

## Diseño y evaluación de riego por goteo con bombeo solar en Bajo de Vélez, San Luis

### Desing and evaluation of drip irrigation whit solar pumping in Bajo de Vélez, San Luis

Marisa Mariela Garbero <sup>1</sup>, Pablo Hernán Venturelli <sup>1</sup>, Walter Pablo Maza<sup>1</sup>, Sofía Noel Castellán<sup>1</sup>

[mgarbero@unlc.edu.ar](mailto:mgarbero@unlc.edu.ar), [pventurelli@unlc.edu.ar](mailto:pventurelli@unlc.edu.ar), [wmaza@unlc.edu.ar](mailto:wmaza@unlc.edu.ar), [scastellan@alumnos.unlc.edu.ar](mailto:scastellan@alumnos.unlc.edu.ar)

<sup>1</sup> Universidad Nacional de los Comechingones, CP 5881, Villa de Merlo, San Luis, Argentina.

Recibido 08/10/2023; Aceptado: 21/10/2023

**Resumen:** El riego por goteo a pequeña escala puede utilizar un tanque de agua elevado y usar bombas solares para su carga. El Bajo de Vélez, se encuentra en el noreste de la provincia de San Luis, pertenece a la región semiárida Argentina y en los últimos años las escasas precipitaciones determinaron un periodo de extrema sequía. Se plantea realizar la caracterización climática y edáfica de un establecimiento e implementar un sistema de riego por goteo con bombeo solar. El análisis del lugar determinó déficit hídrico, la presencia de suelo franco-arenoso, agua de buena calidad para consumo animal y de riesgo medio de salinización para su uso en riego. El sistema de riego instalado tuvo un coeficiente de uniformidad excelente. Este sistema pretende ayudar a las comunidades rurales a implementar una tecnología que pueda ser utilizada para la producción de hortalizas incrementado la seguridad alimentaria de los pobladores.

**Palabras-clave:** calidad del riego; energía solar; coeficiente de uniformidad

**Abstract:** Small-scale drip irrigation can use an elevated water tank and use solar pumps to charge the tank. Bajo de Vélez, is located in the northeast of the province of San Luis, in the semi-arid region of Argentina. In recent years the low rainfall determined a period of drought. It is proposed to carry out the climatic and edaphic characterization of an establishment and implement a drip irrigation system with solar pumping. The analysis of the place determined water deficit, the presence of loamy-sandy soil, good quality water for animal consumption and medium risk of salinization for use in irrigation. The installed irrigation system had an excellent uniformity coefficient. This system aims to help rural communities to implement a technology that can be used for the production of vegetables increasing the food security of the habitants.

**Keywords:** irrigation quality; solar energy; uniformity coefficient

## 1. Introducción

Una de las formas más importantes de resolver el problema de la escasez de agua es desarrollar una agricultura que ahorre agua. Un gran número de prácticas de riego en todo el mundo muestran que la tecnología de riego por goteo es una de las tecnologías de regadío que ahorra agua más efectiva y eficientemente en la actualidad (Yunkai et al., 2016). Sin embargo, la tecnología moderna no ha logrado satisfacer la amplia necesidad de productos económicos para sistemas de pequeñas parcelas. La exigencia del escenario actual es transformar la tecnología que durante mucho tiempo se consideró apropiada solo para establecimientos más grandes, en una nueva opción para los pequeños propietarios (Singh et al., 2009). Según Martínez et al. (2022) podemos diferenciar los sistemas de riego por goteo de alta presión o convencionales y de baja presión (a gravedad). El sistema de riego por goteo alimentado por gravedad elimina la necesidad de costosos componentes, ya que utiliza un tanque de agua elevado, lo que hace que estos sistemas sean significativamente más rentables, además de tener un diseño más simple y una instalación más sencilla (Martínez et al., 2022). Esta tecnología de riego por goteo es adecuada para países en desarrollo debido a su bajo costo y simplicidad de diseño e instalación (Ella et al., 2009).

Por otra parte, el uso de la energía solar fotovoltaica para los sistemas de bombeo de agua ha sido una de las formas más populares de aplicación de energía solar en últimas décadas en áreas remotas y desérticas, la adopción de éstos es un medio para aumentar la sostenibilidad de las comunidades rurales (Chilundo et al., 2018).

El Bajo de Véliz, se encuentra en el noreste de la provincia de San Luis y pertenece a la región semiárida Argentina. En todo el territorio provincial las precipitaciones son muy variables entre años y concentradas desde fines de primavera hasta comienzos de otoño lo que produce déficit hídrico (Saenz y Colazo, 2015).

