evaporación y disminuye la aparición de malezas.
- Utiliza pequeños caudales a baja presión, hecho relacionado con una menor potencia instalada y un bajo consumo de energía eléctrica.
- Es un riego de alta frecuencia, que mantiene el suelo en condiciones óptimas de humedad la mayor parte del tiempo y ocasiona elevación de rendimientos y en algunos casos, precocidad en las cosechas (Schilardi, 2015).

Schilardi (2015) destaca las siguientes características:

- Elevada uniformidad de distribución de las láminas aplicadas.
- Importante ahorro de agua (hasta 50%) por eliminación de las pérdidas por conducción, posibilidad de controlar el agua aplicada, reducción de la evaporación de suelo y elevada eficiencia de aplicación (por ausencia de escurrimiento superficial y reducción de percolación profunda). Novello *et al.* (2012) encontraron que, si toda la superficie cultivada con Vid en San Juan se regara por

goteo, se ahorraría un 44% de agua. Además, al reducirse la percolación profunda, se aminora la recarga de la capa freática.

Por su parte, Pizarro (1996) considera que, mediante riego por goteo, se puede efectuar:

- Riego deficitario controlado. La alta precisión para controlar la lámina aplicada y las reducidas pérdidas de agua, habilitan su uso en cultivos donde se desea aplicar agua con alta frecuencia, pero en cantidades inferiores a la  $ET_c$  máxima. Este procedimiento es ampliamente utilizado en trabajos de investigación y por agricultores cuando desean maximizar un atributo de calidad, a veces en detrimento del rendimiento. Un ejemplo es el estrés hídrico aplicado en viñedos para mejorar el aroma y el color de vinos tintos (Fontela *et al.*, 2009).
- Fertirrigación. La aplicación de fertilizantes con el agua de riego permite reducir costos de fertilizantes y mano de obra. Además, se dosifica en función de las necesidades del cultivo y, al estar disuelto en agua, se distribuye más homogéneamente en el suelo. Asimismo, se pueden aplicar plaguicidas con el sistema de fertirriego.
- Riego en terrenos marginales. El riego por goteo es aplicable bajo condiciones que para otros métodos sería imposible, como suelos muy arenosos, suelos someros con gravas y gravillas y terrenos con pendientes elevadas o con topografía irregular.

Novello *et al.* (2014) resaltan que, en el cultivo de Vid para consumo en fresco con riego por goteo, se produce un ahorro del 14% de los costos operativos en comparación con el riego por superficie, principalmente porque se reduce la mano de obra para regar y aplicar fertilizantes.

Otra ventaja importante que tiene es la posibilidad de uso de aguas marginales (salinas) para riego. Esto es así porque se mantiene la zona radical a niveles muy altos de humedad y bajos de salinidad por la continua aplicación de agua, concentrándose la sal en la periferia del bulbo húmedo, donde se forma una barrera química para el crecimiento de

las raíces (Burt e Isbell, 2005 y Nijensohn, 1977). Asimismo, es recomendable utilizar el riego por goteo con aguas salinas porque se alcanzan eficiencias de aplicación y distribución muy altas. Ello significa que se aplica el volumen mínimo necesario para cubrir el déficit de evapotranspiración y las necesidades de lavado, reduciendo de esta forma la cantidad de sal agregada y, por ende, la que hay que lavar (Prieto, 2008).

La principal desventaja de este método es la elevada inversión inicial para su instalación (Schilardi, 2015), sólo recomendándose su adopción si previamente se ha efectuado un análisis económico del cultivo a regar.

Otras limitantes son la necesidad de energía eléctrica para el funcionamiento del equipo y el requerimiento de un abastecimiento continuo de agua. La forma de entrega de agua en San Juan no responde a esta necesidad ya que está pensada para riego gravitacional, donde es necesario caudales de manejo elevados durante un tiempo moderado. Esta situación obliga a construir reservorios para almacenar el agua hasta el siguiente turno de entrega.

Merriam y Keller (1978) resaltaron dos limitaciones, que son la facilidad de obturación de emisores por su reducido diámetro de paso y la formación de salinidad localizada alrededor del bulbo húmedo que puede ser perjudicial para el cultivo ante un inapropiado manejo del riego. Esta última desventaja también la resaltan Hanson y May (2011).

## **1.2.Desempeño del riego por goteo**

El desempeño del riego por goteo depende de muchos factores. Entre los más importantes, se destaca el diseño (agronómico e hidráulico), la calidad de los materiales utilizados, la operación de riego y el mantenimiento de las instalaciones (Schilardi, *et al.*, 2012). Por su parte, Pereira (1999) califica el método de riego a través de dos indicadores: La uniformidad de distribución de las láminas aplicadas (DU) y la eficiencia de aplicación ( $E_{Ap}$ ). DU está determinada por la combinación de parámetros de diseño que se expresan a continuación:

$$DU = f(P, \Delta P, Ec; CV_m, FI) \quad (1)$$

Donde:

P: presión nominal de emisor ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

$\Delta P$ : variación de presión admisible dentro del sistema ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

Ec: características de descarga del emisor seleccionado (caudal vs. presión)

$CV_m$ : coeficiente de variación de fabricación del emisor seleccionado

FI: capacidad y desempeño del sistema de filtrado

Asimismo, la  $E_{Ap}$  resulta de la combinación de variables que pueden expresarse de la siguiente manera:

$$E_{Ap} = f(P, \Delta P, Ec; CV_m, FI, K_s, W_a, T_{Ap}, IR) \quad (2)$$

Donde:

$K_s$ : conductividad hidráulica del suelo ( $\text{m}\cdot\text{día}^{-1}$ )

$W_a$ : humedad actual del suelo antes del riego ( $\text{g}\% \text{g}$ )

$T_{Ap}$ : tiempo de aplicación de riego (h)

IR: intervalo de riego (días)

La ecuación 2 indica que  $E_{Ap}$  depende de DU y de factores vinculados a la programación del riego. Mientras menos uniforme es un equipo de riego, mayor es el volumen de agua a aplicar para que, en el sector en peores condiciones hidráulicas, infiltre la lámina objetivo (Turégano Pastor, 2014). La baja uniformidad ocasiona pérdidas de agua por percolación profunda en los sectores más irrigados y mayor riesgo de déficit hídrico en las zonas que reciben menos agua (Bohórquez y Ruiz, 2011). Por lo tanto, la uniformidad de distribución es un indicador muy apropiado para calificar el desempeño de riego por goteo (Pereira, 1999). Por esta razón, en la mayoría de los trabajos de evaluación de riego por goteo se evalúa la uniformidad de distribución (Bohórquez y Ruiz, 2011; Cachuma CRCO, 1994; Camp *et al.*, 1997; Dahlgren, 1987; Fontela *et al.*, 2009; Martello *et al.*, 2012; Morábito *et al.* 2006a; Ortega *et al.*, 2005; Schilardi *et al.*, 2012; Styles *et al.*, 2008). Las expresiones 1 y 2 consideran diversos factores vinculados al diseño. Sin embargo, para que un equipo de riego trabaje según las condiciones de diseño, se debe efectuar periódicamente un estricto control del funcionamiento y realizar el mantenimiento de los componentes del equipo según las especificaciones del fabricante.



### 1.2.1. Uniformidad de distribución

El principal objetivo del diseño hidráulico en riego por goteo es conseguir una distribución uniforme del agua arrojada por los emisores, es decir, la diferencia entre la cantidad de agua que reciben las plantas en la mejor y peor condición hidráulica debe ser la mínima posible (Turégano Pastor, 2014). Existen numerosas investigaciones acerca de los factores que influyen sobre la uniformidad de distribución. Aquí se presentan los trabajos más relevantes en la temática.

Merriam *et al.* (1973), desarrollaron la primer técnica de evaluación de equipos de riego por goteo, definiendo un indicador denominado Uniformidad de emisión (EU), actualmente conocido como  $DU_{lq}$  (uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado). La fórmula utilizada para su cálculo fue la siguiente:

$$DU_{lq} = \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{e}} + \frac{1}{\sqrt{e}} \frac{q_{\min lq}}{q_{avg}} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

e: número de emisores por planta

$q_{\min lq}$ : caudal promedio del cuarto más perjudicado (L.h<sup>-1</sup>)

$q_{avg}$ : caudal promedio de todos los emisores medidos (L.h<sup>-1</sup>)

Nótese que en la ecuación 3 se consideró la variable número de emisores por planta porque las variaciones de un emisor se compensan con las de los otros, por lo que la variación del caudal total por planta es menor que la que cabría esperar considerando sólo los emisores individuales. Por esta razón, se tomó como referencia la planta, en lugar del emisor.

Keller y Karmelli (1974) consideraron dos componentes de “no uniformidad”, que utilizaron para el diseño de equipos (ecuación 4).

$$DU_{lq} = \left( 1 - 1,27 * \frac{CV_m}{\sqrt{e}} \right) * \left( \frac{q_n}{q_{avg}} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

$CV_m$ : coeficiente de variación de fabricación del emisor

$q_n$ : caudal mínimo del emisor ( $L \cdot h^{-1}$ )

El primer término de la ecuación 4 se refiere a la influencia en la uniformidad de distribución de la variación de fabricación de los emisores y el segundo término, de las variaciones de presión.

El  $CV_m$  es un término estadístico característico, que depende del diseño del emisor, de los materiales utilizados en su fabricación y del cuidado y tolerancias admitidas en el proceso de la misma, su valor varía de 0,02 a 0,20 (Gil *et al.*, 2002). Se calcula a partir de los caudales recogidos en un ensayo de laboratorio realizado sobre una muestra aleatoria de 25 emisores, que trabajan a la presión nominal, que es la presión de diseño, generalmente 1 bar (Turégano Pastor, 2014). Goldberg (1974) clasificó a los emisores en función del  $CV_m$  (Tabla 1). La misma clasificación propone la *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE EP405.1, 2003).

**Tabla 1. Clasificación de emisores según coeficiente de fabricación ( $CV_m$ )**  
**Table 1. Emitters classification according to manufacturing coefficient ( $CV_m$ )**

Rango	Clasificación
$CV_m \leq 0,04$	Excelente
$0,04 < CV_m \leq 0,07$	Medio
$0,07 < CV_m \leq 0,10$	Marginal
$0,10 < CV_m \leq 0,15$	Deficiente
$CV_m > 0,15$	Inaceptable

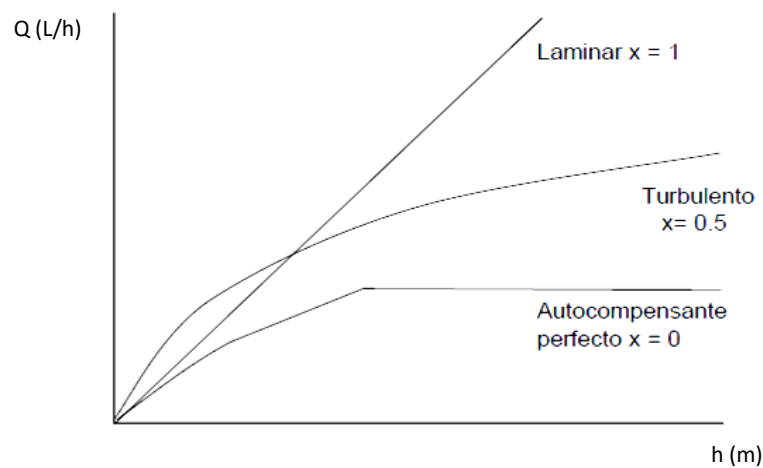
Las normas ISO 9260 establecen que los emisores son de categoría A cuando  $CV_m \leq 0,05$  y de categoría B si  $0,05 < CV_m \leq 0,10$  (Díaz Canivilo, 2002). Asimismo, en el banco de prueba mencionado, se puede determinar la ecuación de descarga del emisor (o “ecuación característica”), cuya expresión es la siguiente (Bliesner, 1977):

$$q = K * h^x \quad (5)$$

Donde:

q: caudal del emisor ( $L \cdot h^{-1}$ )  
K: coeficiente de descarga  
h: presión de trabajo del emisor (mca)  
x: exponente de descarga

La variación de  $CV_m$  se debe a la variación de K, ya que x se mantiene constante (Turégano Pastor, 2014). El exponente de descarga describe el tipo de flujo del emisor (Figura 2).



**Figura 2. Relación caudal – presión de emisores según régimen**  
**Figure 2. Pressure vs flow rate chart according to regime**

Mientras menor es el exponente del emisor, menor es la variación de caudal ante la variación de presión. Los emisores de flujo laminar son inaceptables porque resulta imposible obtener uniformidades adecuadas en condiciones normales de diseño. Además, el caudal es muy sensible a los cambios de temperatura del agua (Pizarro, 1996). La Figura 2 muestra que el gotero de flujo turbulento es el que mejor ajusta a la ecuación 5 (ecuación potencial). Este tipo de goteros se recomienda utilizar en terrenos con pendiente uniforme y reducida y tuberías laterales de longitud media a corta. Por último, se encuentran los emisores autocompensantes que erogarán el mismo caudal ante un amplio rango de presiones. Por esta razón, se recomienda su uso bajo condiciones de topografía irregular, fuertes pendientes y longitudes de laterales extensas (Schilardi, 2015). Además de la ecuación de descarga del emisor, el fabricante debe indicar el rango de presiones de

funcionamiento de los emisores y el valor del  $CV_m$ , información fundamental para el ingeniero proyectista (Turégano Pastor, 2014).

Keller y Karmelli (1974) definen el Coeficiente de Uniformidad Absoluta ( $CU_a$ ), porque la productividad de un cultivo es afectada tanto por la falta de agua como por el exceso, integrando un nuevo factor que se muestra en la siguiente ecuación:

$$CU_a = \left(1 - \frac{1,27CV_m}{\sqrt{e}}\right) * \frac{1}{2} * \left(\frac{q_n}{q_{avg}} + \frac{q_{avg}}{q_{12,5}}\right) \quad (6)$$

Donde:

$q_{12,5}$ : caudal promedio del 12,5% de los emisores de más alto caudal ( $L.h^{-1}$ )

Bliesner (1977) determinó que la presión debe ser ajustada por el exponente de descarga del emisor. Dicho investigador introdujo el concepto de “Uniformidad de presiones” y lo calculó mediante la siguiente ecuación:

$$DU_{iq} .due.to.pressure = \left(\frac{\bar{P}_{1/4}}{\bar{P}}\right)^x * 100 \quad (7)$$

Donde:

$DU_{iq}$  due to pressure: uniformidad de distribución de caudales debido a variaciones de presión (%)

$\bar{P}_{1/4}$ : presión promedio del cuarto más perjudicado ( $kg.cm^{-2}$ )

$\bar{P}$ : presión promedio de todos los emisores medidos ( $kg.cm^{-2}$ ).

Merrian y Keller (1978) revisaron su metodología de evaluación original de 1973 y propusieron un método simplificado, ampliamente utilizado y recomendado (Bohórquez y Ruiz, 2011; Díaz Canivilo, 2002; Pizarro, 1996; Rodrigo López *et al.*, 1992; Schilardi, 2015; Tarjuelo Martín-Benito, 1992). Consiste en seleccionar una subunidad representativa del equipo y sobre ésta, efectuar mediciones de caudales y presiones de

emisores. La ecuación 8 se refiere al cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales ( $CU_c$ ).

$$CU_c = \frac{q_{25\%}}{q_{avg}} * 100 \quad (8)$$

Donde:

$q_{25\%}$ : caudal promedio de la cuarta parte de más bajo caudal de emisor ( $L.h^{-1}$ )

Entiéndase por subunidad a la superficie que se riega simultáneamente desde un mismo punto, donde se regula o controla la presión de entrada del agua (Rodrigo López *et al.*, 1992).

A su vez, determinaron el coeficiente de uniformidad de presiones ( $CU_h$ ):

$$CU_h = \left( \frac{\bar{P}_{1/4}}{\bar{P}} \right)^x * 100 \quad (9)$$

Si se compara  $CU_h$  con  $CU_c$ , se puede determinar si la naturaleza del problema es debido a variaciones de presión o cuando esta sea normal, a obturación de emisores (Rodrigo López *et al.*, 1992).

Por otra parte, propusieron calcular la uniformidad de la operación ( $CU_s$ ) y a partir de ésta, estimar la uniformidad de la instalación (ecuación 10).

$$CU_s = CU_c * f \quad (10)$$

Donde:

f: factor de corrección de descargas

Para calcular f, se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \left( \frac{P'_{25\%}}{P'_{prom}} \right)^x \quad (11)$$

Donde:

$P'_{25\%}$ : media de las presiones mínimas medidas en las tuberías terciarias que representen la cuarta parte de más baja presión de la operación seleccionada ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

$P'_{prom}$ : media de todas las presiones mínimas medidas en las tuberías terciarias de la operación seleccionada ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

Los rangos de valores de  $CU_c$  para cada nivel de clasificación se muestran en la Tabla 2 (Merriam y Keller, 1978).

**Tabla 2. Clasificación de indicadores de desempeño en riego por goteo**  
**Table 2. Performance indicators for drip irrigation**

Clasificación	$CU_c$ (%)
Excelente	>90
Bueno	80-90
Regular	70-80
Pobre	60-70
Inaceptable	<60

Nótese que en este método simplificado no se ajusta  $CU_c$  por el número de emisores por planta (e).

La norma ASAE EP405.1 (2003) propone valores de  $CU_c$ , en función del tipo de emisor, tipo y espaciamiento de cultivo, topografía y pendiente del terreno (Tabla 3).

**Tabla 3. Valores de  $CU_c$  recomendados por ASAE EP405.1**  
**Table 3. ASAE EP405.1  $CU$  recommended values**

Tipo de emisor	Espaciamiento (m)	Topografía	Pendiente (%)	Rango $CU_c$ (%)
Emisor en cultivos permanentes	> 4	Uniforme	< 2	90-95
		En pendiente u ondulada	> 2	85-90
Emisor en cultivos permanentes o semipermanentes	< 4	Uniforme	< 2	85-90
		En pendiente u ondulada	> 2	80-90
Tuberías emisoras en cultivos anuales o permanentes	Cualquiera	Uniforme	< 2	80-90
		En pendiente u ondulada	> 2	70-85

Por su parte, Solomon y Keller (1978) concluyeron que las variaciones de fabricación de emisores son tan influyentes sobre la uniformidad como las variaciones de presiones en el diseño hidráulico.

Nakayama *et al.* (1979) asumieron que los caudales de los emisores siguen una distribución normal y realizaron un análisis del impacto del número de emisores por planta y el  $CV_m$  sobre la uniformidad de descarga de los emisores. Luego, Nakayama y Bucks (1981) estudiaron como el taponamiento total de emisores influye sobre  $DU_{lq}$ .

Bralts y Kesner (1983) asumieron que los caudales siguen una distribución normal y recomendaron efectuar 18 mediciones aleatorias de caudal para estimar adecuadamente un coeficiente de uniformidad estadístico, que se muestra en la ecuación 12.

$$CV_q = \frac{\sigma_q}{q_{avg}} \quad (12)$$

Donde:

$CV_q$ : coeficiente de variación total de caudales

$\sigma_q$ : desviación estándar de los caudales de los emisores medidos ( $L \cdot h^{-1}$ )

Asimismo, definieron la uniformidad estadística ( $U_s$ ), para evaluar el riego por goteo de la subunidad (ecuación 13).

$$U_s = (1 - CV_q) * 100 \quad (13)$$

La clasificación de uniformidad de riego en función del  $CV_q$  y  $U_s$  se muestra en la Tabla 4 (Bralts y Kesner, 1983).

**Tabla 4. Clasificación de uniformidad de riego en función de  $CV_q$  y  $U_s$**   
**Table 4. Irrigation uniformity classification according to  $CV_q$  and  $U_s$**

$CV_q$	$U_s$ (%)	Clasificación
> 0,4	< 60	Inaceptable
0,4 - 0,3	60 – 70	Baja
0,3 - 0,2	70 – 80	Aceptable
0,2 - 0,1	80 – 90	Muy Buena
0,1 - 0,0	90 - 100	Excelente

Igualmente, determinaron la uniformidad de presiones, expresada en la ecuación 14.

$$CV_h = \frac{\sigma_h}{P} \quad (14)$$

Donde:

$CV_h$ : coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas

$\sigma_h$ : desviación estándar de las presiones de los emisores medidos ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

Por último, determinaron la uniformidad de emisores (ecuación 15).

$$CV_e = (CV_q^2 - x^2 * CV_h^2)^{1/2} \quad (15)$$

Donde:

$CV_e$ : coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de emisores

El valor de  $CV_e$  debe mantenerse por debajo de 0,2, en caso contrario, los emisores trabajan inadecuadamente (emisores obstruidos o de baja calidad de fabricación), dando como resultado elevados valores de  $CV_q$ . En cambio, si el  $CV_q$  tiene un valor alto y el  $CV_e$  es menor que 0,2, la baja uniformidad es de origen hidráulico (mala regulación de presión



de válvula, mal diseño hidráulico, oscilaciones de presiones inadmisibles durante el tiempo de riego).

Los indicadores presentados permiten separar baja uniformidad de riego por causas hidráulicas o por baja uniformidad de los emisores (Pizarro, 1996). Las ventajas que ofrece este método son la simplicidad de las determinaciones a campo y la capacidad de establecer límites de confianza sobre las estimaciones de uniformidad (Bralts y Kesner, 1983). Esta metodología se encuentra recomendada por ASAE para evaluaciones rápidas en su publicación ASAE EP458 (ASAE, 1998). Camp *et al.* (1997), sugirieron no aplicar la misma cuando existe una alta proporción de emisores tapados en la subunidad, ya que no se obtiene la uniformidad real debido a que el número de emisores medidos (18) es insuficiente.

A principios de la década de 1980, había varios trabajos de investigación publicados sobre evaluación de riego por goteo. Sin embargo, en California, los grupos que evaluaban equipos de riego utilizaban diferentes procedimientos de evaluación y los más audaces, creaban su propia metodología, muchas veces basada en supuestos incorrectos. Además, un mismo equipo de riego podía ser evaluado en pocas horas por un grupo y en varios días por otro. Como consecuencia, los resultados obtenidos tenían errores y no eran comparables (Burt, 2004). Ante este escenario, Burt *et al.* (1985) publicaron un manual para estandarizar procedimientos de evaluación para diferentes métodos de riego. Los autores calcularon  $DU_{iq}$  mediante el producto de las uniformidades de diferentes factores que influyen sobre la uniformidad de descarga del sistema. Asimismo, se fundó el Centro de Investigación y Entrenamiento de Riego (ITRC), en la Universidad Politécnica de California, San Luis Obispo, para capacitar los grupos que evaluaban equipos de riego.

Según Solomon (1985), los factores nombrados afectan de diferente modo al CU. El ordenamiento que propone, de mayor a menor importancia, es el siguiente:

1. Obturaciones.
2. Número de emisores por planta (e).

3. Coeficiente de variación de fabricación del emisor ( $CV_m$ ).
4. Exponente de descarga del emisor ( $x$ ).
5. Sensibilidad del emisor a la temperatura del agua.
6. Diferencias de presión en la subunidad.
7. Coeficiente de variación de fabricación de los reguladores de presión.
8. Relación entre las pérdidas de carga que se produce en la tubería terciaria y en el lateral.
9. Número de diferentes diámetros de la tubería terciaria (si es telescópica).

No obstante, el ordenamiento anterior no es absoluto, es aplicable para sus valores medios, ya que depende de la magnitud de los diferentes factores citados (Díaz Canivilo, 2002; Turégano Pastor, 2014).

Por su parte, Pizarro (1996) y Rodrigo López *et al.* (1992), enunciaron que la falta de uniformidad se encuentra determinada por factores de tipo i) Constructivos, propios de los procesos de fabricación de los emisores y materiales empleados en las subunidades; ii) Hidráulicos, producto de las pérdidas de carga en tuberías y de los desniveles topográficos que originan diferentes presiones, iii) Envejecimiento y obturaciones de emisores y iv) Diferencias de temperatura y la respuesta del emisor a dichos cambios.

Dahlgren (1987) examinó tres equipos de riego en detalle para comparar el procedimiento de evaluación rápido de ITRC contra un proceso mucho más detallado. Llegó a la conclusión que los métodos de muestreo y cálculo eran sólidos, pero hizo varias recomendaciones de mejora, que luego fueron incorporadas en el programa de ITRC.

Clemmens y Solomon (1997) recomendaron la siguiente ecuación (16) para el cálculo de la uniformidad de distribución global o del sistema ( $DU_{lqg}$ ).

$$DU_{lqg} = 1 - \sqrt{\left(1 - DU_{lq1}\right)^2 + \left(1 - DU_{lq2}\right)^2 + \frac{\left(1 - DU_{lq1}\right)^2 * \left(1 - DU_{lq2}\right)^2}{K_a^2}} \quad (16)$$

Donde:

DU<sub>iq1</sub>: uniformidad de distribución debido a diferencias de presión

DU<sub>iq2</sub>: uniformidad de distribución debido a “otras causas”

K<sub>a</sub>: factor constante igual a 1,27

Clemmens y Solomon (1997) demostraron que el procedimiento de Burt *et al.* (1985) daba un valor inferior de DU<sub>iqg</sub> al obtenido a partir de la ecuación 16. Por su parte, Burt (2004) considera que, si un componente que influye en la uniformidad de riego es ignorado en un procedimiento de evaluación, el valor de DU<sub>iqg</sub> obtenido es sobreestimado. De esta forma, revisó el procedimiento de cálculo de 1985, considerando las sugerencias de Dahlgren (1987) y propuso el cálculo de la Uniformidad de distribución global, mediante la siguiente ecuación:

$$DU_{iqg} = DU_{iq\Delta P} * DU_{iqOther} * Uneven.spacing.DU * Unequal.drainage.DU \quad (17)$$

Donde:

DU<sub>iqΔP</sub>: uniformidad de distribución relacionada con diferencias de presión

DU<sub>iqOther</sub>: uniformidad de distribución relacionada con “otras causas”

*Uneven spacing* DU: uniformidad de distribución relacionada con espaciamiento desigual

*Unequal drainage* DU: uniformidad de distribución relacionada con drenaje desigual

DU<sub>iqΔP</sub> se refiere a las variaciones de presión a lo largo de los laterales, entre laterales y al inicio de las subunidades.

DU<sub>iqOther</sub> incluye la variación de fabricación y la obturación de los emisores, situaciones difíciles de aislar a campo (se asemeja a DU<sub>iq2</sub>). Este componente ajusta el cálculo por el número de emisores por planta (e).

*Uneven spacing* DU se refiere a la falta de uniformidad por tener diferente número de emisores por unidad de área del terreno. Esto ocurre cuando hay varios marcos de plantación, pero con el mismo número de emisores por planta.

*Unequal drainage* DU está relacionado con el drenaje desigual, sólo es importante en terrenos con fuerte pendiente, donde algunos emisores, luego de apagar el equipo de riego, siguen drenando agua, cuando la mayoría de los mismos ha dejado de drenar o gotear.

Burt (2004) sostiene que, a través de este procedimiento, se pueden dirigir acciones específicas para incrementar la uniformidad de riego porque se conoce el impacto relativo de cada componente sobre  $DU_{lqg}$ .

Schilardi *et al.* (2012) efectuaron evaluaciones de riego por goteo y microaspersión en Mendoza y San Juan y determinaron  $DU_{lqg}$  a través de las ecuaciones 16 y 17. Concluyeron que la metodología de Clemmens y Solomon (1997) sobreestima el valor, ya que no considera algunos componentes que si considera Burt (2004), como se puede apreciar en las ecuaciones mencionadas. Styles *et al.* (2008), luego de efectuar evaluaciones minuciosas en un monte de Pistacho, en el valle de San Joaquín, California, obtuvieron mayor precisión con la metodología de Burt (2004). Sin embargo, manifestaron que la utilización de una metodología u otra depende de la distribución de presiones y caudales de emisores dentro de la subunidad.

La uniformidad de riego es un valor que se impone en el diseño de un equipo, bajo condicionantes técnicos y económicos. Un  $CU_c$  elevado exige mayor coste inicial de la instalación (mayores diámetros de las tuberías, laterales más cortos, mayor número de reguladores de presión, uso de goteros autocompensantes), pero un  $CU_c$  bajo, trae como consecuencia un mayor consumo de agua y energía durante la vida útil del equipo (Pizarro, 1996). La evaluación de desempeño de riego por goteo confirma si el diseño fue satisfactorio. Además, es importante para los regantes porque permite ajustar la programación de riego y la inyección de fertilizantes, como así también revisar si el mantenimiento de las instalaciones ha sido adecuado. Finalmente, conocer la uniformidad de riego es fundamental para los investigadores, ya que es una fuente medible de variación sistemática en los experimentos de riego a campo con sistemas presurizados (Bralts y Edwards, 1986).

### 1.2.2. Programación de riego

La programación de riego consiste en reponer el agua requerida por la planta para su desarrollo, en la cantidad y momento adecuados, con el objetivo de maximizar su producción o bien, obtener un producto de calidad definido (Sellés y Ferreyra, 2005).

La programación establece la frecuencia y el tiempo de riego. Sellés y Ferreyra (2005) consideran que se deben tener presentes los siguientes factores:

- Condiciones climáticas, que determinan la demanda evaporativa de la atmósfera o evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ).
- Características propias del cultivo, como estado de desarrollo, momento fenológico, distribución del sistema radical.
- Características propias del suelo, como capacidad de retención de humedad, aireación, porcentaje de piedras, profundidad y variabilidad espacial.
- En el caso de equipos de riego por goteo, características propias, como intensidad de precipitación real del equipo o el caudal aplicado por planta.

La condición de riego localizado tiene varios efectos. Uno de ellos es que se modifica la evaporación y la transpiración del cultivo. La evaporación del suelo se reduce porque la superficie mojada es pequeña y se encuentra a la sombra del cultivo y la transpiración es ligeramente superior porque el aire circundante a la planta se encuentra más caliente. El resultado es una reducción neta de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) de 10 a 15% (Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015).

Otro efecto de la localización es sobre la distribución de raíces. Araujo *et al.* (1994) encontraron un sistema radical poco profundo y acotado lateralmente en vides regadas con goteo (las raíces sólo crecían donde existía adecuada humedad de suelo), en comparación con vides regadas por surco, donde las raíces eran más profundas y extendidas lateralmente. Asimismo, determinaron un consumo 12,5% mayor en riego por surcos,

mientras que el estado hídrico y parámetros de crecimiento se mantuvieron similares en ambos métodos de riego.

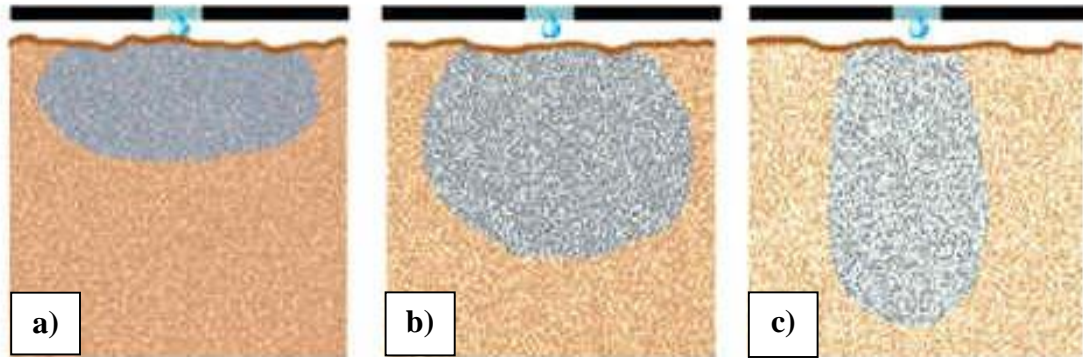
La frecuencia de riego depende de la textura de suelo porque ésta define la capacidad de almacenaje de agua del suelo. Pizarro (1996) propone intervalos de riego máximos en riego por goteo, según tipo de suelo (Tabla 5).

**Tabla 5. Intervalo de riego (IR) por goteo según textura de suelo**  
**Table 5. Drip irrigation interval (II) according to soil texture**

<b>Textura de suelo</b>	<b>IR máximo (Días)</b>
Arenoso	3
Franco	4
Arcilloso	5

La variable IR es flexible y factible de modificar. Sin embargo, no es conveniente regar con una frecuencia menor a un día por la imposibilidad de recuperar tiempo en caso de avería (Pizarro, 1996). Miranda (2002) recomienda regar durante 19 horas por día para reducir costos energéticos, evitando regar en horas “punta”. Sellés *et al.* (2006) probaron distintos IR en un cultivo de Vid para consumo en fresco, sobre un suelo franco arcilloso. Los resultados fueron mayor calibre de baya y mayor peso de poda en el riego menos frecuente, debido a un mejor equilibrio agua-aire y un mayor tamaño de bulbo húmedo (riegos más prolongados).

Un factor importante a considerar en goteo es el volumen de suelo mojado, el cual está estrechamente relacionado con la textura de suelo (Figura 3).



**Figura 3. Efecto de la textura de suelo en la forma del bulbo húmedo (Schilardi, 2015). a) Arcilloso, b) Franco y c) Arenoso**  
**Figure 3. Effect of soil texture on the shape of wet bulb (Schilardi, 2015) a) Clay, b) Loam and c) Sandy**

Para evitar acumulación salina a lo largo del lateral de riego, se debe cumplir con una condición de solape de bulbos húmedos contiguos, lo recomendado es 15 a 30% (Pizarro, 1996). Esto determina la separación entre emisores y el caudal del mismo para una tasa pluviométrica definida. Además, se recomienda una fracción de suelo mojado mínimo de 33% para vides (Pizarro, 1996). Sin embargo, esto depende de la extensión radical del cultivo porque Sellés *et al.* (2003), en viñedos poco productivos con riego por goteo, obtuvieron un peso y calibre de bayas superior al agregar un lateral extra por hilera (aplicando la misma lámina de riego). Esto se explica porque en el sitio del ensayo (Valle de Aconcagua, Chile) ocurren precipitaciones invernales que estimulan el crecimiento de raíces en todo el interfilar. En cambio, Castro (2000) obtuvo resultados diferentes en un viñedo para consumo en fresco en San Juan, en suelo arenoso franco, ya que determinó similares superficies mojadas, extensiones radicales, calibre de bayas y rendimiento por planta utilizando un lateral por hilera con alta tasa de precipitación, que con dos laterales por hilera (con similar intensidad pluviométrica). Por lo tanto, recomendó trabajar con un lateral por la reducción de costos y simplificación en el manejo del cultivo.

El cálculo de necesidad bruta de riego ( $N_{br}$ ) incluye la uniformidad de riego, como se puede ver en la ecuación 18.

$$N_{br} = \frac{N_{nr}}{((1 - \alpha) * UD)} \quad (18)$$

Donde:

$N_{nr}$ : necesidad neta de riego ( $\text{mm.día}^{-1}$ )

$\alpha$ : coeficiente de pérdida

UD: uniformidad de distribución o coeficiente de uniformidad de caudales

La ecuación 18 indica que, mientras más uniforme es el riego, menor es la lámina de riego a aplicar para cumplir con las necesidades netas del cultivo, generando un ahorro de agua y energía eléctrica.

En zonas áridas, de escasas precipitaciones y con frecuencias diarias de riego, los aportes diarios de agua por precipitación efectiva ( $P_e$ ) no se consideran porque la frecuencia de riego es alta y la probabilidad de ocurrencia de una lluvia entre dos riegos es muy baja (Pizarro, 1996). Tampoco se computan los aportes de agua por ascenso capilar ( $G$ ), salvo que el cultivo se encuentre en una zona de capa freática cercana. Por lo tanto,  $N_{nr}$  (necesidad de riego neta) resulta igual a  $ET_H$  (evapotranspiración del cultivo en riego localizado). La  $ET_H$  depende de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y de coeficientes que están en función del efecto de localización, de las condiciones climáticas adversas y de los efectos de advección.

El método estándar único, aceptado por la FAO (*Food Agricultural Organization*), para el cálculo de  $ET_o$ , es el propuesto por Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006). Esto significa que cualquier otro método de cálculo de  $ET_o$ , debe validarse mediante la comparación con los resultados obtenidos con Penman- Monteith. La ecuación propuesta es aceptada mundialmente porque considera numerosos factores que influyen sobre la  $ET_o$ , tanto meteorológicos (temperatura media, velocidad de viento a 2m de altura, flujo de calor del suelo, radiación solar, déficit de presión de vapor), como relacionados a un cultivo de referencia (césped, resistencia aerodinámica y albedo). La limitante que tiene este método es que se requieren de muchos datos, entonces, surge como una alternativa, que ofrece buenos resultados, la estimación de  $ET_o$  (ecuación 19) a partir de la evaporación de agua del tanque tipo A.



$$ET_o = E_o * K_p \quad (19)$$

Donde:

$E_o$ : evaporación de agua del tanque (mm.día<sup>-1</sup>)

$K_p$ : coeficiente de tanque

El coeficiente de pérdida ( $\alpha$ ) se define seleccionando el mayor valor entre  $1 - E_{Ap}$  y el requerimiento de lixiviación ( $R_L$ ). La  $E_{Ap}$  es la relación entre el volumen de riego objetivo y el volumen aplicado (Morábito y Schilardi, 2011). Existen valores de referencia de  $E_{Ap}$  (Tabla 6). A mayor capacidad de almacenaje del suelo (mayor contenido de arcillas) y mayor profundidad radical, aumenta la  $E_{Ap}$ , porque se reducen las pérdidas por percolación profunda, que es el agua infiltrada por debajo de la profundidad de raíces (Burt *et al.*, 1997).

**Tabla 6. Eficiencia de aplicación en riego por goteo en zonas áridas (Pizarro, 1996)**  
**Table 6. Application efficiency of drip irrigation in arid areas (Pizarro, 1996)**

Profundidad raíces (m)	Textura			
	Grava	Arenosa	Franca	Arcillosa
< 0,75	0,85	0,90	0,95	0,95
0,75 a 1,50	0,90	0,90	0,95	1,00
> 1,5	0,95	0,95	1,00	1,00

El requerimiento de lixiviación ( $R_L$ ) es el excedente de agua de riego necesario para mantener el equilibrio salino en el suelo (Grassi, 1998). Para su cálculo, Schilardi (2015) propone utilizar dos ecuaciones, una propuesta por Keller, en 1990 (ecuación 20) y otra más exigente, sugerida por Allen, de 1998 (ecuación 21).

$$R_L = \frac{CE_a}{2 * CE_{es_{m\acute{a}x}}} \quad (20)$$

Donde:

$CE_a$ : conductividad eléctrica del agua (dS.m<sup>-1</sup>)

$CE_{es_{m\acute{a}x}}$ : conductividad eléctrica del extracto de saturación de suelo máxima (dS.m<sup>-1</sup>) que soporta el cultivo con una reducción de rendimiento del 100%

$$R_L = \frac{CE_a}{(6 * CE_{es_{mín}} - 2 * CE_a)} \quad (21)$$

Donde:

$CE_{es_{mín}}$ : conductividad eléctrica del extracto de saturación de suelo ( $dS \cdot m^{-1}$ ), valor que se impone como objetivo a conseguir con el lavado, generalmente coincide con un rendimiento del 100%

Solomon (1988) definió el coeficiente de programación. Si bien lo calculó para riego por aspersión, también es aplicable en riego por goteo. Se obtiene al dividir la cantidad de agua promedio infiltrada en toda la superficie de riego por la cantidad de agua infiltrada en el área que recibe la menor lámina (área crítica). Su valor es mayor que uno y mientras menos uniforme es el riego, más alto es. En la práctica, indica el tiempo adicional de riego para que el área crítica reciba la lámina objetivo.

Burt *et al.* (1997) identificaron como uso principal del agua, la consumida por evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ). Además, consideran beneficioso la cantidad de agua que se aplica para mantener la productividad del suelo en relación a la remoción de sales hasta alcanzar una concentración compatible con el cultivo, aquí se ha denominado requerimiento de lixiviación. Sin embargo, cuando la percolación profunda es mayor al requerimiento de lixiviación, la diferencia entre ambos se denomina percolación profunda no beneficiosa. Ello ocurre cuando se aplican tiempos de riego excesivos y/o cuando la uniformidad de riego es baja. Cuando la uniformidad es muy baja, puede ocurrir que en una parte del terreno se produzca percolación profunda y en otra no se aplique la lámina objetivo, generándose déficit hídrico.

Ajete Gil *et al.* (2011) menciona que la combinación eficaz de las variables caudal medio del emisor y tiempo de riego representa un criterio de manejo que proporciona una mayor eficiencia de aplicación y uniformidad de riego.

La verificación de la programación de riego por goteo se reduce básicamente a la temporización del riego, medición de volúmenes aplicados, control de frecuencias de riego y comprobación de presiones (Ortega *et al.*, 2005 y Pereira, 1999). Sin embargo, para lograr un buen desempeño de riego, la programación de riego debe ser monitoreada a los fines de satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Las dos formas más utilizadas son la medición de la humedad de suelo a través de sensores de humedad (actualmente es posible hacerlo de forma continua y en tiempo real) y la medición del estado hídrico del cultivo, siendo el potencial hídrico de tallo, la variable más aceptada (Sellés y Ferreyra, 2005). Esto se encuentra apoyado por Burt *et al.* (1997), quienes sostienen que, elevadas eficiencias de aplicación y uniformidad no aseguran un adecuado manejo del riego. Concluyen que un único aspecto no es suficiente para calificar un método de riego, pero, si se toman unos pocos aspectos de forma conjunta, se puede obtener información suficiente para la toma de decisiones.

