



## CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO A TRAVÉS DEL SOFTWARE WINSRFR EN DIFERENTES CONDICIONES DE NIVELACIÓN DEL TERRENO.

Neffen, E.<sup>1\*</sup>, H.R. Zelmer<sup>1</sup>, R.S. Martínez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> EEA INTA Valle Inferior Río Negro, (8500) Viedma, Argentina. \*Autora de contacto: [neffen.evelyn@inta.gob.ar](mailto:neffen.evelyn@inta.gob.ar), <sup>2</sup> Universidad Nacional de Río Negro. Sede Atlántica. (8500) Viedma, Argentina.

**RESUMEN:** Las evaluaciones de desempeño son necesarias para caracterizar cuantitativamente un método de riego, no solamente para describir las variables físicas del mismo, sino para repensar su diseño y manejo. El presente estudio, ubicado en el valle Inferior del río Negro (40° 76' S; 63° 29' O), durante 2019 y 2020 con producción consecutiva de maíz (*Zea mays L.*), tuvo por objetivo describir los cambios que ocurren en la distribución del agua de riego por surco en una superficie con ondulaciones y en una superficie nivelada a pendiente uniforme de 0,05%. Los eventos de riego se analizaron con el software WinSRFR y se corroboró a campo un escenario de mejora simulado por el mismo software en donde las variables de cambio fueron el tiempo de riego y el caudal. La nivelación del terreno aumentó un 15% la Eficiencia de Aplicación (EA), de 30 a 45%, mientras que los ajustes planteados con WinSRFR post nivelación aumentaron un 13% la EA, ascendió de 45% a 58%. Los perfiles de infiltración mostraron que la uniformidad de distribución (UD) logró valores de 95% con las alternativas de manejo propuestas. En términos generales a través de un aumento del caudal unitario de 72% y una disminución en el tiempo de aplicación del 80% se registró una mejor utilización del agua de riego.

**PALABRAS CLAVE:** riego por surcos, distribución de agua en el suelo, WinSRFR.

### INTRODUCCION

La provincia de Río Negro presenta 94.700 hectáreas bajo riego, el 96% de las mismas se realiza de forma gravitacional, con diferentes escenarios climáticos y tecnológicos, el área regada podría ascender a 1.400.000 hectáreas (FAO, 2015).

Actualmente en el Valle Inferior del río Negro existen 24.000 hectáreas bajo riego, parceladas en 500 chacras aproximadamente. (IDEVI, 2011), regadas mayoritariamente por gravedad.

Diversos autores estiman bajas eficiencias de riego gravitacional en promedio para el país (35-40%), (Morábito *et al.*, 2007; Schilardi, 2011; Génova, 2014) encontrándose en el valle Inferior del río Negro valores similares (Lui *et al.*, 2012). Aunque cuando la preparación del terreno y el manejo son adecuados las eficiencias de aplicación que pueden obtenerse son elevadas, del orden del 70% o superiores.

La evaluación de un sistema de riego en un área determinada constituye una forma de establecer el grado de racionalidad en el uso del agua (Grassi, 1998). La evaluación de desempeño del riego tiene como objetivo su optimización e incluye la observación, registro e interpretación del evento de riego (Pereira *et al.*, 2012).

En las últimas décadas, se han logrado mejoras en el diseño, operación y evaluación del riego gravitacional a través de software de análisis como el WinSRFR del USDA (Bautista *et al.*, 2009). Se basa en un modelo hidráulico de flujo inestable e integra funciones de análisis de eventos, diseño y análisis operativo, además de la simulación, permite estimar la potencial mejora de los indicadores de desempeño en diferentes escenarios de optimización del riego. El presente estudio muestra los cambios que ocurren en la distribución del agua de riego a través de evaluaciones de desempeño en una condición previa con ondulaciones en el terreno y luego de nivelar a pendiente uniforme. Por otro lado se analizan los eventos de riego con el

software WinSRFR y se comprueba a campo un escenario de mejora en donde las variables a modificar fueron tiempo de riego y caudal.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio se desarrolló en un establecimiento agrícola ubicado en el valle Inferior del río Negro (40° 76' S; 63° 29' O), durante 2019 y 2020 con producción consecutiva de maíz (*Zea mays L.*). El relieve del valle se compone de llanuras de origen aluvial, la serie de suelo del sitio particular es San Javier, se caracteriza por desarrollarse sobre materiales franco limosos y franco arenosos bien drenados, moderadamente profundos, de textura media y consistencia friable. (Guerra, 1966)

