

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

Marco Martello^a, Lucia Bortolini^a, José Morabito^b.

m.martello84@gmail.com; lucia.bortolini@unipd.it

a - Università degli studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali (Te.S.A.F.) Viale dell'università, 16, Legnaro, Padova, Italia.

b – INA-CRA, UNCuyo-FCA. Mendoza – Argentina.

RESUMEN

Debido a la necesidad de reducir las extracciones del recurso hídrico disponible para la agricultura y al aumento de los costos de energía, es que se vuelve día a día más importante que el uso del agua sea más eficiente. Si pensamos en el método de riego más adecuado para este fin el riego por goteo ocupa el primer lugar. Este trabajo, realizado en una finca de la zona Este de Mendoza, tiene tres objetivos: 1) determinar el impacto de la uniformidad de distribución del riego por goteo sobre un cultivo de vid, 2) observar el efecto de la conversión del riego por superficie al riego por goteo mediante la obtención de dos índices de vegetación a partir de imágenes Landsat y 3) comparar la variabilidad de rendimiento y diámetro del tronco en vides regadas por goteo y por superficie. Los resultados indican que la uniformidad de la distribución en riego por goteo es excelente, aunque pudo observarse un porcentaje importante de emisores con orificios tapados. Asimismo se observa una muy baja correlación entre atributos del cultivo y orificios tapados y entre aquéllos y los caudales de los emisores. Los índices de vegetación han permitido comprobar una significativa mejoría del estado vegetativo de los parrales regados por goteo respecto a aquellos regados por superficie. Por último, las comparaciones de tendencia de variabilidad del rendimiento y del diámetro del tronco muestran que el rendimiento en riego por superficie presenta una tendencia que no se visualiza en los cuarteles regados por goteo. Ello puede atribuirse a la influencia de una irregular topografía del terreno. Para concluir, se observa una mejora en la uniformidad de las plantas regadas por goteo respecto de las regadas por superficie.

Palabras clave: ahorro de agua, calidad de producción, uva, sensores remotos

INTRODUCCIÓN

La tendencia futura de una menor disponibilidad de agua para la agricultura y el aumento del costo de la energía obliga a una mejora en la eficiencia de uso de agua para riego (Hatfield et al. 2001). Cuando se riega, no toda el agua es almacenada en el suelo ni está disponible para el cultivo. Una fracción es consumida por evapotranspiración (Burt et al, 1997) y otra se pierde por escorrentía superficial y percolación profunda. Sin embargo, estas dos últimas pueden volver a utilizarse dentro del mismo sistema hidrológico. La magnitud relativa de estas pérdidas depende del tipo de suelo, el método y el manejo que se haga del riego. Una alta eficiencia de riego significa un menor costo de operación, un aumento de producción por unidad de agua disponible y un aumento de los beneficios ambientales y de gestión (Lameck O., et al., 2011).

El riego por goteo es considerado un método que permite alcanzar una mayor eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución de riego por superficie, cuya eficiencia y distribución son muy dependientes de la textura del suelo, longitud y espaciamiento de surcos, pendiente y tiempo de riego (L. Schwankl, J., 2000). El método de riego por superficie utiliza -además- un mayor volumen de agua y esto puede convertirse en limitante para su uso en zonas donde el recurso sea escaso.

Por otro lado, la uniformidad de distribución del agua de riego afecta tanto a la eficiencia del uso del agua como al rendimiento del cultivo (Warrick et al, 1983; Latey et al, 1984; Mantovani et al; 1995; López-Mata et al, 2010). Por ello resulta necesario conocer qué cantidad del agua extraída para el riego es utilizada efectivamente en la producción del cultivo y -en muchas zonas donde el recurso es escaso- es conveniente convertir los sistemas de riego por gravedad a sistemas de riego por goteo.

El riego por goteo puede ser evaluado por medio de parámetros de uniformidad, la mayoría requiere mediciones de caudal en un número representativo de goteros (emisores), elegidos de acuerdo a una metodología definida, con el objeto de obtener una muestra representativa del sistema (Camp, 1997).

Los sistemas de riego por goteo permiten alcanzar altos valores de uniformidad de distribución dentro de cada sector y, además, entregar el agua en las proximidades de las raíces de las plantas, eliminando las pérdidas por escurrimiento, disminuyendo la percolación profunda y permitiendo una alta eficiencia del riego (Provenzano et al., 2005).

En cuanto a los índices de vegetación calculados utilizando imágenes de satélite, ellos pueden ser un instrumento de apoyo muy valioso, tanto en el diseño como en la evaluación de un sistema existente, en lo que respecta al manejo del cultivo (Ortega, 2003).

En la fase de diseño, los índices de vegetación históricos, puede ser de utilidad en la determinación de la estabilidad temporal de la variabilidad de la vegetación y de los factores que la determinan. Esto puede ser extremadamente útil en la determinación de los sectores de riego, a fin de tener la menor variabilidad posible dentro del mismo sector, permitiendo así ajustar el riego de una manera diferenciada.

Los índices espectrales de vegetación son una forma de definir el contraste que existe en la biomasa de los cultivos. Estos índices son una combinación matemática de diferentes longitudes de onda para cada píxel de la imagen. Estas informaciones multi-espectrales son georeferenciadas de tal manera que puedan superponerse con otros mapas. Básicamente, la biomasa sana y vigorosa tiene una fuerte reflectancia en el infrarrojo cercano y una baja

reflectancia en el rojo, debido a la absorción de la clorofila. En general, en viticultura se utilizan dos índices: NDVI y RVI (Proffitt T., 2006).

El uso de los sensores remotos, puede resultar una ayuda de importancia para manejar algunos de los factores básicos de la calidad de la producción del vino, como la uniformidad en el campo, el balance entre hojas y frutos y el manejo del riego (Johnson, 2003).

Aplicar una cantidad adecuada de agua es esencial para asegurar el desarrollo y la producción del viñedo. Para obtener un vino de calidad, además del correcto trabajo en bodega, es necesario considerar una serie de factores agronómicos. Algunos de estos factores no pueden modificarse como el micro, macro y mesoclima, genotipo y tipo de suelo. Otros factores que afectan la calidad, en los que es posible intervenir durante el cultivo de la vid, son: la densidad, el sistema de conducción, la competencia, el manejo de la canopia, el manejo del suelo, la gestión de la nutrición y del agua (Zuccari., 2006).