Schilardi (2015) recomienda efectuar riegos de larga duración en el momento de reposo vegetativo de la Vid, que corresponde a los meses de mayo a agosto en San Juan. La finalidad es lavar sales, armar la franja húmeda y lograr la profundidad de suelo mojado que garantice un adecuado manejo del cultivo. Esta cantidad de agua aplicada representa un uso beneficioso para el cultivo (Burt *et al.*, 1997), aunque no se destine para la  $ET_c$ . Similar sugerencia efectúan Morábito *et al.* (2006a). Una estrategia de riego ampliamente utilizada es la programación de operación diaria, que consiste en reponer diariamente lo consumido por  $ET_c$ . Bajo esta forma, la humedad de suelo se mantiene en un nivel elevado (capacidad de campo) durante la mayor parte del tiempo. Sin embargo, no siempre es la mejor opción, en especial cuando el suelo es de textura fina y el cultivo es sensible a la baja concentración de oxígeno en el suelo (Sellés *et al.*, 2006). Otro tipo de programación consiste en calcular la lámina disponible total ( $L_d$ ) del suelo para la exploración de raíces del cultivo y regar una vez que se haya agotado el 30% de  $L_d$ . En este caso, lo ideal es monitorear de forma continua la humedad de suelo para decidir el momento oportuno de riego (Pizarro, 1996, Schilardi, 2015).

En resumen, la programación de riego por goteo mediante criterios técnicos comprobados es fundamental para obtener elevados rendimientos y rentabilidades. Buendía *et al.* (2006) obtuvieron una alta correlación entre  $CU_c$  y rendimiento en cultivos hortícolas en Guanajuato, México. En este sentido, el Estado, a través de instituciones de investigación y extensión como el INTA y las universidades públicas, juega un papel fundamental en brindar información para obtener el máximo aprovechamiento de los recursos puestos en juego. Una forma de capacitación masiva es el asesoramiento a regantes en línea. En el mundo, existen numerosos ejemplos exitosos, algunos de ellos son el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) para los agricultores de Castilla La Mancha, España (Ortega *et al.*, 2005), el Servicio de Asesoramiento a Regantes (SAR) de la Junta de Andalucía (Fernández Gómez *et al.*, 2010) y el Asesoramiento al Regante ofrecido por la Universidad Federal de Santa María, Brasil (Carlesso, 2010).

### 1.2.3. Salinidad de suelo y riego por goteo

En riego por goteo, la distribución espacial de las sales en el perfil de suelo es diferente a otros métodos de riego como riego por superficie o por aspersión. La Figura 4 ilustra la distribución de sales en el bulbo húmedo (volumen de suelo humedecido por un emisor).



**Figura 4. Distribución típica de sales en riego por goteo (Schilardi, 2015)**  
**Figure 4. Typical distribution of salts in drip irrigation (Schilardi, 2015)**

La Figura 4 muestra una zona cercana a la línea de emisores con una salinidad muy baja, similar al agua de riego. Esto se debe tener presente cuando se siembra un cultivo muy

sensible a las sales, ubicando el mismo al lado de la línea de goteros (Hanson y Bendixen, 1995). La distribución de sales es un reflejo del patrón de humedecimiento del suelo producto del riego y la subsecuente redistribución de la humedad de suelo (Burt e Isbell, 2005).

Existen numerosos procesos simultáneos involucrados en el movimiento de sales en el suelo, esto genera que el patrón de acumulación y las prácticas de lavado sean difíciles de calcular matemáticamente. Varios factores influyen y deben considerarse, como las propiedades hidráulicas del suelo, tipo de cultivo, patrón de distribución de raíces, caudal del emisor, salinidad del agua, precipitación efectiva, espaciamiento entre plantas y estratigrafía de suelo (Burt e Isbell, 2005). También, depende de la cantidad de agua aplicada, la ubicación relativa de la línea de goteros respecto a la hilera de plantas, de si los laterales se encuentran enterrados o no y en zonas de capa freática superficial, depende de la profundidad y salinidad de la misma (Hanson y May, 2011).

Por su parte, el ITRC (mencionado por Burt e Isbell, 2005) observó que, en riego por goteo, bajo condiciones normales, quedan cantidades significativas de sal en el suelo a lo largo de una fila de árboles., Con el tiempo, las sales se acumulan a niveles incompatibles con el cultivo, obligando a ser removidas por otro método de riego.

Burt e Isbell (2005), en un ensayo de lavado de suelo en invierno con seis líneas de goteros por hilera, en California, concluyeron que se debe aplicar una lámina de lavado mayor que el requerimiento de lixiviación porque parte del agua queda almacenada en el suelo y parte es utilizada en la evaporación de agua desde el suelo. Además, concluyeron que el riego por goteo es un método eficiente de remoción de sales porque se puede aplicar el agua a bajas dosis (de esta manera se evita el escurrimiento superficial) y de forma intermitente (para reducir la evaporación del suelo). A la misma conclusión arribaron Hanson y May (2011).

Hanson and May (2011) sostienen que el riego por goteo es recomendable utilizar cuando el agua de riego tiene un elevado contenido de sales disueltas porque este método, a

diferencia del riego por aspersión, no moja el follaje del cultivo, hecho muy perjudicial en cultivos sensibles. Recomiendan riegos largos y poco frecuentes cuando se usa agua salina para mantener alejadas las sales de la zona de raíces. Sostienen que un incremento del volumen de riego aplicado aumenta el volumen de suelo no salino.

Prieto (2008) y Schilardi (2015) sugieren tener especial atención en regiones que presentan lluvias de alta intensidad y corta duración, durante el ciclo de crecimiento del cultivo, ya que pueden provocar una entrada súbita de sales a la zona radical que dañarían el cultivo. En esa situación, recomiendan mantener encendido el equipo durante la ocurrencia de una lluvia para evitar el ingreso de las sales.

#### **1.2.4. Mantenimiento del equipo de riego**

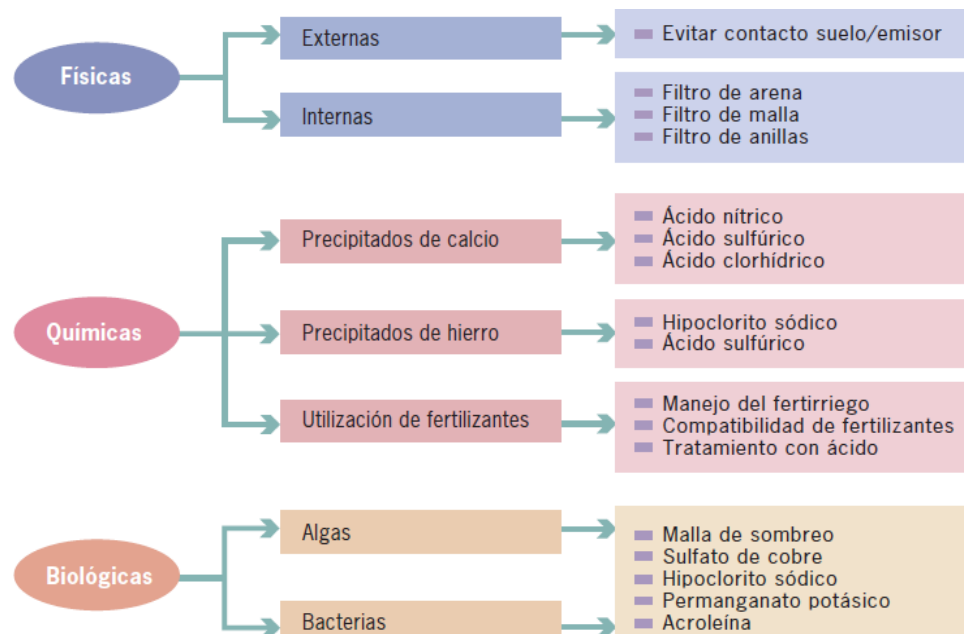
La obtención de indicadores aceptables de uniformidad y una adecuada programación de riego sólo es posible si se efectúa un monitoreo continuo y mantenimiento periódico de los componentes del equipo de riego. Como en riego por goteo el volumen de suelo mojado es reducido, cualquier disminución o interrupción del calendario de riego puede tener efectos lamentables para las plantas al producirse déficit hídrico en un lapso corto de tiempo (Ferreyra *et al.*, 2005 y Schilardi, 2015).

Schilardi (2015) sostiene que, históricamente, los productores no han tenido problemas con el mantenimiento de filtros y tuberías de PVC, pero sí con los laterales de riego, de allí que la mayoría de los trabajos se dirigen a evaluar el taponamiento de emisores (De Kreij *et al.*, 2003; Qinsong *et al.*, 2008 y Sahin *et al.*, 2005).

Cuando se producen obturaciones, el caudal de los emisores disminuye en función del grado de obturación, por lo que las necesidades hídricas del cultivo pueden quedar, en algunos casos, sin cubrir (Fernández Gómez *et al.*, 2010 y Martínez, 2001) o se puede producir acumulación de sales (Hanson y May, 2011). Además, las obturaciones de emisores ocurren de forma aleatoria, que origina diferencias en los caudales emitidos y

disminución de la uniformidad de riego, atentando contra la homogeneidad del cultivo (Fernández Gómez *et al.*, 2010).

Las obturaciones de emisores tienen diferente origen, la Figura 5 (Fernández Gómez *et al.*, 2010) muestra los tipos de obturaciones y los tratamientos asociados para controlarlas. La mejor lucha contra las obturaciones es la prevención, ya que cuando se detectan, el grado de obturación es avanzado. En estos casos, una limpieza de emisores y tuberías puede resultar muy costosa y a veces, el daño en el cultivo y en el equipo puede ser irreversible (Fernández Gómez *et al.*, 2010).



**Figura 5. Tipo de obturaciones de emisores y formas de prevención y control**  
**Figure 5. Type of emitters clogging and forms of prevention and control**

El sistema de filtrado es clave para evitar el taponamiento de emisores. ASAE EP458 (ASAE, 1998) evalúa el desempeño de los filtros a través del cálculo de la eficiencia de remoción de filtros ( $E_r$ ) (ecuación 22).

$$E_r = 100 * \left( 1 - \frac{S_{out}}{S_{in}} \right) \quad (22)$$

Donde:

$S_{out}$ : concentración de sólidos suspendidos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), después de los filtros

$S_{in}$ : concentración de sólidos suspendidos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), antes de los filtros

Otro indicador de funcionamiento de filtros es la diferencia de presión (“pérdida de carga”) entre antes y después de los filtros. (ASAE EP458, 1998; Fernández Gómez *et al.*, 2010; Ferreyra *et al.*, 2005; Martínez, 2001 y Schilardi, 2015). El valor límite para la limpieza de filtros debe estar indicado por el fabricante y depende del caudal de filtrado. En ningún momento se debería superar el mismo, de lo contrario, se reduce drásticamente la presión aguas abajo del sistema de filtrado, siendo insuficiente para que los emisores eroguen el caudal de diseño. Por esta razón, el trabajo de los filtros debe ser monitoreado continuamente para efectuar el lavado de filtros en el momento preciso. La cantidad y tiempo de lavado de los filtros depende de la carga de contaminantes del agua de riego (Martínez, 2001 y Ferreyra *et al.*, 2005). Si es baja la carga, la necesidad de limpieza es poco frecuente, pudiéndose limpiar los filtros cuando se apaga el equipo. Pero, si la frecuencia de limpieza de los filtros es alta, es necesario automatizar la misma (Fernández Gómez *et al.*, 2010). Además, hay ciertos filtros (como los de grava) donde las operaciones de desarmado y limpieza son dificultosas y lentas, por lo que se debe automatizar.

La operación de limpieza de filtros sin detener el equipo se denomina retrolavado. Puede ser de accionamiento manual o automático. Se realiza invirtiendo el sentido de circulación del agua, por lo que se debe prever las derivaciones en las tuberías de entrada y salida del agua. Se recomienda la instalación de filtros en paralelo para que un filtro se limpie con agua filtrada procedente de otro. El agua sucia que pasó por el filtro debe ir por una derivación fuera del sistema de riego (Pizarro, 1996). Durante el retrolavado, se reduce el agua de riego, que luego se debe recuperar incrementando el tiempo de riego total (Martínez, 2001). La programación de retrolavado se puede efectuar por tiempo o por diferencia de presión, siendo esta última más conveniente porque responde a la necesidad de limpieza de los filtros.



Cuando el agua de riego transporta un alto porcentaje de sólidos en suspensión, es necesario la instalación de prefiltros antes del cabezal de riego (Pizarro, 1996). Estos dispositivos eliminan partículas más densas que el agua. El desarenador o decantador consiste en un ensanchamiento del canal alimentador (para reducir la velocidad), de baja profundidad (para disminuir el recorrido de una partícula desde el nivel donde se encuentra hasta el fondo). Se coloca antes del ingreso del agua al reservorio y representa una adecuada solución técnica y económica (Martínez, 2001; Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). Otra alternativa es el hidrociclón, que se trata de un cono invertido sin partes móviles que se coloca a la salida de la bomba, cuyo principio de funcionamiento se basa en la acción de la fuerza centrífuga, para eliminar las partículas de densidad mayor a  $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$  (Pizarro, 1996).

Los sistemas de filtrado no mejoran la calidad química del agua, sino que reducen significativamente el contenido de sólidos en suspensión (compuestos orgánicos e inorgánicos) pero sin llegar a eliminarlos totalmente. Algunas partículas pequeñas, como limos, arcillas, precipitados, bacterias y hongos pasan al sistema de riego y pueden generar obturaciones. Para prevenir o controlar las mismas, se necesita de la adición periódica de compuestos químicos (Martínez, 2001).

Cualquiera sea el tipo de riego, la calidad del agua se define en función de tres criterios: Salinidad, sodicidad y toxicidad. Sin embargo, en riego por goteo, se agrega un cuarto criterio que es el riesgo potencial de obturaciones (Figuroa Guerra, 1994). Si bien existen factores variables que intervienen en las obturaciones, como la temperatura y la adición de fertilizantes, Bucks y Nakayama, (1980), citados por Pizarro (1996), propusieron valores de referencia de concentraciones de componentes en el agua, en función del riesgo potencial de producir taponamiento de emisores (Tabla 7).

**Tabla 7. Riesgo potencial de obturaciones de emisores debido al agua de riego**  
**Table 7. Potential risk of emitters clogging due to irrigation water**

Tipo de problema	Riesgo		
	Reducido	Medio	Alto
<b>Físico</b>			
Sólidos suspendidos (ppm)	< 50	50 - 100	> 100
<b>Químico</b>			
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos disueltos (ppm)	< 500	500 - 2000	> 2000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
SH <sub>2</sub> (ppm)	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
<b>Biológico</b>			
Población bacteriana (n°/cm <sup>3</sup> )	< 10000	10000 - 50000	> 50000

Resulta fundamental efectuar un análisis del agua de riego, solicitando los elementos presentes en la Tabla 7, con el objeto de determinar el tratamiento adecuado para prevenir obturación de emisores.

En los estanques acumuladores o reservorios de agua al aire libre, se dan las condiciones propicias de reposo, iluminación y temperatura para el desarrollo de algas, más aún, si el agua tiene nutrientes nitrogenados y fosforados (Torres *et al.*, 2010). Las algas afectan el funcionamiento del equipo porque tapan los filtros con facilidad y, además, los residuos de algas muertas que atraviesan los filtros sirven de alimento para bacterias que crecen y forman colonias dentro de las tuberías, ocasionando serios taponamientos en emisores. La primera recomendación para evitar el desarrollo de algas es cubrir los depósitos, pero esto es inviable en reservorios grandes. El tratamiento ampliamente utilizado es la adición de CuSO<sub>4</sub> en dosis que van desde 3 a 5 g.m<sup>-3</sup>, para tratamiento preventivo y curativo respectivamente (Fernández Gómez *et al.*, 2010).

Los precipitados de calcio y magnesio son comunes en las instalaciones de la zona de estudio, porque las aguas son duras (poseen altos niveles de sales de Calcio y Magnesio). El tratamiento preventivo y curativo se basa en inyectar con el sistema de fertirriego una

solución ácida que modifica el pH del agua, ocasionando la disolución de los precipitados. Para que esto ocurra, el pH del agua debe oscilar entre 2 y 3 (Schilardi, 2015). Los ácidos más comunes empleados son el ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico y fosfórico (Fernández Gómez *et al.*, 2010 y Schilardi, 2015). Sin embargo, existen otros ácidos alternativos como el ácido acético y cítrico que han dado resultados positivos en la desincrustación de precipitados químicos y biológicos (Baeza Cano *et al.*, 2012).

Las sales de hierro y manganeso en estado reducido son solubles en agua, pero cuando se oxidan, precipitan y pueden obturar los emisores (Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). Esta situación es común cuando la fuente de agua es subterránea y el equipo de riego está conectado directamente a la perforación, sin posibilidad de airear el agua. Una solución es volcar el agua a un depósito que permita la aireación de la misma y luego bombear desde allí. Otra alternativa es aplicar un agente oxidante, generalmente hipoclorito de sodio, antes de los filtros para provocar su precipitación y posterior retención en los mismos. Puede ser necesario la acidificación del agua (por debajo de 6,5) para oxidar los elementos mencionados (Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015).

El desarrollo de microorganismos en el interior de tuberías es la causa más frecuente de obturaciones, a nivel mundial. La calidad del agua de riego, temperatura y presencia de carbono orgánico influyen sobre el crecimiento de bacterias. Éstas forman masas gelatinosas que impiden el paso del agua. Para su control, el biocida más económico y ampliamente utilizado es el cloro, en forma de hipoclorito de sodio (Fernández Gómez *et al.*, 2010; Martínez, 2001; Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). El hipoclorito de sodio se aplica con el sistema de fertirriego. Para que actúe, debe permanecer durante 45 minutos a una concentración de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  (1 ppm), en el último emisor (Pizarro, 1996).

La clorinación continua para controlar hongos y bacterias en equipos de riego puede incrementar la salinidad del suelo (Sahin *et al.*, 2005). A raíz de ello, se han probado otras alternativas para el control de las obturaciones biológicas. Baeza Cano *et al.* (2012) utilizaron peróxido de hidrógeno combinado con ácido cítrico, obteniendo buenos resultados. Por su parte, De Kreij *et al.* (2003), probaron un producto comercial a base de

peróxido de hidrógeno y ácidos débiles (acético y fórmico) y obtuvieron resultados positivos para destapar emisores con obturaciones ocasionadas por hongos del género *Trichoderma*. Otra solución encontraron Sahin *et al.* (2005). Ellos inocularon bacterias antagonistas del género *Bacillus* y al cabo de 15 días, el caudal de los emisores se incrementó en un 100%.

Debido a que se moja un volumen de suelo acotado en riego por goteo, se debe fertilizar con alta frecuencia porque la reserva de nutrientes en el suelo es limitada. Sin embargo, una inapropiada fertirrigación puede originar precipitados que obturan los emisores (Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). Se recomienda colocar un filtro de malla o anillas, antes de inyectar los nutrientes al equipo. Además, se debe conocer la solubilidad y compatibilidad de fertilizantes para evitar precipitados indeseables (Fernández Gómez *et al.*, 2010; Martínez, 2001; Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015).

La presencia de precipitados en los emisores se puede eliminar por el paso a través de ellos mismos. Sin embargo, también se forman precipitados en tuberías aguas arriba de la válvula y en la tubería terciaria. La forma correcta de proceder es, limpiar las tuberías con el flujo de agua a mayor presión que la normal (“Flushing”), antes y después de la adición de alguna solución limpiadora. Para ello, se puede aumentar la presión a través de una bomba adicional o reducir la superficie regada. En primer lugar, se debe abrir válvulas de purgas de las tuberías aguas arriba de las válvulas de paso, manteniendo cerradas las válvulas. Luego, se abre la purga de la tubería terciaria y finalmente se abre cada lateral de riego, hasta que el agua salga clara. Si esta tarea no se efectúa de la manera descrita, las reobturaciones de emisores son frecuentes debido a una limpieza insuficiente (Fernández Gómez *et al.*, 2010; Martínez, 2001 y Schilardi, 2015).

El diseño del emisor también influye sobre el taponamiento de emisores. De Kreij *et al.* (2002) encontraron mayor susceptibilidad a obturaciones por bacterias de metano en tubos capilares que en emisores laberínticos. El tamiz del sistema de filtrado del cabezal se diseña en función del diámetro de paso del emisor (Fernández Gómez *et al.*, 2010 y Pizarro, 1996).

Además de medir presión en el cabezal de bombeo para controlar el funcionamiento de los filtros, se debe vincular la misma con el amperaje del equipo para corroborar que la bomba funcione según las especificaciones técnicas. La Tabla 8 muestra situaciones anormales, con sus respectivos valores de amperaje y presiones en distintos puntos del cabezal y el problema asociado (Ferreira *et al.*, 2005).

**Tabla 8. Descripción del problema asociado a la variación en la presión y amperaje**  
**Table 8. Description of problem associated to variation in pressure and amperage**

Amperímetro	Presión antes de filtro de arena	Presión después de filtro de arena	Presión después de filtro malla/anillas	Problema
Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Rotura en red de riego y/o más de un sector abierto
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Succión de la bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua
Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Filtro de arena sucio
Bajo	Alto	Alto	Alto	Válvula en la red cerrada
Bajo	Alto	Alto	Bajo	Filtro de malla/anillas sucio

Otro dispositivo fundamental para controlar el funcionamiento del equipo es el contador volumétrico o “caudalímetro”. Se utiliza para medir el volumen de agua aplicado. Permite conocer si se está regando acorde a lo programado. Se deben realizar lecturas frecuentes para poder corregir errores a la brevedad. La Tabla 9 muestra situaciones anormales y sus posibles causas.

**Tabla 9. Descripción de problemas asociados a la variación del caudal real respecto al programado**

**Table 9. Description of problems associated to deviation of actual to programmed flow**

Variación de caudal	Causa del problema
Alto	Rotura en red de riego y/o más de un sector abierto
Bajo	Succión de la bomba obstruida; entrada de aire al sistema; falta de agua
Bajo	Filtro de arena sucio
Bajo	Válvula en la red cerrada
Bajo	Filtro de malla/anillas sucio

Por último, se destaca que la regulación periódica (al menos una vez al año) de presión de las válvulas de paso de las subunidades es fundamental para asegurar que los emisores eroguen el caudal de diseño, en especial en goteros no autocompensantes (Pizarro, 1996). Sin embargo, se han realizado numerosos estudios en el mundo donde se han detectado fallas en la regulación de las válvulas (Bohórquez y Ruiz, 2011; Camp *et al.*, 1997; Schilardi *et al.*, 2012; Styles *et al.*, 2008). Esta tarea debe estar siempre considerada en el calendario de mantenimiento de las instalaciones para asegurar un correcto funcionamiento del equipo.

### **1.3. Justificación**

La Vid es el principal cultivo de la provincia de San Juan. Debido a la escasez e irregular distribución de las precipitaciones, se debe regar de forma integral durante todo su ciclo. El riego por goteo en este cultivo se ha incrementado notablemente en los últimos años, pero hay poca información local (Castro, 1997 y Schilardi *et al.*, 2012) sobre el grado de aprovechamiento de los recursos puestos en juego. Es importante destacar que requiere de una elevada inversión inicial (Miranda, 2008 y Novello *et al.*, 2014), por lo que resulta necesario que el equipo de riego funcione adecuadamente durante el mayor tiempo posible, con el fin de incrementar el periodo de amortización, reduciendo el costo anual (Camp *et al.*, 1997). Además, el aumento del costo de la tarifa eléctrica para riego ha producido un fuerte impacto sobre los costos operativos (IDR, 2016). Asimismo, la incorporación de esta tecnología de riego por parte de pequeños y medianos productores, con escasas posibilidades de pagar un asesoramiento técnico, genera la necesidad de evaluar el desempeño de los equipos de riego, permitiendo identificar y corregir problemas para capacitar a los productores (Buendía *et al.* 2006 y Ortega *et al.*, 2005), a los fines de incrementar la productividad y la rentabilidad de los viñedos, que permita el crecimiento continuo de la superficie regada por este método de riego, en el corto y mediano plazo. Los resultados de esta evaluación definirán valores de referencia que serán objeto de comparación ante futuras apreciaciones (Díaz Canivilo, 2002). También, la información generada puede ser de utilidad por las empresas instaladoras de riego, que les permita realizar ajustes en sus diseños.

Por las razones expuestas, se propone efectuar una evaluación integral de desempeño de los equipos de riego por goteo en el área de estudio mencionada. Se denomina integral porque la evaluación considera estudiar la uniformidad de distribución, la programación de riego y el mantenimiento de los componentes del equipo.

#### **1.4.Objetivos**

##### **Objetivo general**

Evaluar el desempeño integral de equipos de riego por goteo, en viñedos de la zona norte y este del Oasis de Tulum, provincia de San Juan, para comprender las variables más importantes que lo caracterizan; como así también las posibles causas que puedan generar bajos desempeños en el método de riego.

##### **Objetivos Específicos.**

Identificar y ponderar las variables que influyen sobre la uniformidad de equipos de riego por goteo en viñedos.

Evaluar la programación de riego efectuada según las condiciones edafoclimáticas, las características del cultivo y del agua de riego.

Evaluar el mantenimiento de los componentes del equipo.

#### **1.5.Hipótesis de investigación**

Hipótesis 1: Los equipos de riego por goteo en la zona norte y este del Oasis de Tulum poseen valores de uniformidad de distribución de caudales y de sistema inferiores a los recomendados.

Hipótesis 2: Las láminas de riego aplicadas no coinciden con las necesidades hídricas del cultivo y, además, al no considerar el tipo de suelo, se producen pérdidas de agua por percolación profunda y/o déficit hídrico.

Hipótesis 3: En los equipos de riego, las labores de mantenimiento no se efectúan correctamente.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se efectuó en establecimientos vitícolas con riego por goteo, ubicados en los departamentos de Albardón, Angaco, Caucete y San Martín, de la provincia de San Juan. Esto se puede apreciar en la Figura 6, donde el área de estudio se encuentra dentro de un círculo rojo (CEFOCCA, 2010).



**Figura 6. Mapa político de la provincia de San Juan. El círculo rojo marca el área de estudio**

**Figure 6. Political map of San Juan. Study area within the red circle**

Se seleccionó esta área porque presenta características climáticas y topográficas similares. Además, en conjunto se cultiva el 33% de la superficie con Vid en la provincia.

## **2.2. Variables bajo estudio**

Las variables respuesta bajo estudio para las evaluaciones de riego fueron: coeficiente de uniformidad de caudales, coeficiente de uniformidad de presiones, coeficiente de uniformidad de sistema, coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de emisores, variación de lámina anual aplicada respecto a lámina requerida por el cultivo, percolación acumulada anual, déficit hídrico acumulado anual, variación de gradiente de presión de filtro real respecto a gradiente de presión de filtro limpio, variación de presión real de emisor respecto a la presión de diseño, variación de intensidad pluviométrica real respecto a la intensidad pluviométrica de diseño, conductividad eléctrica y pH de suelo. Asimismo, las variables explicativas fueron: fuente de agua, conductividad eléctrica y pH del agua de riego, criterio de control de riego, textura de suelo, edad del viñedo, estructura de conducción, destino de producción, cantidad de reservorios, superficie bajo riego, número de válvulas por operación, edad del cabezal de bombeo, edad del emisor, tipo de emisor, sistema de limpieza de filtros, limpieza química y física de tuberías y emisores y frecuencia de regulación de presión de válvulas de paso de subunidades.

## **2.3. Identificación de viñedos con riego por goteo en la zona de estudio**

Cabe aclarar que no existe una base de datos oficial de los equipos de riego por goteo instalados en la provincia de San Juan. Entonces, para estimar la cantidad de viñedos con este método de riego, se utilizaron varias fuentes de información. Una, fue un listado de productores, confeccionado por el Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP); otra, fue a través de la observación de imágenes satelitales de espejos de agua en el programa Google Earth (Google, 2015) tal cual lo efectuado por Paz *et al.* (2010) y, por último, mediante comunicaciones personales de ingenieros agrónomos que se desempeñan en el área de estudio.

La selección de los equipos de riego por goteo se hizo en base a dos requisitos. Uno, fue que el objetivo de producción fuese obtener el máximo rendimiento, hecho que se encuentra estrechamente relacionado con el volumen de agua aplicado (Doorenbos y

Kassam, 1979). Es decir, no fueron considerados aquellos viñedos que aplicaban déficit hídrico en algún momento del ciclo vegetativo. El otro, fue que el cultivo se regara exclusivamente por goteo, ya que es una práctica común efectuar riego mixto (goteo y gravitacional), en especial, en viñedos en plena producción donde se instaló riego por goteo con posterioridad a su implantación.

Luego, se llevó a cabo un relevamiento a campo para corroborar la existencia y funcionamiento de los equipos previamente identificados. En esa instancia, se verificó que se cumplieran los requisitos mencionados *supra* y si el propietario o encargado daba permiso para que se evaluara su equipo de riego. Así, los viñedos preseleccionados tuvieron diferentes características en cuanto a ubicación, superficie bajo riego, variedad/es, tipo de suelo, fuente y calidad de agua de riego, edad del cultivo, destino de producción, año de instalación del equipo de riego, tipo de filtros, edad y tipo de goteros, empresa instaladora, presencia o ausencia de reservorio, operación y mantenimiento del equipo. Esto permitió obtener una situación promedio en cuanto al manejo de riego por goteo en el área de estudio. Por último, se estimó que en la misma existían 200 viñedos con riego por goteo que cumplían los requisitos anteriormente mencionados (tamaño de la población = N).

Esta etapa se realizó durante los meses de febrero, marzo y abril del año 2015.

#### **2.4.Determinación del tamaño de la muestra (n)**

La unidad de análisis fue el equipo de riego por goteo. El tamaño de la muestra (n) se determinó mediante dos ecuaciones. La ecuación 23 considera la media (X) y desviación estándar de la población (S) de la variable  $DU_{iq}$  y un error de estimación (Ee). El mismo cálculo efectuó Morábito (2003) y Schilardi (2010) para determinar n.

$$n = \left( \frac{S * 1,96 * 100}{Ee * X} \right)^2 \quad (23)$$

Se utilizaron los valores de S y X obtenidos por Schilardi *et al.* (2012). Asimismo, se consideró un error de estimación del 10%, igual valor consideraron apropiado Schilardi (2010) y Morábito (2003). El resultado de esta ecuación fue 29 equipos de riego.

La otra ecuación empleada fue la propuesta por Suárez (2004), que se expresa abajo.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * E^2 + Z^2 * p * (1 - p)} \quad (24)$$

Donde:

N: tamaño de la población

Z: desviación del valor medio que se acepta para lograr el nivel de confianza deseado (90%). Para el caso,  $Z = 1,645$

E: margen de error máximo que se admitió (10%)

p: proporción que se espera encontrar. Como no se sabía que se podía esperar, la opción más prudente fue usar el peor caso, por lo que  $p = 50\%$

El resultado obtenido fue 51 equipos de riego. Entonces, para tener un alto margen de seguridad, se decidió evaluar 50 equipos de riego. La cantidad de equipos evaluados por departamento se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10. Cantidad de equipos de riego por goteo evaluados por departamento**  
**Table 10. Number of evaluated farms by municipal department**

Departamento	Números de equipos evaluados
Albardón	17
Angaco	12
San Martín	12
Caucete	9
Total	50

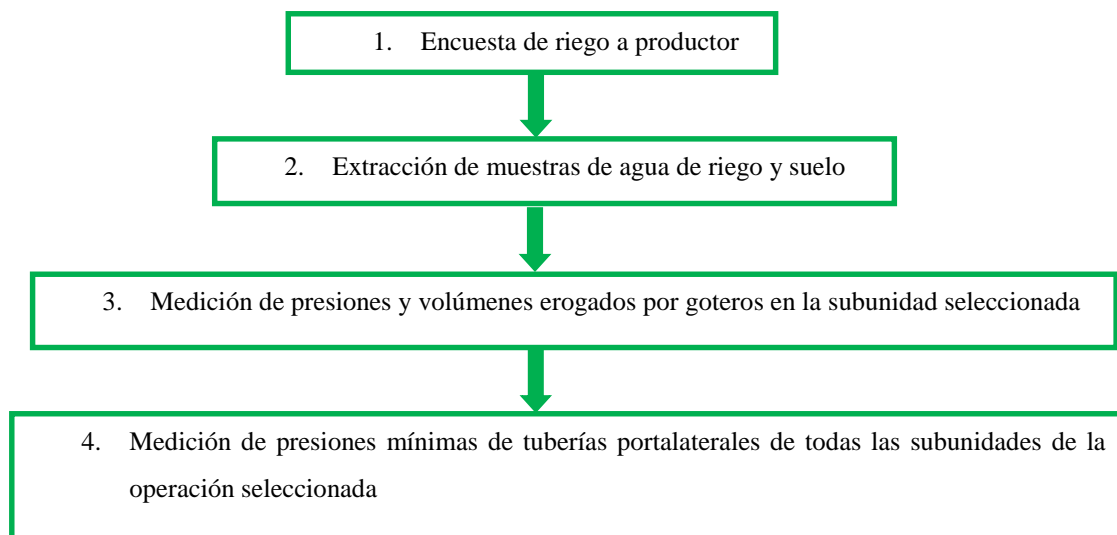
Se intentó evaluar igual cantidad de equipos por departamento, pero, en el departamento Albardón, hubo mayor interés por parte de los productores, mientras que en el departamento Caucete, ocurrió lo contrario.

## **2.5.Confección de encuesta de riego**

Se elaboró una encuesta para la evaluación de los equipos de riego por goteo. La misma se dividió en dos partes. La primera, consistió en un cuestionario sobre características generales de la propiedad, del cultivo, programación de riego, tareas de mantenimiento y características principales de los componentes del equipo de bombeo. La segunda parte estaba compuesta por tablas para completar con las mediciones de caudales y presiones de emisores en la subunidad seleccionada y medición de presión en otros puntos de la operación elegida. Esta actividad se realizó durante el mes de junio del año 2015. En el Anexo, se muestra la encuesta utilizada, de forma completa.

## **2.6.Trabajo de campo**

Las actividades de campo comenzaron en el mes de octubre del año 2015 y culminaron en el mes de abril del presente año. La Figura 7 muestra lo realizado en cada equipo.



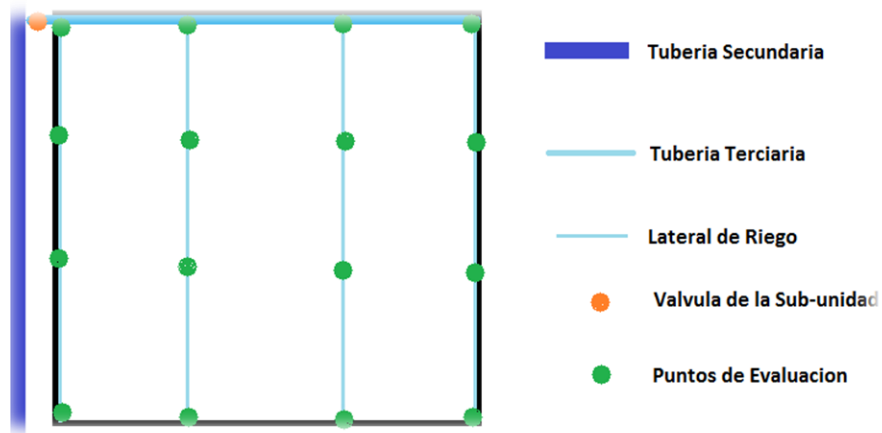
**Figura 7. Esquema de las tareas realizadas a campo durante la evaluación de riego**  
**Figure 7. Chart flow of tasks undertaken during performance evaluation**

El equipo de campo utilizado comprendió: vehículo, tubo de PVC cortado longitudinalmente para aforar goteros, embudo, probeta graduada de 100 mL, reloj cronómetro, cámara de fotos digital, pala barreno, pala punta corazón, bolsas plásticas

reforzadas para muestras de suelo, botellas plásticas de 1 L para muestra de agua de riego, manómetros portátiles con escala de 0 a 2,5 kg.cm<sup>-2</sup> y de 0 a 4 kg.cm<sup>-2</sup>, sacabocados, tapones ciego para taponar orificios en tuberías laterales, cinta métrica de 5 m y 50 m.

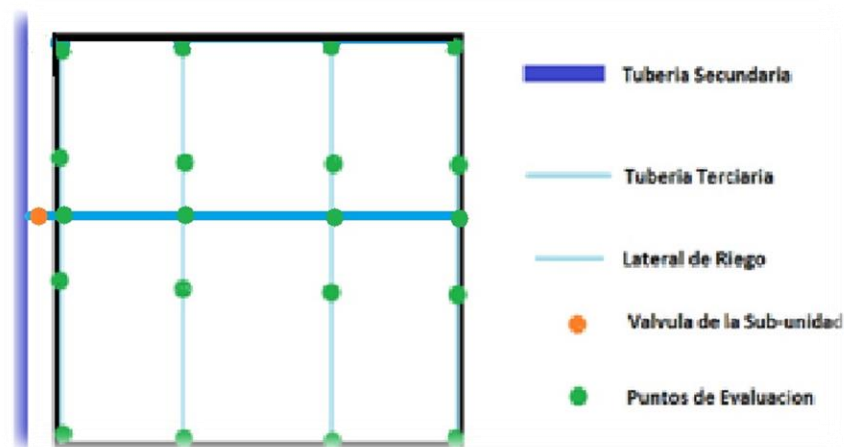
### **2.6.1. Medición de caudales y presiones**

El procedimiento de evaluación de uniformidad a campo fue el propuesto por Merriam-Keller simplificado (1978). El motivo de su elección fue porque es ampliamente utilizado, de fácil y rápida aplicación, que lo hace muy conveniente para evaluar gran cantidad de equipos. Además, los datos requeridos son pocos y de simple obtención, mientras que otras metodologías, como la de Burt (2004) requieren de la recolección de mayor cantidad variables, que hubieran sido difíciles de conseguir en el presente trabajo (ecuación de descarga del emisor,  $CV_m$ , nivel de taponamiento de emisores y datos precisos de programación). Se seleccionó la subunidad crítica de una operación para realizar las mediciones. Se denomina crítica porque se encontraba en las peores condiciones hidráulicas (menor presión de ingreso), que correspondió a la subunidad más alejada del cabezal de bombeo porque la pendiente del terreno en la zona de estudio es reducida a nula. En la válvula escogida, se eligieron cuatro laterales, ubicados al inicio, a 1/3, 2/3 y al final respecto al valor de ingreso. A su vez, en cada lateral, se eligieron puntos de medición, tal como lo muestran las Figuras 8 y 9.



**Figura 8. Puntos de medición de caudales y presiones de goteros en una subunidad con distribución unilateral**

**Figure 8. Measurement points of emitters flow rate and pressure in a unilateral subunit**



**Figura 9. Puntos de medición de caudales y presiones de goteros en una subunidad con distribución bilateral o pareada**

**Figure 9. Measurement points of emitters flow rate and pressure in a bilateral subunit**

En aquellas ocasiones que la válvula se ubicaba al medio de la subunidad, la identificación de laterales y puntos de medición en mejores y peores condiciones hidráulicas, se efectuó en función de la pendiente del terreno.

Para determinar el caudal, se midió el volumen erogado durante tres minutos en todos los emisores que regaban una planta, de acuerdo a las normas ASAE EP458 (ASAE, 1998). La Figura 10 muestra el procedimiento realizado.



**Figura 10. Volumen colectado por dos emisores en simultáneo durante 3 minutos**  
**Figure 10. Volume collected simultaneously by two emitters during 3 minutes of flow**

Se midió la presión de goteros con un manómetro portátil. Se hizo directamente sobre el lateral de riego, insertando el manómetro sobre el mismo. Luego, se tapó el orificio practicado con la aguja del manómetro, con un sacabocado y un tapón ciego, corroborando que no existieran fugas de agua.

Para que las evaluaciones fuesen representativas de la realidad, se evaluó cada equipo tal cual estaba funcionando, sin reparar fallas ni influir sobre la forma que el regador manejaba el equipo.

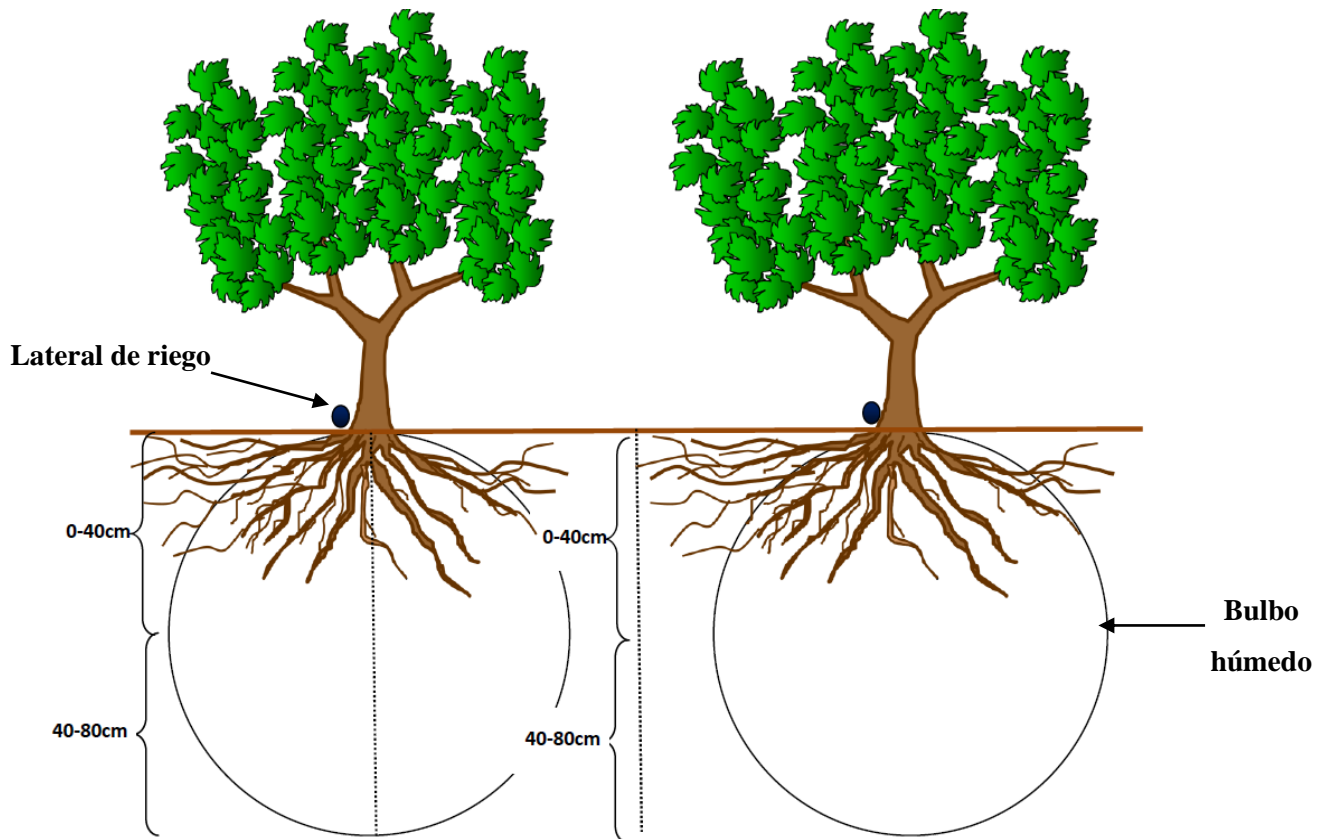
Se midió la presión de trabajo de todas las válvulas de paso de la operación seleccionada, para comparar con la presión de operación según diseño. Además, se midió la presión mínima de las tuberías portalaterales de todas las subunidades que conformaban la operación, para calcular el  $CU_s$ .