El riego gravitacional por surcos sin desagüe se efectuó con mangas de polietileno flexible con compuertas de plástico regulables de 50 mm de diámetro, que erogan hasta 3 Ls<sup>-1</sup> por compuerta. Cada surco tuvo asignada una compuerta de riego, respetando la distancia entre hileras de 0,7 m. Durante octubre 2019, previo a la siembra del cultivo se acondicionó el terreno con una nivelación adecuada de 0,05 % como parte del Proyecto Especial Prohuerta. Se realizaron 3 evaluaciones de riego en el mismo lote bajo diferentes condiciones del terreno, caudal unitario y tiempo de riego. Las evaluaciones comprendieron dos temporadas de cultivo primavero-estivales, 2018-2019 y 2019-2020, la caracterización implicó que el manejo de los riegos este sujeto a las decisiones del establecimiento propiamente y solo se intervino con fines de investigación la tercera evaluación de riego para comprobar mejoras con cambios propuestos en el caudal unitario y tiempo de riego.

La primera evaluación de riego se realizó en enero de 2019 sobre un terreno irregular sin nivelación, la pendiente longitudinal y transversal se obtuvo con el nivel óptico. La segunda evaluación de riego fue en la siguiente temporada de cultivo, en enero 2020 y la tercera evaluación fue un mes después en febrero 2020 con la incorporación de cambios en el tiempo de riego y caudal sugeridos en el software WinSRFR.

Como variables del sistema de riego se determinó en cada evento: lámina de reposición por riego (LR) por gravimetría, lámina bruta por riego (LB), velocidad de avance, pendiente del terreno (S), infiltración y geometría de los surcos con perfilómetro.

La infiltración se obtiene a través de la información que se ingresa en WinSRFR producto de las evaluaciones de riego, el método elegido es el balance de volumen agua de Merriam y Keller. El análisis utiliza los datos de campo de avance, recesión, entrada y escorrentía si hubiere para estimar las características de infiltración. Para surcos, se supone que la infiltración es independiente del perímetro mojado, los valores de los parámetros dependen del espacio entre surcos. (Bautista *et al.*, 2009)

La velocidad de avance y receso se obtuvo al dividir equidistantemente un surco de riego y colocar una estaca en cada estación de avance y receso.

Las variables de manejo fueron: caudal unitario (Qu) a través del aforo con recipiente y cronómetro, tiempo de aplicación o corte (Tap), y longitud de la unidad de riego (L).

Indicadores de desempeño a través de las láminas de riego:

Eficiencia de aplicación (EA) definida como el cociente entre el volumen de agua almacenado en el perfil de suelo y el volumen de agua aplicado en la parcela. Evalúa las pérdidas de agua (Grassi, 1998).

Eficiencia de almacenaje (EAL), relación entre la lámina almacenada en el perfil después del riego, respecto de la lámina necesaria que se esperaba almacenar.

Uniformidad de Distribución (UD) Merriam y Keller (1978) definida como la lámina media infiltrada en el cuarto más perjudicado respecto de la lámina media infiltrada en todo el perfil. La UD del agua en riego por surcos se ve afectada por componentes individuales como caudal y duración del riego, pendiente, aspereza del surco, sección transversal del surco, longitud del surco, diferentes grados de compactación debido a labores mecánicas, además de posibles diferencias fisicoquímicas del suelo.

Percolación profunda (Pp), relación entre el volumen percolado por debajo del sistema radicular y el volumen total ingresado.

Cociente de Adecuación (ADlq)/ Adecuación del cuarto más perjudicado: expresa la relación entre la lámina infiltrada en el cuarto más perjudicado y la lámina objetivo. (Bautista *et al.*, 2009). Estima si el riego ha sido insuficiente, adecuado o excesivo. La estimación de eficiencias de riego potenciales se obtiene con el módulo "Operation analysis" del WinSRFR versión 4.1 en el cual determina la mejor combinación entre el caudal de manejo y el criterio de tiempo de riego.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evaluaciones de riego proporcionan información importante a los establecimientos productivos del valle, ya que constituyen la caracterización básica para repensar las variables de manejo y sus repercusiones sobre la eficiencia de uso del agua (EUA) y la productividad del sistema.