En la provincia de Mendoza la superficie regada se estima en aproximadamente 270.000 ha, que representan sólo el 4,2% de la superficie total provincial, con sólo un 8% de superficie regada por goteo (INDEC, 2002). Este último, puede ser un factor muy importante, para reducir la competencia por el agua y aumentar la calidad del producto final, en respuesta a la demanda creciente de productos agrícolas argentinos (Fontela C et al., 2009).

OBJETIVOS

En este trabajo se persiguen tres objetivos, 1) determinar el impacto de la uniformidad de distribución del riego por goteo en un cultivo de vid, 2) observar el efecto de la conversión del riego por superficie al riego por goteo mediante la obtención de dos índices de vegetación a partir de imágenes Landsat y 3) comparar la variabilidad del rendimiento y del diámetro del tronco en vides regadas por goteo y por superficie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Mendoza, centro-oeste de Argentina (Fig. 1). La zona es completamente desértica, se clasifica como árida, está situada a 33° de latitud sur y limita al oeste con los Andes, frontera con Chile. Los principales cultivos son viñedos (142.879 ha), frutales (66.784 ha), hortalizas (40.368 ha), olivos (8327 ha) y otros (46.312 ha). De toda la superficie con viñedos, el 98% corresponde a uvas para vinificar. El método de riego predominante es el riego por superficie, aunque en los últimos años ha habido un fuerte aumento del riego por goteo (Fontela C et al., 2009).



Figura 1: Imagen de la zona centro-oeste de Sudamérica. Área de estudio

En el ciclo 2011-2012 y en una propiedad localizada en San Martín (Mendoza) a $32^{\circ} 51'50''$ latitud S y $66^{\circ} 23'50''$ de longitud O, se realizó un ensayo para cuantificar el impacto de la uniformidad de distribución del riego por goteo sobre algunas características de las plantas y de su producción. Se realizó además una comparación entre riego por goteo y riego superficial determinando -mediante muestreo- el diámetro del tronco y el rendimiento de las plantas. Para ello se usó el esquema adoptado para la determinación de la uniformidad de distribución del riego por goteo (Fig. 2). En ella “Bonarda RS y Syrah RS” identifican los dos cuarteles usados para medir el rendimiento y el diámetro del tronco en riego por superficie y “Bonarda RG y Syrah RG”, en riego por goteo. El cuartel delimitado arriba a la derecha representa un parral regado por escurrimiento superficial conformado por distintas variedades.

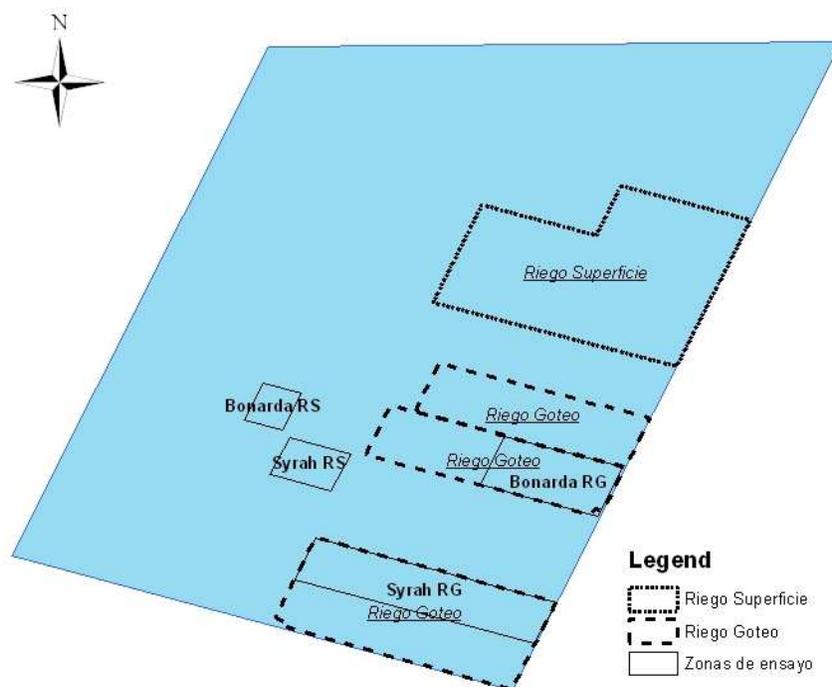


Figura 2: Perímetro de los cuarteles de estudio, variedades y métodos de riego

Los cuarteles del ensayo fueron cuatro, dos parrales con riego por goteo y dos espalderos regados por superficie, ambos implantados con dos variedades: Syrah y Bonarda (Cuadro 1). *Es importante mencionar que el año de plantación de los viñedos, no fue el mismo.*

Cuadro 1: Datos básicos de los cuarteles estudiados

Tipo de conducción	Método de riego	Variedad	Edad del viñedo	Distancia de plantación (m)	
				Entre hileras	Entre plantas
Parral	Goteo	Syrah	17	3.5	2.5
Parral	Goteo	Bonarda	20	3.5	2.5
Espaldero	Superficie	Syrah	6	2.5	1.5
Espaldero	Superficie	Bonarda	4	2.5	1.5

La propiedad presenta suelos profundos, bien drenados y con textura franco arenosa con algunos estratos franco-arcillosos y franco-limo-arcillosos, según la técnica de volumen de sedimentación (VS) (Nijensohn, 1978). Los análisis químicos no evidencian problemas de salinidad ni de sodicidad en los suelos. La velocidad de infiltración va de muy baja a moderadamente baja, con un valor medio de $7,2 \text{ mm.h}^{-1}$ (Morábito y Salatino, 2005). El clima de la zona es árido y las precipitaciones anuales son insuficientes para cubrir la demanda evapotranspiratoria de la vid. El cálculo de la necesidad de riego, teniendo en cuenta la calidad del agua y el balance salino del suelo de acuerdo a la tolerancia del cultivo para asegurar un adecuado rendimiento, alcanza para el mes de diciembre a $5,8 \text{ mm.día}^{-1}$ (Morábito y Salatino, 2005).