### **2.6.2. Extracción de muestras de agua de riego y de suelo**

La muestra de agua de riego se extrajo directamente del reservorio, a la salida de la bomba electrosumergible o de alguna tubería presente en el cabezal de bombeo cuando el equipo de riego estaba conectado directamente a la perforación. Además, se tomaron muestras de



suelo para evaluar la relación entre agua de riego, salinidad, textura y cantidad de agua aplicada al suelo. Se hizo en la subunidad crítica, sobre la hilera más alejada de la válvula porque es donde había menor presión de trabajo y caudal de emisor y, por lo tanto, donde los niveles de salinidad podían ser más elevados. Se extrajeron muestras de suelo bajo la línea de goteros y en el medio del interfililar. En cada sitio mencionado, se sondearon dos espesores de perfil: de 0 a 40 cm y de 40 a 80 cm (Figura 11). Este procedimiento se hizo en cabecera y pie. Se consideró cabecera el punto donde nacía el lateral de riego y pie, donde terminaba. En total, en cada equipo se obtuvieron ocho muestras de suelo. En algunas ocasiones, sólo se pudo muestrear la capa superficial porque el perfil de suelo era somero, con gravas y gravillas a escasa profundidad.



**Figura 11. Ubicación de extracción de muestras. La línea punteada representa el sitio de extracción de muestras (línea de plantación y zona media del interfililar)**  
**Figure 11. Location of sample points in dotted lines (one at crop line and one in between)**

## **2.7. Trabajos de laboratorio**

En el Laboratorio de Suelos y Riego del INTA San Juan, se determinó nivel de salinidad a través de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (Figura 12). Además, se midió el grado de alcalinidad o acidez del suelo, mediante la medición de la concentración de los cationes hidrógeno (pH). Esta determinación se efectuó directamente sobre pasta saturada. Por último, se determinó textura por volumen de sedimentación (Nijensohn, 1978). La interpretación de los valores obtenidos de volumen de sedimentación se presenta en la Tabla 49 del Anexo.



**Figura 12. a) Muestra de suelo en estado de pasta de saturación b) Embudos de extracción conectados a bomba de vacío c) Obtención de extracto de saturación**  
**Figure 12 a) Soil sample in saturated paste b) Extraction funnels connected to vacuum pump c) Obtaining saturation extract**

Además, se determinó conductividad eléctrica y pH del agua de riego. Los análisis de laboratorio se efectuaron desde el mes de enero hasta el mes de mayo del año 2016. En total, se efectuaron 100 análisis de agua ( $CE_a$  y pH) y 1110 análisis de suelo ( $CE_{es}$ , pH y volumen de sedimentación).

## **2.8. Trabajos de gabinete**

### **2.8.1. Cálculo de indicadores de desempeño**

#### **2.8.1.1. Cálculo de indicadores de uniformidad de distribución**

Se calculó  $CU_c$ ,  $CU_h$ ,  $CU_s$  y  $f$  mediante las ecuaciones 8, 9, 10 y 11, respectivamente. Asimismo, se calculó  $CV_e$  mediante la ecuación 15.

### 2.8.1.2. Cálculo del consumo hídrico anual del cultivo. Cálculo de $\Delta L_{\text{ám}} \text{ anual}$

El cálculo de  $ET_o$  se realizó por el método del tanque de evaporación (Allen *et al.*, 2006). Se utilizaron los datos de evaporación de dos estaciones meteorológicas, debido a la extensión del área de estudio (45000 ha aproximadamente). Una se encuentra ubicada en el Campo Anexo San Martín (CASAM), ubicada en el departamento homónimo y perteneciente al INTA. La otra, se sitúa en un establecimiento vitícola en el departamento Albardón y pertenece a la firma Expofrut. Sus coordenadas se muestran en la Tabla 11. En cada equipo de riego, se utilizaron los datos de la estación meteorológica más cercana. Se calculó la distancia con el programa Google Earth (Google, 2015).

**Tabla 11. Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el presente trabajo**  
**Table 11. Location of meteorological stations used in present job**

Estación meteorológica	Latitud	Longitud
CASAM	31°31'36,46" S	68°23'45,99" W
Finca Expofrut	31°24'49,90" S	68°31'20,10" W

El coeficiente de tanque tipo A ( $K_p$ ) se calculó con la siguiente ecuación (Allen *et al.*, 2006):

$$\begin{aligned}
 K_p = & 0,61 + 0,00341 * HR - 0,000162 * u_2 * HR - 0,00000959 * u_2 * Borde \\
 & + 0,00327 * u_2 * LnBorde - 0,00289 * u_2 * Ln(86,4 * u_2) - 0,0106 Ln(86,4 * u_2) \\
 & * LnBorde + 0,00063 * LnBorde^2 * Ln(86,4 * u_2)
 \end{aligned} \quad (25)$$

Donde:

HR: humedad relativa media (%)

$u_2$ : velocidad media del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ) a 2 m de altura

Borde: distancia (m) del borde de área seca hasta el área de cultivo verde (Caso B)

Los valores de evapotranspiración diaria promedio, de  $K_p$  mensual y de  $K_c$  (Ferreyra *et al.*, 2001) se muestran en el Anexo (Tabla 47). Por su parte, se emplearon las fechas de ocurrencia de eventos fenológicos de las variedades de Vid determinadas en el CASAM por Cáceres (2000).

Luego, se calculó la evapotranspiración de cultivo en riego localizado ( $ET_{rl}$ ), según la metodología propuesta por Pizarro (1996).

Para poder calcular el coeficiente de localización ( $K_1$ ), se estimó la fracción de área sombreada por el cultivo al mediodía ( $A$ ), considerando el cultivo con su edad actual. En función de ello, se lo clasificó en tres categorías:

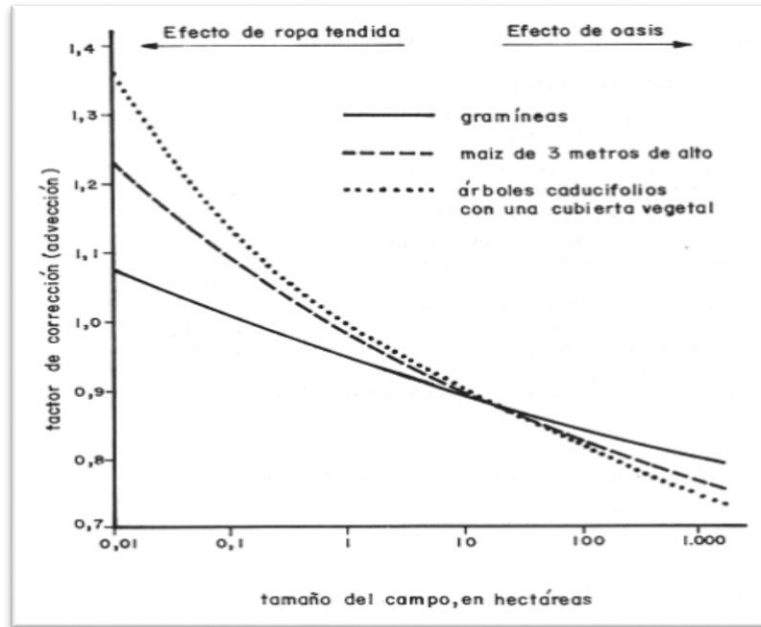
- Nuevo en formación (NEF)
- Nuevo primera producción (NPP)
- Adulto en producción (AEP)

Al modificar el valor de  $A$ , se modificó el consumo hídrico del cultivo. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de  $K_1$  fueron las propuestas por Decroix y Aljiburi *et al.*, respectivamente (mencionadas por Pizarro, 1996). Luego, se obtuvo un promedio de los resultados.

$$K_1 = 0,1 + A \quad (26)$$

$$K_1 = 1,34 * A \quad (27)$$

Asimismo, se ajustó la  $ET_c$  por un coeficiente de mayoración ( $K_2$ ), que considera las condiciones climáticas más adversas. Se utilizó el valor 1,2. Además, se estimó gráficamente el coeficiente corrector por advección ( $K_3$ ), mediante la Figura 13 (Doorenbos y Pruitt, 1977), que depende del tipo de cultivo y de la superficie cultivada, para un clima árido, cálido y de vientos moderados. Se utilizó la gráfica correspondiente a árboles caducifolios con cubierta vegetal.



**Figura 13. Coeficiente de advección según tipo de cultivo y superficie regada.**  
**Figure 13. Advection coefficient by crop type and field size**

La necesidad neta de riego diaria ( $N_{nr}$ ) se consideró igual a  $ET_{rl}$  (evapotranspiración de cultivo en riego localizado).

El requerimiento de lixiviación ( $R_L$ ) se calculó mediante el promedio de las ecuaciones 20 y 21. Para la ecuación 20, el valor de  $CE_{es}$  se extrajo de la tabla de tolerancia de Maas y Hoffman, citada por Pizarro (1996). El valor fue  $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Para la ecuación 21, la  $CE_{es}$  objetivo fue la máxima que no redujera el rendimiento y se utilizó el valor de  $3,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , propuesto por Vallone y Nijensohn (2002) para Vid, valor ajustado para las condiciones yesosas de los suelos y aguas de la región de Cuyo. Asimismo, Hanson y May (2011) mencionan que la tolerancia a la salinidad de los cultivos es 1 a  $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  mayor, cuando los suelos son yesosos. Por su parte, el valor de  $E_{Ap}$  se extrajo de la Tabla 6 (95%) y el valor de uniformidad de distribución se obtuvo de la Tabla 3 (90%). Similar procedimiento efectuaron Morábito *et al.* (2006b), en el cultivo de Nogal en la provincia de Catamarca.

Luego, se calculó  $N_{br}$  (necesidad bruta de riego) mensual mediante la ecuación 18 y a partir de estos valores, se determinó la  $N_{br}$  anual. Se consideró una lámina de riego de prebrotación igual a un 70% de la lámina disponible ( $L_d$ ), que corresponde al umbral de

riego ( $U_r$ ) en riego por goteo (Martín de Santa Olalla Mañas y de Juan Valero, 1992; Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). La  $L_d$  se calculó según la ecuación 28, propuesta por Grassi (1998). Esto se hizo para que el perfil de suelo tuviera una humedad fácilmente extraíble para el cultivo, al inicio del ciclo. El cómputo de consumo hídrico se consideró 15 días antes de brotación, que es cuando empieza la emisión de savia xilemática desde los cortes de poda, proceso denominado “Lloro” (Keller, 2010).

$$L_d = \frac{(CC - PMP)}{100} * PEA * z_1 \quad (28)$$

Donde:

CC: capacidad de campo (g%g)

PMP: punto de marchitez permanente (g%g)

PEA: peso específico aparente del suelo (g.cm<sup>-3</sup>)

$z_1$ : profundidad radical efectiva (mm)

Se utilizaron los valores de referencia de las propiedades físicas para las diferentes texturas de suelo, propuestos por Israelsen y Hansen (1962) (Tabla 48 del Anexo). Se consideró una profundidad efectiva de raíces de 1 m, igual valor utilizaron Morábito (2003) y Schilardi (2010). En viñedos NEF, se utilizó el valor 0,5 m. En suelos someros (por aparición de gravas, gravillas y canto rodado), se consideró la profundidad real de suelo. Ante la presencia de diferentes texturas de suelo en la rizósfera, se calculó  $L_d$  para capa de suelo con textura diferente.

Se calculó la lámina aplicada ( $L_{Apl}$ ) mensual de riego (ecuación 29). Se utilizaron los datos de tiempos e intervalos de riego reales para calcular el tiempo de riego mensual.

$$L_{Apl} = TR * I_p \quad (29)$$

Donde:

TR: tiempo de riego mensual (h.mes<sup>-1</sup>)

$I_p$ : intensidad de precipitación real (mm.h<sup>-1</sup>)

La  $I_p$  se refiere al valor real, no al valor de diseño (ecuación 30)

$$I_p = \frac{Q_e * e}{S_p * S_h} \quad (30)$$

Donde:

$Q_e$ : caudal promedio de todos los emisores medidos ( $L \cdot h^{-1}$ )

$S_p$ : separación entre plantas (m)

$S_h$ : separación entre hileras (m)

A partir de los valores anuales de  $N_{br}$  y  $L_{Apl}$ , se calculó la variación de la lámina aplicada respecto a la lámina requerida por el cultivo ( $\Delta_{Lám \text{ anual}}$ ) (ecuación 31).

$$\Delta_{Lám \text{ anual}} = \frac{(L_{Apl} - N_{br})}{N_{br}} * 100 \quad (31)$$

### **2.8.1.3. Obtención del balance hídrico mensual del cultivo. Cálculo de $Perc_{acum \text{ anual}}$ y**

#### **Déf<sub>acum anual</sub>**

El valor de  $\Delta_{Lám \text{ anual}}$  indica si el volumen aplicado fue superior o inferior al requerido por el cultivo en términos acumulados, es decir, considerando el tiempo total del ciclo del cultivo. Sin embargo, no expresa si la distribución mensual de agua de riego ha sido correcta. Entonces, para poder responder a este interrogante, se hizo el balance hídrico mensual del suelo, según lo propuesto por Grassi (1998). Se trabajó con una escala de tiempo mensual porque no había suficiente información de las encuestas para utilizar una escala menor y porque interesaba conocer la oferta y la demanda en todo el ciclo de cultivo.

Se consideró el aporte por precipitaciones porque se usó una escala de tiempo mensual. No obstante, sólo una parte de la precipitación es aprovechada por el cultivo en el proceso evapotranspiratorio, que se denomina precipitación efectiva ( $P_e$ ) y fue calculada mediante la ecuación 32 propuesta por Doorenbos y Pruitt (1977). Los valores de precipitación total ( $P_t$ ) y  $P_e$  se presentan en la Tabla 50 del Anexo.

$$P_e = (0,6 * P_t) - 10 \quad (32)$$

Se computó la salida de agua del suelo por evaporación ( $E_s$ ), cuando el cultivo se encontraba en reposo y no evapotranspiraba, mediante la ecuación 33 (Steduto *et al.*, 2012).

$$E_s = 0,6 * ET_o * F_{ah} \quad (33)$$

Donde:

$ET_o$ : evapotranspiración de referencia diaria promedio mensual ( $\text{mm.día}^{-1}$ )

$F_{ah}$ : fracción de área humedecida por los emisores

La  $F_{ah}$  se calculó a través de la ecuación 34 (Steduto *et al.*, 2012):

$$F_{ah} = \frac{A_e * e}{S_h * S_p} \quad (34)$$

Donde:

$A_e$ : área mojada por el emisor ( $\text{m}^2$ )

El  $A_e$  se consideró como el área de un círculo. Los diámetros mojados según textura de suelo y caudal de emisor se exponen en la Tabla 12 (Pizarro, 1996).

**Tabla 12. Diámetro mojado (m) por emisor según caudal del emisor y tipo de suelo**  
**Table 12. Wetted diameter (m) by flow of emitter and soil type**

Caudal (L/h)	Textura		
	Arenosa	Media	Arcillosa
< 1,5	0,2	0,5	0,9
2,0	0,3	0,7	1,0
4,0	0,6	1,0	1,3
8,0	1,0	1,3	1,7
12,0	1,3	1,6	2,0



La lámina de riego aprovechable por el cultivo fue obtenida como la diferencia entre la lámina de riego aplicada mensual y las pérdidas de agua por método de riego (relacionado a la  $E_{Ap}$  y el  $R_L$ ) y por excedente de riego por falta de uniformidad (se consideró  $CU_c$  real).

Asimismo, la lámina consumida por el cultivo se obtuvo de restarle a la lámina objetivo de riego, el excedente por falta de uniformidad del método (extraído de la Tabla 3) y el excedente por el coeficiente de pérdida ( $\alpha$ ). Además, se descontó la lámina de riego de prebrotación, porque no es un requerimiento hídrico del cultivo.

Cuando la lámina infiltrada mensual ( $L_{inf}$ ) superaba la capacidad de almacenaje del suelo ( $L_d$ ), se calcularon las pérdidas de agua mediante la ecuación 35.

$$L_{perc} = L_{inf} - L_d \quad (35)$$

Donde:

$L_{perc}$ : lámina percolada ( $mm.mes^{-1}$ )

Por otra parte, si la lámina infiltrada era inferior al 70% de  $L_d$ , se consideró que se producía déficit hídrico (ecuación 36).

$$L_{def} = U_r - L_{inf} \quad (36)$$

Donde:

$L_{def}$ : lámina deficitaria ( $mm.mes^{-1}$ )

$U_r$ : umbral de riego (mm)

El umbral de riego ( $U_r$ ) es un valor de humedad de suelo, por debajo del cual el cultivo gasta energía para extraer agua (Grassi, 1998). La Tabla 51 muestra las variables utilizadas para el cálculo del balance hídrico efectuado en cada equipo.

El periodo de tiempo considerado fue distinto en el cálculo de  $L_{perc}$  que en el de  $L_{def}$ . En el primero, se calculó para todo el año, mientras que, en el segundo, sólo se hizo para el periodo en que el cultivo se encontraba evapotranspirando, porque si la humedad de suelo

era inferior al 70% de  $L_d$  durante el reposo vegetativo del cultivo, no se consideró como déficit hídrico, porque no perjudicaba al mismo.

Luego, se calculó  $L_{perc}$  y  $L_{def}$  anuales. Sin embargo, estos valores como tales no aportan información valiosa, entonces, se relacionaron a la lámina óptima de riego ( $N_{br\text{ anual}}$ ) para cuantificar la magnitud del exceso o la falta de riego (ecuaciones 37 y 38).

$$Perc_{acum anual} = \frac{L_{percanual}}{N_{br\text{ anual}}} * 100 \quad (37)$$

Donde:

$Perc_{acum anual}$ : percolación acumulada anual (%)

$L_{perc\text{ anual}}$ : lámina percolada anual ( $\text{mm.año}^{-1}$ )

$$Déf_{acum anual} = \frac{L_{defanual}}{N_{br\text{ anual}}} * 100 \quad (38)$$

Donde:

$Déf_{acum\text{ anual}}$ : déficit acumulado anual (%)

$L_{def\text{ anual}}$ : lámina deficitaria anual ( $\text{mm.año}^{-1}$ )

#### **2.8.1.4. Cálculo de $\Delta P_{\text{filtro}}$ .**

Con el objeto de evaluar el grado de limpieza de los filtros, se computó la diferencia entre la presión aguas arriba y aguas abajo de los filtros. La pérdida carga real se relacionó con la pérdida de carga del filtro limpio (valor de fábrica) a través de la ecuación 39.

$$\Delta P_{f\text{ filtro}} = \frac{(\Delta P_{f\text{iltro real}} - \Delta P_{f\text{iltro lim pio}})}{\Delta P_{f\text{iltro lim pio}}} * 100 \quad (39)$$

Donde:

$\Delta P_{\text{filtro}}$ : variación de pérdida de carga de filtro real respecto a pérdida de carga de filtro limpio (%)

$\Delta P_{\text{filtro real}}$ : pérdida de carga real de filtro ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

$\Delta P_{\text{filtro limpio}}$ : pérdida de carga de filtro limpio ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

Pizarro (1996) y Schilardi (2015) recomiendan limpiar los filtros cuando la pérdida de carga real es el doble de la pérdida de carga del filtro limpio. No obstante, cuando se consultó los catálogos, la información que brindaban estaba referida a los filtros limpios, no a la máxima tolerancia permitida, por eso se procedió de esta manera.

### **2.8.1.5. Cálculo de $\Delta_{hn}$**

Para evaluar la presión de trabajo de los emisores, se calculó un indicador cuya ecuación se presenta a continuación (ecuación 40):

$$\Delta_{hn} = \frac{h_{real} - h_n}{h_n} * 100 \quad (40)$$

Donde:

$\Delta_{hn}$ : variación de la presión real de gotero respecto a la presión de diseño (%)

$h_{real}$ : presión promedio de goteros medida a campo ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

$h_n$ : presión de gotero según diseño ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )

### **2.8.1.6. Cálculo de $\Delta_{Ip}$**

Relacionado al indicador anterior y a otras variables como nivel de obturación de emisores, se determinó un indicador cuya ecuación fue la siguiente:

$$\Delta_{Ip} = \frac{q_{real} - q_d}{q_d} * 100 \quad (41)$$

Donde:

$\Delta_{Ip}$ : variación de intensidad pluviométrica real de emisor respecto a la intensidad pluviométrica según diseño (%)

$q_{real}$ : caudal promedio de los emisores medidos ( $\text{L.h}^{-1}$ )

$q_d$ : caudal del emisor según diseño ( $\text{L.h}^{-1}$ )

Este indicador permitió conocer si la tasa de irrigación del equipo respondía al diseño del mismo.

## **2.8.2. Tratamiento estadístico de los datos**

### **2.8.2.1. Estadística descriptiva**

Las variables respuesta seleccionadas son cuantitativas continuas, esto significa que el conjunto de posibles valores de cada una es no numerable (Di Rienzo *et al.*, 2008a). Para describir la distribución de frecuencias, se agruparon los valores en intervalos de clase. La cantidad de intervalos se determinó con la ecuación 42 (Di Rienzo *et al.*, 2008a):

$$N^{\circ} \text{ intervalos de clase} = \text{Log}_2(n+1) \quad (42)$$

Donde:

N° intervalos de clase: cantidad de intervalos de clase

n: tamaño de la muestra

Los valores se distribuyeron en seis intervalos de clase, pero en algunos casos se agregó un intervalo porque interesaba conocer la frecuencia de un valor o de un rango de valores más acotado.

En cada variable que se presentó mediante intervalos de clase, se calculó el error de muestreo o estimación, cuya ecuación se presenta a continuación:

$$\pm B = z \frac{S_1}{\sqrt{n}} \quad (43)$$

Donde:

B: límite del error de muestreo para la confiabilidad que fija z

z: percentil de la distribución normal. Para un 95% de confiabilidad, z =1,96

S<sub>1</sub>: estimación de la desviación típica muestral, utilizada como estimador de la desviación típica poblacional

n: número de muestras tomadas de la población bajo estudio

A diferencia del resto de las variables, las variables salinidad y pH de suelo se presentaron mediante un gráfico de barras según la ubicación y profundidad de la muestra de suelo. Cada barra representó el valor promedio y error estándar. Los gráficos de barra fueron realizados con el programa Microsoft Excel 2007.

#### **2.8.2.2. Agrupamiento y reducción de variables**

Se efectuó un agrupamiento de las variables respuesta y explicativas en función de la relación con el aspecto del método de riego que se deseaba estudiar en el presente trabajo. Estos fueron:

- A: uniformidad de distribución
- B: programación de riego
- C: mantenimiento del equipo

Luego, se analizaron detenidamente los valores de las variables y se eliminaron aquellas poco importantes, que no contribuían o contribuían poco a explicar los resultados en relación a los tres aspectos mencionados. Las variables seleccionadas fueron utilizadas *a posteriori* en el análisis multivariado.

#### **2.8.2.3. Análisis de componentes principales**

El tipo de estudio de este trabajo fue observacional. El mismo consistió en observar, describir y analizar numerosas variables o dimensiones de una muestra, tal cual se presentaban en la realidad, es decir, sin intervención alguna que controle los factores de variación. Se decidió trabajar con un Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP), que es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de dimensiones (siendo cada variable una dimensión), con una mínima pérdida de información.

Previo a efectuar el ACP, se seleccionaron las variables que iban a intervenir en el mismo. Para ello, se siguieron los criterios propuestos por Andrieu (2016) y Bramardi (2007). Se eliminaron las variables con datos faltantes y aquellas que tenían el mismo valor para la mayoría de los casos. Luego, se efectuó una matriz de correlaciones con las variables que habían quedado, utilizando el programa estadístico InfoStat/P, Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b). Posteriormente, se eliminaron las variables muy correlacionadas entre sí (con un coeficiente de correlación superior a 0,8), dejando una de ellas (la que tuviera mayor correlación con el resto de las variables) y las variables con baja correlación con el resto (coeficiente de correlación menor a 0,3).

Por último, se verificó que las variables escogidas explicaran diferentes aspectos del desempeño integral del método de riego. Se aclara que algunos equipos evaluados no se incluyeron en el ACP porque les faltaba algún valor en alguna de las variables seleccionadas.

Para cotejar que las variables elegidas fueran factibles de analizar mediante ACP, se determinó la medida de adecuación muestral KMO (Káiser – Meyer – Olkin) que compara las correlaciones entre variables y sus correlaciones parciales, buscando que se aproxime a uno (Andrieu, 2016). Además, se calculó la prueba de esfericidad de Bartlett, cuya hipótesis nula menciona que no existe correlación entre variables, o dicho de otra forma que la matriz de coeficientes de correlación no es significativamente distinta de la matriz identidad (Bramardi, 2007). Esta prueba se pudo realizar porque se cumplió la recomendación de que la relación entre  $n$  (número de casos) y  $k$  (número de variables) sea menor a 5 (Andrieu, 2016 y Carmona, 2014). En este caso, fue 3,08. Las pruebas mencionadas fueron calculadas con el programa estadístico SPSS Statistics, Versión 19.0 (IBM, 2010).

Se calculó la determinante de la matriz de correlaciones. Si el determinante tiene un valor próximo a cero, significa que las variables utilizadas se encuentran linealmente relacionadas, esto significa que el análisis factorial es una técnica pertinente para estudiar dichas variables (Balzarini *et al.*, 2008).

El ACP se efectuó con el programa estadístico InfoStat/P, Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b). Para determinar el número de factores, se seleccionó un número tal que, en conjunto, explicase al menos el 70% de la variabilidad total (Bernal García *et al.*, 2004 y Bramardi, 2007).

Asimismo, en la tabla de autovectores se pudo ver la contribución de cada variable a la explicación de los factores, considerándose que contribuía en la medida que explicara al menos la mitad de la carga máxima en algún factor (Andrieu, 2016 y Bramardi, 2007). Sin embargo, como la interpretación de los resultados era compleja, se llevó a cabo una rotación de los ejes factoriales, mediante el método Varimax (Andrieu, 2016; Bernal García *et al.*, 2004 y Carmona, 2014) con el programa SPSS Statistics, Versión 19.0 (IBM, 2010). Este método consigue que la correlación de cada una de las variables sea lo más próxima a uno (1) con sólo uno de los factores y próxima a cero con todos los demás, es decir asimila cada variable con un eje. Además, explica la misma cantidad de varianza inicial (Andrieu, 2016).

También, se efectuaron gráficos biplot con el programa estadístico InfoStat/P, Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b), para representar en el mismo espacio a las variables y a los casos (equipos). A partir de los gráficos, se observó las variables más importantes de cada factor y las asociaciones entre los equipos y entre variables.

#### **2.8.2.4. Análisis de correlación lineal**

Las variables que mayor proporción de la variabilidad explicaron fueron sometidas a análisis de correlación lineal con otras variables relacionadas, mediante el programa estadístico InfoStat/P, Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b). Las variables cualitativas se transformaron a cuantitativas para poder aplicar análisis de correlación lineal (Tabla 13).

**Tabla 13. Transformación de variables cualitativas**  
**Table 13. Transformation of qualitative variables**

Variable	Valores que adopta
Tipo de gotero	0: No autocompensante 1: Autocompensante
Limpieza química	0: No aplica ácido y no aplica cloro 1: Aplica ácido y no aplica cloro 2: Aplica cloro y no aplica ácido 3: Aplica ácido y cloro
Limpieza física	0: No lava laterales 1: Lava laterales
Retrolavado	0: No tiene retrolavado 1: Tiene retrolavado
Aplica CuSO <sub>4</sub>	0: No aplica CuSO <sub>4</sub> al reservorio 1: Aplica CuSO <sub>4</sub> al reservorio

Como se encontró correlación altamente significativa entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta_{Ip}$ , se efectuó un análisis de regresión lineal entre estas variables. Para ello, se utilizó el programa estadístico InfoStat/P, Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b). El modelo de regresión fue estimado por el método de mínimos cuadrados.

#### **2.8.2.5. Análisis de clasificación por conglomerados**

Con el objeto de avanzar en la interpretación de las relaciones multivariadas de los equipos de riego, se efectuó un análisis de clasificación (ACL) por conglomerados (Cluster), de manera que cada conglomerado o grupo reuniera unidades cuya similitud fuera máxima para algunas variables importantes, mientras que las unidades de conglomerados distintos fueran muy diferentes para esas variables.

Antes de efectuar el ACL, se verificó que se cumplieran tres requisitos (de la Fuente Fernández, 2011) para poder aplicar este tipo de análisis:

- Ausencia o baja correlación entre las variables seleccionadas
- Número de variables no muy elevado. Se utilizó sólo tres variables para el ACL, que son las que resultaron más importantes del ACP y de la matriz rotada (Varimax). Al reducir la cantidad de variables, se facilitó la interpretación de los agrupamientos obtenidos (Andrieu, 2016).



- Variables medidas en las mismas unidades. Para cumplir con esto, el programa InfoStat/P, versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b), procedió a efectuar la estandarización de las mismas.

Además, antes de efectuar el ACL, se analizaron los datos para identificar los casos atípicos (de la Fuente Fernández, 2011) con el programa estadístico SPSS Statistics, Versión 19.0 (IBM, 2010), donde se efectuó un gráfico Box plot para cada variable con el fin de identificar gráficamente aquellos casos fuera de lo común.

Los casos atípicos fueron transformados. Cuando la asimetría fue positiva, se calculó la raíz cuadrada del valor. Cuando la asimetría fue negativa, se elevó los datos al cuadrado (de la Fuente Fernández, 2011).

Debido a que se desconocía *a priori* el agrupamiento de los casos (equipos) y el número de casos no era muy grande, se utilizó una técnica de agrupación jerárquica, que consiste en fusiones sucesivas, donde las uniones son irrevocables de modo que cuando se han unido dos individuos no pueden ser posteriormente separados. Se utilizó un encadenamiento por la media porque es un método simple, de amplio uso y considerado el que mejor conserva el espacio de referencia de las variables originales (Andrieu, 2016). La medida de distancia seleccionada fue la Euclídea por tratarse de variables cuantitativas (Balzarini *et al.*, 2008).

El criterio aplicado para definir la cantidad de grupos fue identificar los puntos de corte de una línea de referencia vertical, ubicada al 50% de la distancia máxima (Bramardi, 2007), en un gráfico (dendrograma) realizado con el programa estadístico InfoStat/P, Versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b). Este gráfico permitió visualizar como se organizaron los casos en distintos conglomerados sucesivos.

El ACL se consideró aceptable si el coeficiente de correlación cofenética era mayor a 0,7 (Andrieu, 2016 y Bramardi, 2007). Este indicador estadístico describe el agrupamiento

natural de los datos, constituye una medida de la calidad del agrupamiento obtenido (Balzarini *et al.*, 2008).

Luego, se identificaron los equipos que conformaban cada grupo y se calculó el promedio por grupo de cada variable que fue utilizada en el ACP. Esto permitió efectuar una clasificación en función del desempeño integral de riego de los grupos.

Posteriormente, se analizaron los resultados del agrupamiento realizado mediante el uso de modelos lineales mixtos con el programa InfoStat/P, versión 2016 (Di Rienzo *et al.* 2008b). En aquellos casos donde se observaron diferencias estadísticamente significativas, se utilizó un test paramétrico de comparación múltiple llamado LSD Fisher, con un nivel de significancia de 0,05.

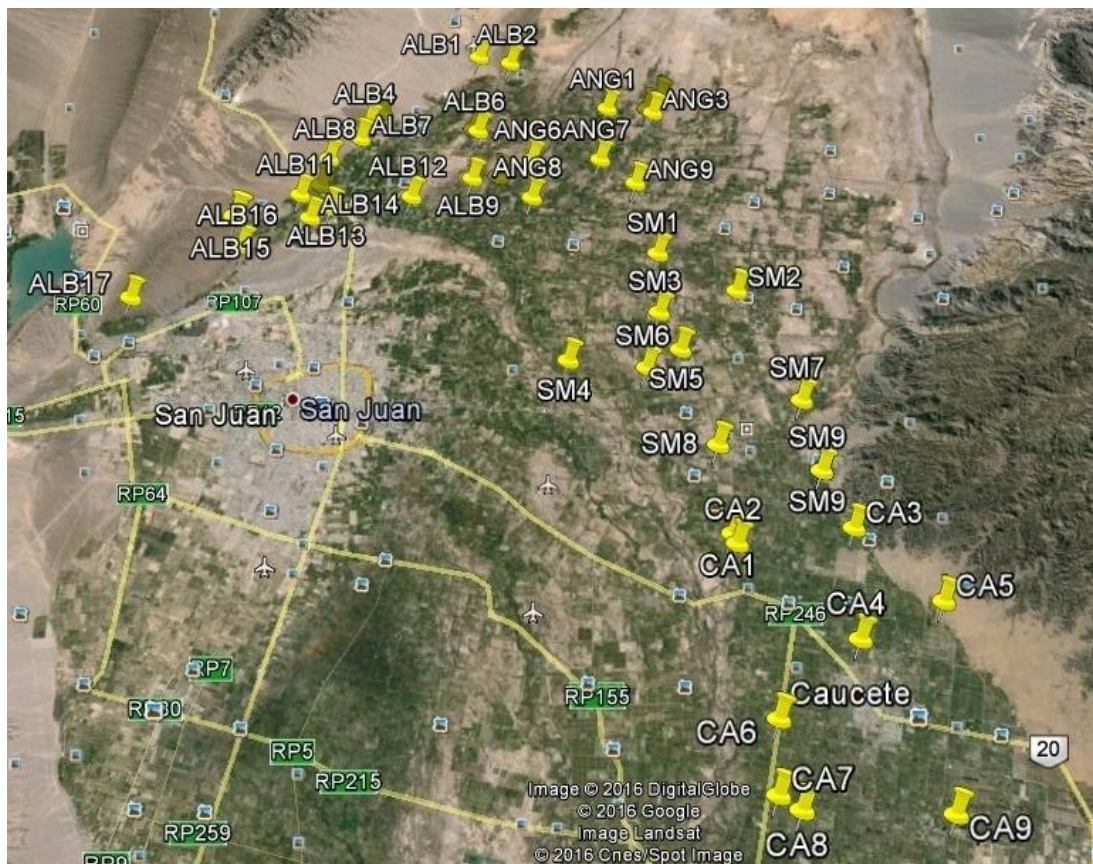
Las Tablas 52, 53 y 54 muestran las variables de los equipos utilizados para los cálculos y análisis descriptos. Los trabajos de gabinete se iniciaron en diciembre del año 2015 y culminaron en septiembre del presente año.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Descripción de los equipos de riego evaluados

##### 3.1.1. Ubicación del área de estudio

La Figura 14 muestra una imagen satelital extraída del programa Google Earth (Google, 2015), donde se puede observar el área de estudio con la ubicación de los cabezales de bombeo de los equipos evaluados.



**Figura 14. Imagen satelital del área de estudio (Google Earth). Las marcas de posición coloreadas de amarillo corresponden a los equipos de riego por goteo evaluados. ALB: Albardón, ANG: Angaco, CA: Caucete y SM: San Martín**  
**Figure 14. Satellite image of the area of study (Google Earth). Yellow pins show the location of the evaluated farms. ALB: Albardón, ANG: Angaco, CA: Caucete and SM: San Martín**

El área de estudio se extendió entre las latitudes  $31^{\circ} 22' 0''$  S, (límite Norte) y  $31^{\circ} 42' 0''$  S (límite Sur), y entre las longitudes  $68^{\circ} 38' 0''$  W (límite Oeste) y  $68^{\circ} 12' 0''$  W (límite Este).

### **3.1.2. Características generales**

Se evaluaron 1056 ha de viñedos con riego por goteo, distribuidas en 50 propiedades. La superficie promedio de los equipos evaluados fue 21,12 ha, con predominancia de los equipos de menos de 20 ha (64%). La superficie evaluada equivale al 20% del total de Vid con riego por goteo en la provincia. Se evaluaron equipos de diferentes tamaños, desde muy pequeños (2 ha) hasta equipos grandes, de más de 100 ha.

En la muestra, predominaron los equipos con pocos años de uso, ya que la edad promedio de los cabezales de bombeo fue 7,5 años, mientras que los goteros tenían una edad media de 5 años. La diferencia de edades se debió al reemplazo de emisores que habían cumplido su vida útil en el 12% de los equipos y a la implantación de viñedos en un periodo posterior a la instalación del equipo, en el 16% de los casos. Además, estos valores indican que se han realizado nuevas inversiones para incorporar la tecnología, por representar una alternativa para regar ante la escasez de agua prolongada sucedida en la provincia (Departamento de Hidráulica, 2016).

Por otro lado, el 16% de los equipos contaban con goteros autocompensantes (AC). Este tipo de goteros se encontraron en equipos antiguos (edad promedio 18,4 años). Una posible causa de esta situación es que, en esos equipos, los laterales observados eran más largos (100 m o más) que en los equipos más modernos, entonces, las pérdidas de presión por mayor longitud son compensadas. En cambio, en el 84% de los equipos tenían un tiempo promedio de funcionamiento inferior (8 años) y fueron diseñados con distribución bilateral o pareada, con laterales más cortos, a ambos lados de la tubería portlaterales (menos de 80 m), sobre terrenos con pendiente nula a pequeña. Esta forma de diseño permite contar con hileras más largas, sin necesidad de utilizar goteros AC, que son de mayor costo y tienen una vida útil más corta (Schilardi, 2015).

En el 80% de los equipos evaluados se encontró más de una variedad plantada. La variedad predominante en las subunidades evaluadas fue Flame Seedless (32%), variedad muy productiva y multipropósito (consumo en fresco, pasa y mosto) cuyo destino principal es la pasificación. Asimismo, la estructura de conducción predominante fue parral cuyano (92%), que permite una mayor carga de yemas por planta y por hectárea. Es una estructura diseñada para producir altos rendimientos.

En cuanto a la edad de los viñedos, predominaron los viñedos “adultos en producción” (AEP), con el 76%, que son aquellos que se encontraban en condiciones de producir una alta producción de acuerdo con la variedad del viñedo. En segundo lugar (16%), se encontraron viñedos categorizados como “Adulto primera producción”, en este caso, los viñedos habían dado su primera cosecha el año anterior, que fue una cantidad inferior a la máxima. Por último (8%), se hallaron viñedos “Nuevos en formación” (NEF), los mismos todavía no habían producido uva y se encontraban en una etapa de formación, incluso, en muchas plantas, el tallo no había alcanzado el alambre superior (“maestra”) del parral.

La salinidad del agua de riego medida como conductividad eléctrica ( $CE_a$ ) arrojó un valor medio de  $0,76 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , mientras que el pH promedio fue 7,23. Según la clasificación propuesta por Ayers y Westcot (1979), estos valores se corresponden con un agua apta para riego. Sólo en el 4% de los equipos, se encontraron valores de  $CE_a$  elevados (era agua subterránea).

El origen de la fuente de agua utilizada en los equipos fue variable, el 36% utilizaba agua subterránea, el 32% agua de “turno” (proveniente del Río San Juan) y el resto (32%), agua subterránea y de “turno”.

En el primer grupo (agua subterránea), los equipos no contaban con reservorio. La alternativa de conexión directa de la perforación al equipo de riego fue frecuentemente utilizada porque la ausencia de reservorio permite reducir costos de instalación y mantenimiento (Novello *et al.*, 2014). Estos equipos regaban superficies pequeñas, cuyo valor promedio fue 12,55 ha. El agua de “turno” se empleaba para regar otros cuarteles o

se efectuaban riegos complementarios en los cuarteles con goteo para lavar sales o llenar de humedad el perfil de suelo durante el receso invernal. En estos equipos, siempre se encontraron instalados prefiltros llamados hidrociclones para separar partículas de diámetro superior a 75  $\mu\text{m}$  en el agua. Desde el punto de vista técnico, no es conveniente la conexión directa del equipo de riego a una perforación porque la presión en el cabezal fluctúa cuando se modifica el nivel dinámico del acuífero (Fernández Gómez *et al.*, 2010). Lo recomendable es colocar una válvula sostenedora y reguladora de presión para independizarse de la presión y fluctuaciones de presiones del acuífero (Schilardi, 2016, comunicación personal). Sin embargo, este dispositivo no se observó en los equipos con toma directa a una perforación. Sólo en un equipo (2%), había una válvula sostenedora de presión, pero era un equipo con reservorio, cuya función era mantener la presión durante el proceso de retrolavado. Otra opción para evitar variaciones de presión en el cabezal de bombeo, es construir un pequeño reservorio que funcione como pulmón y mediante una bomba a nivel de superficie, regar el cultivo. Además, permite aprovechar el agua de turno para riego con el equipo de goteo (Najt, comunicación personal, 2016).