El lote bajo estudio presentó inicialmente las irregularidades que se observan en la Figura 1, el mapa se construyó a través de múltiples mediciones altimétricas en 2018, en donde se observó una pendiente general predominante positiva hacia el pie o final de riego. La Figura 1 representa las condiciones en las que se desarrolló el cultivo de maíz en la temporada 2018-2019 y la evaluación de riego en enero 2019 (Figura 2). Mientras que las Figuras 3 y 5 corresponden a descripciones de distribución de agua en el mismo suelo, pero luego de nivelarse.

Los eventos de riego analizados podrían constituir el desempeño general de todos los riegos del ciclo al no tratarse del primer riego, el cual demanda cantidades excesivas de agua por la sequedad inicial del suelo y las necesidades propias del proceso de germinación del cultivo.

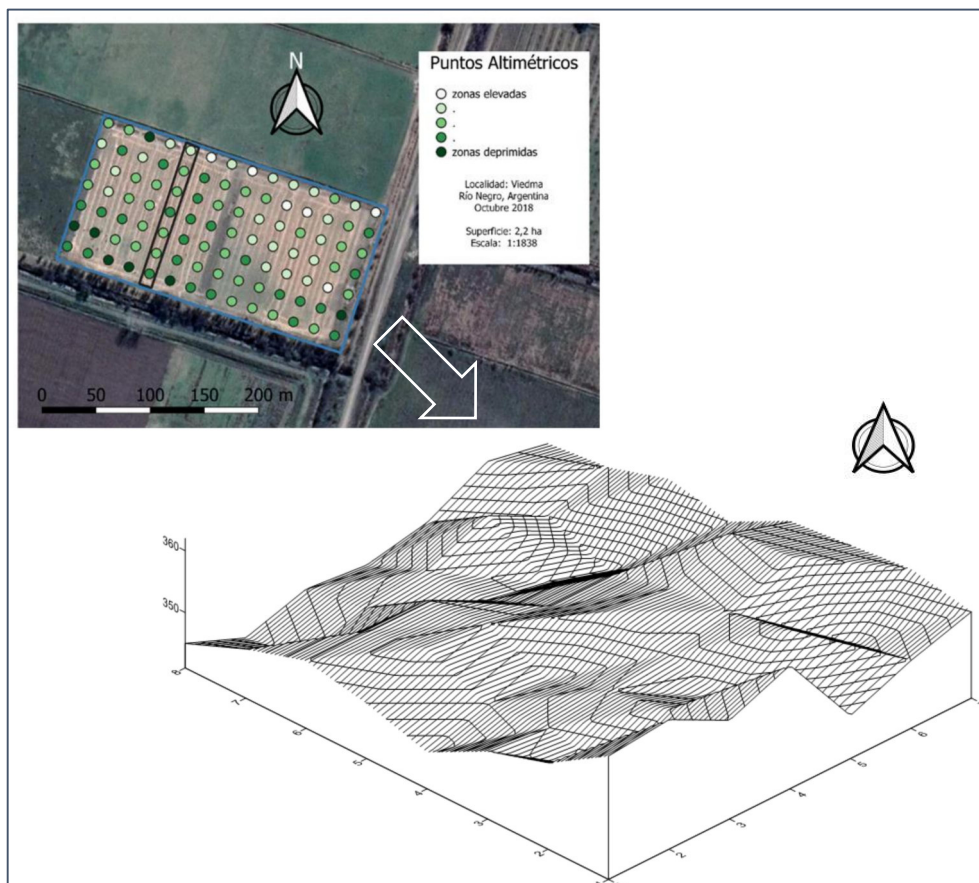


Figura 1: Mapa de distribución altimétrica en 2018 expresado en un gradiente de colores en los puntos de medición (QGIS 3.4) y a través de curvas de nivel con Surfer (Golden Software, 2010). El rectángulo negro indica la zona en donde se hicieron las evaluaciones de riego.