El sistema de riego por goteo está compuesto por un cabezal con bomba (caudal: $185 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ y potencia: 37 kw), un filtro de malla, que sirve para remover la arena y las partículas de

impurezas con mayor peso que el agua y un sistema de inyección de fertilizantes que funciona con una bomba centrífuga independiente. El cabezal controla cuatro válvulas mediante un sistema hidráulico. Los laterales están dispuestos sobre la superficie del terreno a lo largo de las hileras, tienen un diámetro de 20 mm, con una distancia (en m) entre goteros de 0,70 y un caudal de 4,4 L h⁻¹. Para comparar los índices de vegetación, se utilizaron imágenes Landsat (año 2008) fecha en que la totalidad de la propiedad era regada por superficie y otras del año 2010, con los parrales ya convertidos a riego por goteo (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>). (El riego por goteo fue instalado en el invierno de 2008).

El ensayo fue realizado en seis (6) sub-unidades correspondientes a tres sectores del sistema de riego. El distribuidor está localizado en el centro de los cuarteles, paralelo al lado mayor de estos, en el mismo lugar donde anteriormente pasaba la acequia regadora. El gotero tiene dos (2) orificios y el parral presenta una distancia de plantación de 3,5 m entre hileras y 2,5 m entre plantas, uno con variedad Syrah y otro con Bonarda (cuadro 1). En el primer caso el cuartel está dividido por dos sectores de riego, uno a la derecha y otro a la izquierda y en el segundo caso, existe un único sector. Los sectores fueron divididos para el muestreo en dos mitades creando, a su vez, sub-unidades de análisis. En total se midió el caudal de los emisores en 64 puntos del cuartel de la variedad Syrah y en 32 de la variedad Bonarda.

Para establecer los puntos de medición, en cada subunidad se midieron cuatro laterales de riego: el primero, el último y los que correspondían a 1/3 y 2/3 del ancho de la subunidad. A su vez cada lateral fue dividido imaginariamente en cuatro secciones: inicio, 1/3, 2/3 y final (Fontela et al. 2009, Schilardi C., 2011).

Para el cálculo del caudal correspondiente a cada planta se midieron cuatro goteros por cada punto de muestreo (los emisores por planta serían: $n = 2,5 \text{ m} / 0,7 \text{ m} = 3,5$). La metodología prevé recoger el flujo de agua en la salida de cada gotero durante 30 segundos y transformarlo en su equivalente en L h⁻¹. Dado que a cada planta le corresponden 3,5 emisores, se decidió eliminar el 25% del caudal correspondiente a los dos goteros externos y de este modo fue posible transformar los caudales en alturas o láminas de agua. Además de la determinación del caudal, se registró el número de goteros obturados en cada punto de medición asignando a cada uno de ellos un puntaje (cuadro 2).

Cuadro 2: Puntaje asignado en función del número de emisores obturados

Número de goteros obturados	Puntaje
0	1
1	0.75
2	0.5
3	0.25
4	0

Determinación de los indicadores de uniformidad: Para evaluar el desempeño del riego por goteo se han utilizado tres indicadores de uniformidad: CU, DU y CV. El primer índice calculado (cuadro 3) fue el coeficiente de uniformidad CU (Merriam y Keller, 1978), donde: z = caudal individual de cada emisor medido y m = caudal medio de los emisores medidos:

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

Cuadro 3: Clasificación de la uniformidad de riego en función del CU (ASAE)

Clasificación	CU Merriam and Keller (1978)
Excelente	> 90
Buena	80-90
Suficiente	70-80
Pobre	< 70

El valor de CU depende de factores constructivos, térmicos, hidráulicos, de envejecimiento y de las obturaciones, por lo que se usa para evaluar nuevos sistemas y para monitorear el funcionamiento de sistemas ya instalados (Fontela et al., 2009).

El segundo indicador calculado fue la uniformidad de distribución del cuarto más perjudicado (DU_{1q}), donde: q_{avg1q} = caudal medio del cuarto más perjudicado y q_{avg} = caudal medio. El cuarto más perjudicado corresponde al 25% de los puntos medidos, que tienen el menor caudal (Burt et al., 1997).

$$DU_{1q} = \frac{q_{avg1q}}{q_{avg}} \quad (2)$$

El tercer indicador, fue el coeficiente de variación total CV_t (Keller 2005) o coeficiente de variación del caudal, donde σ_q = desviación estándar del caudal y q_{avg} = caudal medio. En el cuadro 4 se muestra la clasificación de este índice.

$$CV_t = \frac{\sigma_q}{q_{avg}} \quad (3)$$

Cuadro 4: Clasificación de la uniformidad en función del CV_t (Bralts y Kesner, 1983)

CV_t	Uniformidad (Keller 2005)
> 0,4	Inaceptable
0,4 – 0,3	Baja
0,3 – 0,2	Aceptable
0,2 – 0,1	Muy Buena
0,1 – 0	Excelente

Además, en cada punto se tomaron parámetros relativos a la planta, se midió: a) el perímetro del tronco a una altura de 1,50 m desde el suelo a fin de determinar diámetro; b) la producción (mediante la recolección y pesada de todos los racimos de cada planta), c) los siguientes parámetros: grados Brix, acidez total y pH, sobre un muestreo de ocho bayas por racimo, dos por cada lado, extraídas de la mitad del mismo. Las muestras se identificaron, congelaron y transportaron al laboratorio de análisis.

Con el fin de comparar el rendimiento y el diámetro de tronco de las plantas regadas por goteo con las regadas por superficie, se procedió a muestrear dos espalderos regados por superficie. Las variedades fueron, también en este caso, Syrah y Bonarda. El muestreo se realizó siguiendo el mismo esquema utilizado para riego por goteo, tomando 32 puntos en

total. El perímetro del tronco se midió a una altura de 40 cm, ya que en espaldero la planta se ramifica a menor altura. También se pesaron todos los racimos de una sola planta.

Para el análisis de los datos de los atributos de las plantas fue necesario primero normalizarlos para después eliminar los valores superiores -en valor absoluto- a tres desviaciones estándar (Bramley, 2004). En relación a los indicadores vegetales, se eliminaron los datos cuya posición se localizaba en los primeros 40 m, contados desde el borde de los cuarteles, ya que los pixeles de 30 m, pueden ser influenciados por la reflectancia de la tierra sin cultivo.