Los equipos que utilizaban agua de “pozo” y “turno” tenían reservorio. Se usaban ambas fuentes porque el agua de “turno” era insuficiente para regar la superficie cultivada, que en promedio fue 36,64 ha. Por último, los equipos que sólo usaban agua de “turno”, también tenían reservorio y la superficie promedio fue 18,01 ha. En estos dos grupos, no se utilizaban hidrociclones como prefiltro porque las partículas de mayor tamaño decantaban en el reservorio. Sin embargo, se detectó un problema común en los reservorios que fue la proliferación de algas en el agua, situación promovida por la permanencia de agua estancada y exposición a la luz solar. El 6,5% de los equipos con reservorio no tenía impermeabilizado el fondo ni las paredes del mismo.

### **3.1.3. Indicadores de desempeño**

#### **3.1.3.1. Indicadores de uniformidad de distribución**

##### **3.1.3.1.1. Coeficiente de uniformidad de caudales ( $CU_c$ )**

La media general del  $CU_c$  fue 86,9%, clasificándose como “Bueno”. La desviación estándar fue 9,77%, el coeficiente de variación, 11,25% y el error de muestreo fue 2,71%. El  $CU_c$  obtenido es inferior al valor usado como referencia, extraído de la Tabla 3 (90%). Este desempeño coincide con los obtenidos por Fontela *et al.* (2009) y Schilardi *et al.* (2012), resultado de evaluar 17 viñedos con riego por goteo en Mendoza y 25 viñedos en Mendoza y San Juan, respectivamente. Asimismo, Bohórquez y Ruiz (2011), evaluaron 23 equipos de riego por goteo en frutales en Andalucía, España y el desempeño fue “Bueno”. Sin embargo, el desempeño en el presente trabajo fue superior al obtenido por Schilardi *et al.* (2012) si se considera sólo lo evaluado en San Juan, donde el desempeño fue “Regular”. Por su parte, Martello *et al.* (2012), en Mendoza y Díaz Canivilo (2002), en Chile, midieron uniformidad en viñedos y obtuvieron desempeños “Excelentes”. La variabilidad de los valores de  $CU_c$  indica que hay poca dispersión de los datos, similar a lo que obtuvieron Schilardi *et al.* (2012). Buendía *et al.* (2006), en Guanajuato, México, evaluaron equipos de goteo que regaban cultivos hortícolas y obtuvieron valores de  $CU_c$  inferiores a 90%, igual que en este trabajo. Esto revela que existe una diferencia entre la uniformidad de diseño y la uniformidad real de equipo.

Los valores obtenidos de  $CU_c$  se agruparon en intervalos de clase (Tabla 14), para efectuar un análisis detallado.

**Tabla 14. Distribución de frecuencias de  $CU_c$  (%)**  
**Table 14.  $CU_c$  frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
51,43 - 58,94	2	0,04	0,04
58,94 - 66,44	1	0,02	0,06
66,44 - 73,95	2	0,04	0,1
73,95 - 80,00	4	0,08	0,18
80,00 - 90,00	18	0,36	0,54
90,00 - 97,00	23	0,46	1,00
Total	50	1,00	

Sólo el 46% de los equipos tuvo desempeño “Excelente”, mientras que el 36% tuvo desempeño “Bueno”. Es decir, el 82% tuvo valores aceptables de  $CU_c$ . La misma proporción de desempeño aceptable obtuvieron Fontela *et al.* (2009), pero los porcentajes fueron distintos porque el 57% tuvo desempeño “Excelente” y el 25%, “Bueno”. Por debajo de 80% de  $CU_c$ , se consideró desempeño inapropiado y correspondió al 18%.

Dentro del conjunto de equipos con calificación inferior a “Bueno”, el 55,6% se trató de equipos nuevos, recientemente instalados (edad promedio 5 años) y el 44,4%, a equipos con mucho tiempo de funcionamiento (19 años en promedio) y con los valores más bajos obtenidos. En el primer grupo, los bajos valores de  $CU_c$  se debieron a la falta de mantenimiento, principalmente debido al mal funcionamiento de filtros (por excesiva suciedad), emisores parcial o totalmente obstruídos y fugas de agua en tuberías. Estos tres problemas fueron encontrados también por Fontela *et al.* (2009). En el segundo grupo, la causa de los inadecuados valores de  $CU_c$  fue la presencia de componentes, como filtros y emisores, en mal estado y que habían cumplido su vida útil, pero se seguían utilizando. Una situación similar encontraron Schilardi *et al.* (2012), quienes atribuyeron la baja uniformidad de caudales a que los goteros autocompensantes habían cumplido su vida útil y no se habían reemplazado.

#### **3.1.3.1.2. Coeficiente de uniformidad de presiones ( $CU_h$ )**

El  $CU_h$  promedio fue 93,6%, considerándose el desempeño “Excelente”. La desviación estándar fue 5,63%, el coeficiente de variación, 6,02% y el error de muestreo fue 1,56%. Nótese que la dispersión de datos fue menor, comparada con el  $CU_c$ , posiblemente debido a que este indicador sólo depende de las presiones medidas, mientras que el  $CU_c$  también depende de la uniformidad de emisores. Estos resultados son similares a los obtenidos por Díaz Canivilo (2002), que evaluó 6 subunidades de un equipo de riego en un viñedo durante tres eventos de riego y en todos los casos obtuvo desempeños “Excelente”, con valores muy homogéneos. Asimismo, Bohórquez y Ruiz (2011), también obtuvieron un desempeño promedio “Excelente” y baja dispersión de los datos. Por otra parte, Schilardi *et al.* (2012), obtuvieron resultados diferentes porque el  $CV_h$  promedio se correspondió



con un desempeño “Bajo” y mencionaron que el 40% de los equipos evaluados tenían puntos de atención en el diseño hidráulico. La Tabla 15 muestra la distribución de frecuencias de los valores de  $CU_h$ .

**Tabla 15. Distribución de frecuencias de  $CU_h$  (%)**  
**Table 15.  $CU_h$  frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
74,48 - 78,65	2	0,04	0,04
78,65 -80,00	0	0,00	0,04
80,00 - 86,98	3	0,06	0,10
86,98 - 90,00	5	0,10	0,20
90,00 - 95,31	17	0,34	0,54
95,31 - 99,48	23	0,46	1,00
Total	50	1,00	

Los valores de  $CU_h$  son muy buenos en general y mejores que el  $CU_c$ , ya que el 80% de los equipos tuvo un desempeño “Excelente” y el 16%, un desempeño “Bueno”. Resultados similares tuvieron Bohórquez y Ruiz (2011), donde el 82,3% de los equipos tuvo desempeño “Excelente”. Sólo el 4% de los equipos evaluados tuvo un desempeño “Regular”. En el 2%, la causa fue la presencia de numerosas fugas de agua en la subunidad, que disminuyeron la presión general y generaron presiones muy bajas en los sectores cercanos a las fugas. En el 2% restante, la causa se supone fue un mal diseño hidráulico porque sobre un terreno plano, la longitud de los laterales era muy distinta para un lado respecto al otro de la tubería terciaria, que ocasionó presiones muy diferentes en los finales de línea.

El exponente de emisor influye sobre el valor de  $CU_h$ . Entonces, se calculó  $CU_h$ , sólo para los goteros no autocompensantes porque en estos, las variaciones de presión son más evidentes. La Tabla 16 muestra la distribución de valores de  $CU_h$  para los equipos con emisores no autocompensantes.

**Tabla 16. Distribución de frecuencias de  $CU_h$  (%) para equipos con goteros no autocompensantes**

**Table 16.  $CU_h$  frequency distribution (%) of non-compensating emitters**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
70- 80	1	0,024	0,024
80 - 90	8	0,190	0,214
90- 100	33	0,786	1,000
Total	42	1,000	

Los resultados de la Tabla 16 son muy similares a los de la Tabla 15, por lo tanto, el tipo de gotero no fue una variable que incidió sobre  $CU_h$ . Se considera, en general, los valores obtenidos de esta variable son satisfactorios y expone un indicio de que los diseños hidráulicos de las subunidades podrían ser adecuados (Fernández Gómez *et al.*, 2010).

El  $CU_h$  no incide en el cálculo de uniformidad de sistema, sin embargo, brinda información acerca de la calidad del diseño hidráulico de la subunidad evaluada (Fernández Gómez *et al.*, 2010 y Bohórquez y Ruiz, 2011). Las Tablas 15 y 16 indican que, en general, los diseños hidráulicos de las subunidades evaluadas podrían ser apropiados, a diferencia de lo obtenido por Ortega *et al.* (2005), que evaluaron equipos de riego por goteo en Castilla-La Mancha, España, sobre cultivos leñosos y herbáceos, detectando que la principal causa de desuniformidad fue un mal diseño hidráulico.

### **3.1.3.1.3. Coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de emisores ( $CV_e$ )**

El  $CV_e$  promedio fue 0,08, esto significa que hubo una alta uniformidad de goteros. Sin embargo, se destaca una elevada dispersión de datos en este indicador, muy superior a los valores de  $CU_c$  y  $CU_h$  (la desviación estándar fue 0,07 y el coeficiente de variación, 87,91%). Esto puede responder a que, durante el estudio, se encontraron goteros con características muy distintas en cuanto a tipo de flujo, marca, tiempo de servicio y grado de obturación. Por su parte, el error de muestreo fue 0,02. La Tabla 17 muestra la distribución de frecuencias de los valores de  $CV_e$ .

**Tabla 17. Distribución de frecuencias de  $CV_e$**   
**Table 17.  $CV_e$  frequency distribution**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0,010 - 0,064	27	0,54	0,54
0,064 - 0,118	13	0,26	0,80
0,118 - 0,173	4	0,08	0,88
0,173 - 0,200	3	0,06	0,94
0,200 - 0,282	0	0,00	0,94
0,282 - 0,337	3	0,06	1,00
Total	50	1,00	

El 94% de los equipos tuvieron valores de  $CV_e$  aceptables, pero existieron diferencias dentro de este amplio conjunto de equipos. Por un lado, el 80% de los equipos tuvo elevada uniformidad de emisores y no se encontraron emisores obturados. Por otro lado, el 14% ( $0,20 > CV_e > 0,118$ ) tuvo valores aceptables, pero se observaron goteros con distinto nivel de obturación, falta de labores de mantenimiento como “Flushing”, falta de inyección de soluciones limpiadoras a tuberías y fallas en el funcionamiento de filtros. Es decir, eran equipos con problemas reversibles, pero de persistir esa situación, se alcanzarían valores inaceptables en poco tiempo.

Por último, el 6% restante (3 equipos) tuvo valores inaceptables ( $CV_e > 0,20$ ). Dos de estos equipos tenían goteros autocompensantes que habían cumplido su vida útil y los emisores estaban obturados. En el equipo restante, el problema detectado fue la elevada pérdida de carga que se generaba en el filtro de grava. Pizarro (1996) menciona que cuando este tipo de filtro está muy entarquinado, se forman grietas por donde el agua pasa sin ser filtrada y ocasiona serios problemas de obturación de emisores.

Un factor que tiene mucha incidencia sobre el  $CV_e$  es la obturación de emisores. Martello *et al.* (2012) evaluaron seis viñedos con goteo y a pesar de que obtuvieron desempeños “Excelentes” de  $CU_c$ , encontraron un 40% de emisores parcialmente obturados. Por su parte, Bohórquez y Ruiz (2011), mencionan entre las principales causas de desuniformidad, la obturación de emisores por precipitados químicos debido a un mal manejo del pH del agua y la obturación de goteros en finales de línea por falta de lavados de laterales de riego. Schilardi *et al.* (2012) y Styles *et al.* (2008) obtuvieron

uniformidades muy similares entre equipos de riego por goteo y microaspersión, cuando debería haber sido mayor en goteo. La explicación encontrada fue que los microaspersores tienen mayor diámetro de paso y, por ende, son menos propensos a obturarse.

#### **3.1.3.1.4. Coeficiente de uniformidad de sistema (CU<sub>s</sub>)**

El CU<sub>s</sub> promedio fue 81,07%, calificando como “Bueno”, aunque inferior al CU<sub>c</sub>, lo cual es lógico porque su valor depende de éste y de las presiones mínimas de las tuberías terciarias que conforman la operación seleccionada. La desviación estándar fue 11,07%, el coeficiente de variación, 13,66% y el error de muestreo fue 3,07%.

Se observó que, en la medida que aumentaba el número de subunidades por operación, disminuía el CU<sub>s</sub>, que da un indicio de diferencias de presión entre subunidades. Este hecho fue más acentuado en equipos con goteros no autocompensantes, porque el caudal del gotero es más sensible a las variaciones de presión. Los valores de CU<sub>s</sub> tienen un rango muestral y una dispersión de datos mayor que el CU<sub>c</sub>. La Tabla 18 muestra la distribución de frecuencias de los valores de CU<sub>s</sub>.

**Tabla18. Distribución de frecuencias de CU<sub>s</sub> (%)**  
**Table 18. CU<sub>s</sub>frequency distribution (%)**

<b>Intervalo de clase</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Frecuencia relativa acumulada</b>
47,95 - 55,91	2	0,04	0,04
55,91 - 63,86	3	0,06	0,10
63,86 - 70,00	4	0,08	0,18
70,00 - 80,00	10	0,20	0,38
80,00 - 90,00	22	0,44	0,82
90,00 - 96,00	9	0,18	1,00
Total	50	1,00	

Sólo el 18% de los equipos tuvo un desempeño “Excelente”. Sin embargo, de esa proporción, el 77,6% de los equipos tenía una válvula en la operación evaluada (el CU<sub>c</sub> es igual al CU<sub>s</sub>) y el 22,4% tenía dos válvulas por operación. Esto significa que sólo se obtuvieron valores óptimos en equipos con operaciones chicas. Asimismo, el 44% tuvo desempeño “Bueno”. En este grupo, la cantidad de válvulas por operación fue variable,

desde una hasta cinco válvulas, resultando el grupo con tres válvulas por operación el más numeroso (36,4%). Desempeños inferiores se correspondieron a equipos con una hasta ocho válvulas por operación y, por lo tanto, con operaciones de mayor superficie.

De los resultados expuestos, se observa que, a medida que se incrementa la superficie regada y, por ende, el número de válvulas funcionando simultáneamente, se reduce el  $CU_s$ . Esto pone de manifiesto que la falta de regulación de presión de válvulas es la principal causa de ello, tal cual lo expresa Fernández Gómez *et al.* (2010). Bohórquez y Ruiz (2011) destacan como principal causa de desuniformidad en las evaluaciones que realizaron en Andalucía, a la falla en la regulación de las válvulas. Schilardi *et al.* (2012) detectaron falta de regulación de válvulas en el 84% de las subunidades evaluadas.

Fontela *et al.* (2009) encontraron diferencias significativas en el caudal promedio de descarga del emisor en todas las subunidades evaluadas, que da un indicio de una baja uniformidad del sistema.

Burt (2004) manifiesta que existe una tendencia hacia lograr uniformidades de sistemas mayores con el paso del tiempo, que reflejan que las técnicas de diseño y la calidad de emisores, filtros y sistemas de inyección química han mejorado. Por ejemplo, *The Cachuma Resource Conservation District* (CRCD, 1994), en Santa María, California, determinaron una uniformidad global promedio de 74% en 97 evaluaciones de riego por goteo, mientras que *The Irrigation Training and Research Center* (ITRC) (2003, mencionado por Burt, 2004) efectuó 133 evaluaciones y la uniformidad del sistema fue superior, alcanzando el 86%. Este estudio y el efectuado por Schilardi *et al.* (2012) concluyen que las dos causas más importantes de desuniformidad del sistema y con igual jerarquía son las variaciones de presión y las variaciones causadas por los emisores (por uso, variación de fabricación y obturación).

### **3.1.3.2. Indicadores de programación de riego**

En el 14% de los equipos no se pudo calcular los indicadores de programación de riego porque los regantes no manejaban un calendario de riego. No obstante, en el 86% que si

se calculó, sólo en el 23,3% de los equipos se llevaban registros de riego, que permitió conocer con exactitud la lámina aplicada durante todo el año, así como las limpiezas químicas y físicas que se efectuaban en el equipo. En el 76,7% restante, se conocía los tiempos e intervalos de riego, pero, al no llevar registros, ante la ocurrencia de alguna modificación en la programación de riego (por corte de energía eléctrica, falla en algún componente o falta de agua en el reservorio), no pudo advertirse en la encuesta porque no estaba anotado. Esto puede haber ocasionado errores en la información colectada.

### **3.1.3.2.1. Variación entre la lámina de riego aplicada y teórica ( $\Delta L_{\text{á manual}}$ )**

El promedio general de esta variable fue 51,90%, esto da un indicio que se aplicó más agua de la requerida por el cultivo. Los datos obtenidos tuvieron elevada dispersión, siendo la desviación estándar 81,89% y el coeficiente de variación, 157,77%. Esto repercutió en el error de muestreo que fue de 26,39%, valor mayor a los obtenidos con las variables anteriormente referidas. En la Tabla 19, se presenta la distribución de frecuencias de  $\Delta L_{\text{á manual}}$ .

**Tabla 19. Distribución de frecuencias de  $\Delta L_{\text{ám anual}}$  (%)**  
**Table 19.  $\Delta L_{\text{ám anual}}$  frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
-45,00 - 0,00	11	0,26	0,26
0,00 - 68,00	22	0,51	0,77
68,00 - 136,00	5	0,12	0,88
136,00 - 204,00	2	0,05	0,93
204,00 - 272,00	2	0,05	0,98
272,00 - 340,00	1	0,02	1,00
Total	43	1,00	

En general, hubo una tendencia a aplicar mayor cantidad de agua que la necesaria, ya que sólo el 26% aplicó menos. Esto se puede explicar porque el 91% de los equipos del grupo deficitario tenían una intensidad pluviométrica inferior a la de diseño ( $\Delta I_p$  negativo). Otro dato de interés fue que, en este grupo, el destino de la uva fue pasificación (63,6%) y mostos y vinos comunes (36,7%), no encontrándose viñedos para consumo en fresco.

El grupo más numeroso (51%) aplicó hasta un 68% más de lámina de riego. Este grupo se comportó distinto al anterior porque el 68,2% tuvo una  $\Delta_{Ip}$  positiva, mientras que en el 31,8% fue negativa. Además, hubo cambios en cuanto al destino de la uva, ya que el 36,4% se destinaba a mostos y vinos comunes, mientras que para consumo en fresco y pasa representaban 31,8% cada uno. Se hizo énfasis en el destino de la uva porque el productor de uva para consumo en fresco tiende a aplicar más agua de la necesaria para asegurarse un calibre grande de baya, atributo que determina el precio del producto (Liotta, 2016, comunicación personal).

Luego, el 12% de los equipos aplicó entre el 68% y 136%. La característica común de estos equipos fue que eran viñedos recientemente plantados. De hecho, el 60% de estos viñedos tenían tres años y su primera producción y el 40%, eran viñedos de un año, en etapa de formación. La causa del exceso de riego fue que aplicaron láminas necesarias para un cultivo adulto en plena producción, siendo el consumo actual del cultivo muy inferior.

Por último, el 12% restante corresponde a equipos que aplicaron láminas extremadamente superiores a lo necesario. El 60% de estos equipos destinó sus uvas a consumo en fresco, el 20% a pasa y el otro 20% a mosto y vinos comunes. En estos equipos, se aplicaban excesivas láminas de agua durante todo el año, inclusive en momentos de baja demanda evapotranspiratoria del cultivo y en reposo invernal, momento en que no hay consumo hídrico del cultivo.

La información presentada *supra* no es suficiente para identificar excesos o déficits hídricos, porque no se refiere a la distribución de las láminas aplicadas en el tiempo. Para ello, se hizo un balance hídrico mensual del suelo.

#### **3.1.3.2.2. Percolación profunda acumulada anual ( $Perc_{acum\ anual}$ )**

El promedio general de esta variable fue 34,77%, que significa que esa fue la cantidad promedio de agua que percoló por debajo de la rizósfera. Al igual que en la variable

anterior, los datos obtenidos tuvieron elevada dispersión, siendo la desviación estándar 41,92% y el coeficiente de variación de 120,55%. El error de muestreo fue 13,51%.

La Tabla 20 muestra la distribución de frecuencias de los valores de Percolación profunda acumulada anual.

**Tabla 20. Distribución de frecuencias de Perc<sub>acum</sub> anual (%)**  
**Table 20. Perc<sub>acum</sub> annual frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0,00 - 0,00	12	0,28	0,28
0,00 - 33,00	16	0,37	0,65
33,00 - 66,00	8	0,19	0,84
66,00 - 99,00	3	0,07	0,91
99,00 - 132,00	3	0,07	0,98
132,00 - 165,00	0	0,00	0,98
165,00 - 198,00	1	0,02	1,00
Total	43	1,00	

En la Tabla 20, se agregó un intervalo de clase para separar los equipos que no tuvieron percolación profunda del resto. El mismo criterio se tuvo en la Tabla 21, relativa al déficit hídrico.

El 28% de los equipos no tuvo pérdidas por percolación profunda. Sin embargo, dentro de este grupo, en el 83,3% se aplicó más agua que la necesaria ( $\Delta_{Lám}$  anual positiva) y en el 16,7%, se aplicó menos. Además, en el 100% de estos equipos se produjo déficit hídrico en algún momento del año. En este grupo, sólo el 8,3% de los equipos destinaba sus uvas a consumo en fresco, el resto (91,7%) eran para pasa o mostos y vinos comunes. Nótese que los porcentajes de valores negativos de  $\Delta_{Lámanual}$  y Perc<sub>acum</sub> anual son muy similares (26% y 28%, respectivamente), lo que da un indicio de la elevada correlación entre estas variables.

Por otro lado, el 37% de los equipos (el más numeroso) tuvo percolación profunda moderada. Esto, en parte se explica, porque en el 68,8% de los equipos los goteros



erogaron más caudal que el valor de diseño ( $\Delta_{Ip}$  positivo). En este grupo, predominó la aplicación de una lámina anual superior a la necesaria (93,8%). A diferencia del primer grupo, la ocurrencia de déficit fue más repartida, porque el 56,2% tuvo déficit en algún momento del ciclo y el 43,8%, no lo tuvo. Además, la magnitud de los déficits encontrados en este grupo fue inferior al del primer grupo.

El tercer grupo en proporción tuvo el 19% de los equipos, incluye a aquellos con una percolación profunda mayor (entre 33% y 66%). La tendencia en las variables  $\Delta_{Lám\ anual}$  y Déficit acumulado anual se sostiene porque el 100% de los equipos aplicó en el año más agua que la necesaria y sólo en el 25% de los equipos se produjo déficit hídrico en algún momento del ciclo.

Por último, el 16% corresponde a equipos donde percolaron volúmenes excesivos de agua. Al igual que el grupo anterior, en el 100%  $\Delta_{Lám\ anual}$  fue positiva y de mayor magnitud. En relación al déficit, el comportamiento fue similar al intervalo anterior porque el 28,6% tuvo déficit debido a la presencia de viñedos sobre suelos arenosos. Por otro lado, el 42,9% fue destinado a pasa y el 57,1%, a consumo en fresco. Los tres valores extremadamente elevados correspondieron a viñedos con destino a consumo en fresco. Esto coincide con lo referido anteriormente en relación al volumen de agua aplicado y el destino del fruto.

Como ocurrió con los equipos donde no hubo percolación profunda, se repite una fuerte asociación entre las variables  $\Delta_{Lám\ anual}$  y  $Perc_{acum\ anual}$  porque en el 72% de los equipos  $\Delta_{Lám\ anual}$  fue positiva y en el 74%, hubo percolación profunda. Asimismo, en el 23% hubo elevados valores de  $\Delta_{Lám\ anual}$ , mientras que en el 16%, los valores de  $Perc_{acum\ anual}$  fueron muy altos.

Estos resultados permiten ver que se aplicaron grandes volúmenes de agua sin considerar la capacidad de almacenaje del suelo, que ocasionaron pérdidas notorias del recurso hídrico, además de gasto excesivo de energía eléctrica y lavado de nutrientes del perfil de suelo (Pizarro, 1996). Asimismo, láminas excesivas de riego, en especial en suelos arenosos, no evitan la ocurrencia déficit hídrico, ya que su capacidad de almacenamiento

es muy acotada. Esto coincide con lo expresado por Pugliese *et al.* (2014), que sostienen que es fundamental conocer el suelo para determinar la cantidad de agua a aplicar ya que el mismo es un depósito de agua de capacidad limitada.

### 3.1.3.2.3. Déficit hídrico acumulado anual (Déf<sub>acum anual</sub>)

El promedio general de esta variable fue -29,36%, este valor corresponde a la deficiencia hídrica media anual encontrada en los equipos evaluados, respecto a la lámina requerida por el cultivo. La dispersión de los datos encontrados fue muy similar a los de la variable Perc<sub>acum anual</sub>, siendo la desviación estándar 42,26% y el coeficiente de variación de -143,92%. El error de muestreo también fue muy parecido (13,62%).

La Tabla 21 muestra la distribución de frecuencias de los valores de Déficit hídrico acumulado anual.

**Tabla 21. Distribución de frecuencias de Déf<sub>acum anual</sub> (%)**  
**Table 21. Def<sub>acum anual</sub> frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
0,00 - 0,00	16	0,37	0,37
0,00 - 23,00	12	0,28	0,65
23,00 - 46,00	4	0,09	0,74
46,00 - 69,00	2	0,05	0,79
69,00 - 92,00	3	0,07	0,86
92,00 - 115,00	3	0,07	0,93
115,00 - 138,00	3	0,07	1,00
Total	43	1,00	

El 37% de los equipos no tuvo déficit. Esto se puede explicar porque en el 100% de estos equipos se aplicó al año una lámina excesiva de riego (más que la necesaria) y se produjeron pérdidas por percolación profunda. El destino de la producción en estos equipos fue bastante parejo porque el 37,5% fue a mosto y vinos comunes, el 31,25% a pasa y el 31,25% a consumo en fresco.

El 28% de los equipos tuvo un déficit hídrico reducido. En este grupo, en el 100% de los equipos se aplicó una lámina anual de riego excesiva y en el 91,7% se produjeron pérdidas por percolación profunda. En este grupo, se dio la situación que en algún momento del año hubo pérdidas por percolación profunda y en otro momento, hubo déficit hídrico. En relación al destino, predominó el destino para pasa, con el 58,3% de los equipos, seguido por uva para consumo en fresco, con el 25%.

En tercer lugar (9%), se ubican aquellos equipos cuyo déficit fue algo mayor (23% a 46%). Este grupo se comportó de forma similar al anterior porque en el 100% de los equipos se aplicó una lámina excesiva y en el 75% de los equipos se produjo percolación profunda.

Por último, el 26% de los equipos tuvo un déficit muy elevado. Este conjunto se caracterizó por la aplicación de láminas anuales de riego insuficientes en el 100% de los casos, sólo en el 9,1% se produjo percolación profunda y el destino predominante fue pasa, con el 72,7%, seguido por mosto y vinos comunes (27,3%). Se puede apreciar que, en este grupo, no hubo equipos cuya uva se destinara a consumo en fresco, lo cual es coherente con las descripciones de las variables  $\Delta_{Lám\ anual}$  y  $Perc_{acum\ anual}$ . Las causas del déficit elevado en este grupo son: insuficiente disponibilidad de recurso hídrico y baja intensidad pluviométrica, ocasionada por baja presión de trabajo y por obturación de emisores. Además del desconocimiento de las necesidades hídricas del cultivo, la falta de mantenimiento de los equipos influyó sobre el déficit hídrico.

Novello *et al.* (2012) determinaron en San Juan que, durante los meses de octubre a febrero, el cultivo de Vid bajo riego superficial está expuesto a situaciones de déficit hídrico, ya que la demanda hídrica bruta supera a la oferta. Sin embargo, a pesar de que los viñedos evaluados en este trabajo se riegan por goteo, el balance hídrico ha permitido observar que se producen déficit hídrico, en especial en los meses de diciembre, enero y febrero. Independientemente del método, la mala programación de riego puede ocasionar déficit hídrico, que repercute en el rendimiento del cultivo.

A modo de resumen, en el 72,1% de los equipos se produjo percolación profunda y en el 62,8% hubo déficit hídrico, esto indica que hubo equipos en que se produjeron ambas situaciones (37,2%). En todos los equipos, hubo diferencias entre las láminas anuales aplicada y óptima de riego ( $\Delta_{Lám\ anual}$  distinta de cero).

Un dato a destacar fue que sólo en el 4% de los casos se efectuaban lecturas diarias de tanque de evaporación tipo “A”, para determinar *in situ* la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) y en el 2% de los casos, se utilizaban sensores de humedad de suelo para controlar el riego. Asimismo, sólo en el 28% de los equipos se abrían calicatas periódicamente para medir humedad al tacto, dimensiones del bulbo húmedo (ancho, profundidad y grado de solape), y características de las raíces, como estado, longitud y dirección de crecimiento. Schilardi (2015) y Sellés y Ferreyra (2005) recomiendan el empleo de sensores de humedad de suelo y de estado hídrico del cultivo para corroborar que la programación efectuada se ajusta a las necesidades hídricas del viñedo. Fontela *et al.* (2009) encontraron, al igual que en este trabajo, que el momento de riego se definía visualmente, sin ser acompañado por un método de calendarización científica del riego. Otro dato de interés es que, sólo el 40% de los equipos, tenía contador volumétrico o caudalímetro y sólo el 8% registraba las lecturas para controlar el riego. Es decir, el 32% de los equipos tenía caudalímetro y no lo utilizaba. Este dispositivo es fundamental, no sólo para controlar el volumen aplicado, sino para verificar el funcionamiento de bomba, filtros, válvulas de paso, tuberías y emisores (Ferreyra *et al.*, 2005). Lo comentado aquí coincide con lo encontrado por Bohórquez y Ruiz (2011), que manifiestan que el control de riego se realiza por tiempos y no por volumen. Resultados similares obtuvieron Fontela *et al.* (2009), ya que no se registraban los caudales erogados, esto impedía conocer el volumen de agua que se entrega al cultivo con cada riego.

Una ventaja que ofrece el riego por goteo es la automatización que reduce la mano de obra (Novello *et al.*, 2014) y permite respetar estrictamente los programas de riego definidos (programador), ejerciendo un mejor control de la frecuencia y la lámina a aplicar (Pizarro, 1996). Sin embargo, sólo el 46% de los equipos contaba con un programador y sólo el 8% de los equipos lo utilizaba. El resto de los equipos con programador (38%) no lo usaban

porque se habían producido fallas en los mandos hidráulicos o se había inutilizado el programador por falta de protecciones eléctricas. Ambas causas son factibles de solucionar con bajo costo. Algunos productores encuestados se excusaron en usar programador de riego porque su equipo estaba conectado directamente a la perforación y al iniciar el riego, durante un periodo de tiempo (20 a 30 min), no se derivaba el agua al equipo porque salía con elevada concentración de arena. Sin embargo, si se conoce con precisión este tiempo, se podría programar adecuadamente.

Otro aspecto relacionado con la programación de riego fue el horario de riego. Sólo el 24% de los equipos no regaba durante la banda horaria “punta”, que corresponde al horario de energía eléctrica más cara (desde las 18:00 hasta las 23:00 horas). Los equipos que lo consideraban eran establecimientos grandes, con elevadas potencias instaladas. Esto se relaciona con lo encontrado por Miranda (2002) en San Juan, quien menciona que los productores con riego por goteo no advertían la importancia del horario de uso de energía eléctrica para regar, concluyendo que ocurría por una inadecuada automatización de la programación de riego y del retrolavado de filtros. Estas razones se aplican a este trabajo porque en muchos equipos no se regaba en horas “valle”, porque los equipos no estaban automatizados y la apertura y cierre de válvulas y el retrolavado de filtros se efectuaban manualmente.

En los viñedos “nuevos en formación” (NEF), hubo una tendencia a aplicar más lámina de la necesaria y, por ende, a que ocurriera percolación profunda. Esto se explica porque el productor desconocía las necesidades hídricas del cultivo joven y regaba de forma similar al resto de los viñedos, generando gasto de agua, energía y lavado de nutrientes del suelo. En cambio, en los viñedos “nuevos primera producción” (NPP) los resultados fueron variables ya que hubo viñedos regados en exceso y otros que sufrieron déficit hídrico. Por último, en los viñedos “adultos en producción” (AEP) se dieron distintas situaciones, pero predominaron (48,4% de este grupo) los viñedos con láminas de riego excesivas, que derivaron en pérdidas por percolación profunda y bajos o nulos déficits hídricos.

### 3.1.3.3. Indicadores de mantenimiento del equipo de riego

#### 3.1.3.3.1. Variación de pérdida de carga de filtro real respecto a pérdida de carga de filtro limpio ( $\Delta P_{\text{filtro}}$ )

En el 22% de los equipos no se pudo calcular esta variable por falta de datos, ya sea por falla de funcionamiento del manómetro o ausencia de alguna de las mediciones. El valor promedio fue 460,29%, muy por encima del valor considerado aceptable, que es 100% (Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). Además, la variación de los datos fue muy elevada, siendo la desviación estándar igual a 913,33 y el coeficiente de variación de 198,47%. Por su parte, el error de muestreo fue 290,46%. Estos valores indican que se encontraron equipos con desempeño de filtros muy variable, siendo el rango encontrado el más alto alcanzado entre las variables en estudio. La distribución de frecuencias se muestra en la Tabla 22.

**Tabla 22. Distribución de frecuencias de  $\Delta P_{\text{filtro}}$  (%)**  
**Table 22.  $\Delta P_{\text{filtro}}$  frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa	Retrolavado
0 - 100	15	0,385	0,385	11
100 - 733,3	16	0,410	0,795	11
733,3 - 1466,7	5	0,128	0,923	4
1466,7 - 2200,0	1	0,026	0,949	0
2200,0 - 2933,3	0	0,000	0,949	0
2933,3 - 3666,7	1	0,026	0,974	1
3666,7 - 4400,0	1	0,026	1,000	1
	39	0,385	0,385	

En esta variable, se agregó un intervalo de clase. La razón fue que, generalmente, cuando la pérdida de carga es el doble de la que se produce con el filtro limpio, es el límite de tolerancia para limpiar el filtro (Martínez, 2001; Pizarro, 1996 y Schilardi, 2015). Es decir, hasta ese valor se considera aceptable la pérdida de carga.

Sólo en el 38,5% de los equipos se encontró una variación de presión entre filtros aceptable. Estos equipos se caracterizaron por regar superficies pequeñas a medianas,

siendo el valor promedio de 17,4 ha. Otra característica común fue que los equipos estaban recientemente instalados con una edad promedio de filtros de 4 años. Además, en el 73,3% de los equipos se encontró un sistema de retrolavado para facilitar la limpieza de filtros y el 60% tomaba el agua de un reservorio. Se relacionó el desempeño de los filtros con la presencia de reservorio porque en éste se depositan contaminantes orgánicos e inorgánicos que pueden obturar filtros y emisores.

El grupo más numeroso (41%) tuvo una edad promedio de 7,75 años y la superficie media fue 27,1 ha. Nótese que ambas variables se elevaron respecto a las del grupo anterior. En este grupo, el 68,75% de los equipos tenía reservorio y contaba con un sistema de retrolavado. La causa de la amplia diferencia de presiones encontrada fue la falta de ajuste en la limpieza de los filtros, tanto en el tiempo como la frecuencia de limpieza, que se ve agravado con el aumento del tiempo de servicio. Si se corrigiera este error, se podría restablecer a valores aceptables. También, se relacionó la limpieza de filtros con la superficie regada porque se observó que, a mayor superficie regada, menor control y mantenimiento de las instalaciones.

El 12,8% de los equipos tuvo valores muy elevados de pérdidas de presión. Este conjunto de equipos tuvo un tiempo promedio de servicio de 13,4 años y una superficie media de 28,9 ha. Además, el 80% de los equipos tenía reservorio y retrolavado. Se advierte que se mantiene la tendencia, mientras mayor es  $\Delta P_{\text{filtro}}$  (peor desempeño de los filtros), mayor es la edad del cabezal y la superficie regada. Además de un mal ajuste de limpieza de filtros, se observó equipos de filtrado de más de 15 años de funcionamiento (el 60%), cuyo material filtrante había cumplido su vida útil.

Por último, el 7,7% de los equipos tuvo valores extremadamente elevados. Sin embargo, se trató de un grupo atípico porque se observaron filtros de buena apariencia externa y de mediana edad (6 años promedio), que no concuerdan con el desempeño de los mismos. Además, la superficie regada promedio (14,7 ha) fue inferior a grupos con mejor desempeño de filtros. Estos valores no siguen la tendencia de lo observado en los grupos anteriores. Una característica común de estos equipos fue que el 100% tomaba agua del

reservorio y el 66,7% tenía sistema de retrolavado. Se considera que la causa del inaceptable desempeño de los filtros fue la falta de control de limpieza de los mismos. Si se corrigiera este problema, se podrían alcanzar valores aceptables.

En resumen, se observó que los problemas de mantenimiento de filtros se deben principalmente a la falta de control de limpieza de los mismos, de hecho, sólo en el 10% de los equipos se registraba la presión antes y después de los filtros y se comparaba con un valor de referencia para verificar las condiciones de funcionamiento. Se considera una falla importante de mantenimiento la operación de retrolavado. Esto se basa en que el 70,8% de los equipos con inaceptable desempeño de los filtros tenía sistema de retrolavado, que indica que esta operación no se está realizando adecuadamente. Un dato relevante es que sólo en el 2,8% de los equipos con sistema de retrolavado funcionaba por diferencias de presión, es decir, a través de un presostato que accionaba la limpieza al alcanzar una diferencia de presión preestablecida. Esto es lo más recomendable porque la diferencia de presión se relaciona con el nivel de suciedad de los filtros, pero es más costoso, quizás sea la razón que no se utilice (Carrión, 2016, comunicación personal). En cambio, el 97,2% funcionaba por tiempos fijos y no se contemplaban las modificaciones que se producen en la carga de sedimentos del agua, que puede variar a lo largo de la temporada de riego. Además, se observa que los problemas en filtros se agravaron ante el incremento del tiempo del funcionamiento y de la superficie regada. También, las fallas de trabajo de los filtros fueron más frecuentes en equipos con reservorio, ya que del 61,5% de los equipos con valores inaceptables, el 75% tenía reservorio. Por último, el trabajo inadecuado de los filtros generó, además de obturación de emisores, una reducción de presión aguas abajo que ocasionó una baja erogación de caudal de los goteros.

Bohórquez y Ruiz (2011), Fontela *et al.* (2009) y Schilardi *et al.* (2012) detectaron fallas en filtros que redujeron la uniformidad del sistema.



### 3.1.3.3.2. Variación de presión real de emisores respecto a la presión de diseño ( $\Delta_{hn}$ )

En principio, una característica común a todos los equipos evaluados fue que en ninguno de ellos se efectuaba periódicamente (al menos una vez al año) regulación de presión en válvulas de paso al ingreso a cada subunidad. Además, sólo en el 26% de los equipos se contaba con el plano de diseño del equipo de riego, que indica los valores de las presiones de ingreso a cada subunidad, según diseño hidráulico. Ante esta situación, se optó por calcular  $\Delta_{hn}$ , como una medida de la magnitud de la variación de la presión real respecto a la de diseño. La falta del plano en la finca pone de manifiesto que no se advierte la importancia de contar con el mismo, a pesar de que brinda información fundamental para la operación y mantenimiento del equipo de riego.

El valor promedio de esta variable fue 13,76%, que indica que la presión real fue algo superior a la presión de diseño del emisor. Hubo una elevada dispersión de los datos porque la desviación estándar fue 55,09 y el coeficiente de variación, 400,33%. Esto demuestra que se encontraron situaciones muy diversas en relación a esta variable, es decir, desde equipos con presiones de emisores muy altas hasta equipos con presiones muy bajas. El error de muestreo fue 15,27%. La Tabla 23 muestra la distribución de frecuencias de los valores de  $\Delta_{hn}$ .

**Tabla 23. Distribución de frecuencias de  $\Delta_{hn}$  (%)**  
**Table 23.  $\Delta_{hn}$  frequency distribution (%)**

Intervalo de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
-65 - -38	6	0,12	0,12
-38 - -10	15	0,30	0,42
<b>-10 - 10</b>	<b>9</b>	<b>0,18</b>	<b>0,60</b>
10 - 37	7	0,14	0,74
37 - 64	5	0,10	0,84
64 - 108	4	0,08	0,92
108 - 150	2	0,04	0,96
150 - 194	2	0,04	1,00
Total	50	1,00	

Para confeccionar los intervalos de clase, se efectuó modificaciones en la cantidad de los mismos porque era de interés identificar aquellos equipos que tuvieran un valor de  $\Delta_{hn}$  cercano a cero. Se consideró un rango aceptable de esta variable en  $\pm 10\%$  respecto a cero, que es un valor inferior al rango de tolerancia que considera Fernández Gómez *et al.* (2010), que es  $\pm 15\%$ . Asimismo, debido a la mayor frecuencia de equipos inmediatamente por encima y por debajo de este rango de valores, se formaron intervalos de clase de menor amplitud que aquellos que se alejaban del rango aceptable. Los equipos de valor aceptable sólo conformaron el 18% de la muestra y se caracterizaron por tener pocos años de funcionamiento (4 años) y contar con goteros no autocompensantes. Como era de esperarse,  $\Delta_{Ip}$  fue muy baja, en promedio,  $-1,1\%$ .