De forma general la EA ascendió luego de la nivelación, si comparamos el ADIq, que relaciona la lámina infiltrada en el cuarto más perjudicado y la lámina objetivo, se evidenció un equilibrio entre el agua requerida y aplicada cuando se realizaron ciertos ajustes en el caudal unitario y el tiempo de riego sin afectar el largo de los surcos de riego. (Tabla 2).

Tabla 1: Descripción de los eventos de riego analizados, en donde L: longitud del surco (metros) Q: caudal (litros.seg<sup>-1</sup>), Qu: caudal unitario por surco (litros.seg<sup>-1</sup>), N° sr: número de surcos regados simultáneos, Tap: tiempo de aplicación (minutos), LR: Lámina requerida por riego (mm), LB: Lámina bruta aplicada (mm).

Fecha	Nivelación	L	Q	Qu	N° sr	Tap	LR	LB
08/01/19	No	140	40	0,8	50	413	56	202
11/01/20	Si	140	40	1,5	28	260	65	144
10/02/20	Si	140	40	2,8	15	86	85	145

Tabla 2: Desempeño de los eventos de riego analizados, en donde EA: eficiencia de aplicación (%), EAL: eficiencia de almacenamiento (%), Pp: Percolación (%), UD: uniformidad de distribución, UDIq: Cociente de Adecuación.

Fecha	Nivelación	EA	EAL	Pp	UD	UDIq
08/01/19	No	30	100	70	87	3,3
11/01/20	Si	45	100	55	81	1,8
10/02/20	Si	56	100	42	95	1,6

Según la clasificación de Roscher de 1985, el riego por surco presentó valores “Malos” de EA, < 60%, y valores “Buenos” para EAL y UD; > 90% valores similares a los obtenidos en otros estudios nacionales (Tabla 2) (Génova *et al.*, 2014; Schilardi, 2011; Morábito *et al.*, 2003)

La propuesta de mejora con WINSRFR fue un aumento del caudal (de 40 a 75 litros.seg<sup>-1</sup>) y un tiempo de riego de 50 minutos. El caudal unitario se adaptó reduciendo el frente de riego, de 28 surcos a 15, ya que el predio presenta limitaciones de diseño en sus compuertas para erogar un caudal general mayor a 40 litros.seg<sup>-1</sup>.

El tiempo de aplicación a campo fue mayor al programado, de 50 minutos a 86, que se correspondió con una disminución en la velocidad de avance del agua, de 76 m.hs<sup>-1</sup> a 68. Las diferencias podrían relacionarse con los cambios ocurridos en la rugosidad del surco de riego simulado en las condiciones del terreno al momento de la segunda evaluación (11/01/2020) y lo observado en la tercer evaluación un mes después (10/02/2020) en donde existía un gran crecimiento vegetal espontáneo.

Con respecto a la velocidad de infiltración básica, se registró un promedio de 10 mm.hs<sup>-1</sup>, correspondiente a una infiltración moderadamente lenta de un suelo franco limoso y el índice 0,45 de un suelo de textura limoso en la familia de curvas del SCS – USDA.

Mediante los datos relevados se observó que ningún riego superó el caudal unitario máximo no erosivo estimado según Hamad & Stringham (1978) en 5,1 litros.seg<sup>-1</sup>.

Los perfiles de infiltración determinados a partir de las medidas experimentales durante los riegos y el software WinSRFR mostraron que la uniformidad de distribución (UD) inicialmente fue de 87%, pero con una EA muy baja de 30% (Figura 2). Luego de la nivelación la EA ascendió, pero disminuyó la UD (Figura 3), corrigiéndose luego con ajustes en Qu y tap (Figura 5).