A fin de comparar la uniformidad de distribución de riego con las características del cultivo, se calculó, para cada sub-unidad, el porcentaje de goteros tapados, la media y la desviación estándar de cada atributo. Para observar la relación entre el caudal y las características de la planta muestreada, se decidió realizar un análisis de correlación entre las variables: a) altura/lámina de riego (mm h^{-1}), b) rendimiento (t ha^{-1}), c) grados Brix, d) pH, e) acidez total (g l^{-1}), f) diámetro del tronco (cm) y g) puntaje de goteros tapados. Se comparó la lámina de riego y el puntaje de goteros tapados con los atributos de la planta.

Para el análisis estadístico, se utilizó el programa Statgraphics® Centurión XVI. En el caso de observar correlaciones significativas, se llevó a cabo el análisis de la regresión.

Para la determinación de los índices de vegetación (NDVI y RVI) se han utilizado imágenes Landsat 7 (cuadro 5). Este satélite es capaz de obtener 7 imágenes y cada una de ellas corresponde a la reflectancia de una banda específica del espectro electromagnético.

Índice verde diferencial normalizado (NDVI) se calcula utilizando la fórmula que se encuentra más abajo, donde NIR y Red corresponden respectivamente a la reflectancia en la longitud de onda en el infrarrojo cercano y en el rojo. NDVI cuantifica la diferencia relativa entre NIR y Red, los valores cercanos a 1 corresponden a un cultivo en buen estado, los valores cercanos a 0 corresponden a bajo vigor.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Cuadro 5: Bandas espectrales de Landsat 7 con la respectiva longitud de onda y color

Número de banda	Intervalo de longitud de onda (μm)	Respuesta espectral
1	0.45-0.52	Azul – verde
2	0.52-0.60	Verde
3	0.63-0.69	Rojo
4	0.76-0.90	IR cercano
5	1.55-1.75	IR medio
6	10.40-12.50	IR Térmico
7	2.08-2.35	IR térmico medio

Índice de relación verde (RVI) o densidad de plantas (PCI): relaciona la reflectancia entre NIR y Red y será alto con vegetación sana y vigorosa mientras que disminuirá con escaso vigor de la vegetación. Varios estudios han demostrado que el RVI es más sensible especialmente en las etapas donde se ha completado el desarrollo de la canopia (dosel).

$$RVI \text{ o } PCD = \frac{NIR}{Red}$$

Para comparar el impacto del método de riego (goteo y superficial) sobre el cultivo se realizaron dos tipos de análisis. Uno fue la comparación de los índices verdes, de todos los parrales de la finca, aunque las variedades fueran diferentes. Se realizó una comparación gráfica de los mapas obtenidos en enero de 2008 y 2010. En el año 2008, todos los parrales se regaban por superficie, mientras que en el año 2010 ya hacía dos años que una parte se había convertido a goteo. Se realizó además un análisis estadístico de ambos años, utilizando los valores del píxel se calculó la normalidad de los datos y se hizo una comparación de medias.

El segundo método de comparación fue el análisis de la tendencia de las variables rendimiento y diámetro de tronco en función de la localización de cada planta en su parcela, en ambos métodos de riego. Se eligió el análisis de las tendencias porque, a pesar de que las variedades elegidas son las mismas, las edades de plantación y el sistema de conducción son diferentes, por lo que otros tipos de comparaciones no hubieran sido correctas. Para conocer la tendencia se usó el programa ArcGIS 10 (ESRI®). Los valores se pueden ver en tres dimensiones, donde la altura z representa el valor del atributo y el gráfico se obtiene con la proyección de los valores en dos planos perpendiculares a la base. El programa construye el polinomio de ajuste a la curva de cada proyección. Para interpretar el gráfico se debe considerar que si la línea es plana, no hay tendencia; en cambio si existe un modelo definido para el polinomio (por ej. una ascendente), esto sugiere que existe una tendencia en los datos (ArcGIS desktop help).

RESULTADOS

En el cuadro 6 se muestran los resultados de los tres indicadores de uniformidad y las medias y desviaciones estándares de los atributos relevados en cada sub-unidad. En todas las sub-unidades la uniformidad es muy alta (calificación: excelente). No obstante la elevada uniformidad, se encontraron porcentajes elevados de orificios tapados (en los que el agua salía a través de un chorro) lo que demuestra que el indicador de uniformidad no ha sido del todo representativo.

Cuadro 6. Indicadores de uniformidad, porcentaje de goteros tapados, medias y desviaciones estándares de los atributos por cada sub-unidad

Parcela	CU	DU	CV	Tapado %	Rendimiento (t ha ⁻¹)		Diámetro del tronco (cm)		Grado Brix		pH		Acidez g L ⁻¹	
					m	ds	M	ds	m	ds	m	ds	m	Ds
Syrah SO	96	0.93	0.06	41	23.1	6	10.9	1.19	23.41	1.04	4.03	0.14	2.36	0.36
Syrah NO	94	0.90	0.09	27	22.2	6.9	11.31	1.06	24.01	0.94	4.05	0.11	2.34	0.24
Syrah SE	94	0.89	0.08	36	23.5	8.5	9.21	2.03	22.87	0.99	4.06	0.16	2.17	0.21
Syrah NE	93	0.89	0.09	20	26.8	10.25	11.11	1.99	22.86	0.91	4.14	0.11	2.41	0.27
Bonarda S	95	0.92	0.004	45	34.4	16.2	11.3	1	20.3	1.7	4.1	0.2	2.8	0.3
Bonarda N	95	0.91	0.004	39	29.9	10.8	11.3	1	19.9	1.4	4.1	0.2	2.9	0.4

Ref.: N, S, E y O corresponden a los puntos cardinales e indican las sub-unidades

Las diferencias de las medias de los atributos analizados se deben al efecto de la variedad, sobre todo en las variables rendimiento, grado brix y acidez total (cuadro 6).

Entre sub-unidades de diferente variedad se observa una variabilidad alta, pero cuando se analizan las subunidades de la misma variedad, estas diferencias no son tan grandes, por lo tanto son difíciles de ser atribuidas sólo al riego, ya que la uniformidad es alta.