Los equipos con valores más bajos constituyeron el 12%, donde la principal causa (66,7%) fue la elevada pérdida de presión en los filtros; mientras que la segunda causa fue una baja presión generada en el cabezal. Esto influyó sobre  $\Delta_{Ip}$ , que fue, en promedio, igual a  $-36,23\%$ . En este grupo, predominaron los equipos con goteros no autocompensantes (83,3%), con una edad promedio de 10,3 años. Asimismo, el 30% de los equipos tuvo un valor inferior a  $-10\%$  pero no tan bajo como el anterior, que se pone de manifiesto en el valor promedio de  $\Delta_{Ip}$  ( $-15,3\%$ ). La causa principal de la baja presión de gotero fue que la presión generada en el cabezal era baja (80% de los casos). Este grupo se caracterizó por tener poco tiempo de funcionamiento (promedio 4,5 años) y por utilizar, en el 100% de los equipos, goteros no autocompensantes.

En el 14% de los equipos, la presión de trabajo fue moderadamente superior al rango aceptable. En este grupo, los equipos estaban recientemente instalados (edad promedio 4,14 años) y en el 100% de los equipos los goteros eran no autocompensantes. En relación a  $\Delta_{Ip}$ , el valor promedio fue  $7,34\%$ , que es un valor aceptable, según Schilardi (2015). Esto indica que el caudal de goteros aumentó proporcionalmente menos ante el aumento de presión de los mismos. El valor de presión superior al de diseño se atribuye a una falta de regulación de presión de válvulas de paso.

Por último, el valor de  $\Delta_{hn}$  fue extremadamente elevado en el 16% de los equipos. Como consecuencia, los valores de  $\Delta_{Ip}$  fueron muy elevados e inaceptables y se destaca que los equipos tenían mayor tiempo de funcionamiento (15 años). Los equipos más antiguos de la muestra se caracterizaron por funcionar a presiones más elevadas que los equipos de reciente instalación. Además, hubo predominancia de utilización de goteros autocompensantes (en el 87,5% de los casos). Estos goteros anulan el exceso de presión porque erogan el mismo caudal en un amplio rango de valores. No obstante, en el 25% de los equipos de este grupo tenían goteros autocompensantes, pero el caudal era inferior al de diseño debido a que se encontraban parcial o totalmente obturados.

Cualquier situación que modifique la presión de ingreso a la subunidad, como reemplazo de bomba y/o filtros, modificación del nivel dinámico del agua subterránea, variación en la superficie regada por operación o simples actos de vandalismo, debe ser advertida y efectuar la regulación de presión correspondiente. Sin embargo, en el 100% de los equipos evaluados no se regulaba las válvulas periódicamente. Schilardi *et al.* (2012) encontraron que sólo en el 16% de los equipos evaluados se efectuaba periódicamente la regulación de válvulas. Por su parte, Bohórquez y Ruiz (2011), Camp *et al.* (1997) y Styles *et al.* (2008) detectaron que la principal causa de desuniformidad en los equipos evaluados fue la falta de regulación de válvulas.

Se observa una paridad entre los valores encontrados por encima (40%) y por debajo (42%) del rango aceptable, lo que pone de manifiesto que las causas de variación de presión de goteros tienen importancias parecidas.

Es evidente la influencia de  $\Delta_{hn}$  sobre  $\Delta_{Ip}$ , en especial sobre los goteros no autocompensantes. Esto puede generar que se aplique un volumen de riego superior o inferior al planificado. El exceso de presión se debió principalmente a la falta de regulación de presión de las válvulas de paso, que se vio acentuado en equipos con potencia de bombeo sobredimensionada (excesiva presión de trabajo). Cabe destacar que en el 100% de los equipos con goteros autocompensantes, la presión de goteros era excesiva, ya que estaba fuertemente asociado a equipos antiguos. En el lado opuesto, la

baja presión de goteros detectada se debió principalmente a fallas en los filtros y en menor proporción, a una baja presión generada en el cabezal de bombeo. Esto obliga a revisar el dimensionamiento de la bomba y los componentes del cabezal, como así también corroborar si se riega conforme a diseño en lo que se refiere a subunidades que funcionan simultáneamente.

### **3.1.3.3.3. Variación de intensidad pluviométrica real respecto a intensidad pluviométrica de diseño ( $\Delta_{Ip}$ )**

El valor promedio de esta variable fue -6,40%, que indica que la intensidad pluviométrica media estuvo por debajo del valor de diseño. Por su parte, la dispersión de los datos fue elevado, siendo la desviación estándar de 20,83 y el coeficiente de variación de -325,64%. Nótese que estos valores de dispersión son inferiores a los de  $\Delta_{hn}$ , lo cual es esperable porque el caudal del gotero no varía linealmente con la presión. Esto se ve reflejado en el error de muestreo que fue más pequeño (5,77%). La distribución de los valores de  $\Delta_{Ip}$  se puede observar en la Tabla 24.

**Tabla 24. Distribución de frecuencias de  $\Delta_{Ip}$  (%)**  
**Table 24.  $\Delta_{Ip}$  frequency distribution (%)**

<b>Intervalo de clase</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Frecuencia relativa acumulada</b>
-56 - -40	3	0,06	0,06
-40 - -24	9	0,18	0,24
-24 - -10	5	0,10	0,34
<b>-10 - 10</b>	<b>25</b>	<b>0,50</b>	<b>0,84</b>
10 - 23	4	0,08	0,92
23 - 39	4	0,08	1,00
Total	50	1,00	

El 50% de los equipos tuvo un valor adecuado de  $\Delta_{Ip}$ , ya que se consideró aceptable el rango de  $\pm 10\%$ , según lo sugerido por Schilardi (2015). Si se compara la frecuencia de este rango aceptable con el de la Tabla 23, se ve que hay más equipos que califican como “aceptable” (50% y 18% respectivamente). Esto indica que, a pesar que el caudal es una variable que depende de otros factores además de la presión ( $CV_m$ , obturaciones), fue más

uniforme que ésta. Otro dato interesante fue que, en este grupo, el 24% de los equipos tenían goteros autocompensantes y trabajaban a presiones de emisores muy elevadas ( $\Delta_{hn}$  promedio igual a 95,8%), sin embargo, el caudal erogado fue aceptable. Bohórquez y Ruiz (2011) encontraron que el 35% de los equipos tuvo una variación de  $\Delta_{Ip}$  de  $\pm 10\%$ , mientras que, en el presente trabajo, fue 50%.

El peor desempeño por debajo del rango aceptable estuvo conformado por el 6% de los equipos. El 66,7% de estos equipos tenía un sistema de filtrado muy deficiente que ocasionaba grandes pérdidas de presión y generaba que los goteros estuvieran parcialmente obturados ( $CV_e$  promedio = 0,15). En cambio, el 33,3% tenía un sistema de filtrado adecuado, pero, a la salida del cabezal, la presión era muy baja, probablemente porque la potencia de la bomba era insuficiente.

Con un desempeño mejor que el grupo anterior pero inferior al rango aceptable, se ubicó el 28% de los equipos, cuya principal causa fue la baja presión a la salida del cabezal y luego, las elevadas pérdidas de carga en filtros. En este grupo, el  $CV_e$  promedio fue 0,11 y 0,07 (corresponde a -40% - -24% y -24% - -10%, respectivamente). Esto indica que la uniformidad de emisores es aceptable y confirma que hubo otras causas con más peso sobre  $\Delta_{Ip}$ .

El 16% de los equipos tuvo un valor superior al rango aceptable. El 50% de este grupo tuvo valores comprendidos entre 10% y 23% y el otro 50%, entre 23 y 39%. El elevado valor de  $\Delta_{Ip}$  se debió a un alto valor de  $\Delta_{hn}$ , que fue el 37,9% en el primer grupo y el 67,8%, en el segundo. Asimismo, en el 100% de los equipos, los filtros funcionaban adecuadamente y la falta de regulación de presión de válvulas fue la que originó elevadas presiones que derivaron en altos caudales de goteros.

En resumen, los equipos con bajos valores de  $\Delta_{Ip}$  se debieron fundamentalmente a la baja presión generada por la bomba y, en segundo lugar, a la pérdida de presión producida en los filtros. Por otro lado, valores altos de  $\Delta_{Ip}$  se correspondieron a altos valores de  $\Delta_{hn}$ , producto de la falta de regulación de presión de las válvulas de paso. Además, las elevadas

presiones de goteros en equipos antiguos fueron subsanadas por la presencia de goteros autocompensantes. Por último, la presencia de valores de  $\Delta I_p$  por encima o por debajo del rango aceptable, contribuye a la aplicación de una lámina de riego distinta a la requerida por el cultivo, que se termina de verificar su influencia al efectuar el balance hídrico del suelo, tal cual se efectuó en este trabajo.

#### **3.1.3.3.4. Mantenimiento del reservorio**

Se consultó acerca del mantenimiento del reservorio. El 54,5% de los equipos con reservorio aplicaba, al menos, una vez al año, sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), para el control de algas; mientras que el 45,5%, no lo hacía. Asimismo, sólo el 27,3% vacía el reservorio y remueve los sedimentos acumulados en el fondo, de manera periódica (cada 2-3 años). Esta acción es necesaria para evitar que la bomba succione sedimentos que pueden tapar filtros y emisores. No obstante, es una operación de costo elevado, que puede ser la razón de la baja proporción de equipos que la ejecuta. Fernández Gómez *et al.* (2010) recomiendan efectuar esta operación cada tres años bajo situaciones normales, por lo que en equipos recientemente instalados no se justificaba realizar esta acción todavía (tenían menos de tres años). Schilardi (2015) menciona que es muy conveniente instalar un decantador previo al ingreso al reservorio para retener sedimentos. Este dispositivo es de dimensiones reducidas y se recomienda limpiar al menos una vez por año. Fontela *et al.* (2009) resaltan que no se efectuaba una limpieza rutinaria de los reservorios de los equipos evaluados, que favorecía la proliferación de algas.

#### **3.1.3.3.5. Limpieza química de los laterales portaemisores**

La falta de mantenimiento de tuberías terciarias y de laterales portagoteros atenta contra la uniformidad de caudales porque los goteros se obturan, en especial en los tramos finales de línea (Bohórquez y Ruiz, 2011 y Martínez, 2001). En estos sectores, se acumulan sedimentos de distinto origen, que reducen drásticamente el caudal erogado por los emisores, disminuyendo el  $\text{CU}_c$ .

En el presente trabajo, se encontró que, al menos una vez por año, en el 60% de los equipos se aplicaba soluciones ácidas con el equipo de fertirriego, mientras que en el 38% se aplicaban soluciones clorinadas. Asimismo, sólo el 30% de los equipos inyectaban ambos tipos de sustancias.

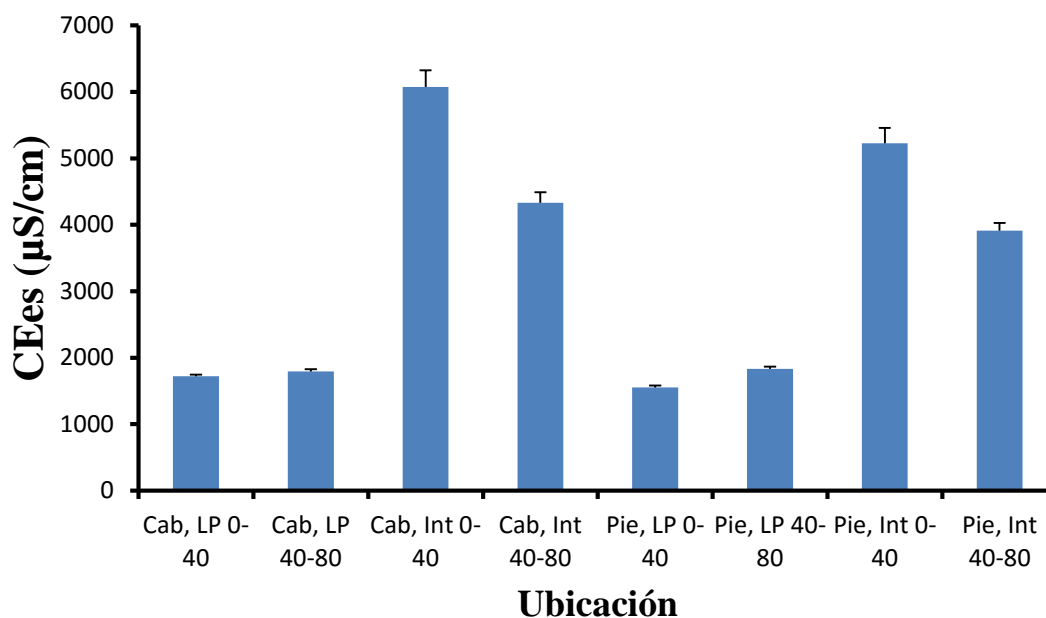
El 30% de los equipos no aplicaba ningún tipo de sustancia limpiadora. El 66,7% de este grupo eran equipos con toma directa a una perforación y los productores manifestaron no tener problemas de contaminantes orgánicos y pocos problemas con partículas inorgánicas, por lo que consideraban innecesario aplicar sustancias limpiadoras. La escasa acumulación de suciedad dentro de las tuberías la subsanaban abriendo los extremos de las mismas hasta que el agua saliera clara.

#### **3.1.3.3.6. Limpieza física de los laterales portaemisores**

En el 100% de los equipos no se efectuaba el “Flushing” tal como recomienda Schilardi (2015), porque se lavaban las tuberías a la presión habitual, cuando se debe hacer a una mayor presión. La noción de limpiar las tuberías portaemisores estaba instalada porque el 94% de los equipos, al menos una vez al año, abrían extremos de laterales para dejar correr el agua hasta que saliera clara pero, sólo el 50% abrían las “purgas” (extremo de la tubería terciaria que tiene una tapa rosca o válvula esférica para limpiar) para eliminar los contaminantes acumulados en la tuberías de PVC enterradas (matriz y submatriz). Cuando esta operación no se realiza, la limpieza es insuficiente porque los contaminantes alojados en estas tuberías pueden migrar hacia los laterales y obturar nuevamente los emisores (Fernández Gómez *et al.*, 2010; Martínez, 2001 y Schilardi, 2015). Además, para hacerlo en menos tiempo, se abrían muchos laterales simultáneamente, ello reduce la presión y la velocidad del agua, generando menor capacidad de remoción. Martínez (2001) recomienda una velocidad mínima de  $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  para que se produzca un buen arrastre de partículas. Por otro lado, el 6% de los equipos no limpiaba tuberías porque desconocía que debía hacerlo y, además, porque todavía no habían tenido obturación de emisores ya que eran equipos recientemente instalados (1,7 años de funcionamiento en promedio).

### 3.1.4. Salinidad y pH del suelo

La Figura 15 muestra la salinidad de suelos medida en conductividad eléctrica del extracto de saturación ( $CE_{es}$ ). Las columnas corresponden a los valores promedio según distintas ubicaciones en el cultivo y profundidades de suelo.



**Figura 15. Conductividad eléctrica promedio en el extracto de saturación y error estándar, según ubicación en el cultivo y profundidad de suelo. Cab.: cabecera; LP: bajo línea de plantación; Int: medio interfililar; 0-40: profundidad de 0 a 40cm; 40-80: profundidad de 40 a 80cm**

**Figure 15. Average electrical conductivity in saturation extract and standard error according to crop location and soil depth. Cab: headboard; LP: under the crop line; Int: interfililar middle; 0 - 40: depth from 0 to 40 cm; 40 - 80: depth from 40 to 80 cm**

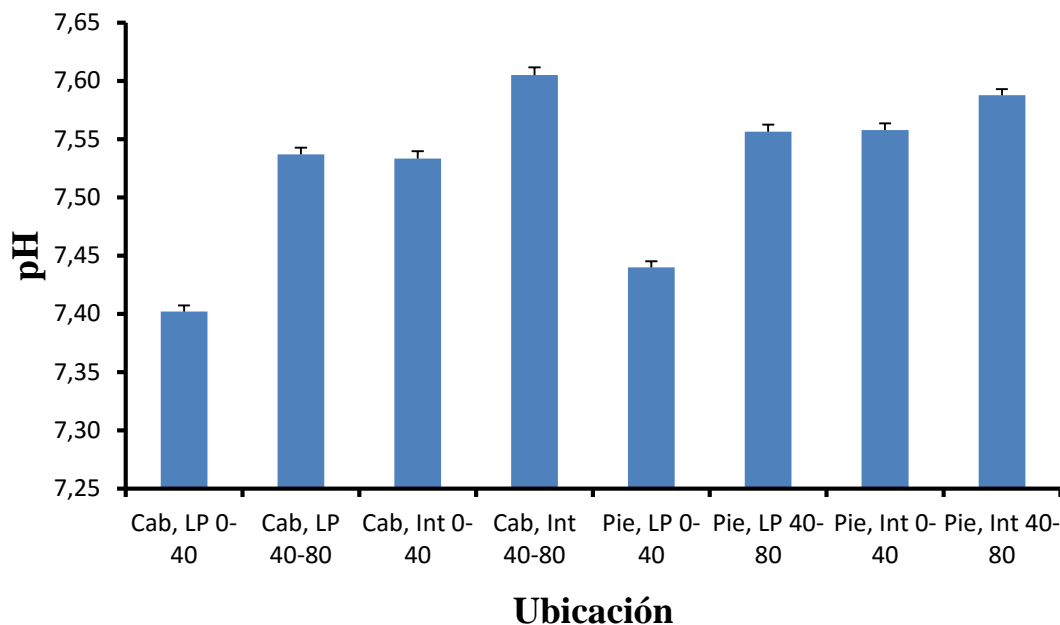
Se observaron valores inferiores a  $2000 \mu S \cdot cm^{-1}$  bajo la línea de goteros, tanto en cabecera como en el pie, así como a las dos profundidades muestreadas. Según la clasificación del *U.S. Salinity Laboratory*, mencionada por Pizarro (1996), estos valores corresponden a un suelo normal, no salino. Los valores encontrados son inferiores al valor máximo tolerado por Vid ( $3,5 dS \cdot m^{-1}$ ) para las condiciones agua y suelos yesosos de la Región de Cuyo (Vallone y Nijensohn, 2002).



Por el contrario, en el medio del interfilar, los valores de  $CE_{es}$  son mayores a los encontrados bajo la línea de goteros y se clasifica el suelo como medianamente salino. Lo observado es esperable, porque el agua desplaza las sales hacia la periferia del bulbo húmedo (Pizarro, 1996). Resultados similares encontraron Fontela *et al.* (2009) y Castro (1997). A diferencia de la anterior ubicación, se registraron menores valores de  $CE_{es}$  en la profundidad 40 a 80 cm respecto a la profundidad 0 a 40cm. Resultados similares obtuvieron Hanson y Bendixen (1995), que aplicaron tres fracciones de lavado distintas con riego por goteo y encontraron pequeñas diferencias de salinidad entre capas de suelo ubicadas a distinta profundidad pero si hallaron grandes diferencias cuando observaron el suelo lateralmente, obteniendo valores no salinos cercano a la línea de emisores y valores muy salinos en la zona media entre dos laterales de riego.

Si bien la salinidad encontrada en el interfilar supera a la tolerada por el cultivo Vid, no se considera un riesgo, porque no es muy elevada y, además, porque en este método de riego, las raíces se concentran en el bulbo húmedo (debajo de la línea de goteros) y en ese lugar, la salinidad encontrada fue baja y apta para el cultivo. Si el riego es bien ejecutado, se mantiene un volumen de suelo no salino suficiente para el crecimiento de raíces (Pizarro, 1996). No obstante, la ocurrencia de lluvias de mediana intensidad puede arrastrar sales del interfilar y de la periferia del bulbo húmedo hacia el mismo, ocasionando intoxicaciones en el cultivo. Para evitar esa situación, Schilardi (2015) y Prieto (2008) recomiendan regar durante la lluvia.

La Figura 16 muestra los valores medios de pH en pasta saturada de suelo, para las distintas ubicaciones y profundidades.



**Figura 16. Valores promedio de pH y error estándar, según ubicación en el cultivo y profundidad de suelo**

**Figure 16. Average pH values and standard error according to crop location and soil depth**

El pH de suelo se comportó de forma muy similar en los distintos sitios de muestreo. En todos los casos, fue ligeramente alcalino (entre 7,4 y 7,6). Según Pizarro (1996), los valores encontrados son no sódicos porque el pH fue inferior a 8 (en suelos sódicos el valor de pH oscila entre 8 y 9,5) y no generarían una reducción del crecimiento y desarrollo del cultivo en estudio.

### **3.2. Análisis estadístico**

Para tener un mayor entendimiento del desempeño de la tecnología de riego, se recurrió al análisis multivariado. Este provee herramientas para comprender la relación entre variables medidas simultáneamente sobre una misma unidad, para comparar, agrupar y/o clasificar observaciones multivariadas e incluso para comparar, agrupar y clasificar variables en el espacio de las observaciones (Balzarini, 2003).

### 3.2.1. Agrupamiento y reducción de variables.

La Tabla 25 muestra el ordenamiento de las variables en función de la relación con los aspectos de la tecnología de riego que se estudió en el presente trabajo.

**Tabla 25. Variables originales consideradas en el presente trabajo**  
**Table 25. Original variables considered in this study**

Aspecto a estudiar	Variable
A	CU <sub>c</sub> (%)
A	CU <sub>h</sub> (%)
A	CU <sub>s</sub> (%)
A	Nº válvulas / operación
A y C	CV <sub>e</sub>
A y C	Edad cabezal (años)
A y C	Tipo de gotero
A y C	Edad gotero (años)
A y C	Superficie (ha)
B	Departamento
B	Tipo de viñedo
B	Variedad
B	Estructura de conducción
B	$\Delta_{Lám}$ anual (%)
B	Perc <sub>acum</sub> anual (%)
B	Déf <sub>acum</sub> anual (%)
B	¿Lee y registra las lecturas del caudalímetro?
B	Fuente de agua
B	CE <sub>a</sub> ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	pH agua
B	CE <sub>e</sub> Cab, LP 0-40 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Cab, LP 40-80 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Cab, Int 0-40 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Cab, Int 40-80 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Pie, LP 0-40 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Pie, LP 40-80 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Pie, Int 0-40 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	CE <sub>e</sub> Pie, Int 40-80 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )
B	pH Cab, LP 0-40
B	pH Cab, LP 40-80
B	pH Cab, Int 0-40
B	pH Cab, Int 40-80
B	pH Pie, LP 0-40
B	pH Pie, LP 40-80

B	pH Pie, Int 0-40
B	pH Pie, Int 40-80
B	Vs Cab, LP 0-40(mL%g)
B	Vs Cab, LP 40-80(mL%g)
B	Vs Cab, Int 0-40(mL%g)
B	Vs Cab, Int 40-80(mL%g)
B	Vs Pie, LP 0-40(mL%g)
B	Vs Pie, LP 40-80(mL%g)
B	Vs Pie, Int 0-40(mL%g)
B	Vs Pie, Int 40-80(mL%g)
C	$\Delta P_{\text{filtro}}$ (%)
C	$\Delta_{\text{hm}}$ (%)
C	$\Delta_{\text{Ip}}$ (%)
C	Cantidad de reservorios
C	Limpieza química de reservorio
C	Limpieza física del reservorio
C	Frecuencia de limpieza manual de filtros
C	¿Tiene retrolavado?
C	Tipo de filtro
C	Limpieza química de tuberías y emisores
C	Limpieza física de tuberías y emisores
C	¿Tiene registros de las limpiezas químicas y físicas?

---

A: uniformidad de distribución; B: programación de riego; C: mantenimiento del equipo

Luego, se analizaron estas variables y se eliminaron aquellas cuya contribución a explicar la variabilidad de los datos era baja o nula. A partir de las 56 variables originales, se dejaron 34 variables (Tabla 26).

**Tabla 26. Variables seleccionadas para el análisis multivariado**  
**Table 26. Selected variables for multivariate analysis**

Aspecto a estudiar	Variable
A	CU <sub>c</sub> (%)
A	CU <sub>h</sub> (%)
A	Cu <sub>s</sub> (%)
A	N° válvulas / operación
A y C	CV <sub>e</sub>
A y C	Edad cabezal (años)
A y C	Tipo de gotero
A y C	Edad gotero (años)
A y C	Superficie (ha)
B	Departamento
B	Tipo de viñedo
B	Variedad

B	Estructura de conducción
B	$\Delta_{Lám}$ anual (%)
B	Perc <sub>acum</sub> anual (%)
B	Déf <sub>acum</sub> anual (%)
B	¿Lee y registra las lecturas del caudalímetro?
B	Fuente de agua
B	CE <sub>a</sub> ( $\mu$ S.cm <sup>-1</sup> )
B	CE <sub>e</sub> Cab, LP 0-40( $\mu$ S.cm <sup>-1</sup> )
B	CE <sub>e</sub> Cab, LP 40-80( $\mu$ S.cm <sup>-1</sup> )
B	V <sub>s</sub> Cab, LP 0-40 (mL%g)
B	V <sub>s</sub> Cab, LP 40-80 (mL%g)
C	$\Delta P_{\text{filtro}}$ (%)
C	$\Delta_{hn}$ (%)
C	$\Delta_{ip}$ (%)
C	Cantidad de reservorios
C	Limpieza química de reservorio
C	Limpieza física del reservorio
C	Frecuencia de limpieza manual de filtros
C	¿Tiene retrolavado?
C	Limpieza química de tuberías y emisores
C	Limpieza física de tuberías y emisores
C	¿Tiene registros de las limpiezas químicas y físicas?

---

### 3.2.2. Análisis multivariado de componentes principales (ACP)

La Tabla 27 muestra las variables seleccionadas para el análisis de componentes principales (ACP), luego de un extenso análisis de las 34 variables que habían quedado seleccionadas.

**Tabla 27. Variables utilizadas en el análisis de componentes principales.**  
**Table 27. Used variables in principal components analysis**

Aspecto	Variable	Valores que adopta
A	CU <sub>c</sub> (%)	Cuantitativa continua
A	CU <sub>h</sub> (%)	Cuantitativa continua
A y C	CV <sub>e</sub>	Cuantitativa continua
A y C	Superficie (ha)	Cuantitativa continua
A y C	Edad gotero (años)	Cuantitativa continua
C	$\Delta_{hm}$ (%)	Cuantitativa continua
C	$\Delta_{lp}$ (%)	Cuantitativa continua
C	Cantidad de reservorios	Cuantitativa discreta
B	$\Delta_{Lám}$ anual (%)	Cuantitativa continua
B	Perc <sub>acum</sub> anual (%)	Cuantitativa continua
B	Déf <sub>acum</sub> anual (%)	Cuantitativa continua
B	Vs Cab, LP 0-40 (mL%g)	Cuantitativa continua

Nótese que todas las variables de la Tabla 27 son cuantitativas continuas y una discreta, lo que permitió trabajar con los datos originales, sin necesidad de transformaciones para efectuar el ACP.

La Tabla 28 presenta la matriz de correlaciones lineales entre las variables seleccionadas y el nivel de significancia de cada asociación, que fue realizada con el programa estadístico InfoStat/P, versión 2016 (Di Rienzo *et al.*, 2008b).

**Tabla 28. Matriz de correlaciones y niveles de significancia de las variables seleccionadas.**

**Table 28. Correlation matrix and significance levels of selected variables**

	Superficie	CU <sub>c</sub>	CU <sub>h</sub>	CV <sub>e</sub>	Δ <sub>hn</sub>	Δ <sub>Ip</sub>	Edad gotero	ΔLám <sub>anual</sub>	Perc acum anual	Déf acum anual	Tx suelo 0-40cm	Cant. res.
Superfici	1	0,04	0,38	0,02	< 0,01	0,47	< 0,01	0,08	0,47	0,59	0,50	0,07
CU <sub>c</sub>	<b>-0,33</b>	1	0,03	< 0,01	0,10	0,20	< 0,01	< 0,01	0,09	0,57	0,26	0,27
CU <sub>h</sub>	0,15	<b>0,36</b>	1	0,35	0,01	0,05	0,10	0,66	0,77	0,57	0,31	0,98
CV <sub>e</sub>	<b>0,37</b>	<b>-0,94</b>	-0,16	1	0,07	0,22	< 0,01	< 0,01	0,18	0,67	0,60	0,20
Δ <sub>hn</sub>	<b>0,46</b>	-0,27	0,43	0,30	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,10	0,90
Δ <sub>Ip</sub>	0,12	0,22	0,33	-0,20	<b>0,66</b>	1	0,12	0,04	0,01	< 0,01	0,07	0,03
Edad gotero	<b>0,46</b>	<b>-0,52</b>	0,28	<b>0,54</b>	<b>0,83</b>	0,26	1	0,01	0,11	0,19	0,19	0,51
ΔLám <sub>anual</sub>	0,29	-0,57	-0,07	0,52	<b>0,46</b>	<b>0,33</b>	0,41	1	< 0,01	< 0,01	0,03	0,24
Perc <sub>acum</sub>	0,12	-0,28	-0,05	0,23	<b>0,41</b>	<b>0,45</b>	0,27	<b>0,88</b>	1	< 0,01	< 0,01	0,33
Déf <sub>acum</sub>	-0,09	0,10	-0,10	-0,07	<b>-0,45</b>	<b>-0,61</b>	-0,22	<b>-0,59</b>	<b>-0,52</b>	1	0,27	0,59
Tx suelo	0,12	0,19	0,17	-0,09	-0,28	-0,30	-0,22	-0,35	<b>-0,51</b>	0,19	1	0,64
Cant. res.	<b>0,30</b>	-0,19	0,00	0,22	-0,02	<b>-0,36</b>	0,11	0,20	0,17	0,09	-0,08	1

La diagonal de la Tabla 28 corresponde al coeficiente de correlación entre la variable consigo misma; por eso, su valor es uno. Por debajo de la diagonal mencionada, se muestran los valores de coeficiente de correlación lineal de Pearson. Por encima, aparecen los valores de nivel de significancia de cada asociación.

Nótese que cada variable tiene correlación mayor o igual a 0,3 con al menos otra variable. Además, al igual que propone Andrieu (2016), se consideró una asociación significativa si  $p < 0,1$ . En negrita, se marcaron las correlaciones significativas que se consideraron de interés para el estudio. De hecho, aparecieron correlaciones significativas entre variables, mayores a 0,3, pero no fueron resaltadas porque su asociación fue casual y no sirvieron para explicar la variabilidad de los datos. Por otro lado, hubo correlaciones muy altas ( $r > 0,8$ ), en que se mantuvieron ambas variables por su asociación diferencial al resto de las variables seleccionadas (como fueron los casos de CU<sub>c</sub> con CV<sub>e</sub> y Δ<sub>hn</sub> con edad de gotero) o porque no explicaban lo mismo (como Perc<sub>acum</sub> anual con ΔLám<sub>anual</sub>).

Asimismo, se hicieron dos pruebas para verificar que las variables escogidas eran factibles de analizar mediante el ACP. La Tabla 29 muestra los resultados de la medida de adecuación muestral KMO (Káiser – Meyer – Olkin) y de la prueba de esfericidad de Bartlett.

**Tabla 29. Test KMO y prueba de esfericidad de Bartlett.**  
**Table 29.KMO test and Bartlett's sphericity test**

Medida de adecuación muestral de Kaiser – Meyer-Olkin.		0,59
	Chi-cuadrado aproximado	350,38
Prueba de esfericidad de Bartlett	Gl	66,00
	Sig.	<0,01

El test KMO arrojó un valor sólo aceptable respecto a la variación de los datos porque fue mayor a 0,5 (Bramardi, 2007). Asimismo, sobre la prueba de esfericidad de Bartlett, se puede observar que p fue menor a 0,01, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Por lo expuesto, los resultados de las tres pruebas (Matriz de correlaciones, Medida de adecuación muestral KMO y Prueba de esfericidad de Bartlett) reflejaron una estructura conjunta para los datos bajo estudio, que permitió factorizar las variables originales (Andrieu, 2016).

Además, se calculó la determinante de la matriz de correlaciones, cuyo valor fue  $1,3 * 10^{-5}$ . Este valor (muy cercano a cero) indica que las variables utilizadas se encuentran linealmente relacionadas y el ACP es una técnica apropiada para su análisis.

Luego, se procedió a efectuar el ACP. La Tabla 30 muestra que tres autovalores, de forma conjunta, explicaron 71% de la variabilidad total, cumpliéndose la recomendación efectuada por Bramardi (2007) que menciona que los factores seleccionados deben explicar al menos el 70% de la variabilidad total.



**Tabla 30. Autovalores del análisis multivariado de componentes principales**  
**Table 30. Autovalues of multivariate analysis of principal components**

Lambda	Valor	Proporción	Proporción acumulada
1	4,3	0,36	0,36
2	2,43	0,2	0,56
<b>3</b>	<b>1,74</b>	<b>0,15</b>	<b>0,71</b>
4	1,07	0,09	0,8
5	0,88	0,07	0,87
6	0,6	0,05	0,92
7	0,41	0,03	0,95
8	0,27	0,02	0,97
9	0,16	0,01	0,99
10	0,08	0,01	0,99
11	0,05	0	1,00
12	0,02	0	1,00

Asimismo, la Tabla 31 muestra los coeficientes con que cada variable original fue ponderada para conformar los componentes principales 1, 2 y 3 (CP1, CP2 y CP3), respectivamente.

**Tabla 31. Autovectores del análisis multivariado de componentes principales**  
**Table 31. Autovectors of multivariate analysis of principal components**

Variables	CP1	CP2	CP3
Superficie	0,24	-0,13	0,40
CU <sub>c</sub>	-0,31	0,45	0,05
<b>CU<sub>h</sub></b>	0,05	0,32	<b>0,49</b>
CV <sub>e</sub>	0,30	-0,43	0,08
$\Delta_{hh}$	0,38	0,21	0,30
$\Delta_{Ip}$	0,23	<b>0,51</b>	-0,02
Edad gotero	0,36	-0,04	0,34
$\Delta_{Lám\ anual}$	<b>0,41</b>	-0,04	-0,25
Perc <sub>acum anual</sub>	0,35	0,11	-0,36
Déf <sub>acum anual</sub>	-0,28	-0,29	0,18
Tx suelo 0 – 40cm	-0,21	-0,08	0,39
Cant. de reservorios	0,08	-0,29	0,06

Se muestran en negrita la variable cuya contribución fue máxima en cada CP. Sin embargo, nótese que diversas variables participaron en cada factor y algunas variables contribuyeron en más de un CP, lo que dificulta la interpretación.

Con el objeto de visualizar mejor la contribución de las variables en los factores y, por tanto, facilitar su interpretación, se aplicó el método de componentes rotados denominado Varimax, cuyos valores se presentan en la Tabla 32.

**Tabla 32. Matriz de componentes rotados**  
**Table 32. Rotated components matrix**

Variable	CP1	CP2	CP3
Superficie	-0,047	0,460	0,597
<b>CU<sub>c</sub></b>	-0,264	<b>-0,904</b>	-0,025
CU <sub>h</sub>	-0,165	-0,338	0,738
CV <sub>e</sub>	0,159	0,886	0,159
<b>Δ<sub>hn</sub></b>	0,430	0,130	<b>0,827</b>
Δ <sub>lp</sub>	0,617	-0,476	0,507
Edad gotero	0,236	0,459	0,717
Δ <sub>Lám anual</sub>	0,801	0,431	0,160
<b>Perc<sub>acum anual</sub></b>	<b>0,879</b>	0,157	0,065
Déf <sub>acum anual</sub>	-0,713	0,142	-0,276
Tx suelo 0-40cm	-0,665	-0,058	0,131
Cant. de reservorios	-0,074	0,484	-0,010

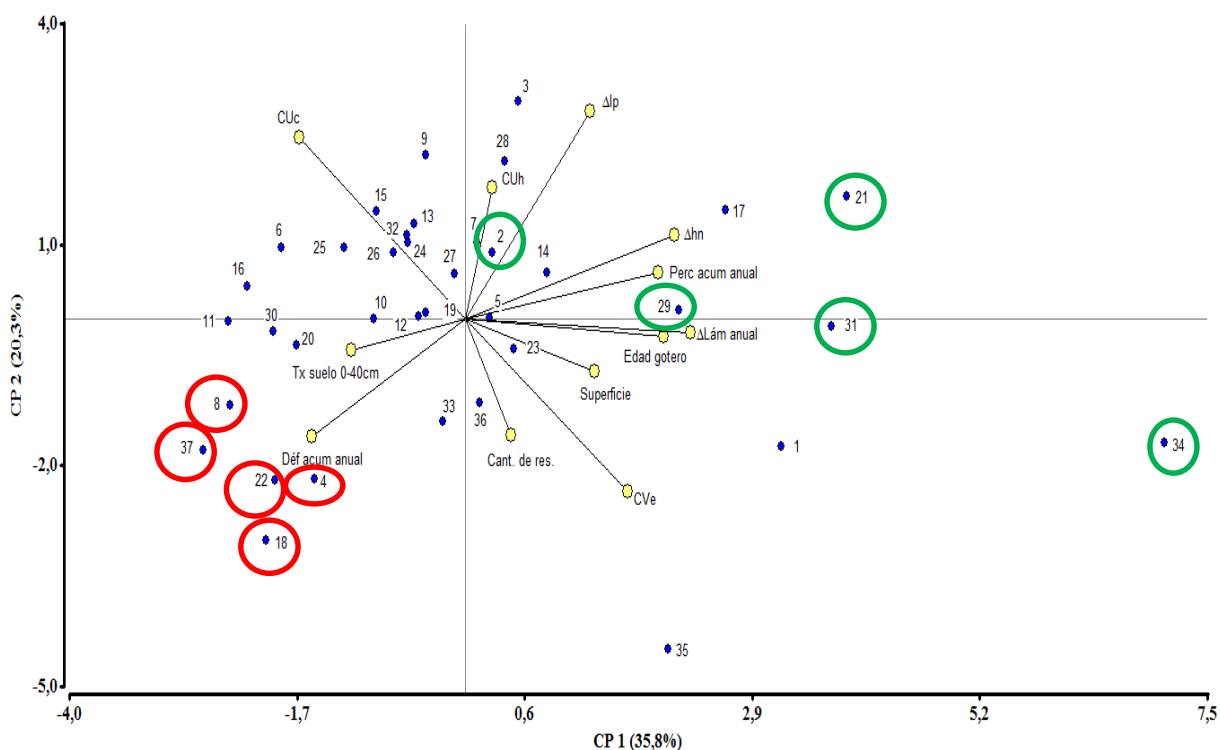
Se observa que el primer componente se encontró explicado principalmente por Perc<sub>acum anual</sub>, el segundo, por CU<sub>c</sub> y el tercero, por Δ<sub>hn</sub>.

El CP1 fue explicado por una variable relacionada a la programación de riego, el CP2 por una variable vinculada a la uniformidad de distribución y el CP3, por una variable de mantenimiento. De hecho, estos tres aspectos son los que se pretendieron evaluar en el presente trabajo y cada uno quedó representado principalmente por un CP (Tabla 33).