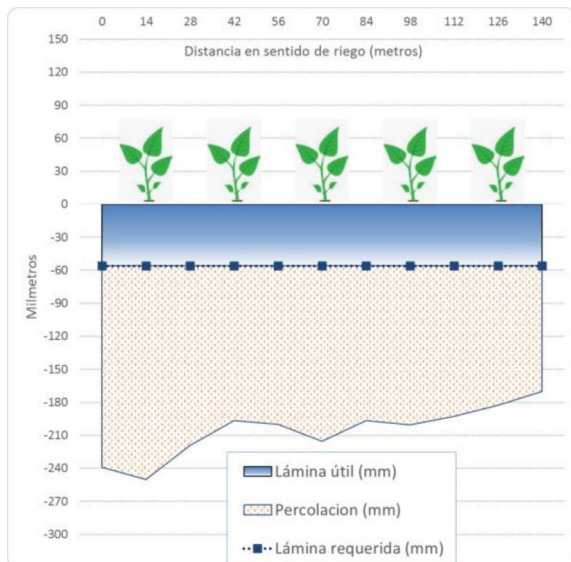


Figura 2: Perfil de distribución del agua en el suelo a través de los tiempo de avance y receso analizados el 08/01/2019 sin nivelación en el terreno.

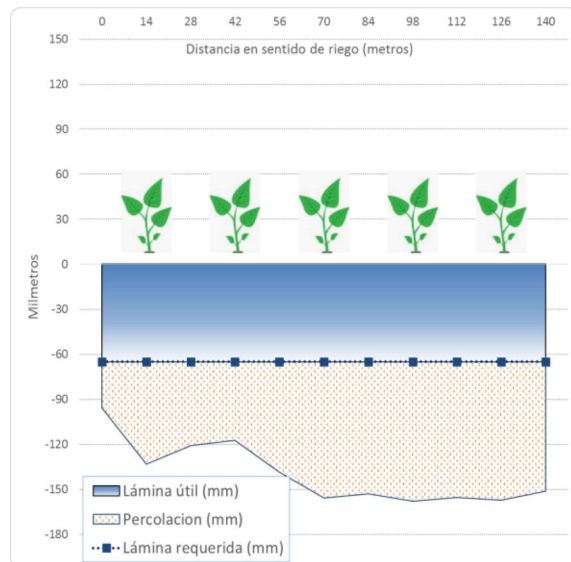


Figura 3: Perfil de distribución del agua en el suelo a través de los tiempo de avance y receso analizados luego de la nivelación del terreno el 11/01/2020.

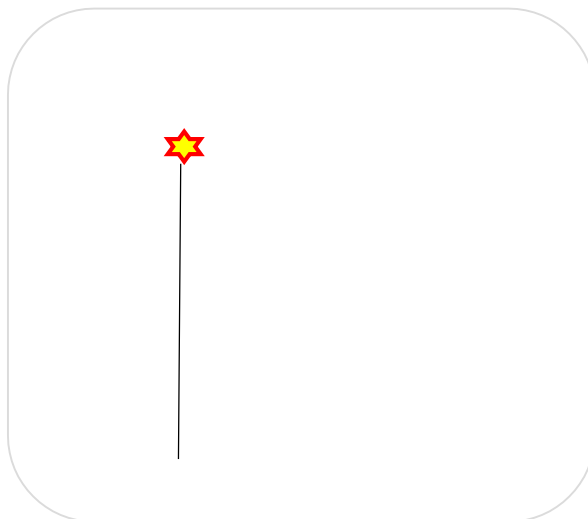


Figura 4: Escenario de desempeño potencial, el círculo negro indica el desempeño del 10/01/2020 y la estrella el desempeño potencial según la combinación de caudal (eje Y) y tiempo de riego (eje X).

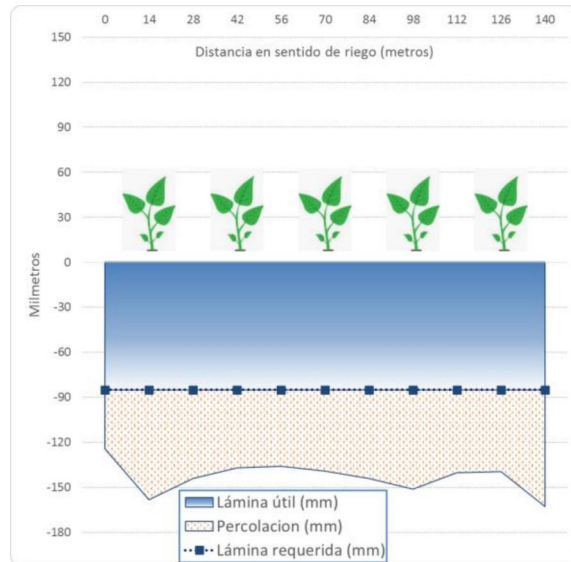


Figura 5: Perfil de distribución del agua en el suelo el 10/02/2020 con las recomendaciones del WinSRFR.