Para determinar las correlaciones entre caudal, goteros tapados y atributos del cultivo, se realizó el análisis estadístico: medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma. En el cuadro 7 se observa el resultado para cada una de las variables *en la variedad Syrah*. Se ve que tanto el puntaje de los goteros tapados como el rendimiento no presentan una distribución normal, dado que la asimetría y la curtosis estandarizadas se encuentran fuera del rango. Es importante destacar que el puntaje de los goteros tapados tiene mínima asimetría, a diferencia del rendimiento que se aleja mucho de la distribución normal. Se realizó un análisis de correlaciones de Pearson entre cada par de variables. Los pares de variables que presentan un valor de P por debajo del 0,05 (que indica que las correlaciones son estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%) son: lámina de riego- grado Brix y rendimiento-acidez total. Esta última no presentó una distribución normal, por lo tanto sólo se realizó el análisis de regresión entre: lámina de riego y grados Brix. La ecuación del modelo lineal adoptado entre grados Brix y lámina de riego presenta un R^2 bajo y por ello la relación encontrada es muy débil:

$$\text{Grado Brix} = 28,8616 - 3,33991 * (\text{altura/lámina de riego}); R^2 = 10,23 \%$$

Cuadro 7: estadísticos del ensayo de Syrah

Parámetro	Lámina de riego (mm.h ⁻¹)	Calificación de goteros tapados	Producción (t ha ⁻¹)	° Brix	pH	Acidez total (g l ⁻¹)	Diámetro de tronco (cm)
N°	55	55	55	55	55	55	55
Promedio	1.66	0.69	23.72	23.30	4.06	2.32	10.58
Desviación estándar	0.10	0.29	7.86	1.06	0.13	0.28	1.79
Coefficiente de variación (%)	6.09	42.18	33.13	4.54	3.29	12.25	16.88
Mínimo	1.38	0	11.6	21.0	3.75	1.73	6.68
Máximo	1.86	1.0	47.54	25.4	4.39	3.0	14.32
Rango	0.48	1.0	35.9429	4.4	0.64	1.27	7.64
Asimetría estándar	-0.77	-2.01	3.02	-0.10	-0.24	0.49	-1.13
Kurtosis estándar	0.22	-0.75	1.56	-1.27	-0.032	0.189	-0.076

El cuadro 8 presenta los resultados del análisis estadístico de las variables analizadas para *la variedad Bonarda*. Ninguna variable presentó valores de asimetría ni de curtosis estandarizada fuera del rango previsto; por ende, la distribución de los datos se considera normal y, si las correlaciones son significativas, se procede al análisis de regresión. Las correlaciones de Pearson entre cada uno de los pares de variables: puntaje de goteros tapados y acidez total; rendimiento y pH; grados Brix y pH; grados Brix y acidez total; grados Brix y diámetro del tronco; pH y diámetro del tronco tienen un valor de P por debajo de 0,05. Para determinar las correlaciones entre riego y características de la planta, se trabajó con el análisis

de regresión entre puntaje de goteros tapados y acidez total. Los resultados de la adaptación de un modelo doble cuadrado describen la relación entre acidez total y puntaje de goteros tapados. También en este caso el R^2 resulta bajo e indica una correlación débil.

$$\text{Acidez total} = \sqrt{(6,59196 + 2,93746 * \text{puntaje de goteros tapados}^2)} ; R^2 = 24 \%$$

Cuadro 8: estadísticos del ensayo de Bonarda

Parámetro	Lámina de riego (mm h ⁻¹)	Calificación de goteros tapados	Producción (t ha ⁻¹)	° Brix	pH	Acidez total (g l ⁻¹)	Diámetro de tronco (cm)
N°	28	28	28	28	28	28	28
Promedio	1.67	0.633929	32.1429	20.1036	4.06821	2.81179	11.3114
Desviación estándar	0.078	0.307936	14.2205	1.59478	0.170273	0.373998	1.04224
Coefficiente de variación	4.663%	48.5759%	44.2417%	7.93281%	4.18546%	13.3011%	9.21405%
Mínimo	1.45	0	8.9	18.0	3.73	2.18	8.91268
Máximo	1.8	1.0	63.05	24.0	4.38	3.68	12.7324
Rango	0.349714	1.0	54.15	6.0	0.65	1.5	3.81972
Asimetría estandarizada	-0.884927	-1.43577	1.10122	1.4173	0.182125	0.0126183	-1.42676
Kurtosis estandarizada	1.18149	-0.09789	-0.445841	0.0914642	-0.784374	-0.401421	0.321482

Se discute a continuación el impacto del riego por goteo y del riego por superficie sobre los índices de vegetación. En la figura 3 se observan los índices NDVI (a, b, e) y RVI (c, d, f) para los distintos cuarteles, según el método de riego. En las imágenes del 2008 y 2010 ambos índices muestran que los cuarteles convertidos a riego por goteo tienen un buen estado vegetativo mientras que los cuarteles regados por superficie evidencian en el 2010 una reducción del vigor vegetativo. Las imágenes demuestran que las áreas convertidas a riego por goteo han mantenido un buen vigor. Tanto es así que, a pesar del año hidrológico adverso (muy seco), parecería que en el año 2010 el estado vegetativo en los sectores convertidos a goteo, fue aún mejor, a diferencia de los cuarteles regados por superficie.

El cuadro 9 presenta los estadísticos donde se han comparado las áreas que en 2008 se regaban por superficie. La asimetría y la kurtosis estandarizada demuestran un alejamiento significativo de la normalidad. Considerando las medias y la distribución de los datos resalta la hipótesis de que las dos muestras son similares. Se aplicó el test W (Mann-Whitney) no paramétrico y de ello se concluye que, tanto en NDVI como en RVI, el valor $P > 0,05$; por ende, no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medianas para un nivel de confianza del 95%.