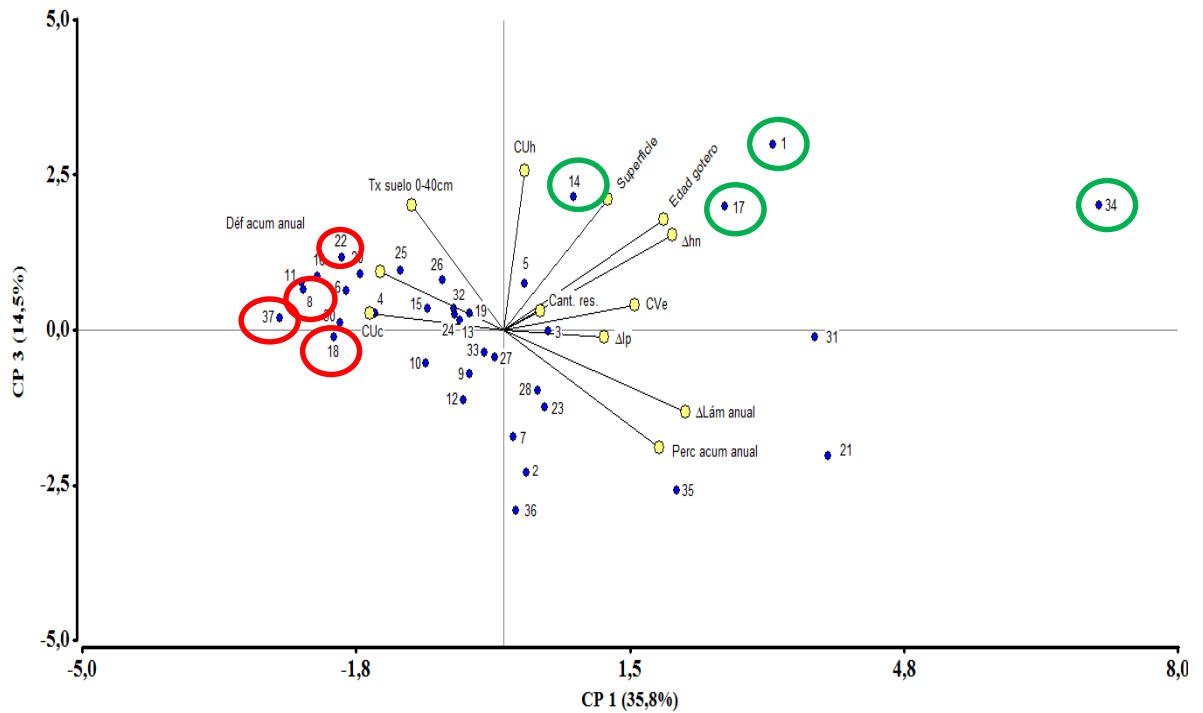
**Tabla 33. Aspectos del presente trabajo explicados por los componentes principales**  
**Table 33. Aspects of present work explained by principal components**

Factor	CP1	CP2	CP3
Aspecto que explica	Programación de riego	Uniformidad	Mantenimiento del equipo

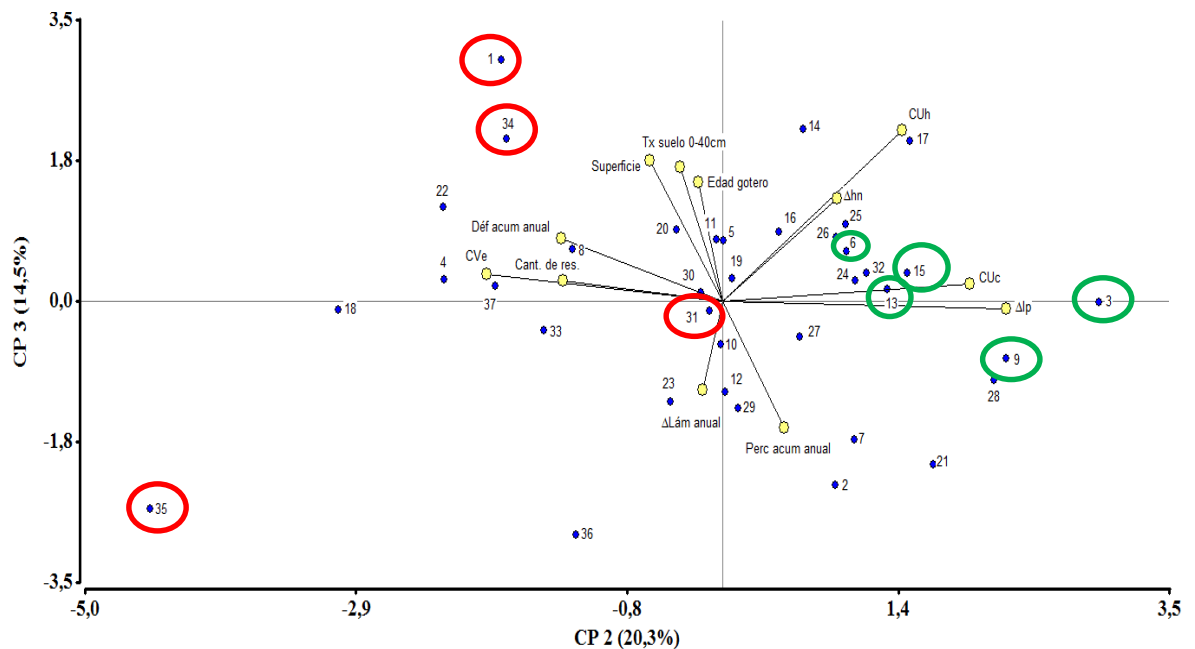
La información se presentó en gráficos biplot que permitieron observar en el mismo gráfico los equipos y las variables que intervinieron en el ACP (Figuras 17, 18 y 19).



**Figura 17. Representación en el espacio factorial (biplot) de las variables y los casos (CP1 y CP2). Los números indican los equipos de riego utilizados en el ACP**  
**Figura 17. Factorial space representation (biplot) of variables and cases (CP1 and CP2). Numbers indicate the irrigation equipment used in ACP**



**Figura 18. Representación en el espacio factorial (biplot) de las variables y los casos (CP1 y CP3). Los números indican los equipos de riego utilizados en el ACP**  
**Figura 18. Factorial space representation (biplot) of variables and cases (CP1 and CP3). Numbers indicate the irrigation equipment used in ACP**



**Figura 19. Representación en el espacio factorial (biplot) de las variables y los casos (CP2 y CP3). Los números indican los equipos de riego utilizados en el ACP**  
**Figura 19. Factorial space representation (biplot) of variables and cases (CP2 and CP3). Numbers indicate the irrigation equipment used in ACP**

El CP1 estuvo explicado fundamentalmente por la variable  $Perc_{acum\ anual}$ . Se resaltaron en verde los equipos 2, 21, 29, 31 y 34 (biplot CP1 y. CP2) por presentar elevados valores de esta variable, como así también de  $\Delta_{Lám\ anual}$  y, en todos los casos, el destino de la uva era para consumo en fresco. De hecho, se visualiza una fuerte correlación positiva entre  $Perc_{acum\ anual}$  y  $\Delta_{Lám\ anual}$ . En estos equipos, no se produjo déficit hídrico. En cambio, se observa que  $Perc_{acum\ anual}$  y  $Déf_{acum\ anual}$  tuvieron una alta correlación negativa y que los equipos 4, 6, 8, 11, 16, 18, 20, 22 y 37 se asociaron a valores de  $Déf_{acum\ anual}$  muy grandes, de  $Perc_{acum\ anual}$  nulos y  $\Delta_{Lám\ anual}$  negativas. Asimismo, los equipos 4, 8, 18, 22 y 37 (destacados en rojo), se caracterizaron por presentar equipos de bombeo subdimensionados, elevadas de cargas en filtros, goteros no autocompensantes y el destino de la uva fue pasificación (50%) o elaboración de mosto y vinos comunes (50%).

Los equipos 10, 15, 19, 25, 32, 33 y 36 tuvieron tanto percolación profunda como déficit hídrico (en distintos momentos del año), por lo que se situaron en una posición en los gráficos biplot no muy cercana a ninguna de las variables mencionadas. En estos casos, la lámina total aplicada en el año superó a la lámina teórica calculada, pero, en los meses de invierno (reposo vegetativo) e inicio de ciclo vegetativo, se regó en exceso y hubo percolación profunda y durante los meses de máxima expresión vegetativa y evapotranspiración (diciembre, enero y febrero), la humedad de suelo se encontró por debajo del umbral de riego y se produjo déficit hídrico.

Los resultados expuestos indican que es fundamental conocer las necesidades hídricas del cultivo y las características edáficas porque, aunque el volumen anual aplicado se asemeje al necesario, si está mal distribuido, se producen pérdidas de agua y/o deficiencias hídricas en el cultivo. La misma conclusión obtuvieron Sellés y Ferreyra (2005) y Pugliese *et al.* (2014).

Otra asociación observada en los gráficos biplot fue entre  $Perc_{acum\ anual}$  y Tx suelo 0 – 40 cm, que fue fuerte y negativa, lo cual es lógico. La textura de suelo se midió en volumen de sedimentación ( $V_s$ ). Mientras mayor es el valor, mayor contenido de arcilla posee el

suelo, mayor capacidad de almacenaje de agua y, por ende, se produce menor percolación profunda.

Asimismo, el CP2 estuvo explicado principalmente por el  $CU_c$ . Los equipos 3, 6, 9, 13 y 15 se resaltaron en verde (biplot CP2 y CP3) porque tienen valores elevados de  $CU_c$ . De hecho, en estos equipos la calificación fue “Excelente” ( $CU_c > 90\%$ ). Además, estos equipos no contaban con reservorio (toma directa de perforación), tenían goteros no autocompensantes y la edad promedio de los mismos era 4 años. Por otro lado, los equipos 1, 18, 29, 31, 33, 34, 35 y 36 tuvieron valores muy bajos de  $CU_c$  y se ubicaron en los gráficos muy alejados de esta variable. En estos equipos, el desempeño fue regular o pobre ( $CU_c < 80\%$ ). En particular los equipos 1, 31, 34 y 35 (remarcados en rojo), tenían goteros autocompensantes de edad promedio de 16 años (ya habían cumplido su vida útil) y se encontraban severamente obturados.

Los gráficos biplot indicaron una fuerte asociación negativa entre  $CU_c$  y  $CV_e$ . Se puede visualizar que los equipos 1, 34 y 35 están asociados a grandes valores de la variable  $CV_e$  y a su vez, a muy bajos valores de  $CU_c$  (calificación “Pobre” el equipo 1 y calificación “Inaceptable” los equipos 34 y 35). Por otro lado, se advierte una baja correlación entre  $CU_c$  y  $CU_h$ . *A priori*, se suponía una mayor influencia de  $CU_h$  sobre  $CU_c$ , en especial en emisores no autocompensantes, pero no fue así. Pareciera que otros factores, como la uniformidad de emisores, tuvieron más incidencia sobre  $CU_c$ .

Por último, el CP3 fue representado especialmente por  $\Delta_{hn}$ . Se observa que los equipos 1, 14, 17 y 34 (resaltados en verde en biplot CP1 y CP3) están relacionados a altos valores de  $\Delta_{hn}$ . Nótese que estos cuatro equipos tenían goteros autocompensantes donde existía una excesiva presión de trabajo de los emisores que fue parcialmente regulada por la compensación de caudal que ejerce el gotero (no por la regulación de válvulas). Otra particularidad de estos equipos fue el prolongado tiempo de servicio (promedio 21,5 años).

Los equipos 8, 18, 22 y 37 se destacaron en rojo porque tuvieron valores negativos elevados de esta variable y se ubicaron en el gráfico muy distanciados del vector que

representa a  $\Delta_{hn}$ . En los cuatro casos, la baja presión en los goteros fue debida a una baja presión a la salida del cabezal del bombeo, pero la causa de ello es distinta, porque en los equipos 8, 22 y 37 la presión generada por la bomba fue insuficiente, mientras que en el equipo 18, la causa fue una extremada pérdida de carga en el sistema de filtrado. Asimismo, los goteros de estos equipos erogaron un caudal muy inferior al de diseño y en todos los casos eran no autocompensados y recientemente instalados (promedio 2,5 años).

Además, las Figuras 17, 18 y 19 revelan que hubo elevada correlación positiva entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta_{Ip}$ , donde los equipos 3, 21 y 28 tuvieron elevados valores de  $\Delta_{Ip}$  (valor promedio 31,96%). Estos equipos tenían presiones de trabajo de goteros muy superiores a las de diseño y emisores no autocompensantes, ocasionando que los caudales fueran muy superiores a los nominales.

### **3.2.3. Análisis de correlación lineal**

#### **3.2.3.1. Análisis de correlación lineal entre la variable $Perc_{acum\ anual}$ y variables relacionadas**

A partir de la matriz de correlaciones y el ACP, se detectaron varias asociaciones de interés entre las variables. Una correlación positiva fuerte observada fue entre  $Perc_{acum\ anual}$  y  $\Delta_{Lám\ anual}$ . La Tabla 28 muestra que la correlación fue positiva, elevada y altamente significativa ( $p < 0,01$ ). Este resultado es esperable porque el suelo tiene una capacidad finita de almacenamiento de agua y una vez que se alcanza el estado de saturación, si se sigue agregando agua, el excedente percola por debajo de la profundidad de las raíces del cultivo (Pugliese *et al.*, 2014).

Otra asociación de interés observada en los gráficos fue entre  $Perc_{acum\ anual}$  y  $Déf_{acum\ anual}$ . En este caso, la correlación fue negativa y significativa, pero de menor magnitud que la anterior. El resultado es razonable porque en el balance hídrico, si en un mes se produjo percolación profunda, no hubo déficit hídrico y viceversa. Sin embargo, las variables se refirieron a valores mensuales acumulados en un año, de manera que mientras mayor fue

la percolación profunda, menor el déficit porque hubo menor cantidad de meses en que pudo ocurrir éste.

También se visualizó que  $\Delta_{Lám\ anual}$  y  $Déf_{acum\ anual}$  estaban relacionados negativamente. La Tabla 28 muestra que la correlación fue altamente significativa ( $p < 0,01$ ). Si bien la variable  $\Delta_{Lám\ anual}$  no está vinculada a la distribución temporal del agua de riego durante el ciclo de cultivo ni contempla el tipo de suelo y la profundidad radical del mismo, se dio la situación que cada equipo que aplicaba láminas de riego superiores a las necesarias y mientras mayores fueran éstas, menor era el déficit hídrico y en muchos casos, directamente fue nulo (en el 40,5% de los casos). Esto indica que la distribución del agua en el tiempo no fue tan desacertada, más allá de los volúmenes excesivos e innecesarios de agua aplicados.

La Tabla 28 muestra que hubo correlación significativa entre  $Perc_{acum\ anual}$  y la textura de suelo, como también se pudo ver en los gráficos biplot. Igualmente, estas variables, *a priori*, estarían relacionadas a la salinidad del suelo en el bulbo húmedo, como así también el  $Déf_{acum\ anual}$ . La Tabla 34 expone los coeficientes de correlación de Pearson y los niveles de significancia de las asociaciones entre las variables mencionadas. Además, en esta matriz de correlaciones se incluyó la salinidad del agua de riego por su influencia sobre la salinidad del suelo (Prieto, 2008).

**Tabla 34. Matriz de correlación y niveles de significancia entre las variables de suelo, agua de riego y de programación de riego.**  
**Table 34. Correlation matrix and significance levels between soil, irrigation water and irrigation scheduling variables**

	$Perc_{acum\ anual}$	$Déf_{acum\ anual}$	$CE_a$	$CE_{es\ 0 - 40}$	$CE_{es\ 40 - 80}$	$V_s\ 0 - 40$	$V_s\ 40 - 80$
$Perc_{acum\ anual}$	1,00	< 0,01	0,88	0,97	0,21	< 0,01	0,01
$Déf_{acum\ anual}$	<b>-0,50</b>	1,00	0,70	0,48	0,54	0,20	0,37
$CE_a$	-0,02	-0,06	1,00	0,10	0,43	0,59	0,97
$CE_{es\ 0 - 40}$	0,01	0,11	0,25	1,00	< 0,01	0,67	0,58
$CE_{es\ 40 - 80}$	-0,20	0,10	0,13	<b>0,66</b>	1,00	0,14	0,02
$V_s\ 0 - 40$	<b>-0,52</b>	0,20	0,09	0,07	0,24	1,00	< 0,01
$V_s\ 40 - 80$	<b>-0,43</b>	0,15	-0,01	0,09	<b>0,37</b>	<b>0,71</b>	1,00



Se observa que la asociación negativa entre  $\text{Perc}_{\text{acum anual}}$  y Textura de suelo medida como volumen de sedimentación ( $V_s$ ) fue significativa para ambas profundidades, por lo ya explicado *supra*. En cambio, no ocurrió lo mismo cuando se comparó con las salinidades de suelo del bulbo húmedo a ambas profundidades. Aquí, no hubo correlación cuando se suponía que iba a ser negativa, es decir, mientras mayor volumen de agua pasara a través del perfil de suelo, menor sería la concentración de sales en el mismo.

Por otro lado, la asociación entre la salinidad del agua ( $\text{CE}_a$ ) y la salinidad del suelo no fue la esperada ya que fue significativa (considerando  $p \leq 0,1$ ) pero débil en el estrato superior (0 cm – 40 cm) y no significativa en el estrato inferior (40 cm – 80 cm). A diferencia de estos resultados, Fontela *et al.* (2009) y Prieto (2008) mencionan que existe una fuerte asociación entre salinidad del agua y del suelo.

En relación a la textura de suelo, sólo se observó correlación significativa y positiva, pero baja, entre  $V_s$  y  $\text{CE}_{\text{es}}$  en el estrato de 40 cm – 80 cm. Esto significa que mientras mayor contenido de arcilla poseía el suelo, mayor salinidad tenía. Esto se debe a que los suelos arcillosos tienen menor proporción de macroporos y drenaje deficiente, lo que propicia el incremento salino del perfil de suelo (Prieto, 2008).

Otra correlación significativa y alta fue entre las texturas a ambas profundidades. La asociación fue positiva, esto indica que las texturas de suelo son parecidas entre las profundidades muestreadas.

También se observó correlación significativa, elevada y positiva entre las salinidades de ambas profundidades, lo cual es lógico, más aún, cuando las texturas de suelo fueron similares. Castro (1997), Fontela *et al.* (2009) y Osorio Ulloa y Céspedes (2000) también encontraron valores muy similares de salinidad entre capas de distinta profundidad del bulbo húmedo. Probablemente, si se hubiera extraído muestras de un estrato inferior, la salinidad hubiese sido mayor por la percolación de sales por debajo del bulbo húmedo (Pizarro, 1996).

En relación al  $\text{Déf}_{\text{acum anual}}$ , no se encontró correlación significativa con la textura de suelo ni con la salinidad del mismo. Esto puede deberse a que, en el cálculo del déficit hídrico, se consideró un agotamiento de humedad del suelo del 30%, tal cual proponen Pizarro (1996), Martín Santa Olalla Mañas y De Juan Valero (1992) y Schilardi (2015). Ello significa que todavía existe en el suelo el 70% de la lámina total disponible que, para riego superficial, todavía no es necesario regar, porque hay suficiente humedad. Es decir, la influencia del tipo de suelo sobre el déficit fue baja porque la fracción de agotamiento considerada fue pequeña.

Evidentemente, la salinización de los suelos es un proceso complejo, donde intervienen numerosos factores que no han sido considerados en este trabajo. De hecho, Fontela *et al.* (2009) realizaron un análisis de regresión para predecir el valor de salinidad de suelo en función de la ubicación (línea de plantación o el medio del interfilar), conductividad eléctrica del agua de riego y textura de suelo. Obtuvieron un modelo pobre porque el coeficiente de determinación fue muy bajo ( $r^2 = 0,13$ ), es decir, la capacidad predictiva del modelo, con las variables consideradas, fue reducida.

Asimismo, la Tabla 28 muestra que hubo correlación lineal significativa y positiva entre  $\text{Perc}_{\text{acum anual}}$  con  $\Delta_{\text{hn}}$  y  $\Delta_{\text{Ip}}$ , especialmente, cuando los goteros eran no autocompensantes. Esta correlación era esperable porque, al trabajar los emisores a una presión mayor que la de diseño, y, por ende, erogar mayor caudal, se aplicó un volumen de agua mayor de lo planificado, que generó un incremento de  $\Delta_{\text{Lám anual}}$  y de percolación profunda. A su vez, ante esta situación, es lógico que se redujera el déficit hídrico, por eso la correlación lineal entre  $\text{Déf}_{\text{acum anual}}$  con  $\Delta_{\text{hn}}$  y  $\Delta_{\text{Ip}}$  fue negativa y altamente significativa.

### **3.2.3.2. Análisis de correlación lineal entre $\text{CU}_c$ y variables relacionadas**

Además de la asociación observada en la Tabla 28 entre  $\text{CU}_c$  con  $\text{CV}_e$  y  $\text{CU}_h$ , se agregó la variable  $\text{CU}_s$ . La Tabla 35 muestra la correlación de ésta con las anteriormente mencionadas. Además, se incluyó en el análisis las variables superficie bajo riego, edad de cabezal y edad de gotero.

**Tabla 35. Matriz de correlación entre variables de uniformidad, superficie y tiempo de funcionamiento de componentes del equipo**

**Table 35. Correlation matrix between uniformity, surface and operation time of equipment variables**

	Superficie	CU <sub>c</sub>	CU <sub>h</sub>	CV <sub>e</sub>	CU <sub>s</sub>	Edad cabezal	Edad gotero
Superficie	1	0,04	0,28	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01
CU <sub>c</sub>	<b>-0,30</b>	1	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
CU <sub>h</sub>	0,15	<b>0,38</b>	1	0,22	0,01	0,85	0,07
CV <sub>e</sub>	<b>0,33</b>	<b>-0,93</b>	-0,18	1	< 0,01	0,01	< 0,01
CU <sub>s</sub>	<b>-0,36</b>	<b>0,81</b>	<b>0,35</b>	<b>-0,73</b>	1	< 0,01	0,06
Edad cabezal	<b>0,56</b>	<b>-0,35</b>	0,03	<b>0,36</b>	<b>-0,43</b>	1	< 0,01
Edad gotero	<b>0,44</b>	<b>-0,44</b>	0,25	<b>0,45</b>	<b>-0,27</b>	0,65	1

CU<sub>s</sub> tuvo correlación significativa con el resto de los indicadores de uniformidad, siendo elevada con CU<sub>c</sub> y CV<sub>e</sub>, mientras que fue baja con CU<sub>h</sub>. Respecto a la asociación con CU<sub>c</sub>, ésta fue lógica porque CU<sub>s</sub> es directamente proporcional a CU<sub>c</sub>. Debido a la alta correlación entre estas variables y a que se tuvo que estimar el valor del exponente de descarga de los emisores en algunos casos para calcular CU<sub>s</sub>, se eligió CU<sub>c</sub> como variable representativa de ambas en el ACP. En relación a la asociación entre CU<sub>s</sub> y CV<sub>e</sub>, se observa que mientras mayor fue el CV<sub>e</sub> (menor uniformidad de emisores), menor fue el CU<sub>s</sub>. En cambio, la asociación entre CU<sub>s</sub> y CU<sub>h</sub> fue baja porque la uniformidad del sistema no depende directamente del CU<sub>h</sub> y, menos aún, al mostrarse anteriormente que la correlación entre CU<sub>c</sub> y CU<sub>h</sub> fue baja. Cabe resaltar que CU<sub>s</sub> depende de la uniformidad de presión entre subunidades de la operación seleccionada y CU<sub>h</sub>, se refiere a la variación de presión dentro de la subunidad seleccionada (Fernández Gómez *et al.*, 2010). Esto también está influenciado porque, en los goteros autocompensantes, dentro del rango de valores de presión de trabajo de los equipos de riego, el caudal del emisor se mantiene constante ante diferentes valores de presión.

La correlación de la variable Superficie fue significativa con CU<sub>c</sub>, CU<sub>s</sub> y CV<sub>e</sub>. Si bien las asociaciones son bajas, la Tabla 35 exhibe que los equipos de mayores superficies tuvieron menor uniformidad. En cambio, no hubo asociación entre Superficie y CU<sub>h</sub>. En los

equipos estudiados, la uniformidad de presiones fue en general muy buena, independientemente de la superficie bajo riego, ya que  $CU_h$  depende del diseño hidráulico de la subunidad (dimensionamiento de tubería terciaria y laterales para que se cumplan las tolerancias de presión preestablecidas y selección del tipo de gotero) y sólo en el 4% de los equipos se consideró que hubo un diseño hidráulico inaceptable.

La edad de los goteros y de los componentes del cabezal se asoció significativamente con las variables de uniformidad, salvo con  $CU_h$ . En la medida que se incrementaba el tiempo de funcionamiento, se redujo la uniformidad de caudales, de emisores y de sistema. Esto puede explicarse debido a la falta de mantenimiento, en general, que se observó en los equipos evaluados, que ocasiona que los problemas se hayan agravado con el paso del tiempo. A diferencia de este trabajo, el ITRC (2003, mencionado por Burt, 2004) no encontró correlación entre edad del equipo y  $CU_s$ , que sugiere que, si se realiza un buen mantenimiento, el equipo puede funcionar adecuadamente por muchos años. El ITRC evaluó equipos con 20 años de funcionamiento y la uniformidad fue adecuada. Otra característica de los equipos evaluados fue que se observó correlación positiva entre edad de los equipos y superficie cultivada, es decir, los equipos más grandes eran a la vez, los más antiguos.

### **3.2.3.3. Análisis de correlación lineal entre las variables Superficie, $CV_e$ y otras variables en estudio**

Para tratar de comprender las relaciones encontradas entre la superficie y los indicadores de uniformidad, se cuantificó el grado de asociación lineal entre superficie con las variables de mantenimiento y las características de los equipos que se consideró que pudieran estar relacionadas (Tabla 36). Igualmente, se incluyó en la matriz de correlación a  $CV_e$ , porque depende de las labores de mantenimiento.

**Tabla 36. Matriz de correlaciones entre superficie y variables relacionadas**  
**Table 36. Correlation matrix between surface and related variables**

	Superficie	CV <sub>e</sub>	Edad cabezal	Edad gotero	Tipo de gotero	Cant. reservorio	Retrolavado	ΔP filtro	Limpieza química	Limpieza física	Aplica CuSO <sub>4</sub>
Superficie	1,00	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	0,88	0,26	0,80	0,06
CV <sub>e</sub>	0,33	1,00	0,01	< 0,01	< 0,01	0,09	0,06	0,43	0,75	0,30	0,34
Edad cabezal	0,56	0,36	1,00	< 0,01	< 0,01	0,10	0,36	0,84	0,11	0,14	0,98
Edad gotero	0,44	0,45	0,65	1,00	< 0,01	0,39	0,59	0,99	0,09	0,28	0,61
Tipo de gotero	0,48	0,54	0,69	0,78	1,00	0,11	0,30	0,96	0,58	0,45	0,75
Cant. reservorio	0,39	0,24	0,24	0,12	0,23	1,00	< 0,01	0,48	0,41	0,87	0,97
Retrolavado	0,29	0,27	0,13	0,08	0,15	0,80	1,00	0,71	0,52	0,84	0,34
ΔP filtro	-0,02	0,13	0,03	0,00	0,01	0,12	0,06	1,00	0,92	< 0,01	0,81
Limpieza química	0,16	0,05	0,23	0,24	0,08	0,12	0,09	0,02	1,00	0,04	0,71
Limpieza física	0,04	0,15	0,21	0,15	0,11	-0,02	0,03	-0,46	0,29	1,00	0,17
Aplica CuSO <sub>4</sub>	0,33	-0,17	0,00	0,09	0,06	0,01	-0,17	-0,05	0,07	-0,25	1,00

La matriz de correlaciones muestra que la variable Superficie tuvo correlación significativa y positiva con las variables Edad cabezal, Edad gotero, Tipo de gotero, Reservorio, Retrolavado y Aplica CuSO<sub>4</sub> al reservorio. Esto significa que mientras mayor fue la superficie bajo riego, mayor fue la edad del cabezal de bombeo y del gotero, lo que puede explicar que, a mayor superficie, se reduzcan la uniformidad de caudales, de emisores y de sistema, debido al desgaste natural que sufren los materiales y a una trayectoria de defectuosas labores de mantenimiento. Asimismo, a mayor superficie, se tendió a utilizar goteros autocompensantes y, como se vio anteriormente, en el 87,5% de los equipos con este tipo de goteros, no habían sido reemplazados los emisores a pesar de haber cumplido su vida útil. Pasado su tiempo de servicio, el dispositivo de regulación de caudal (diafragma) del emisor deja de funcionar, generando una disminución de la uniformidad (Schilardi, 2015).

Asimismo, a medida que los equipos regaban mayor superficie, con más frecuencia contaban con reservorio porque la dotación de una perforación para regar la totalidad de la superficie era insuficiente, es decir, la fuente de agua era mixta: agua de “turno” y subterránea. Si no se efectúan las labores de mantenimiento correspondientes en el reservorio, éste se transforma en una fuente de contaminación del equipo de riego que puede reducir los indicadores de uniformidad (Martínez, 2001).

Por otro lado, equipos de mayor superficie, tuvieron sistema de retrolavado, lo cual es lógico, para facilitar las tareas de mantenimiento. La presencia de retrolavado debería asociarse a una mayor uniformidad del equipo, pero no fue así ya que el 30% de los equipos tenía sistema de retrolavado y tuvieron valores inaceptables de  $CU_c$ ,  $CU_s$  y/o  $CV_e$ . Probablemente, la inadecuada regulación de tiempo y frecuencias de lavado de filtros en función de la carga de partículas presentes en el agua, fue la causa de la baja eficiencia de limpieza de los mismos. Martínez (2001) comenta que ésta es la causa principal del trabajo ineficiente del retrolavado.

Entre la variable Superficie y las variables  $\Delta P_{\text{filtro}}$ , Limpieza química y Limpieza física no se encontraron correlaciones significativas. En el 20% de los equipos evaluados, no se medía presión antes y después de los filtros, lo cual impidió conocer el estado limpieza de los mismos. Además, en muchos casos, el operario de riego contaba con un manómetro y una llave de tres vías, pero sólo controlaba la presión aguas abajo del filtro, porque no sabía cómo medir aguas arriba, ni la razón de medirla. En relación a las operaciones de limpieza de laterales portagoteros (química y física), como se mencionó anteriormente, sólo el 23,3% de los equipos llevaba un registro de las aplicaciones y de las tareas de purga de tuberías, de manera que la información recibida puede tener errores.

Otra asociación lineal significativa y positiva observada fue entre Superficie bajo riego y Aplicación de  $CuSO_4$  al reservorio. Sin embargo, la correlación fue baja. Con el resto de las variables, Aplica  $CuSO_4$  no tuvo correlación significativa cuando se esperaba que hubiera con  $CV_e$  y con  $\Delta P_{\text{filtro}}$ , porque esta operación ocasiona la muerte de algas en el reservorio, reduciendo la posibilidad de entarquinamiento de filtros y emisores. Sin embargo, igual que en el caso anterior, no había registros para corroborar fehacientemente frecuencia, momento y dosis de aplicación de este producto.

La Tabla 36 indica que  $CV_e$  sólo se asoció significativamente con Edad del cabezal, Edad del gotero y Tipo de gotero. Una posible explicación es que, a medida que los componentes del cabezal alcanzan mayor tiempo de servicio, como los filtros, disminuyen su capacidad de remoción de partículas obturantes debido a una limpieza manual

deficiente. En cuanto al emisor, los equipos con goteros con más tiempo de servicio y en especial, los autocompensantes, tuvieron altos valores de  $CV_e$  (baja uniformidad de emisores). Las causas posibles son la falta de mantenimiento que ocasiona que paulatinamente se obturen los emisores y en el caso de los goteros autocompensantes, fue el uso luego de concluída su vida útil (promedio de edad 15 años), que es de 10 años, según lo mencionado por Schilardi (2015). Resultados similares encontraron Bohórquez y Ruiz (2011) y Schilardi *et al.* (2012), que obtuvieron bajas uniformidades en equipos con goteros autocompensantes, debido a que se había cumplido la vida útil de los emisores y se seguían utilizando.

La correlación lineal entre el  $CV_e$  y Reservoirio fue significativa, si se considera un valor de  $p \leq 0,1$ . La asociación fue positiva, esto significa que los equipos con reservorio tuvieron valores más elevados de  $CV_e$ , es decir, la uniformidad de emisores fue menor, lo cual es esperable si el filtrado es deficiente y si no se efectúa un adecuado mantenimiento de los reservorios, donde se acumulan contaminantes que pueden obturar los emisores. Según lo comentado anteriormente, se recuerda que sólo el 54,8% de los equipos con reservorio efectuaban, al menos una vez al año, una aplicación de  $CuSO_4$ .

Por otro lado, la asociación lineal entre  $CV_e$  y Retrolavado fue significativa pero baja. Lo inesperado fue que la correlación fue positiva, es decir, los equipos con sistema de retrolavado tuvieron altos valores  $CV_e$  (valor de significación  $p \leq 0,1$ ). Esto puede explicarse si se acepta que el tiempo de lavado de los filtros y la frecuencia de limpieza no fueron adecuadas. Es decir, si el retrolavado no está regulado en función de la tasa de entarquinamiento de los filtros, se pueden producir obturaciones de emisores por un deficiente trabajo de los filtros. Como se dijo anteriormente, sólo en el 2,8% de los equipos con retrolavado, el sistema se activaba por diferencias de presión entre antes y después de los filtros, que es la regulación más aconsejable para asegurar una adecuada limpieza de los filtros (Martínez, 2001).

Las labores de mantenimiento de emisores, como limpiezas química y física, no se asociaron significativamente con el  $CV_e$ . *A priori*, la correlación debería haber sido

negativa, pero no fue así. En primer lugar, como se dijo antes, la falta de registros puede haber ocasionado que los datos entregados por los operarios de riego tengan errores ya que, en las encuestas, muchas veces se apeló a lo que recordaban y que normalmente realizaban, que puede no ser muy exacto. En segundo lugar, el éxito de la limpieza química depende de numerosas variables como pH alcanzado en el agua, tiempo de inyección, tiempo de permanencia de la solución limpiadora en el gotero, frecuencia, datos que no pudieron ser contestados por los encargados de riego. Por último, se reitera que en ningún equipo se efectuó la operación denominada “Flushing”, como recomiendan Schilardi (2015) y Martínez (2001).

Se podría haber esperado correlación significativa entre  $\Delta P_{\text{filtro}}$  y  $CV_e$ , sin embargo, no ocurrió. Una posible explicación a ello fue que  $\Delta P_{\text{filtro}}$  es un dato puntual en el tiempo (durante la evaluación) y la obturación de emisores como causa de un deficiente filtrado, es un proceso paulatino.

Las variables Edad y Tipo de gotero tuvieron una correlación lineal significativa, alta y positiva porque en los equipos de mucho tiempo de funcionamiento, fue usual encontrar goteros autocompensantes. En los mencionados equipos, se observaron laterales más largos que en los equipos recientemente instalados. Esto hizo necesario utilizar goteros autocompensantes para reducir la pérdida de carga por la elevada longitud del lateral. En cambio, en los equipos modernos, se observaron laterales más cortos, distribución bilateral y goteros no autocompensantes.

Las variables Edad de gotero y Edad del cabezal tuvieron asociación lineal significativa, elevada y positiva. De hecho, en el 72% de los equipos coincidieron la edad del cabezal y de los goteros, el 16% la edad de los goteros fue inferior porque el cuartel que regaban se implantó con posterioridad y 12% tenía emisores con menor tiempo de funcionamiento porque se habían reemplazado, ya que los emisores originales habían cumplido su vida útil.



Por último, Edad del cabezal tuvo correlación significativa, alta y positiva con el Tipo de gotero. Como se ha comentado, una alta proporción de equipos con más de 15 años de funcionamiento (63,6%) utilizaban goteros autocompensantes. En el 6% de los casos, los equipos eran antiguos y originalmente tenían este tipo de emisores, pero luego, se hicieron modificaciones en el diseño (reducción de longitud de laterales y agregado de tuberías portilaterales) y se reemplazaron por goteros no autocompensantes.

#### 3.2.3.4. Análisis de correlación lineal entre $\Delta_{hn}$ y otras variables en estudio

En los gráficos biplot y en la matriz de correlaciones de la Tabla 28, se observó una correlación significativa, elevada y positiva entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta_{Ip}$ . El desfase en la presión de trabajo de los goteros generó que la intensidad pluviométrica real varíe respecto a la de diseño, en especial, sobre goteros no autocompensantes. Las Tablas 37 y 38 muestran la correlación lineal entre dichas variables para el total de los equipos y sólo para los equipos con goteros no autocompensantes, respectivamente.

**Tabla 37. Correlación lineal entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta_{Ip}$  para el total de equipos evaluados**  
**Table 37. Linear correlation between  $\Delta_{hn}$  and  $\Delta_{Ip}$  for all evaluated equipments**

		$\Delta_{hn}$	$\Delta_{Ip}$
	$\Delta_{hn}$	1,00	< 0,01
	$\Delta_{Ip}$	0,66	1,00

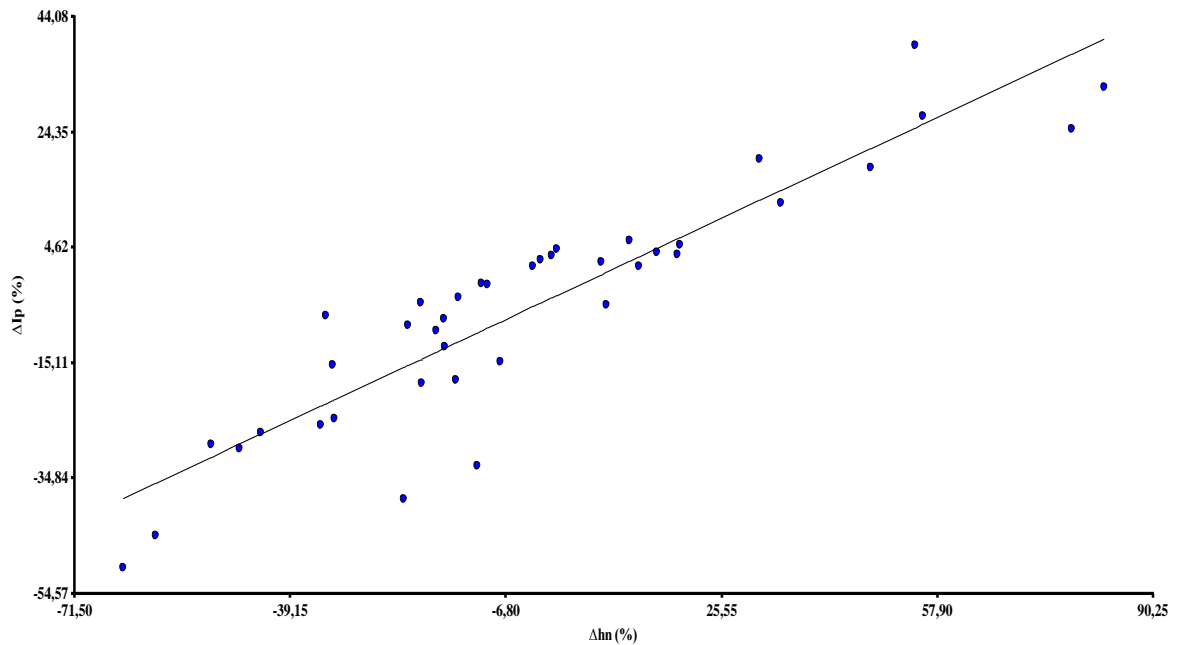
**Tabla 38. Correlación lineal entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta_{Ip}$  para los equipos con goteros no autocompensantes**

**Table 38. Linear correlation between  $\Delta_{hn}$  and  $\Delta_{Ip}$  for equipment with non-compensating emitters**

		$\Delta_{hn}$	$\Delta_{Ip}$
	$\Delta_{hn}$	1,00	< 0,01
	$\Delta_{Ip}$	0,91	1,00

Como era de esperarse, la correlación fue mayor en la Tabla 38 porque el caudal es más sensible a las variaciones de presión (Pizarro, 1996; Rodrigo López *et al.* 1992). Debido al elevado nivel de asociación entre estas dos variables, se efectuó un análisis de regresión

lineal simple. Sólo se consideraron los equipos con goteros no autocompensantes (Figura 20).



**Figura 20. Diagrama de dispersión y recta de regresión entre las variables  $\Delta I_p$  y  $\Delta h_n$**   
**Figure 20. Dispersion diagram and regression line between variables  $\Delta I_p$  and  $\Delta h_n$**

El modelo de regresión lineal obtenido fue altamente significativo ( $p < 0,01$ ). La ecuación obtenida fue:

$$\Delta I_p = 0,53\Delta h_n - 4,05 \quad (44)$$

El valor predictivo del modelo fue bueno ( $r^2 = 0,83$ ). Expresa que el 83% de la variación en  $\Delta I_p$ , es explicada por  $\Delta h_n$ , lo que representa una muy buena estimación.

Por otra parte, ante una situación de presión hidráulica inferior a la de diseño aguas arriba de la válvula de regulación de presión, no es posible corregir la misma con la válvula reguladora de presión (“piloto”). Si el diseño hidráulico es adecuado y no hay fugas de agua, una posible causa de baja presión en el ingreso de la subunidad es que la pérdida de carga en los filtros sea excesiva. La Tabla 39 analiza el grado de asociación lineal entre  $\Delta h_n$  y  $\Delta P_{\text{filtro}}$ .

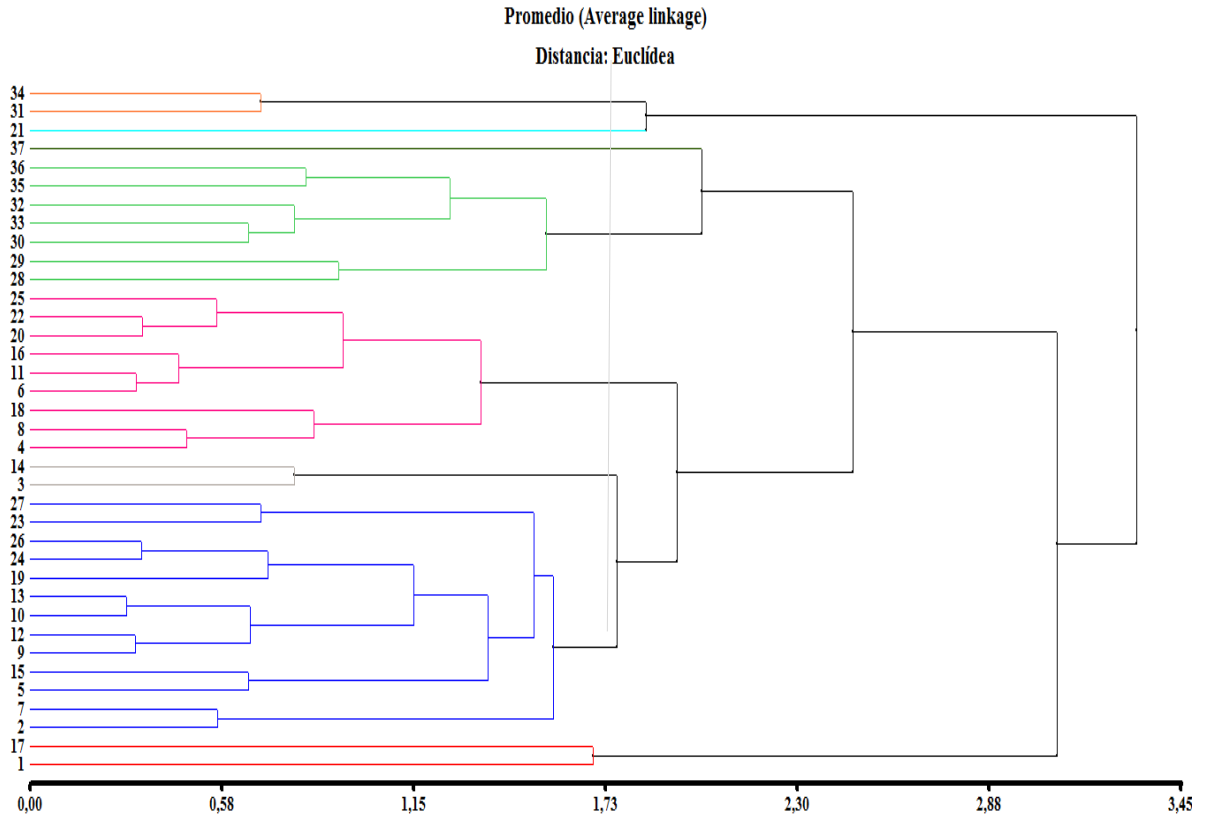
**Tabla 39. Correlación lineal entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta P_{filtro}$**   
**Table 39. Linear correlation between  $\Delta_{hn}$  and  $\Delta P_{filtro}$**

	$\Delta_{hn}$	$\Delta P_{filtro}$
$\Delta_{hn}$	1,00	0,88
$\Delta P_{filtro}$	0,02	1,00

La correlación fue no significativa. Sin embargo, no se puede afirmar que la pérdida de carga producida en los filtros no influye sobre la presión de funcionamiento de los goteros porque, como se dijo anteriormente, se supuso un adecuado diseño hidráulico del equipo y esto no se evaluó en el presente trabajo. Asimismo, se comentó anteriormente que la principal causa de baja presión en equipos recientemente instalados fue la baja presión generada en el cabezal de bombeo, no influida por la pérdida de carga de los filtros.