Las comunidades campesinas que habitan en las sierras centrales de San Luis tienen acceso limitado al agua porque no se dispone de las obras de infraestructura necesarias (Venturelli y Churin, 2019) y además no se cuenta con energía eléctrica. En ese contexto en los últimos años se han instalado bombas para extraer agua de diversas fuentes (arroyos, vertientes, acuíferos) para abastecer a la población. Las bombas son accionadas por energías alternativas a la energía eléctrica (combustión, solar, eólica) y abastecen agua con fines de consumo humano, abrevadero para animales y en algunos casos para riego. En algunas comunidades campesinas de la zona se han instalado sistemas de riego por goteo con infraestructura de bajo costo, fácil manejo y mantenimiento, adaptados a bajo caudal y presión (o energía) acoplados a bombas y con el objetivo de brindar soluciones a productores que implementan por primera vez un sistema de riego (Monteagudo et al., 2015).

Ante esta realidad de escaso recurso hídrico y ausencia de red eléctrica la realización de un sistema de riego por goteo de baja presión y utilizando la energía solar para su funcionamiento permitirá producir cultivos hortícolas, siendo eficientes y sostenibles en el uso del recurso y brindando a las comunidades la posibilidad de mejorar su dieta e incluso comercializar en mercados locales el exceso de producción. Por lo que este estudio se plantea un análisis integral de

las características del establecimiento a fin de implementar con éxito un sistema de riego por goteo con bombeo solar.

## **2. Metodología**

El trabajo se llevó a cabo en el establecimiento ubicado a 32°17'20.0"S 65°24'11.3"W en el Departamento Junín, San Luis. En la propiedad viven 5 personas adultas y 2 niños. Los propietarios poseen 100 cabezas de ganado caprino, siendo la cría y reproducción de los mismos su actividad principal. Además, cuentan con 5 cerdos (3 hembras y 2 padrillos) y 20 gallinas aproximadamente.

La bomba solar toma agua del acuífero freático y con ello se cubren las necesidades de uso doméstico, ganadero y de riego.

Se determinó el régimen de temperaturas y precipitaciones del lugar con datos de Global Historical Climatology Network (GHCN) y Climate Research Unit (CRU). La evapotranspiración se determinó por el método de Blaney y Criddle y se calculó la necesidad hídrica del cultivo con mayor necesidad hídrica de los cultivos a implantar.

Se tomó una muestra de suelo compuesta y se realizó un análisis físico-químico del suelo y se determinó la textura del lote. El proceso de recolección de la muestra de agua se llevó a cabo siguiendo las indicaciones establecidas por el Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Aguas con Fines Múltiples (INTA, 2011). La muestra se tomó en el mes de marzo de 2023. Los análisis físico-químicos fueron realizados según la metodología de Standard Methods (2017).

Se realizó el diseño agronómico del sistema de riego en base a los valores de evapotranspiración y precipitaciones de la zona.

Para la evaluación de la uniformidad del sistema de riego se utilizó la metodología desarrollada por Merriam y Keller (1978), citada por Pizarro Cabello (1996) y la metodología de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas de USA, a través de sus estándares ASAE EP-438 (2001). A tal efecto, se evaluaron 4 laterales y se recogió el volumen de agua en el inicio, a 1/3, 2/3 y al final de línea lateral. Se recolectó el agua del gotero con una probeta graduada durante 36 segundos, realizando las repeticiones y obteniendo un valor promedio de las mediciones en cada punto.

## **3. Resultados**

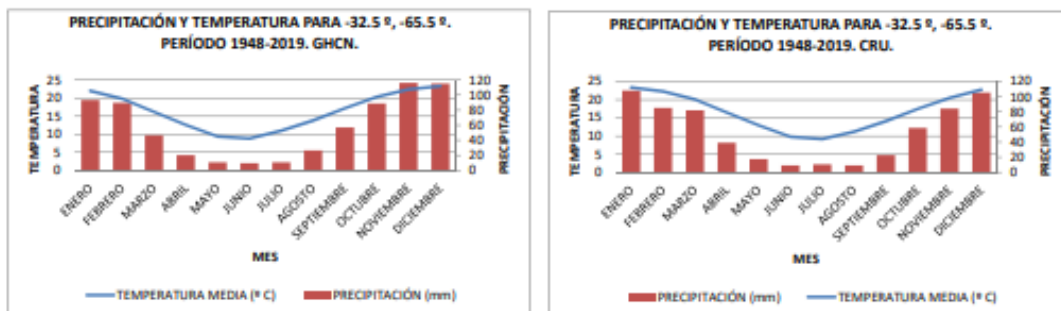
Caracterización climática del lugar y cálculo de las necesidades de riego.