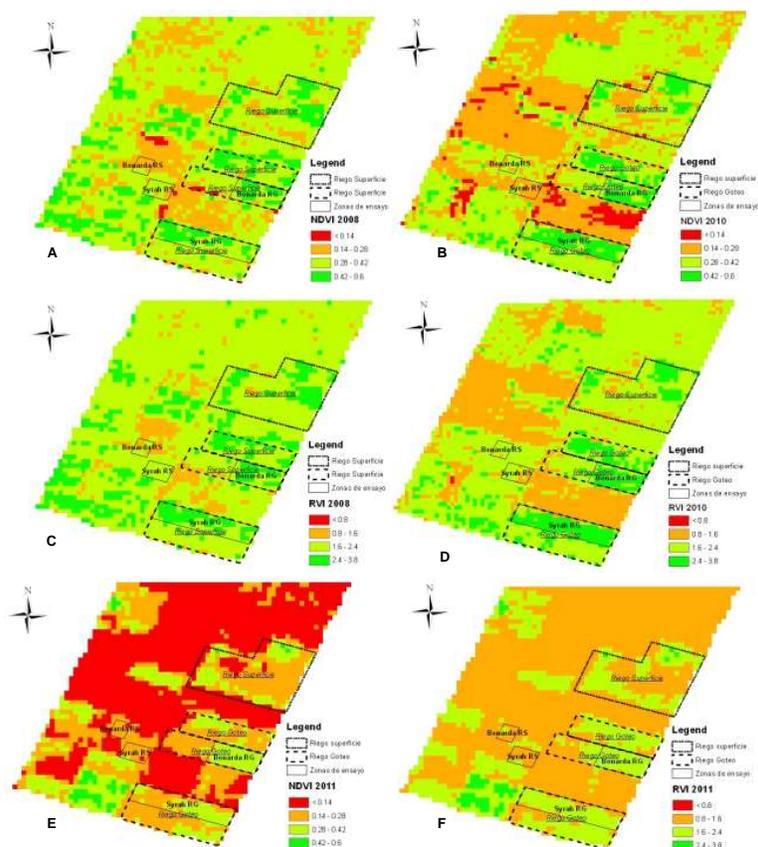


Figura 3: Comparación de índices verdes entre años 2008,2010 y 2011
 Imágenes suministradas por la CONAE (convenio Instituto Nacional del Agua-CONAE)

Cuadro 9: Estadísticos de los cuarteles regados por superficie en el año 2008

Parámetro	NDVI RG	NDVI RS	RVI RG	RVI RS
N°	311	200	311	200
Media	0.377	0.371	2.25	2.23
Desviación estándar	0.068	0.077	0.35	0.42
Coefficiente de variación	18.11%	20.68%	15.50%	18.81%
Mínimo	0.105	0.195	1.235	1.484
Máximo	0.53	0.55	3.26	3.45
Rango	0.425	0.356	2.025	1.97
Asimetría estandarizada	-4.61	1.585	1.516	4.187
Curtosis estandarizada	5.553	-2.031	1.532	-0.751

Nota: RG: áreas convertidas a riego por goteo – RS: áreas regadas por superficie

En el cuadro 10 se muestran para el año 2010, los estadísticos de los dos índices para cada método de riego. La asimetría y la curtosis estandarizada indican la anomalía de los datos. Observando las medias y la distribución de los datos, se evidencia la hipótesis de que las dos muestras son distintas. El test estadístico no paramétrico W (Mann-Whitney), dado que la distribución de los datos no es normal, arrojó un valor de $P < 0,05$ y una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas, con un nivel de confiabilidad del 95%.

Cuadro 10: Estadística resumidas de los índices de los cuarteles en el año 2010

Parámetro	NDVI RG	NDVI RS	RVI RG	RVI RS
Numero	413	298	413	298
Media	0.402	0.319	2.37	1.99
Desviaciones estándar	0.058	0.084	0.3098	0.404
Coef. de variación	14.34%	26.36%	13.04%	20.31%
Mínimo	0.126	0.124	1.289	1.283
Máximo	0.538	0.528	3.333	3.24
Rango	0.412	0.404	2.043	1.955
Asimetría estandarizada	-8.165	2.428	-1.323	7.172
Curtosis estandarizada	10.30	-0.32	2.72	2.77

En la Figura 4 se observa el análisis de las tendencias del rendimiento y del diámetro del tronco en dos cuarteles de la variedad Syrah. Uno conducido como parral y regado por goteo y el otro, un espaldero regado por superficie. Se verifica que las tendencias más marcadas se encuentran en el rendimiento del viñedo regado por superficie, donde se observa una tendencia lineal que aumenta hacia la derecha sobre el eje de las abscisas, (que corresponde a la cabecera del campo) (4-C). Se destaca una forma de U invertida sobre el eje de las ordenadas (que hace referencia a las hileras). La tendencia para el diámetro del tronco es inversa, haciendo siempre referencia al riego por superficie (4-D). Observando los gráficos correspondientes al riego por goteo puede verse que la línea de la tendencia del rendimiento sobre el eje de las abscisas tiene una forma de U no muy marcada, debido al mayor rendimiento de las hileras sobre el borde; por el contrario a lo largo de las ordenadas no hay ninguna tendencia (4-A). Para el diámetro del tronco la tendencia en abscisas se manifiesta de manera débil mientras que en ordenadas se presenta en forma de U invertida muy marcada (4-B).

Luego de los análisis realizados se puede suponer que las tendencias más marcadas en el cuartel regado por superficie se podrían asociar a la baja uniformidad del riego (posiblemente vinculada a la topografía del terreno) y podrían haber influido tanto en el rendimiento como en el crecimiento de la planta. En el riego por goteo la muy baja tendencia en el rendimiento puede estar asociada a la excelente uniformidad de distribución del agua en el cuartel, mientras la tendencia observada en el diámetro del tronco se podría relacionar al hecho de que -en el pasado- el cuartel era regado por superficie. Esta variable debería haber sido reemplazada por el crecimiento diferencial del diámetro, a partir del comienzo del funcionamiento del riego por goteo.