#### **3.2.4. Análisis de clasificación por conglomerados**

El resultado del ACL se visualizó a través de un dendrograma (Figura 21). Esta expresión gráfica permitió visualizar como se organizaron los equipos en distintos conglomerados sucesivos.



**Figura 21. Dendrograma de clasificación de los equipos. La línea vertical trazada en el medio del eje de abscisas permite identificar los grupos formados, que se ubicaron a la izquierda de la misma**

**Figure 21. Dendrogram of equipments classification. The vertical line drawn in the middle of the abscissa axis allow to identify the formed groups, which were located to the left of it**

El coeficiente de correlación cofenética dio un valor de 0,73, por lo que se consideró aceptable el ACL. De esta forma, los equipos quedaron reunidos en ocho grupos (Tabla 40).

**Tabla 40. Grupos conformados a partir del ACL**  
**Table 40. Formed groups from ACL**

<b>Grupo</b>	<b>Nombre de losequipos</b>	<b>Cantidad de equipos</b>	<b>% respecto al total</b>
1	1, 17	2	5,41
2	2, 5, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 19, 23, 24, 26, 27	13	35,14
3	3, 14	2	5,41
4	4, 6, 8, 11, 16, 18, 20, 22, 25	9	24,32
5	28, 29, 30, 32, 33, 35, 36	7	18,92
6	37	1	2,70
7	21	1	2,70
8	31, 34	2	5,41
<b>TOTAL</b>		<b>37</b>	<b>100,00</b>

Los conglomerados 6 y 7 son entidades independientes, porque están conformados por un equipo cada uno.

Con el objeto de corroborar que los resultados del ACL fuesen satisfactorios, se revisaron minuciosamente los valores de las variables seleccionadas en cada equipo por grupo, aceptándose el resultado por considerarse que los grupos eran homogéneos dentro de los integrantes y existían diferencias entre grupos. A modo de resumen, se presentan los valores promedios de los grupos correspondientes a las 12 variables utilizadas en el ACP (Tabla 41).

**Tabla 41. Valores promedio de los grupos para las variables seleccionadas en el ACP.**

**Table 41. Average values of groups for the selected variables in ACP**

Variable/Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Perc<sub>acum</sub> anual</b>	12,96	38,89	42,87	0,17	34,30	0,00	194,56	118,08
<b>CU<sub>c</sub></b>	76,01	90,51	93,72	89,64	82,45	86,47	87,31	63,97
<b><math>\Delta_{hn}</math></b>	162,75	-1,81	66,29	-22,11	11,39	-59,30	82,90	133,76
<b>Superficie</b>	36,50	17,18	49,00	20,13	12,33	20,00	26,00	66,50
<b>CU<sub>h</sub></b>	99,00	93,40	97,06	93,80	91,11	88,67	93,49	98,61
<b>CV<sub>e</sub></b>	0,18	0,06	0,06	0,08	0,10	0,04	0,10	0,24
<b><math>\Delta_{Ip}</math></b>	3,66	-0,75	23,36	-24,31	-6,31	-44,58	32,00	1,68
<b>Edad gotero</b>	21,50	3,00	5,50	2,89	3,00	2,00	8,00	17,50
<b><math>\Delta_{Lám}</math> anual</b>	34,27	45,88	54,92	-24,30	54,20	-36,29	244,84	267,65
<b>Déf<sub>acum</sub> anual</b>	23,94	4,62	0,00	92,28	20,52	105,04	0,00	0,00
<b>Tx suelo 0-40</b>	100,00	112,92	124,00	120,44	99,00	124,00	84,00	102,00
<b>Cantidad de reservorios</b>	1,00	0,77	0,50	0,78	0,50	1,00	1,00	1,00

La característica distintiva del **grupo 1** fue la elevada presión promedio de trabajo de los emisores ( $\Delta_{hn}$ ), muy por encima del valor de diseño. Sin embargo, esto influyó poco sobre la intensidad pluviométrica ( $I_p$ ) promedio porque los emisores eran autocompensantes. Los goteros tenían un tiempo de servicio que duplicaba su vida útil, esto afectó la uniformidad de los emisores, ya que los valores encontrados eran casi inaceptables. En el equipo 1 de este grupo, se observó que los caudales de los goteros disminuían hacia el final del lateral. Esto puede deberse a que cuando los emisores alcanzan su vida útil, se vencen primero los elastómeros de los goteros del primer tercio de la hilera, generando que los emisores correspondientes eroguen un elevado caudal y prácticamente no llegue caudal al final de la hilera (Schilardi, 2016, comunicación personal). En cambio, en el equipo 17, la variación de caudal no dependió de la ubicación del emisor en la hilera. Otro rasgo sobresaliente fue que la uniformidad de presiones fue “Excelente” ( $CU_h$ ), pero no se correspondió con la uniformidad de caudales (desempeño “Regular”), justamente por la influencia de la uniformidad de emisores. Por último, en los equipos de este grupo se aplicó lámina anual de agua mayor que la necesaria, pero, en los meses de máxima demanda, se produjo déficit hídrico.

El **grupo 2** se caracterizó por presentar una uniformidad de caudales “Excelente”, una presión de trabajo adecuada (muy cercana a la de diseño), pero, sin embargo, la programación de riego fue deficiente porque se produjeron considerables pérdidas de agua por percolación profunda. Los equipos de este grupo estaban recientemente instalados y contaban con emisores no autocompensantes, por lo que la adecuada presión de trabajo se correspondió con un caudal de emisor acorde al valor de diseño. Asimismo,  $CU_h$  y  $CV_e$  fueron “Excelentes”. Si bien la lámina anual aplicada fue superior a la necesaria, se produjo déficit hídrico (de baja magnitud) en algunos momentos del ciclo.

El **grupo 3** se identificó con una uniformidad de caudales “Excelente” (valor más alto), una elevada presión de trabajo de emisores por encima del valor diseñado y considerables pérdidas de agua por percolación profunda. Al igual que el grupo 2, la uniformidad de presiones y emisores fueron “Excelentes”. Asimismo, el alto valor de presión de gotero generó un caudal real de gotero superior al de diseño. En este agrupamiento, la lámina anual aplicada fue superior a la necesaria y en ningún momento se produjo déficit hídrico.

El **grupo 4** tuvo un valor de uniformidad de caudales y de emisores “Buenos”. En cambio, la uniformidad de presiones fue “Excelente”. La presión de trabajo fue inferior a la de diseño, que ocasionó que  $I_p$  disminuyera considerablemente respecto a la planificada. Además, la lámina anual fue inferior a la necesaria, no hubo pérdidas por percolación profunda y se produjo déficit hídrico muy elevado.

El **grupo 5** se caracterizó principalmente por una mala distribución de la lámina de riego en el tiempo, porque se produjeron pérdidas por percolación profunda y déficits hídricos, en diferentes momentos del año, mientras que la lámina anual aplicada fue superior a la lámina necesaria. Por otro lado, la presión de trabajo de goteros fue variable entre los equipos, ya que algunos trabajaban por encima y otros, por debajo. Por último, las uniformidades de caudales y emisores fueron sólo “Buenas” y la uniformidad de presiones fue “Excelente”. Un rasgo común fue el corto tiempo de servicio de los emisores evaluados (equipos recientemente instalados).

El **grupo 6** se identificó con un solo equipo cuyas características destacadas fueron la reducida presión de trabajo de gotero que ocasionó una  $I_p$  muy baja, la lámina anual aplicada fue notablemente inferior a la necesaria por el cultivo y se produjo déficit hídrico pronunciado. Asociado a esto, no se produjeron pérdidas de agua por percolación profunda. La causa de esta situación fue la presencia de una bomba subdimensionada, porque la relación entre potencia instalada y superficie regada fue 0,75 HP/ha, cuando lo recomendable es 1,0 a 1,5 HP/ha (Schilardi, 2015). Asimismo, las uniformidades de caudales, presiones y emisores fueron clasificadas como “Buenas”.

El **grupo 7** estuvo conformado por un equipo cuyo atributo sobresaliente fue las enormes pérdidas de agua por percolación profunda. Esto estuvo acompañado de una lámina anual aplicada muy superior a la necesaria y ausencia de déficit hídrico. La variedad de vid cultivada era para consumo en fresco, lo que puede explicar el excesivo volumen de riego aplicado porque el calibre de la baya resulta muy importante en el precio del producto y el productor consideraba que mientras mayor cantidad de agua aplicaba, mayor calibre obtendría, pero no consideraba que el suelo era somero por la presencia de gravas y gravillas, a partir de 60 cm de profundidad. Otra característica evidente fue la elevada presión de trabajo que incrementó notablemente la  $I_p$  (gotero no autocompensante).

El **grupo 8** se destacó por presentar la menor uniformidad de caudales de todos los grupos, considerada “Pobre”. A pesar de que la presión de trabajo de los emisores fue muy superior a la diseñada, no se incrementó el caudal de los mismos por dos razones: los goteros eran autocompensantes y se encontraban parcialmente obstruidos. Ambas causas pueden haber compensado el exceso de presión. El tiempo de servicio de los emisores excedía su vida útil, tal cual ocurrió en el grupo 1. La edad de los goteros y el nivel de obturación encontrado determinaron que el  $CV_e$  sea “Inaceptable”. También, este grupo se caracterizó por presentar lámina anual aplicada superior a la necesaria, elevadas pérdidas de agua por percolación profunda y ausencia de déficit hídrico. El único punto favorable fue la “Excelente” uniformidad de presiones.



Los equipos de riego de un mismo grupo se ubican en diferentes departamentos de la zona de estudio, es decir, no se produjo un agrupamiento de equipos por ubicación geográfica, es decir, la ubicación no tuvo influencia sobre la conformación de los grupos.

A partir de las características de los grupos formados, se efectuó una clasificación de los equipos en función del desempeño integral de los mismos, que se presenta a continuación:

Posición n° 1: **Riego Excelente.** Ningún equipo evaluado se consideró que califica con este desempeño, porque tenían alguna falencia en la uniformidad de distribución, programación y/o mantenimiento del equipo de riego.

Posición n° 2: **Riego Muy Bueno.** Correspondió al **Grupo 2.** Para mejorar y convertirse en desempeño “Excelente”, se debería ajustar la lámina de riego en función de la necesidad hídrica del cultivo y del tipo de suelo, para evitar pérdidas de agua por percolación profunda (.).

Posición n° 3: **Riego Bueno.** Se le asignó al **Grupo 3.** En este caso, para incrementar la eficiencia de riego, se debe regular la presión de ingreso a las subunidades porque los goteros trabajaban a valores elevados que generaban un incremento de  $I_p$ . Además, correspondería ajustar la programación de riego, para reducir las pérdidas por percolación profunda.

Posición n° 4: **Riego Regular.** Se consideró en esta clasificación al **Grupo 4.** En este grupo, las medidas a efectuar para mejorar el riego son similares a las del grupo anterior (riego Bueno), sin embargo, se consideró a este conjunto de equipos de inferior performance, por la magnitud de las fallas, ya que el déficit hídrico fue muy alto y ello puede generar un mayor perjuicio al cultivo (comparado con el exceso por percolación profunda del grupo anterior) y, además, la uniformidad de caudales y emisores fueron inferiores al grupo 3.

Posición n° 5: **Riego Pobre**. Se consideró dentro de esta clasificación a los **Grupos 5, 6 y 7**. Estos grupos se incluyeron juntos porque tienen características similares. Tenían valores de  $CU_c$  “Buenos” y  $CV_e$  “Muy Buenos”, pero factibles de incrementar si se mejoran las labores de mantenimiento (limpieza de filtros, limpieza física y química), que eviten la obturación de emisores. Se destaca que los equipos tenían emisores nuevos (sólo uno poseía goteros no autocompensantes) y, si se efectuara un buen mantenimiento, se podrían utilizar por un tiempo prolongado con un funcionamiento satisfactorio.

Un punto de atención fueron los valores de  $\Delta_{hn}$  encontrados, que indican que debe corregirse la presión de ingreso a la subunidad porque tuvo una gran influencia sobre el valor de  $\Delta_{Ip}$ . En dos grupos (5 y 7) hubo exceso (corregir mediante regulación de presión en las válvulas de paso) y en el Grupo 6, la presión fue insuficiente y se debe inspeccionar la presión generada en cabezal (revisar bomba y filtros).

En los tres grupos bajo esta clasificación hubo un gran desfasaje entre lámina aplicada y requerida por el cultivo, que generó elevada percolación profunda (Grupos 5 y especialmente 7) y acentuado déficit hídrico (Grupo 6). Se recomienda ajustar el riego al consumo del cultivo y tipo de suelo.

Posición n° 6: **Riego Inaceptable**. Se les atribuyó este nivel de clasificación a los **Grupos 1 y 8**, ya que en los tres indicadores principales ( $Perc_{acum\ anual}$ ,  $CU_c$  y  $\Delta_{hn}$ ), los valores encontrados fueron muy deficientes. La uniformidad de emisores fue “Inaceptable” en el grupo 8 y “Pobre” en el grupo 1. No obstante, la uniformidad de presiones fue extremadamente elevada (“Excelente”). Esto da un indicio que la falta de uniformidad de los emisores ocasionó una baja uniformidad de caudales. En todos los casos, los emisores fueron autocompensantes, con un tiempo de servicio superior a su vida útil (promedio 19,5 años), sumado a la presencia de numerosos goteros, parcial y totalmente obturados. De ello, se desprende que, para mejorar el desempeño, se debe iniciar un plan de reemplazo de emisores y mejorar el sistema de filtrado que ocasionó el taponamiento de los emisores. Además, se recomienda regular la presión de válvulas de ingreso a cada subunidad porque, aunque se siga utilizando goteros autocompensantes, el exceso de

presión genera que los laterales se zafen de las uniones a la tubería terciaria o de uniones de dos partes de lateral, generando fugas de agua y reducción generalizada de presión. Por último, tanto en el grupo 1 como en el 8 hubo pérdidas de agua por percolación profunda (en el grupo 8 fueron enormes). Además, en el grupo 1 hubo déficit hídrico, por lo que se debería corregir la programación de riego.

La edad del viñedo no estuvo relacionada con el desempeño de los equipos; en los viñedos jóvenes, tanto los viñedos “nuevos en formación” (NEF) como los “nuevos primera producción” (NPP) calificaron desde “Muy Bueno” a “Pobre”, mientras que en los viñedos “adultos en producción” (AEP), predominaron los equipos con desempeño “Muy Bueno” (35,5%) y con desempeño “Regular” y “Pobre” (22,6% cada uno).

Las Tablas 42, 43 y 44 muestran los resultados de la utilización de modelos lineales mixtos para analizar los resultados del agrupamiento.

**Tabla 42. Análisis de la varianza para la variable  $CU_c$**   
**Table 42. Variance analysis for  $CU_c$  variable**

Clasificación	Medias	N° de equipos	% respecto al total
Bueno	93,72 <sup>a</sup> ± 1,64	2	5,41
Muy Bueno	90,51 <sup>a</sup> ± 0,94	13	35,14
Regular	89,65 <sup>ab</sup> ± 1,95	9	24,32
Pobre	83,56 <sup>bc</sup> ± 2,64	9	24,32
Inaceptable	69,99 <sup>c</sup> ± 7,13	4	10,81

**Tabla 43. Análisis de la varianza para la variable  $\Delta_{hn}$**   
**Table 43. Variance analysis for  $\Delta_{hn}$  variable**

Clasificación	Medias	N° de equipos	% respecto al total
Inaceptable	148,26 <sup>a</sup> ± 16,88	4	10,81
Bueno	66,3 <sup>b</sup> ± 11,65	2	5,41
Muy Bueno	-1,81 <sup>c</sup> ± 5,01	13	35,14
Pobre	-3,15 <sup>cd</sup> ± 17,00	9	24,32
Regular	-22,11 <sup>d</sup> ± 7,66	9	24,32

**Tabla 44. Análisis de la varianza para la variable Edad gotero**  
**Table 44. Variance analysis for age emitter variable**

Clasificación	Medias	Nº de equipos	% respecto al total
Inaceptable	21,00 <sup>a</sup> ± 1,00	4	10,81
Bueno	5,50 <sup>b</sup> ± 1,23	2	5,41
Pobre	3,67 <sup>b</sup> ± 0,58	9	24,32
Muy Bueno	3,00 <sup>b</sup> ± 0,48	13	35,14
Regular	2,89 <sup>b</sup> ± 0,58	9	24,32

Las tablas presentadas muestran que el agrupamiento realizado tiene respaldo estadístico. La Tabla 42 (error de muestreo = 3,47%) indica que hay diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la variable  $CU_c$ , entre los desempeños Bueno y Muy Bueno, y los desempeños “Pobre” e “Inaceptable”. La tabla 43 (error de muestreo = 19,14%) revela que el desempeño “Muy Bueno” se separa estadísticamente ( $p < 0,05$ ) del desempeño “Inaceptable”, del desempeño “Bueno” y del desempeño “Regular” (variable  $\Delta_{hm}$ ) y presenta el valor más cercano a cero. Por último, la Tabla 44 (error de muestreo = 1,76%) establece que el desempeño “Inaceptable” se diferencia estadísticamente ( $p < 0,05$ ) del resto de los desempeños. Esto concuerda con lo expuesto *supra* sobre que los emisores de mayor tiempo de funcionamiento eran autocompensantes, pero habían cumplido su vida útil y se encontraban parcial o totalmente obturados, tal cual lo observado por Bohórquez y Ruiz (2011) y Schilardi *et al.* (2012). Asimismo, los equipos con desempeño “Excelente” tienen emisores de poco tiempo de funcionamiento.

#### 4. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, se ponen a consideración las hipótesis planteadas en el presente trabajo:

**Hipótesis 1.** Se acepta totalmente porque los valores promedios de  $CU_c$  y  $CU_s$  fueron inferiores al valor de referencia (90%). Se debe aclarar que se consideró la válvula crítica (peores condiciones hidráulicas) y no la válvula en la situación intermedia, hecho que puede influir sobre el resultado de los indicadores mencionados.

**Hipótesis 2.** Se acepta totalmente porque las láminas de riego aplicadas se efectuaron sin considerar las características edafoclimáticas, hídricas y de cultivo. Esto se puede evidenciar en que los valores promedios de  $Perc_{acum\ anual}$  y  $Déf_{acum\ anual}$  fueron distintos de cero.

**Hipótesis 3.** Se acepta totalmente porque el valor promedio de  $\Delta P_{filtro}$  fue mayor que el máximo valor aceptable. Además, el valor promedio de  $\Delta h_n$  fue distinto de cero y la edad promedio de los emisores autocompensantes fue mayor de 10 años.

Se detectaron numerosos factores que influyeron sobre el desempeño de riego en el área de estudio. Se presentan a continuación, en orden de importancia:

1. Fallas en la programación de riego por desconocimiento de las necesidades hídricas del cultivo y de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, esto se refiere a las relaciones agua – suelo – planta – atmósfera. Como consecuencia, se produjeron pérdidas de agua por percolación profunda y/o déficit hídrico. Relacionado a esto, se encontró que la programación de riego se realizaba por tiempo, sin realizar un control volumétrico del riego (lecturas periódicas del caudalímetro). Tampoco se respaldaban las decisiones de riego con mediciones de humedad de suelo ni de estado hídrico de la planta.

2. Elevadas pérdidas de carga en filtros debido a la falta de inspección y limpieza de filtros. Esto generó presiones (aguas abajo), inferiores a las de diseño y obturación de emisores (incremento de  $CV_e$ ). La presencia de retrolavado no aseguró una adecuada limpieza porque no estaba bien ajustada la frecuencia y tiempo de limpieza por filtro. Además, se detectaron fallas en la automatización del mismo. Asimismo, el retrolavado se regulaba por tiempo, mientras que lo correcto hubiera sido por diferencia de presión.
3. Falta de regulación de presión en las válvulas de paso de cada subunidad. Esto genera que la presión de trabajo del emisor sea superior de la de diseño, repercutiendo en la descarga del mismo, en especial, en goteros no autocompensantes (se encontró elevada correlación lineal entre  $\Delta_{hn}$  y  $\Delta_{Ip}$ ).
4. Falta de un correcto mantenimiento (limpiezas física y química) de tuberías y emisores. Las labores se realizan, en algunos casos, pero no se ajustan a las recomendaciones del fabricante.
5. Ausencia de planilla de registros de láminas aplicadas, limpieza de filtros, limpieza de reservorio, limpieza física y química de tuberías y emisores. Esto impide calcular el volumen hídrico aplicado y el consumo eléctrico. Además, no se tiene control de la eficacia de las labores de mantenimiento ni de la cantidad de producto utilizado.
6. En equipos antiguos, se observó goteros autocompensantes y material filtrante en funcionamiento cuyo tiempo de uso superaba al recomendado. Esto influye en la uniformidad de caudales y emisores y en la presión de trabajo de los mismos, ocasionando desempeños inferiores a los recomendados.
7. Equipos recientemente instalados con un adecuado trabajo de los filtros, pero con baja presión a la salida del cabezal. En este caso, se observaron potencias de bombeo subdimensionadas y riego no acorde a lo especificado en el diseño (riego de mayor superficie que la operación definida). En este trabajo, no se evaluó el dimensionamiento de filtros ni de tuberías, que pueden ser causas de pérdidas de carga inaceptables.

8. Ausencia del plano diseño del equipo de riego. La persona a cargo del riego desconoce que el plano de riego ofrece información necesaria para la operación, control y mantenimiento de los equipos de riego.

Se observó que la mayoría de las subunidades evalaudas tenían valores de  $CU_h$  adecuado, que hace suponer que los diseños hidráulicos de las mismas eran correctos. Sin embargo, lo mencionado no se correspondió con la uniformidad de caudales. Evidentemente, hubo otros factores, como la uniformidad de emisores, que redujeron  $CU_c$ .

No hubo relación entre desempeño de riego y ubicación geográfica, ya que equipos de distintos departamentos tuvieron el mismo desempeño y en ningún departamento se destacó un nivel de desempeño en particular, es decir, no se encontraron problemas zonales específicos.

El pH promedio del suelo fue adecuado para el cultivo, aunque ligeramente alcalino, lo que puede ocasionar baja disponibilidad de algunos nutrientes como Fósforo (P), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Boro (B) y Zinc (Zn). Esto se podría corregir modificando el pH del suelo y/o efectuando aplicaciones foliares en el caso de los micronutrientes (Pizarro, 1996).

En general, hubo predominio de riegos excesivos, que ocasionaron pérdidas de agua por percolación profunda. Esto, sumado a la buena calidad del agua, generó que la salinidad promedio del suelo dentro del bulbo húmedo sea baja y propicia para el cultivo de Vid. Sin embargo, en el medio del interfilas, el suelo fue medianamente salino, constituyendo un riesgo potencial si llueve e ingresan sales al bulbo húmedo. Para evitar esto, se podría colocar periódicamente el lateral de riego en el medio del interfilas y aplicar una lámina de riego elevada. Otra opción sería lavar a través de riegos por inundación, sistematizando el terreno en bateas de lixiviación.

Se observó cierta asociación entre el volumen de agua aplicado y el destino de producción, ya que en los equipos con valores elevados de  $Perc_{acum\ anual}$  predominó el destino de

producción consumo en fresco, mientras que los equipos con elevados valores de  $Déf_{acum}$  anual destinaban sus frutos para pasa o vino comunes y mostos.

A partir del ACP, se concluye que percolación acumulada anual ( $Perc_{acum}$ ), coeficiente de uniformidad de caudales ( $CU_c$ ) y variación de la presión real del emisor respecto a la presión de diseño ( $\Delta_{hn}$ ) fueron las variables más representativas de la variabilidad conjunta de los datos para calificar el desempeño de riego por goteo en el área de estudio.

Sólo el 35% de los equipos tuvo un desempeño integral “Muy Bueno”, mientras que en ningún equipo fue “Excelente”. Esto pone de manifiesto que hay mucho por mejorar en relación a uniformidad, programación y mantenimiento de riego por goteo.

Los equipos evaluados se encuentran lejos del máximo aprovechamiento de los recursos puestos en juego (agua, suelo, energía eléctrica, material genético, agroquímicos y mano de obra). Por fallas en la uniformidad de distribución y en la programación de riego, se pierde el 44% del agua aplicada. Esto indica que la fracción de agua aprovechada por el cultivo es baja para el método de riego estudiado y se asemeja a la calculada en riego superficial por Morábito (2003), que obtuvo una  $E_{Ap}$  promedio de 62% para cultivos frutícolas en la cuenca del Río Mendoza y por Schilardi (2010), con una  $E_{Ap}$  promedio de 49% para la cuenca del Río Tunuyán Superior. Si se ajustara la programación de riego al requerimiento hídrico del cultivo y el tipo de suelo, el ahorro potencial de energía eléctrica sería del 35%. Además, no se está considerando que el 76% de los equipos regaba durante la banda horaria “punta”. Si esto se evitara, habría un ahorro extra, no por consumo, si no por reducción de costo de tarifa eléctrica. La implementación de mejoras en los principales problemas detectados influiría positivamente en los indicadores estudiados y, probablemente, en la rentabilidad de la actividad agrícola.

Los resultados muestran que el desempeño de riego por goteo en viñedos debe ser evaluado desde diferentes ópticas (programación, operación, uniformidad y mantenimiento), ya que la mera evaluación clásica de uniformidad no es suficiente para calificar el mismo.



Por último, se propone la continuidad de trabajo a través de las siguientes líneas:

- Capacitación a productores en programación de riego y mantenimiento, con énfasis en el uso eficiente de la energía eléctrica.
- Evaluación de productos y dosis de sustancias limpiadoras en reservorios, tuberías y emisores. Capacitación a productores en función de los resultados obtenidos. Además, se debe incluir otras tareas de mantenimiento, como limpieza física de reservorios, filtros y emisores y regulación de presión de válvulas.
- Desarrollo de un software para asesoramiento *on line* a regantes en diseño agronómico, programación y mantenimiento de equipos de riego por goteo.
- Determinación del  $CV_m$  y ecuación de descarga de los emisores utilizados en el área de estudio.
- Evaluación de la eficiencia de uso de la energía eléctrica en riego por goteo.
- Evaluación del método de riego en otros cultivos importantes como Tomate para industria y Olivo.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

AJETE GIL, M.; BONET PÉREZ, C.; DUARTE DÍAZ, C.; VARGAS CRUZ, M. C. y PÉREZ GARCÍA, V. 2011. Criterios sobre la uniformidad de riego en cultivos protegidos de las provincias centrales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 20, No. 2, p. 47-50.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M., 2006. Crop evapotranspiration. guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage 56*. FAO, Rome.

ANDRIEU, J. 2016. La problemática del agua como recurso de uso común. Estudio de las prácticas de los regantes en 25 de mayo, San Juan. Tesis para optar al grado de Magister en Estudios Sociales Agrarios. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

ARAUJO, F.; WILLIAMS, L.; GRIMES, D. y MATTHEWS, M. 1994. A study comparative of young “Thompson Seedless” grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil distribution. *Scientia Horticulturae*. p: 235-249.

ASAE EP405.1. 2003. Design and Installation of Microirrigation Systems. St. Joseph. ASAE Standars Engineering Practices data: EP405, p900-905.

ASAE EP458. 1998. Field evaluation of microirrigation systems. St Joseph. ASAE Standars Engineering Practices data: EP458 p908-914

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. 1979. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper N° 29. Rome, Italy.

BAEZA CANO, R, CÁNOVAS FERNÁNDEZ G., CONTRERAS PARÍS J. I. 2012. Evaluación de productos desincrustantes para la limpieza de obturaciones biológicas y químicas en emisores de riego en agricultura ecológica. X Congreso SEAE. VI Encuentro Iberoamericano de Agroecología. Universidad Castilla-La Mancha, Albacete, España.

BALZARINI, M.; GONZALEZ L., TABLADA M., CASANOVES F., DIRIENZO J. A., ROBLEDO C. W. 2008. Manual del Usuario de InfoStat. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

BALZARINI, M. 2003. Aplicaciones del Análisis Estadístico Multivariado. Maestría en Estadística Aplicada. Apunte. Universidad Nacional de Córdoba.

BERNAL GARCÍA, J. J.; MARTÍNEZ MARÍA-DOLORES, S. M.; SÁNCHEZ GARCÍA, J. F. 2004. Modelización de los factores más importantes que caracterizan a un sitio en la red. XII Jornadas de ASEPUMA. 16 y 17 de septiembre de 2004. Murcia, España

BLIESNER, R. D. 1977. Field evaluation of trickle irrigation efficiency. Proceedings of the ASCE 1 &D Specialty Conference on Water Management for Irrigation and Drainage (pp 382-393), Reno, NY.

BOHÓRQUEZ, J. M. y RUIZ, N. 2011. Evaluaciones de riego localizado para conseguir un manejo uniforme y eficiente del agua. Junta de Andalucía, España.

BRAMARDI, S. 2007. Método de análisis multivariado. Curso de Postgrado: Análisis Multivariado. Apunte. Universidad Nacional del Litoral

BRALTS, V. F. y KESNER, C. D. 1983. Drip irrigation field uniformity estimation. Transactions of the ASAE Vol. 26, p. 1369-1374.

BRALTS, V. F. y EDWARDS, D. M. 1986. Field evaluation of drip irrigation submain units. Transactions of the ASAE Vol. 29 (6), p. 1659-1664.

BUENDÍA E., J.; PALACIOS V., E. Y CHAVEZ M., J. 2006. Importancia de la evaluación hidráulica en los sistemas de riego presurizados. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

BURT, C. M. e ISBELL. B. 2005. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. Transactions of the ASAE Vol. 48(6): 2115–2121

BURT, C. M. 2004. Rapid field evaluation of drip and microspray distribution uniformity. Irrigation Drain Syst. 18(4): 275-297

BURT, C. M.; CLEMMENS, A. J; STRELKOFF, T. S.; SOLOMON, K. H.; BLIESNER, R. D.; HARDY, L. A.; HOWELL, T. A.; MEMBERS, ASCE y EISENHAUER D. E.

1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123:6 (November 1, 1997), p 423-442.

BURT, C. M.; WALKER, R. E. y STYLES, S. W. 1985. *Irrigation System Evaluation Manual*. Department of Agricultural Engineering, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA.

CÁCERES, E. 2000. Uva de mesa. Cultivares aptas y tecnología de producción. EEA San Juan. Centro Regional Cuyo.

CACHUMA RESOURCE CONSERVATION DISTRICT. 1994. Final Report. Irrigation Water Management Program Santa Barbara and San Luis Obispo Counties. Cachuma RCD. Santa Maria, California.

CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. J. 1997. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. *Transactions of the ASAE* 40(4): p 1013-1020.

CARLESSO, R. 2010. Manejo del riego y asesoramiento al regante. 2° reunión internacional de riego. Manfredi, Córdoba. p 76-91.

CARMONA, F. 2014. Un ejemplo de ACP paso a paso. Departament d'Estadística. Apunte. Universidad de Barcelona, España.

CASTRO, T. 2000. Volumen de suelo mojado en uva. *La revista del riego, Agro Mundial*, N° 23.

CASTRO, T. 1997. Evaluación de sistema de riego localizado en uva de mesa. 1° Seminario de Actualización en Riego Presurizado.

CASTRO, T. y LIOTTA, M. 1986. Manejo del agua de riego en un área piloto. Departamento 25 de mayo. Período 1984-1985. [www.inta.gob.ar] [Consulta: 12 de agosto de 2016]

CEFOCCA. 2010. Atlas socioeconómico de la Provincia de San Juan. Centro de Fotogrametría, Cartografía y Catastro. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. San Juan. (Versión CD).

CLEMMENS, A. J.; SOLOMON, K. H. 1997. Estimation of global irrigation distribution uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 123(6): 454-461.

DAHLGREN, K. M. 1987. Estimating emission uniformity in drip irrigation. M. S. Thesis, Agricultural Engineering Department California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California.

DE KREIJ, C.; VAN DER BURG, A. M. M.; RUNIA W. T. 2003. Drip irrigation emitter clogging in Dutch greenhouses as affected by methane and organic acids. *Agricultural Water Management* 60. p 73–85

DE LA FUENTE FERNÁNDEZ, S. 2011. Análisis de conglomerados. Universidad Autónoma de Madrid. Apunte.

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA, GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN. 2016. [[www.hidraulica.sanjuan.gov.ar](http://www.hidraulica.sanjuan.gov.ar)] [Consulta: 25 de julio de 2016]

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA, GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN. 2007. Relevamiento Agrícola en la Provincia de San Juan. Ciclo 2006 – 2007.

DÍAZ CANIVILO, J. A. 2002. Determinación de la uniformidad de caudales y presiones en una instalación de riego por goteo. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Chile.

DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; DÍAZ, M. P.; ROBLEDO, C. W.; BALZARINI, M. G., 2008a. Estadísticas aplicadas a las ciencias agropecuarias. 7a ed. Editorial Brujas. 372 p.

DI RIENZO J. A., CASANOVES F., BALZARINI M. G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C. W. 2008b. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DOORENBOS, J. y KASSAM, A. 1979. Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje n° 33. 212p.

DOORENBOS, J. y PRUITT, W. O. 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, paper n° 24 (Rev.) FAO, Roma

FAO 2015. Estudio del potencial de ampliación del riego en Argentina. Buenos Aires, 2015.

FAO. 2013. Afrontar la escasez de agua - Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria Informe N° 38. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

FAO. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

FERNÁNDEZ GÓMEZ, R.; YRUELA MORILLO, M. del C.; MILLA, M.; GARCIA BERNAL, J. P. y OYONARTE GUTIERREZ, N. 2010. Manual de Riego para Agricultores. Módulo 4: Riego Localizado. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 154 p.

FERREYRA, R.; SELLÉS, G.; AHUMADA, R.; MALDONADO, P. y GIL, P. 2005. Manejo del riego localizado y fertirrigación. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 126. 56 p.

FERREYRA, R.; SELLÉS, G. y SELLÉS, I. 2001. Riego deficitario en uva de mesa. Estrategias de riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales. INIA Chile.

FIGUEROA GUERRA, N. N. 1994. Evaluación integral de un sistema de riego por goteo en el cultivo de fresa. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Riego y Drenaje. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

FONTELA, C.; MORÁBITO, J.; MAFFEI, J.; SALATINO, S.; MIRÁBILE, C.; MASTRANTONIO, L. 2009. Riego por goteo en Mendoza, Argentina: evaluación de la uniformidad del riego y del incremento de salinidad, sodicidad e iones cloruro en el suelo. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XLI. N° 1. Año 2009. p. 135-154.

GIL, J. A.; KHAN, L. y HERNÁNDEZ, R. 2002. Evaluación del comportamiento hidráulico de varios emisores importados para riego por goteo. Revista UDO Agrícola 2 (1). p 64-72.

GOLDBERG, D. 1974. Conceptos modernos de riego. Centro Regional de Ayuda Técnica. México. p 11-13.

GOOGLE, 2015. Imagen Landsat. [<http://earth.google.com>]; [Consulta: 15 de marzo de 2015 y 6 de junio de 2016].

GRASSI, C. J. 1998. Fundamentos del riego. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigaciones Ambiental y Territorial (CIDIAT) Mérida, Venezuela. 391p.

HANSON, B y MAY, D. 2011. Drip irrigation salinity management for row crops. Agriculture and Natural Resources. University of California. Publication 8447. 13p.

HANSON, B. y BENDIXEN, W. 1995. Drip irrigation controls soil salinity under row crops. California Agriculture, Volume 49, Number 4: p19-23.

IBM Corp. 2010. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 19.0. Armonk, NY: IBM Corp.

IDR. INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL. 2016. Impacto económico del incremento en las tarifas de energía eléctrica en el riego agrícola. [[www.idr.org.ar](http://www.idr.org.ar)] [Consulta: 15 de septiembre de 2016].

ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. 1962. Irrigation and practices. Chapter 7. John Wiley & Sons, Inc.

KELLER, M. 2010. The science of grapevines. Anatomy and Physiology. Elsevier Editorial.

KELLER, J. y KARMELI, D. 1974. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE17 (4): 678-684.

LIOTTA, M.; MIRANDA, O.; OLGUÍN PRINGLES, A. Y AGUILERA, J. J. 2010. Demanda hídrica y eficiencia de riego en los valles de Tulúm, Ullum y Zonda. Revista Ruralis, Año III, N° 12. ISSN 1668-5083.

MARTELLO, M.; BORTOLINI, L.; MORÁBITO, J. 2012. Uniformidad de distribución del riego por goteo en vid: su impacto sobre los índices de vegetación, la cantidad y calidad de la producción. Caso de estudio en Mendoza, Argentina. Jornadas de Riego y Fertirriego, Mendoza.

MARTÍN SANTA OLALLA MAÑAS, F.; DE JUAN VALERO, J.A. 1992. La programación de los riegos. En *Agronomía del riego* Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, p. 549-594

MARTÍNEZ, L. 2001. Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Centro Experimental Huasco (Vallenar). *Boletín INIA* N° 65, 76 p.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. 1978. *Farm irrigation System Evaluation: A guide for Management*. (271 p). Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, UT.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. 1973 y ALFARO, J. E. 1973. *Irrigation systems evaluation and improvement*. Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, UT.

MIRANDA, O. 2008. Factores que inciden en la elección de tecnología para riego en la agricultura argentina. IV Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

MIRANDA, O.; MEDINA, A. 2005. Adopción de riego localizado en las provincias de Mendoza y San Juan. *Revista RURALIS* N° 6, 15-17.

MIRANDA, O. 2002. El uso de agua subterránea para riego en los valles sanjuaninos. *Theomai*. Red de Estudios sobre Sociedad, Naturaleza y Desarrollo <http://theomai.unq.edu.ar/artmiranda002.htm>.

MORÁBITO, J. y SCHILARDI, C. 2011. Evaluación de desempeño en riego por superficie. Curso de postgrado: Diseño y evaluación de riego por superficie. Apunte. 59 pp. Universidad Nacional de Cuyo.

MORÁBITO J.; SALATINO, S.; MIRÁBILE, C. y GUILLÉN, D. 2006a. Riego por micro aspersión de nogal en chilecito (La Rioja - Argentina): determinación de eficiencia y estrategias de manejo (1era parte). *Colaboración Interamericana de materiales*.



MORÁBITO J.; SALATINO, S.; MIRÁBILE, C. y GUILLÉN, D. 2006b. Riego por micro aspersión de nogal en chilecito (La rioja - Argentina): determinación de eficiencia y estrategias de manejo (2da parte). Colaboración Interamericana de materiales.

MORÁBITO, J. 2003. Desempeño del riego por superficie en el área de riego del Río Mendoza. Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable. Tesis de maestría de Riego y Drenaje, Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

NAKAYAMA, E. S. Y BUCKS, D. A. 1981. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. Transactions of ASAE 24(1): 77-80.

NAKAYAMA, E. S.; BUCKS, D. A. Y CLEMMENS, A. I. 1979. Assessing trickle emitter application uniformity. ASAE Paper, pp. 78-2017.

NIJENSOHN, L. 1978. "Determinación de la textura de suelos por el método del Volumen de Sedimentación". Cátedra de Hidrología, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina

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.

NOVELLO, R.; LIOTTA, M; CARRIÓN, R. y ANDRIEU, J. 2014. Análisis de la inversión en riego presurizado en el cultivo de uva para mesa en los valles centrales de la provincia de San Juan. IV Simposio Internacional de Uva de mesa y Pasa. San Juan, Argentina.

NOVELLO, R.; ANDRIEU, J.; MIRANDA, O. y LIOTTA, M. 2012. Impacto sobre la demanda hídrica provincial por la utilización de riego por goteo en la viticultura de San Juan. VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

ORTEGA, J. F.; DE JUAN, J. A. y TARJUELO, J. M. 2005. Improving water management: The irrigation advisory service of Castilla-La Mancha (Spain). Agricultural Water Management 77 (2005), p37-58.

OSORIO ULLOA., A. y CÉSPED R., R. 2000. Efecto de métodos de riego localizado en la salinidad del perfil de suelo en vid de mesa.: conductividad eléctrica, sodio, cloro y boro en distintos puntos del perfil. Agricultura Técnica, vol.60, p.178-194.

PAZ, M. E.; MENNA, Z.; MEISSL, A.y ASENJO, M. J. 2010. Relevamiento de áreas bajo riego presurizado en la provincia de San Juan y confección de un SIG. V Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

PEREIRA, B. R. 2000. Clima de la provincia de San Juan. Caracterización general y estudios temáticos por provincia – Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina. [[www.cricyt.edu.ar](http://www.cricyt.edu.ar)][Consulta: 5 de julio de 2016].

PEREIRA, L. S. 1999. Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion. Agricultural Water Management 40 (1999), p153-169.