## CONCLUSIONES

El software WinSRFR fue apropiado para interpretar las evaluaciones de riego realizadas, caracterizar el proceso de infiltración en el suelo, como así también para definir escenarios de optimización en los sistemas de riego evaluados. Los trabajos de nivelación del terreno permitieron aumentar 15% la EA, de 30 a 45%, mientras que los ajustes planteados desde el software post nivelación aumentaron un 13% la EA, ascendió de 45% a 58%. La EA potencial simulada de 70% no fue la observada ya que el coeficiente de rugosidad del terreno escogido inicialmente no se correspondió con las condiciones de limpieza del surco. En términos generales a través de un aumento del caudal unitario de 72% y una disminución en el tiempo de aplicación del 80% se registró una mejor utilización del agua de riego. Los perfiles de infiltración mostraron que la uniformidad de distribución (UD) mejoró de 87% a 95%. Es importante continuar con estudios de caracterización de los sistemas de riego que consideren

la variabilidad de condiciones del valle y aporten herramientas de manejo para el aumento de la EUA específicamente y la sustentabilidad de los recursos en general.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue financiado por el Proyecto especial Prohuerta 1071 “Facilitación de la operación predial del riego en productores/as familiares del Valle Inferior del río Negro”. Se realizaron labores de nivelación del terreno e instalación de mangas de polietileno para riego a través del mismo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Bautista, E, AJ Clemmens, TS Strelkoff & J Schlegel. 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agric. Water Manag.* 96:1146-1154.
- FAO. 2015. Estudio del potencial de ampliación del riego en argentina. UTF/ARG/017 Desarrollo Institucional para la Inversión.
- Génova, L. 1994. Diseño, operación y evaluación de riego complementario por surcos, en terrenos no nivelados de la región norpampeana. *Actas del Congreso Internacional de Ingeniería Rural y III Congreso Argentino de Ingeniería Rural.* Morón, Provincia de Buenos Aires.
- Génova, L., R Andreau & P Etchevers. 2014. Desempeño de tres métodos de riego por surcos: caudal único, dos caudales y caudal discontinuo en un cultivo de maíz. *Rev. Fac. Agron.* Vol 113 (2):174-191.
- Golden Software, LLC. 2010. [www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com).
- Grassi, C. 1998. *Fundamentos del Riego.* Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Guerra, P, HT Masota, & JJ Olivieri. 1966. *Estudios de suelos con fines de riego.* Proyecto FAO/ Viedma.
- Hammad, S & G Stringham. 1978. Maximum non-erosive furrow irrigation Stream Size. *ASCE J. Irrig. Drain. Div.* 104: 275-281.
- IDEVI. 2011. Informe y análisis sobre declaraciones de cultivo 1998/2011. Departamento de desarrollo económico-IDEVI. 10 p.
- Lui, E, R Roa, RS Martínez, H Zelmer, L Reinoso & M D´Onofrio. 2012. Evaluaciones de riego parcelarias en el valle inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. VI Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego. Mendoza. Argentina.
- Merriam, J & J Keller. 1978. *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management.* Department of Agriculture and Irrigation, Engineering, Utah State University, USA.
- 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. UNCuyo.
- Morábito J, C Mirábile & S Salatino. 2007. Eficiencia de riego superficial, actual y potencial en el área de regadío del río Mendoza (Argentina). *Revista Ingeniería del Agua de la Universidad de Córdoba, España,* Vol. 14, No 3. pp. 199-213. ISSN: 1134–2196.
- Pereira, L, I Corder & I Iacovides. 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. 12 pp.
- QGIS 3.4 Development Team. 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- Schilardi, C. 2011. Desempeño del riego por superficie en el área de regadío de la cuenca del río Tunuyán Superior, Mendoza argentina. Tesis de Maestría. UNCuyo.