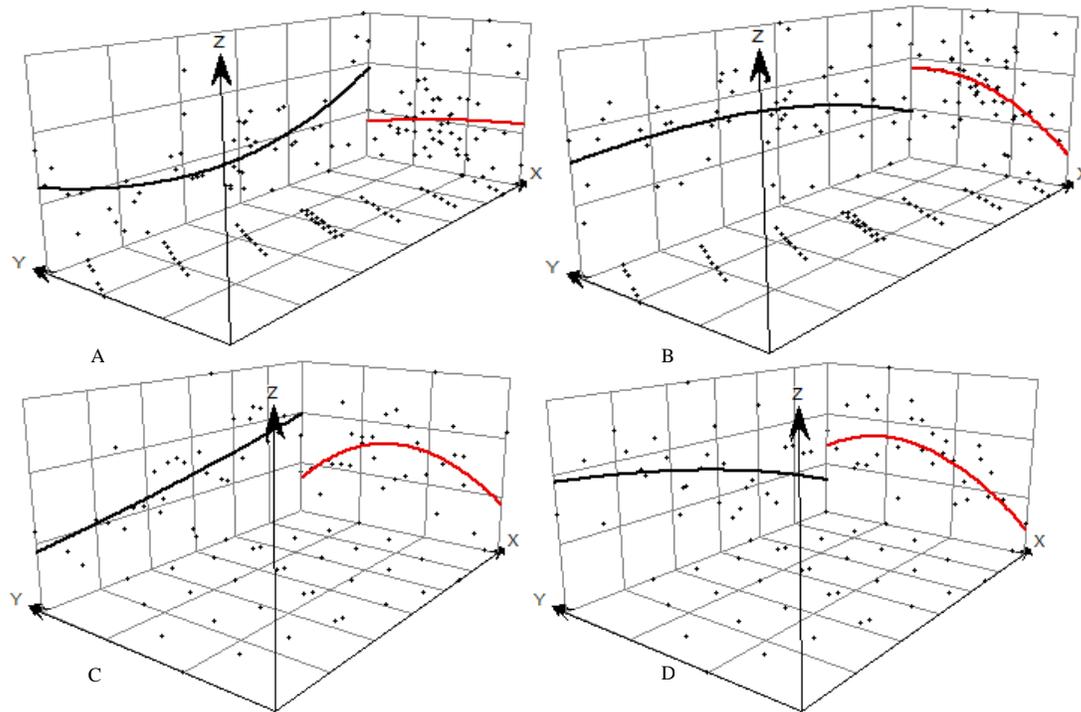


Figura 4: Tendencias de los dos cuarteles cultivados con Syrah
 A = rendimiento del cuartel regado por goteo, B= diámetro del tronco del cuartel regado por goteo,
 C = rendimiento del cuartel regado por superficie y D = diámetro del tronco del cuartel regado por superficie

La figura 5 presenta los gráficos del análisis de la tendencia de las variables diámetro del tronco y rendimiento *en dos viñedos de la variedad Bonarda*, regados uno por superficie y por goteo. En éste último no se presenta ninguna tendencia de diámetro de tronco (5-B), mientras que en el rendimiento se observa una tendencia poco marcada, en forma de U, a lo largo del eje de las ordenadas y una leve tendencia en forma de U invertida sobre el eje de las abscisas (5-A). Analizando los gráficos del riego por superficie, el rendimiento tiene una tendencia marcada en forma de U invertida en el eje de las abscisas mientras que en el eje de las ordenadas no se observa ninguna tendencia (5-C). En lo que refiere al diámetro del tronco en este tipo de riego, la tendencia se evidencia muy baja, tanto en el eje de abscisas como en el de ordenadas (5-D).

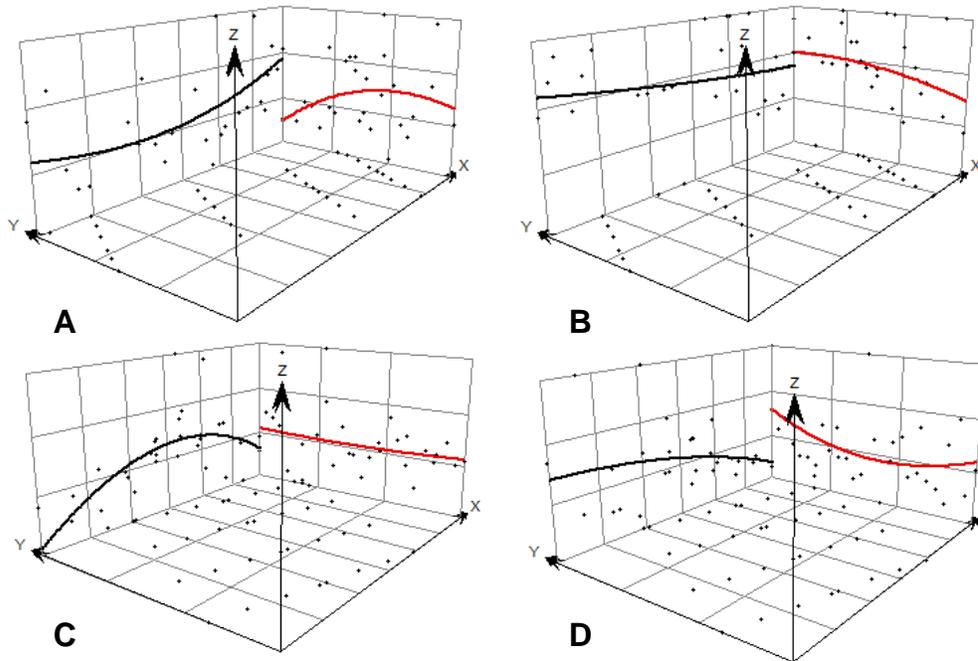


Figura 5: Tendencias de los dos cuarteles cultivados con Bonarda

A = rendimiento del cuartel regado por goteo, B= diámetro del tronco del cuartel regado por goteo, C = rendimiento del cuartel regado por superficie y D = diámetro del tronco del cuartel regado por superficie

A pesar de que las tendencias relevadas son difíciles de comprender, es posible unir la fuerte tendencia encontrada en el rendimiento del cuartel de riego por superficie a la baja uniformidad del método de riego (debida, supuestamente, a la topografía del terreno). En lo que respecta al riego por goteo, las tendencias son poco marcadas y por lo tanto difícilmente atribuibles al sistema de riego, visto el excelente nivel de uniformidad.

CONCLUSIONES

La uniformidad de distribución de riego por goteo resultó *excelente*, aunque se evidencie un porcentaje de orificios tapados en los goteros.