PIZARRO, F. 1996. Riego localizado de alta frecuencia (RLAF). Goteo, Microaspersión y Exudación. Ediciones Mundi-Prensa. 469 p.

PRIETO, D. 2008. Riego con aguas salinas y aguas de drenaje, control de impacto de salinidad. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad". La Antigua, Guatemala.

PUGLIESE, H.; ALONSO, M. y ESPÍNDOLA, R. 2014. Gestión integrada del agua de riego. 25 de mayo, Valle de Tulum, provincia de San Juan. Estación Experimental Agropecuaria San Juan (EEA San Juan). Agencia de Extensión Rural Caucete. Programa Federal de Desarrollo Rural. 141 p.

QINGSONG, W; GANG, L.; JIE, L.; YUSHENGA, S.; WENCHUB, D. Y SHUHUAI, H. 2008. Evaluations of emitter clogging in drip irrigation by two-phase flow simulations and laboratory experiments. Computers and electronics in agriculture 63. p 294–303.

RODRIGOLÓPEZ, J.; HERNANDEZ ABRIEU, J; PEREZ REGALADO, A. y GONZALEZ HERNANDEZ, J. 1992. Riego localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Centro Nacional de Tecnología de los Regadíos, España. 405 p.

SAHIN, U.; ANAPALI, O.; DONMEZ, M. F. y SAHIN, F. 2005. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. *Journal of Environmental Management* 76. p 338–341.

SCHILARDI, C. 2015. Introducción al riego por goteo. Maestría en Viticultura y Enología. Facultad de Ciencias Agrarias. Luján de Cuyo, Mendoza.

SCHILARDI, C.; CIANCAGLINI, N. C.; MENEGHELLI, M. y CÚNEO, G. 2012. Análisis integral y optimización del desempeño de equipos de riego por goteo en Mendoza-San Juan, Argentina. VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

SCHILARDI, C. 2010. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del Río Tunuyán superior, Mendoza, Argentina. Tesis de maestría de Riego y Drenaje, Facultad de Ciencia Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.

SELLÉS, G.; FERREYRA, R., CONTRERAS, G.; AHUMADA, R.; VALENZUELA, J. y BRAVO, R. 2006. Manejo de riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson Seedless cultivada en suelos de textura fina. III Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza, Argentina.

SELLÉS, G.; FERREYRA, R. 2005. Criterios para controlar el riego en uva de mesa. Seminario Internacional Manejo de riego y suelos en vides para vino y mesa. Santiago de Chile, Chile.

SELLÉS, G.; FERREYRA, R., AHUMADA, B.; CONTRERAS, G.; RUIZ, R. 2003. Efecto del área de suelo mojado sobre la recuperación de parronales decaídos en el Valle de Aconcagua. [www.uvademesa.cl](http://www.uvademesa.cl). [Consulta: 01/09/2016].

SOLOMON, K. 1988. A new way to view sprinkler patterns California, U.S. [<http://www.wateright.org/site2/publications/880802.asp>]; [Consulta: 30 de agosto de 2016]

SOLOMON, K. H. 1985. Global uniformity of trickle irrigation systems. *Transactions of the ASAE* 28 (4), p1151-1158.

SOLOMON, K. H. y KELLER, J. 1978. Trickle irrigation uniformity and efficiency. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE 104(IR3): 293-306.

STEDUTO, P; HSIAO. T. C.; FERERES, E; RAES, D. 2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage 66. FAO, Rome.

STYLES, S. W.; BURT, C. M.; GAUDI, F. y ORVIS, S. 2008. Accuracy of global microirrigation distribution uniformity estimates. California Polytechnic State University (Cal Poly) San Luis Obispo, California.

SUÁREZ, M. 2004. Interaprendizaje Holístico de Matemática, Ed. Gráficas Planeta, Ibarra, Ecuador.

TARJUELO MARTÍN-BENITO, J. M. 1992. La aplicación del agua de riego y su evaluación. En Agronomía del riego. Editores MARTÍN SANTA OLALLA MAÑAS, F.; DE JUAN VALERO. Ed. Mundi-Prensa, p. 610-667

TURÉGANO PASTOR, J. V. 2014. Modelización del comportamiento hidráulico de una subunidad de riego localizado. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

TORRES, A.; CAMBERATO, D.; LÓPEZ. R. 2010. El control de algas en las lagunas de riego. Purdue Extension HO-247-SW (Ficha técnica). Departamento de Horticultura y Arquitectura de Áreas Verdes, Purdue University, Indiana, USA.

VALLONE, R. y NIJENSOHN, L. 2002. Guía de orientación para regantes de zonas áridas. Con énfasis en el manejo de aguas salinas. Universidad Nacional de Cuyo.

## 6. ANEXO

### Encuesta para evaluación de equipo de riego por goteo

EVALUADORES:

#### 1. DATOS GENERALES

Finca: Propietario: Empresa:

Fecha: Regador: Asesor:

Ubicación: Localidad:

Departamento:

Coordenadas: Latitud: Longitud:

Fuente de agua: Turno de riego SI – NO Pozo SI – NO N°

Nivel estático: m Nivel dinámico: m Pozo: m Bomba: m

Observaciones: \_\_\_\_\_

Sup. Total: ha Sup. c/ derecho riego: ha Sup. Regada: ha Sup. con goteo: ha

Cultivo/s:

Año de implantación de cultivo/s:

Año de instalación del equipo de riego: Edad del cabezal: Edad laterales:

Empresa instaladora del equipo:

N Turnos - secuencias: Válvulas por secuencia:

Diseño original: Bloques – Mosaico

Etapa fenológica	Brotación	Floración	Envero	Cosecha	Caída de hojas
Fecha					

Rendimiento	Vigor	Malezas	Observaciones

## 2. EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO

Forma de control de riego: Tiempo - Volumen

UE (diseño) =            %

Criterios para estimar las necesidades de agua:

Mes	Tiempo de riego	Intervalo de riego	TTR mensual
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			
Julio			
Agosto			
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			
TOTAL		TOTAL	

Fecha de inicio de riego:

Fecha de fin de riego:

Agotamiento de humedad admisible:            %

Profundidad y ancho de bulbo húmedo:

Monitoreo humedad de suelo: SI – NO Tipo: Frecuencia:

Sensores: SI – NO Tipo: \_\_\_\_\_ Cantidad: \_\_\_\_\_ Frecuencia: \_\_\_\_\_

Monitoreo de contenido salino: SI – NO Cada cuanto:

Lavado de suelos: SI – NO (riego – laterales – aspersores) Intervalo: \_\_\_\_\_ años

Mantenimiento con ácidos: SI – NO Cada cuanto: Producto: Dosis:

Mantenimiento con cloro: SI – NO Cada cuanto: Dosis:

Lavado de tuberías y laterales: SI – NO Cada cuanto:

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

---

### 3. CABEZAL DE RIEGO

Lat: \_\_\_\_\_ Long: \_\_\_\_\_

**Prefiltrado:** SI – NO Dispositivo: \_\_\_\_\_

**Reservorio:** SI NO Capacidad: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Tipo impermeabilización: \_\_\_\_\_

Se tapa el reservorio: SI – NO Adición de CuSO<sub>4</sub>: SI – NO Dosis: \_\_\_\_\_

**Tipo de bomba:** \_\_\_\_\_ Succión: Negativa - Positiva

Potencia bomba (HP): \_\_\_\_\_ Altura manométrica: \_\_\_\_\_ m RPM: \_\_\_\_\_

Caudal: \_\_\_\_\_ Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_

Diámetro de entrada: \_\_\_\_\_ mm Diámetro de salida: \_\_\_\_\_ mm

**Automatismos** funcionando: SI–NO Tipo de sistema, componentes y estado: \_\_\_\_\_

**Válvula de alivio:** SI – NO Presión de alivio: \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>

**Caudalímetro:** SI – NO Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_

**Válvula reguladora y sostenedora de presión:** SI–NO Presión regulación: kg/cm<sup>2</sup>

**Sistema de filtrado principal:**

Tipo: \_\_\_\_\_ N° equipos: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_

Marca: \_\_\_\_\_ Caudal de filtrado: \_\_\_\_\_

**Retrolavado** automático: SI – NO Tiempo – volumen Cada: \_\_\_\_\_

Frecuencia limpieza: \_\_\_\_\_ Estado general: \_\_\_\_\_

Presión entrada: \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup> Presión de salida: \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>

Frecuencia de cambio: \_\_\_\_\_ años

**Sistema de filtrado secundario:**

Tipo: \_\_\_\_\_ N° equipos:      Modelo:

Marca: \_\_\_\_\_ Caudal de filtrado: \_\_\_\_\_

**Retrolavado** automático: SI – NO Tiempo – volumen

Frecuencia limpieza:                      Estado general:

Presión entrada:      kg/cm<sup>2</sup>      Presión de salida:      kg/cm<sup>2</sup>

Frecuencia de cambio: \_\_\_\_\_ años

Observaciones:

---

---

**Sistema de inyección de fertilizantes:**

Tipo:    Caudal de Inyección:                      L/h

N° Tanques:      Capacidad Tanques:                      L

Frecuencia limpieza:    Estado general:

Presión entrada \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup> Presión salida \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup> Ubicación:

Antes - después filtro

Estado general inyectores y tanques de abono:

Valv aire: SI - NO:      Cantidad:                      Ubicación:

**Tablero eléctrico:**

Voltaje:      V      Amperaje:                      A

Presión salida bomba:                      kg/cm<sup>2</sup>      Presión salida de cabezal:                      kg/cm<sup>2</sup>

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

---



#### 4. EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN

Válvula	Marca	Diám (pg)	Tipo	Regulador presión	Calibración	Frecuencia	Ll uniforme	Dl (mm)	Tipo purga

Válvula	Orificio presión	Qv (m <sup>3</sup> /h)	P (m)	Marca y modelo gotero	Inserción emisor	Exponente x (Flujo)	Galit

Vál	Se (m)	Sp (m)	Sh (m)	Nep	Lt (m)	Nlt	Ll (m)	Nel	Edad lat	Variedad	Sup (ha)

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

SUBUNIDAD (Terciaria con distribución bilateral)

Tiempo de medición:    seg        Lat:                            Long:

Válvula:

Cuadro de caudales	Primer lateral	Lateral 1/3	Lateral 2/3	Último lateral
Primer emisor				
Intemedio				
Terciaria				
Intemedio				
Último emisor				

Cuadro de presiones	Primer lateral	Lateral 1/3	Lateral 2/3	Último lateral
Primer emisor				
Intemedio				
Terciaria				
Intemedio				
Último emisor				

SUBUNIDAD (Terciaria con distribución unilateral)

Tiempo de medición:      seg      Lat:      Long:

Válvula

Cuadro de caudales	Primer lateral	Lateral 1/3	Lateral 2/3	Último lateral
Primer emisor				
Emisor 1/3				
Emisor 2/3				
Último emisor				

Cuadro de presiones	Primer lateral	Lateral 1/3	Lateral 2/3	Último lateral
Primer emisor				
Emisor 1/3				
Emisor 2/3				
Último emisor				

Cuadro	Latitud	Longitud	Pv (kg/cm <sup>2</sup> )	P mín terc (kg/cm <sup>2</sup> )	P mín lat (kg/cm <sup>2</sup> )	Variedad

**Tabla 45. Evapotranspiración diaria promedio del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), entre 1974 y 2013 (39 años) y valores mensuales de K<sub>p</sub> (Allen *et al.*, 2006) obtenidos de la estación meteorológica del Campo Anexo San Martín, departamento San Martín, San Juan**

**Table 45. Average daily evapotranspiration of reference crop (ET<sub>o</sub>), between 1974 and 2013 (39 years) and monthly values of K<sub>p</sub> (Allen *et al.*, 2006) obtained from meteorological station of Campo Anexo San Martin, San Martin department, San Juan**

Día/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	6,9	6,7	5,6	4,0	2,6	2,0	2,0	2,2	3,6	4,9	5,6	7,5
2	7,0	7,7	5,8	4,3	2,9	2,0	1,6	2,0	3,4	4,8	6,0	7,2
3	7,4	6,8	5,4	4,2	2,5	1,8	1,5	2,1	3,4	4,2	5,8	7,1
4	7,5	6,4	6,2	3,6	2,8	1,8	1,6	2,0	3,3	4,5	5,8	7,2
5	8,2	6,9	6,0	4,1	2,9	1,5	1,7	2,4	3,7	4,6	6,1	7,7
6	6,8	7,6	6,3	4,1	2,7	1,6	1,6	2,4	3,8	5,3	6,3	6,9
7	7,9	6,8	5,6	4,1	2,7	1,4	2,0	2,2	4,0	4,8	6,9	7,4
8	7,6	6,3	5,4	3,9	3,1	1,8	1,8	2,0	4,5	4,9	6,2	7,0
9	7,1	7,0	5,1	3,8	2,7	1,6	1,9	2,3	3,5	5,1	5,9	7,2
10	6,8	6,0	4,9	3,8	2,7	1,9	1,5	2,3	4,2	5,2	6,7	7,3
11	7,2	5,8	4,9	3,8	2,6	1,9	1,8	2,9	4,1	5,1	6,4	7,3
12	6,8	6,0	5,1	4,0	2,4	1,8	1,7	2,5	3,8	5,4	5,9	7,5
13	6,9	6,4	5,2	3,9	2,5	1,8	2,0	2,5	4,0	4,8	6,2	7,2
14	6,7	6,0	5,0	3,8	2,0	1,8	2,1	2,7	4,1	4,8	6,4	7,3
15	7,2	6,0	5,6	3,7	2,2	1,8	2,0	2,5	3,8	5,2	6,8	7,7
16	6,6	6,3	4,9	3,2	2,1	2,0	1,8	2,6	3,7	5,2	6,4	7,2
17	6,6	5,4	5,1	3,6	2,1	1,8	1,6	2,5	3,8	5,4	6,5	7,3
18	6,8	5,5	4,9	3,6	2,3	1,8	1,5	2,7	3,8	5,7	6,4	7,1
19	7,1	5,8	5,2	3,1	2,2	1,7	1,9	2,6	4,0	5,7	7,3	7,3
20	7,1	5,8	5,0	3,7	2,4	1,3	2,1	2,9	4,7	6,0	6,8	6,8
21	6,7	6,1	4,7	3,2	2,3	1,8	1,9	2,9	4,1	6,3	6,6	7,4
22	7,1	5,8	4,8	3,3	2,1	1,9	2,0	3,1	3,9	5,9	6,7	7,0
23	7,3	5,8	5,2	3,4	2,0	1,9	1,7	3,1	4,5	5,1	6,8	7,8
24	7,4	5,7	4,8	3,3	2,2	1,5	1,9	3,4	3,8	5,6	7,0	7,9
25	7,2	6,1	4,4	3,2	2,0	1,7	2,1	3,1	4,1	5,8	6,7	7,2
26	6,8	6,6	4,8	2,9	1,9	1,5	2,0	3,5	4,3	5,7	7,4	7,5
27	7,0	6,3	4,7	3,0	2,1	1,8	2,1	3,0	4,3	5,9	6,9	7,1
28	6,8	5,9	4,4	2,8	2,1	1,7	2,5	3,2	4,2	6,0	7,2	7,2
29	6,8	5,5	4,4	2,6	1,9	1,8	2,2	3,2	4,3	5,4	7,2	7,6
30	6,7		4,2	2,8	1,9	1,7	2,2	3,7	4,6	5,8	6,5	7,3
31	6,6		3,9		2,4		2,0	3,0		5,6		6,2
suma	218,5	180,8	157,5	106,8	73,3	52,4	58,2	83,7	119,0	164,5	195,5	225,3
prom	7,0	6,2	5,1	3,6	2,4	1,7	1,9	2,7	4,0	5,3	6,5	7,3
Kp	0,6003	0,6087	0,6252	0,6487	0,6573	0,6644	0,6436	0,6205	0,6061	0,595	0,5936	0,5980

**Tabla 46. Evapotranspiración diaria promedio del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), entre 1992 y 2008 (17años) y valores mensuales de K<sub>p</sub> (Allen *et al.*, 2006) obtenidos de la estación meteorológica de la finca Expofrut, departamento Albardón, San Juan**

**Table 46. Average daily evapotranspiration of reference crop (ET<sub>o</sub>), between 1992 and 2008 (17 years) and monthly values of K<sub>p</sub> (Allen *et al.*, 2006) obtained from meteorological station of Expofrut farm, Albardon department, San Juan**

Día/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	6,14	6,50	5,29	4,12	2,82	1,33	1,93	2,16	3,03	4,69	5,38	6,68
2	6,86	6,55	5,61	3,94	2,65	1,81	1,37	1,79	3,11	4,62	5,53	6,26
3	6,27	6,64	4,75	3,45	2,50	1,63	1,23	1,81	3,43	4,32	5,73	6,93
4	6,45	6,59	5,18	2,84	2,44	1,72	1,59	2,14	3,75	3,87	6,29	6,80
5	6,80	6,53	5,37	2,81	2,26	1,97	1,36	2,24	3,93	4,28	5,42	7,31
6	6,16	6,12	5,17	2,96	2,50	1,57	1,85	2,13	3,57	5,16	5,56	6,48
7	6,77	6,20	5,22	4,17	2,40	1,98	1,85	2,06	3,40	5,30	5,73	6,52
8	6,95	6,87	4,78	3,87	2,17	1,75	2,19	2,39	3,42	5,21	6,00	6,30
9	6,57	6,07	4,49	3,59	2,30	1,98	1,69	2,35	3,30	5,74	5,52	6,74
10	6,79	6,14	4,83	3,12	2,15	1,56	1,40	2,67	4,11	4,82	5,34	7,43
11	6,56	5,50	4,34	3,47	1,64	1,45	1,53	2,59	4,09	5,45	6,28	6,63
12	6,50	5,71	5,29	2,46	1,74	1,59	1,85	2,65	4,02	5,74	5,94	5,48
13	6,37	5,28	4,91	3,01	1,71	1,46	1,80	3,19	3,26	4,64	6,37	6,10
14	6,42	6,02	4,45	3,45	1,84	1,48	1,64	2,96	3,11	5,11	5,89	7,23
15	7,31	6,48	4,39	2,80	1,75	1,35	1,24	2,47	3,23	5,34	5,92	6,48
16	7,81	6,70	4,64	2,71	1,99	1,12	1,81	3,30	3,70	4,84	5,65	6,79
17	5,76	6,08	3,98	3,22	1,76	1,54	1,60	2,52	4,65	5,16	5,88	7,18
18	5,75	5,73	4,30	3,04	2,05	1,37	2,07	2,50	4,47	5,72	6,80	7,16
19	6,82	5,52	4,13	2,67	1,66	1,39	2,04	2,64	4,16	5,39	6,13	6,55
20	6,24	5,10	3,68	2,93	1,81	1,44	2,11	2,70	3,79	5,37	6,76	7,93
21	6,81	4,46	4,00	2,72	2,06	1,63	2,00	2,45	3,89	5,18	6,23	7,47
22	6,64	5,45	4,65	2,74	2,05	1,36	2,17	2,83	4,39	5,33	5,97	7,80
23	5,51	5,45	4,05	2,71	2,25	2,28	2,07	2,64	4,24	5,35	7,25	7,37
24	5,94	5,02	4,11	2,91	1,89	1,62	1,70	3,62	4,00	5,51	6,07	7,04
25	5,56	5,83	4,44	2,86	2,02	1,71	2,09	2,82	3,73	6,39	6,02	7,78
26	6,29	5,50	4,22	2,91	1,37	1,76	2,27	2,86	3,82	5,45	7,52	7,43
27	6,56	6,32	4,30	2,82	1,62	1,58	2,28	3,55	4,57	5,54	6,29	6,93
28	6,35	5,55	3,83	2,68	1,73	1,80	2,92	3,46	4,67	5,94	5,68	7,41
29	6,62	3,64	3,45	2,97	1,81	1,76	1,86	3,77	4,10	5,26	7,02	6,55
30	6,73	0,00	3,36	2,43	1,43	1,69	2,39	3,24	3,96	5,77	6,40	6,63
31	6,76	0,00	2,88	0,00	1,51	0,00	1,97	3,31	0,00	5,36	0,00	7,34
suma	201,0	169,6	138,0	92,4	61,9	48,7	57,8	83,8	114,9	161,8	182,6	214,7
prom	6,5	5,5	4,5	3,0	2,0	1,6	1,9	2,7	3,7	5,2	5,9	6,9
Kp	0,687	0,7001	0,7228	0,7136	0,7288	0,7218	0,6976	0,6717	0,6578	0,6669	0,6689	0,6758

**Tabla 47. Valores de  $K_c$  de vid utilizados para el cálculo de  $ET_c$  (Ferreyra *et al.*, 2001)**

**Table 47.  $K_c$  values of grapevine used for  $ET_c$  calculation (Ferreyra *et al.*, 2001)**

Estado fenológico	$K_c$
Antes de brotación	0,15
Inicio de brotación	0,25
Brote de 40cm de largo	0,35
Brote de 80cm de largo	0,45
Inicio de floración	0,55
Baya de 6mm de diámetro	0,70
Baya de 10mm de diámetro	0,80
Cierre de racimos	0,90
Inicio envero	0,95
Inicio cosecha	0,90
Fin cosecha	0,70
Caída de hojas	0,20

**Tabla 48. Propiedades físicas del suelo (Israelsen y Hansen, 1962)**

**Table 48. Soil physical properties (Israelsen and Hansen, 1962)**

Textura de suelo	Infiltración	Porosidad (%)	PEA (g/cm <sup>3</sup> )	CC (g%g)	PMP (g%g)	CC/PM	Agua disponible	
							g%g	mm/10cm
Arenoso	50	38	1,65	9	4	2,25	5	8,2
Franco arenoso	25	43	1,50	14	6	2,30	8	12
Franco	12,5	47	1,40	22	10	2,20	12	16,8
Franco arcilloso	7,5	49	1,35	27	13	2,10	14	18,9
Arcillo limoso	2	51	1,30	31	15	2,10	16	20,8
Arcilloso	0,5 - 0,1	53	1,25	35	17	2,05	18	22,5

**Tabla 49. Clases texturales de suelo según volumen de sedimentación (Nijensohn, 1977)**

**Table 49. Soil textural classes according to sedimentation volume (Nijensohn, 1977)**

Volumen de sedimentación (mL%g)	Clase textural	Símbolo (USDA)
64-76	Arenoso	Ar
78-84	Arenoso franco	ArF
86-90	Franco arenoso	FAr
92-98	Franco	F
100-104	Franco limoso	FL
106-114	Franco arcilloso	Fa
116-128	Franco arcillo limoso	FaL
130-150	Arcilloso	a

USDA: United States Department Agriculture

**Tabla 50. Precipitación total ( $P_t$ ) y efectiva ( $P_e$ , según ecuación 32) mensuales en las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio**

**Table 50. Monthly total ( $P_t$ ) and effective precipitation ( $P_e$ , according to equation 32) in meteorological stations used in this study**

Mes	Expofrut		CASAM	
	Pt (mm)	Pe (mm)	Pt (mm)	Pe (mm)
Enero	19,0	1,4	15,6	0,0
Febrero	27,0	6,2	25,0	5,0
Marzo	19,1	1,5	16,9	0,1
Abril	5,8	0,0	5,3	0,0
Mayo	4,3	0,0	3,7	0,0
Junio	2,0	0,0	2,2	0,0
Julio	0,7	0,0	5,5	0,0
Agosto	1,6	0,0	3,7	0,0
Septiembre	4,6	0,0	5,7	0,0
Octubre	3,7	0,0	4,1	0,0
Noviembre	9,0	0,0	7,2	0,0
Diciembre	8,5	0,0	12,5	0,0

Expofrut: Dpto. Albardón

CASAM: Campo Anexo San Martín, dpto. San Martín

**Tabla 51. Balance hídrico del suelo mensual de la propiedad número ocho**  
**Table 51. Monthly soil water balance of farm number eight**

Mes	Laplic (mm)	Ldisp cult (mm)	Lteór riego (mm)	Lteór cons (mm)	L apl acum (mm)	L evap (mm)	Pe (mm)	Lalma cenada (mm)	Lperc (mm)	Ldéf (mm)	UR (mm)	L almacenable (mm)
Ene	198,43	166,03	254,34	203,65	-29,88		1,42	0,00	0,00	-167,95	138,07	197,24
Feb	148,82	124,52	157,55	126,15	4,57		6,20	4,57	0,00	-133,50	138,07	197,24
Mar	49,61	41,51	69,19	55,40	-7,87		1,45	0,00	0,00	-145,94	138,07	197,24
Abr	49,61	41,51	8,43	6,75	34,76		0,00	34,76	0,00	-103,31	138,07	197,24
May	37,21	31,13	0,00	0,00	18,02	13,11	0,00	18,02	0,00	0,00	138,07	197,24
Jun	24,80	20,75	0,00	0,00	28,79	9,98	0,00	28,79	0,00	0,00	138,07	197,24
Jul	24,80	20,75	0,00	0,00	37,29	12,26	0,00	37,29	0,00	0,00	138,07	197,24
Ago	37,21	31,13	0,00	0,00	50,67	17,75	0,00	50,67	0,00	0,00	138,07	197,24
Sep	49,61	41,51	177,68	4,20	87,98		0,00	87,98	0,00	-50,09	138,07	197,24
Oct	49,61	41,51	55,08	44,10	85,38		0,00	85,38	0,00	-52,69	138,07	197,24
Nov	99,22	83,02	150,05	120,15	48,25		0,00	48,25	0,00	-89,82	138,07	197,24
Dic	198,43	166,03	259,72	207,96	6,32		0,00	6,32	0,00	-131,75	138,07	197,24
	967,36	809,41	1132,05	768,36					0,00	-875,04		

La fila sombreada indica el mes de comienzo del cómputo del balance hídrico

**Tabla 52. Variables de los equipos evaluados (parte uno)**  
**Table 52. Evaluated equipments variables (part one)**

Productor	Superficie	Ubicación	Tipo de viñedo	Variedad	Cu <sub>c</sub> (%)	CU <sub>h</sub> (%)	CV <sub>e</sub>	Cu <sub>s</sub> (%)	Δ <sub>hh</sub> (%)	Δ <sub>lp</sub> (%)
1	37,00	Caucete	A E P	Moscatel	63,84	99,48	0,30	62,17	132,19	-7,97
2	2,00	Albardón	N P P	Cardinal	93,50	92,12	0,05	93,50	-19,60	-4,81
3	12,00	Albardón	A E P	Red Globe	95,36	97,15	0,03	87,66	54,65	39,05
4	46,00	San Martín	A E P	Flame S.	83,36	81,65	0,10	75,10	-32,50	-24,61
5	63,00	Caucete	A E P	Flame S.	89,09	93,02	0,10	78,86	-2,70	1,32
6	10,29	San Martín	A E P	Cereza	87,13	89,23	0,04	82,25	0,88	4,38
7	2,00	Angaco	A E P	Pedro Ximenez	92,07	97,79	0,06	92,07	55,80	27,08
8	9,33	Albardón	A E P	Flame S.	94,05	97,35	0,06	82,12	-10,43	-1,57
9	4,00	Albardón	A E P	Flame S.	93,00	92,51	0,02	93,00	-9,50	-1,75
10	10,00	Angaco	A E P	Fiesta	88,17	86,29	0,07	88,17	-33,80	-7,00
11	4,80	Albardón	A E P	Torrontés R.	88,58	97,45	0,09	84,19	-50,98	-29,10
12	5,00	Albardón	A E P	Cardinal	85,27	88,61	0,07	85,27	-43,55	-27,00
13	3,00	San Martín	A E P	Flame S.	89,07	98,18	0,06	89,07	39,70	4,69
14	17,00	San Martín	N P P	Flame S.	94,21	98,14	0,04	78,72	34,50	12,25
15	4,00	Angaco	A E P	Cereza	91,54	94,74	0,03	91,54	31,30	19,63
16	8,30	Angaco	A E P	Cereza	89,01	91,39	0,06	89,01	-17,30	-9,56
17	17,00	Albardón	A E P	Flame S.	94,12	94,97	0,02	90,30	-16,10	-7,56
18	10,00	San Martín	A E P	Flame S.	89,91	89,47	0,04	88,56	-32,70	-15,57
19	18,50	San Martín	A E P	Cereza	95,31	97,90	0,04	94,14	11,74	5,84
20	86,00	Albardón	A E P	Sultanina	92,08	96,97	0,09	87,22	77,94	7,67
21	18,00	San Martín	N P P	Flame S.	79,26	91,89	0,13	73,75	85,40	-32,19
22	4,00	Angaco	A E P	Flame S.	92,61	95,93	0,06	92,61	0,05	3,12
23	15,00	San Martín	A E P	Arizul	93,87	94,80	0,05	84,01	-16,00	-12,38
24	30,50	Angaco	A E P	Victoria	94,95	94,50	0,02	66,82	7,50	2,03
25	60,78	Angaco	A E P	Superior	91,81	99,41	0,05	89,50	57,31	7,83
26	8,72	San Martín	N S P	Bonarda	86,76	97,13	0,12	78,60	-19,45	-18,59
27	36,00	Albardón	A E P	Superior S.	88,18	98,53	0,07	86,19	193,31	15,29
28	17,00	Albardón	N E F	Cereza y Arizul	79,73	89,52	0,18	79,73	-64,15	-50,11
29	12,00	San Martín	N P P	Flame S.	95,68	96,56	0,02	95,68	-21,45	-8,81
30	32,00	Albardón	A E P	Superior S.	89,11	94,66	0,08	87,82	-13,88	-3,91
31	24,00	Albardón	N E F	Superior S.	94,33	94,74	0,02	69,61	-46,69	-29,77
32	23,00	Caucete	A E P	Criolla	91,99	99,12	0,06	73,73	-11,06	-32,73
33	26,00	Albardón	A E P	Superior S.	87,31	93,49	0,10	84,89	82,90	32,00
34	27,00	Caucete	N P P	Fiesta	84,65	92,45	0,12	74,58	-6,10	-55,41
35	40,00	Angaco	N E F	Pedro Ximenez	82,39	83,54	0,08	68,47	-1,55	2,41
36	24,00	Caucete	N S P	Flame S.	95,42	96,33	0,01	87,02	15,85	3,75
37	13,00	Caucete	A E P	Fiesta	91,89	94,69	0,02	84,86	19,31	5,11
38	22,00	Caucete	A E P	Flame S.	96,46	96,87	0,01	84,28	8,31	-5,33
39	20,00	Caucete	A E P	Malbec	86,58	96,14	0,12	86,22	18,95	3,38
40	5,00	Angaco	A E P	Cereza	92,65	98,11	0,05	89,43	-7,65	-15,00
41	6,00	Angaco	A E P	Cereza	90,11	90,61	0,04	90,11	78,13	24,84
42	15	Caucete	A E P	Flame S.	75,26	94,67	0,18	60,78	47,95	18,25
43	23	San Martín	A E P	Patricia	93,11	93,63	0,01	83,39	-34,50	-25,80
44	13	Albardón	A E P	Red Globe	73,17	97,76	0,18	66,71	114,88	-4,33
45	13	Angaco	A E P	Fiesta	86,01	97,94	0,09	84,94	13,20	1,44
46	9	San Martín	N E F	Flame S.	77,81	95,35	0,17	77,81	-22,17	-38,47
47	120	Albardón	A E P	Red Globe	54,77	99,46	0,30	50,67	152,65	7,69
48	12	Albardón	A E P	Flame S.	51,43	74,66	0,34	47,95	-39,00	-36,81
49	12	Albardón	N S P	Cardinal	72,37	74,48	0,09	61,01	-14,25	-18,13
50	20	Angaco	A E P	Torrontés R.	86,47	88,67	0,04	79,29	-59,30	-44,58



**Tabla 53. Variables de los equipos evaluados (parte dos)**  
**Table 53. Evaluated equipments variables (part two)**

Product or	Edad cabezal	Edad gotero	Tipo de gotero	$\Delta$ Lám anual (%)	Perc acum anual (%)	Déf acum anual (%)	Fuente de agua	$C_{e_2}$ (dS. m <sup>-1</sup> )	N° de reservorios	Retrolavado	$\Delta P$ filtro teórico (%)	Lava mangueras	Limpieza química
1	23	23	1	42,58	0,00	-26,42	Pozo	480	1	1	268,42	1	1
2	5	2	0	91,38	77,57	0,00	Turno	607	1	1	0,00	1	2
3	7	7	0	64,06	54,51	0,00	Pozo	1150	0	0		1	3
4	17	4	0	-19,72	0,00	-101,05	Turno y pozo	1141	1	1	252,94	1	3
5	5	5	0	30,45	14,58	0,00	Turno	626	1	1	222,58	1	3
6	2	2	0				Pozo	1393	0	0	0,00	1	0
7	2	2	0				Pozo	473	0	0	0,00	1	0
8	3	3	0	-14,55	0,00	-77,30	Pozo	2170	0	0	650,00	1	0
9	1	1	0	120,66	102,74	0,00	Turno	690	1	1	0,00	1	0
10	2	2	0				Pozo	903	0	0		0	0
11	3	3	0	-36,89	0,00	-135,86	Turno	629	0	1	0,00	1	2
12	12	12	0				Turno y pozo	1061	0	0	s	1	1
13	11	11	1				Pozo	478	0	0	300,00	1	1
14	2	1	0				Pozo	469	0	0	42,86	1	0
15	2	2	0	20,88	30,37	0,00	Pozo	617	0	0	81,82	1	0
16	2	2	0	39,26	27,28	-25,65	Turno	629	1	1	200,00	1	3
17	1	1	0	-44,97	0,00	-117,35	Turno	617	1	1	0,00	1	3
18	5	5	0	57,70	42,96	-6,51	Turno	584	1	1	0,00	1	3
19	2	2	0	32,61	24,76	0,00	Turno y pozo	627	1	1	71,43	1	1
20	23	4	1	45,77	31,22	0,00	Turno y pozo	1117	1	1	100,00	1	1
21	7	1	0				Turno y pozo	542	1	1	169,23	1	1
22	6	6	0	28,83	16,59	-2,38	Pozo	1981	0	0	180,00	1	1
23	5	4	0	-27,17	0,00	-90,69	Pozo	500	0	0	200,00	1	3
24	22	3	0				Pozo	1012	0	0	1100,00	1	3
25	19	19	1				Turno y pozo	767	1	1	757,14	1	3
26	3	3	0				Pozo	510	0	1		1	0
27	20	20	1	25,96	25,92	-21,47	Turno	551	1	1		1	1
28	7	1	0	-15,77	0,00	-137,27	Turno	575	1	1	533,33	1	0
29	6	3	0				Pozo	466	0	0		1	3
30	8	5	0	15,24	12,31	-25,54	Turno y pozo	1240	1	1	820,00	1	1
31	22	1	0				Turno	642	1	1		1	1
32	3	3	0	-42,44	0,00	-69,41	Turno	554	1	1	0,00	1	3
33	8	8	0	244,84	194,56	0,00	Turno y pozo	978	1	1	250,00	1	3
34	3	3	0	-23,12	0,00	-97,61	Turno	525	1	1	20,00	1	1
35	10	1	0	103,00	54,48	0,00	Turno y pozo	573	1	1		1	1
36	1	1	0				Turno y pozo	554	1	1	4400,00	0	0
37	17	4	0	33,30	23,31	0,00	Turno y pozo	942	1	1		1	1
38	4	4	0	5,95	1,51	-3,94	Turno y pozo	527	1	1	225,00	1	0
39	2	2	0	3,32	15,48	0,00	Pozo	487	0	0	275,00	1	0
40	2	2	0	179,21	63,17	0,00	Turno	557	1	1	150,00	1	0
41	4	4	0	49,69	38,61	-11,81	Pozo	1319	0	1		1	3
42	3	3	0	133,11	77,47	-15,79	Turno	524	1	1	3609,68	1	3
43	1	1	0	-12,21	13,36	-53,26	Turno	515	1	1	0,00	1	0
44	15	15	1	198,33	117,52	0,00	Turno y pozo	985	1	1		1	3
45	3	3	0	23,15	5,69	-4,99	Pozo	700	0	1		1	0
46	2	2	0	64,82	23,34	-4,49	Turno	543	1	1	800,00	1	2
47	20	20	1	336,96	118,64	0,00	Turno y pozo	519	1	1	200,00	1	2
48	16	5	1	209,76	59,71	0,00	Turno y pozo	632	1	1	1420,00	1	1
49	5	5	0	66,65	47,35	-32,79	Pozo	868	0	1	25,00	1	1
50	2	2	0	-36,29	0,00	-105,04	Turno y pozo	661	1	1	166,67	0	0

**Tabla 54. Variables de los equipos evaluados (parte tres)**

**Table 54. Evaluated equipments variables (part three)**

Prod ucto r	CE <sub>c</sub> Cab, LP 0-40 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Cab, LP 40-80 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Cab, Int 0-40 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Cab, Int 40-80 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Pie, LP 0-40 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Pie, LP 40-80 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Pie, Int 0-40 (dS.m <sup>-1</sup> )	CE <sub>c</sub> Pie, Int 40-80 (dS.m <sup>-1</sup> )	Vs Cab, LP 0-40 (mL%g)	Vs Cab, LP 40-80 (mL%g)	Vs Cab, Int 0-40 (mL%g)	Vs Cab, Int 40-80 (mL%g)	Vs Pie, LP 0-40 (mL%g)	Vs Pie, LP 40-80 (mL%g)	Vs Pie, Int 0-40 (mL%g)	Vs Pie, Int 40-80 (mL%g)
1	2520	3800	3400	3720	972	1247	4370	3220	116	110	116	100	100	98	108	100
2	2530		1926		1355		696		70		72		68		64	
3	2280	1247	2210	25700	1597	2260	1098	1388	112	114	112	114	120	124	110	106
4	1435	730	4880	4770	1719	1494	4800	5530	124	110	122	114	112	132	88	114
5	1238	1015	1221	1442	1275	2980	1876	1619	112	112	116	108	122	120	122	114
6	924	652	2970	2830	1269	1020	13650	7220	108	70	88	92	118	96	104	92
7	2760	2670	3440	2610	3920	2650	3200	2800	112	132	122	156	112	142	136	146
8	4310	3630	4480	3900	3420	3430	3670	4270	120	94	118	98	134	124	132	116
9	655	490	2170	462	557	457	1008	1177	108	80	104	78	88	72	86	90
10	1397	619	1211	551	1523	1116	1475	911	108	84	110	80	104	104	106	92
11	1606	1816	1860	2130	1104	1416	1900	2660	112	116	118	120	108	110	116	114
12	956	1069			646	679			114	94			120	116		
13	776	1554	831	554	715	666	1528	1070	122	110	116	118	124	114	118	122
14	1633	786	2480	787	584	585	2660	870	90	94	86	84	90	90	100	92
15	1078	825			1238	662			100	98			106	124		
16	596	987	1308	3300	1305	594	4830	4340	116	84	104	84	96	84	108	104
17	754	792	1609	1702	758	637	1132	2750	120	124	120	130	124	112	114	112
18	634	635	3660	2960	511	276	528	451	102	96	104	88	86	70	72	72
19	1196	1588	776	1095	774	740	1717	906	112	106	108	120	122	124	116	102
20	1050	1002	2210	2930	1284	1481	3770	1721	136	124	136	124	112	106	94	120
21	3650	4930	36200	2330	1890	2860	3720	1871	90	90	90	84	72	74	74	70
22	3620	5040	3970	6920	1709	3840	9820	6170	132	144	136	148	112	122	134	126
23	3780	3750	12690	17620	1285	888	11360	13610	130	124	134	106	118	106	136	128
24	4360	871	731	5130	825	717	2980	2420	122	116	136	138	132	108	122	100
25	751	879	4497	2120	701	756	3030	1028	112	108	108	116	96	122	110	100
26	868	732	4540	1017	767	425	1894	967	90	104	94	96	76	84	68	78
27	834		845		771		896		84		76		88		80	
28	3470	2660	66000	27500	6670	3070	68100	27300	106	94	102	92	120	114	116	116

29	911	3190			3270	5610			94	142			132	148		
30	1080	1187			1756	1244			104	116			94	98		
31	611	656	1593	977	655	1041	866	1171	108	88	110	90	118	90	100	100
32	738	411	743	253	344	475	770	876	106	78	88	74	80	82	76	84
33	2250		18020		1196	1370	6670	6500	84		100		104	98	104	96
34	1885	1309	3220	617	1585	1730	2320	926	134	126	96	80	110	74	86	74
35	5540	4230	19410	9150	9160	8690	19700	11260	112	82	100	84	100	94	96	84
36	2550	829	2600	5700	858	2630	4840	5140	128	112	96	142	114	98	124	120
37	1032	2160	1571	1209	1009	877	858	702	126	126	118	98	116	88	104	88
38	644	826	837	1246	722	977	1430	1949	132	140	124	132	136	144	150	144
39	801	1989			821	2810			142	140			132	142		
40	741	1627	1845	542	734	563	2660	2330	132	112	120	116	120	80	116	82
41	1449	712	1580	1200	1469	987	3810	3590	90	76	90	78	104	76	82	74
42	506	439	2230	907	812	2890	853	762	78	76	78	80	76	72	80	78
43	3660	8000	4520	8110	3240	4250	4860	11080	116	134	140	132	122	128	122	114
44	1329	2780	8930		839	823	5770	3400	100	96	90		126	82	110	104
45	1008	3360	7930	6540	1447	3220	4210	4630	118	116	112	90	110	122	116	132
46	2730	1871	6770	6230	673	829	2780	1902	112	86	110	92	92	80	92	76
47	2060	859	5120	3650	2090	2670	3900	4670	104	92	92	104	104	98	108	96
48	708	474	6840		601		5030		116	92	106		102		92	
49	1518		6090		2240		5550		80		76		86		80	
50	659	881	1472	1245	919	850	2720	3160	124	122	116	128	132	112	114	130