Se observan relaciones bajas entre las variables: rendimiento, diámetro del tronco, acidez total, grados Brix y pH, respecto a los orificios tapados de los emisores y a los caudales erogados. Se asume entonces que aunque con una elevada uniformidad, el riego por goteo, no presentó diferencias evidentes entre los atributos y el sistema de riego, demostrando que una elevada uniformidad lleva también a homogeneizar las plantas y la calidad de su uva.

Se ha demostrado además que el uso de imágenes satelitales, aunque con un tamaño *grande* de píxeles respecto a la escala del campo, puede ser muy útil para evaluar el efecto de la conversión de un sistema de riego a otro, sobre el cultivo. Gracias a los índices de vegetación, pudo observarse la significativa mejoría del vigor vegetativo de los parrales regados por goteo respecto a aquellos regados por superficie, evidenciando la bondad del riego localizado. Este tipo de instrumento puede ser considerado de interés en el estudio de la variabilidad del cultivo y en el diseño de los sistemas de riego, para seleccionar distintos sectores dentro de un sistema.

Por último, en cuanto a la tendencia de variabilidad del rendimiento y del diámetro del tronco entre los dos cuarteles (variedades Syrah y Bonarda), regados por goteo y por superficie, puede verse que el rendimiento de la variedad Syrah regada por superficie presenta una mayor tendencia respecto al cuartel de la misma variedad regado por goteo (probablemente debido a la topografía del terreno). La tendencia observada en el diámetro del tronco del viñedo de Syrah regado por goteo, probablemente responda al hecho de que este cuartel -regado por escurrimiento superficial durante 14 años- sólo lleva 3 años de riego localizado, tiempo escaso para alcanzar una uniformidad aceptable. En cuanto al rendimiento de los cuarteles de la variedad Bonarda, sólo aquéllos regados por superficie presentan una tendencia, lo que puede deberse a la baja uniformidad de riego derivada de la topografía del terreno.

Para concluir, se puede decir que el riego por goteo produjo una mejoría del cultivo, dado que una elevada uniformidad del riego lleva a una homogenización del cultivo y al mejoramiento del estado general de las plantas.

Agradecimientos: al Ing. Guillermo Ibáñez de la CNAE por su valiosa ayuda con las imágenes satelitales. Al propietario de la finca, al Ing. Juan Solsona y a Luis Hernández, Juan Carlos Gonzalez la gente de la finca que ayudaron en la recolección de los datos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bralts V., Kesner C. 1983. Drip irrigation field uniformity estimation. Transactions of the ASAE. Vol 26, pp. 1369-1374.
- Bramley R.G.V., Hamilton R.P., 2004. Understanding variability in wine grape production systems. Australian Journal of Grape and Wine Research 10, 32–45.
- Burt C.M. 2005. Evaluación rápida en el campo de la uniformidad de distribución de goteo y de micro-aspersión. Reunión internacional sobre avances en riego localizado. Monografías INIA: serie agrícola n° 17, Madrid. 92-110 pp.
- Burt C.M., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., Solomon K.H., Bleisner R.D., Hardy L.A., Howell T.A., Eisenhauer D.E. 1997. Irrigation performance measures efficiency and uniformity. J. Irrig. Drain Eng. ASCE 123 (6), 423-442.
- Camp, C. R. 1997. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Vol. 40 (4): 1013 – 1020.
- CONAE. 2012. Imágenes suministradas por Convenio: INA (Instituto Nacional del Agua)-CONAE. Argentina.
- Fontela C., Morabito J., Maffei J., Salatino S., Mirable 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, Pp. 135-154. Mendoza – Argentina.
- Hatfield, J., Sauer, T., Prueger, J., 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. A review. Agron. J. 93, 271–280.
- INDEC, Censo Nacional Agropecuario. 2002. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, República Argentina.

- Keller, J., Blaisner R. 1990. Sprinkle and Trickle irrigation. Chapman & Hall Editorial. New York. 652 pp.
- Keller, J., 2005. Evolución del riego localizado: usos tradicionales y no tradicionales. Conferencia inaugural. Reunión internacional sobre avances en riego localizado. Monografías INIA: serie agrícola n° 17, Madrid. 11-35 pp.
- Letey, J., Vaux, H.J., Feinerman, E., 1984. Optimum crop water application as affected uniformity of water infiltration. *Agron. J.* 76, 435–441.
- López-Mata, E., Tarjuelo, M., de Juan, J.A., Ballesteros, R., Domínguez A., 2010. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agric. Water Manage.* 98, 190–198.
- Mantovani, E.C., Villalobos, F.J., Orgaz, F., Fereres, E., 1995. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agric. Water Manage.* 27, 243–257.
- Morabito José y Salatino Santa. 2005 (sin publicar). Información básica para la transformación de cultivos regados por superficie a riego por goteo. Mendoza – Argentina.
- Nijensohn, L. – 1978 – “Determinación de la textura de suelos por el método del Volumen de Sedimentación”. Cátedra de Hidrología, Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- Ortega-Farias, S., Righetti, T., Sasso, F, Acevedo1, C., Matus, F. y Moreno, Y. 2003. Manejo sitio-especefico del agua de riego en vides viníferas. Simposium Internacional en Viticultura de Precisión y IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. Noviembre Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago-Chile.
- Proffitt, T., Bramley, R., Lamb, D. and Winter, E. 2006. Precision Viticulture – a new era in vineyard management and wine production. *Winetitles*, Adelaide.
- Provenzano G., Pumo D., Rallo G., 2005. Valutazione della performance in impianti per la micirrigazione mediante misure di uniformità ed efficienza di distribuzione. AIIA L'ingegneria per lo sviluppo sostenibile dell'area Mediteranea. 9017.
- Schilardi, C., 2011. Introducción al riego por goteo. Maestría en viticultura y enología.
- Warrick, A.W., Gardner, W.R., 1983. Crop yield proceeding, California, USA, 439–442. As affected by spatial variation of soil and irrigation. *Water Resour. Res.* 19, 181–186.
- Zuccatri, D., 2006. Gestione dell'irrigazione del vigneto. *Informatore Agrario.* 23, 45-50.