Los datos de temperatura media y precipitaciones mensuales obtenidos de Global Historical Climatology Network (GHCN) y Climate Research Unit (CRU) para el período 1948 – 2019, se presentan a continuación (Figura 1). Las precipitaciones se concentran en los meses estivales y se observa que existen pocas

precipitaciones durante los meses de mayo, junio y julio. El promedio de histórico de precipitaciones anuales da 633 mm año<sup>-1</sup> (GHCN) y 686 mm año<sup>-1</sup> (CRU) siendo el promedio de ambos 659,5 mm año<sup>-1</sup>. Con el promedio de ambas bases de datos se calculó la evapotranspiración potencial (Figura 2).

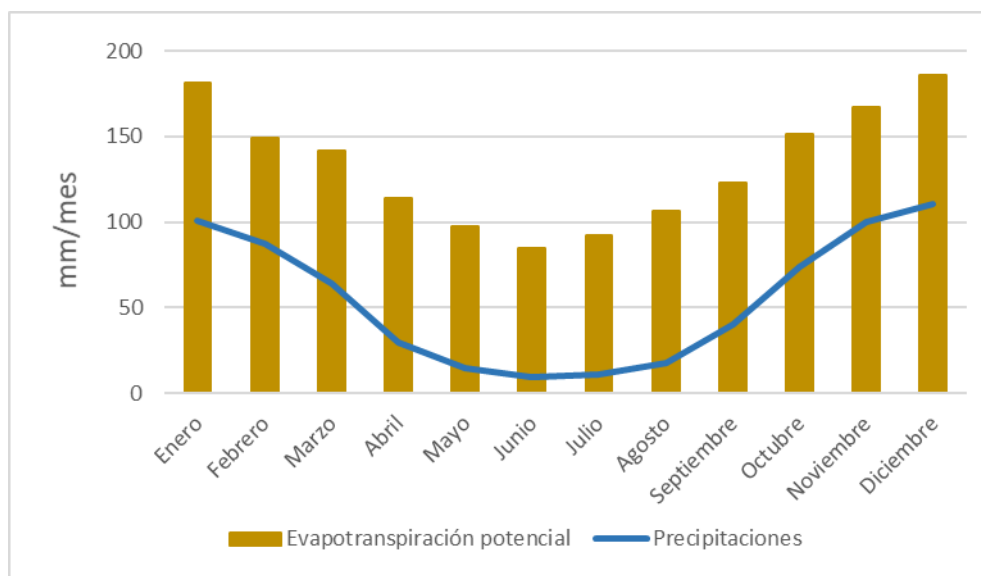
**Figura 1**

Temperatura media y precipitaciones mensuales obtenidos de Global Historical Climatology Network (GHCN) y Climate Research Unit (CRU).



**Figura 2**

Evapotranspiración potencial y precipitaciones



El cálculo de la evapotranspiración actual se realizó en base al Kc de lechuga (*Lactuca sativa*) y posteriormente, se determinaron las necesidades de riego netas

teniendo en cuenta las precipitaciones efectivas del lugar y los siguientes coeficientes:

$K_L$  = Coeficiente corrector por la localización, despreciable en cultivos hortícolas.

$K_r$  = Coeficiente corrector por variación climática, se debe sumar un 15-20% a las necesidades netas.

$K_a$  = Coeficiente corrector por advección, igual a 1 en pequeñas superficies y cultivos bajos.

Además, se tuvieron en cuenta las necesidades de lavado y se determinó que las necesidades totales para el mes de mayor requerimiento (enero) son de 5,21 mm día<sup>-1</sup>.

Las necesidades totales equivalen a 5,21 l m<sup>-2</sup>, lo que indica que para regar todo el lote son necesarios 1823,5 l día<sup>-1</sup>. Con el caudal que erogaron los goteros de 3,7 l por metro lineal, regando durante 1,5 h se obtiene 1925,44 l día<sup>-1</sup> en todo el lote. Dicho volumen de agua logra cubrir las necesidades del cultivo.

Para que el sistema erogase ese volumen de agua, la bomba que carga el tanque deberá permanecer encendida durante el tiempo de riego (1,5 h). Dado que el caudal de la misma es de 1080 l h<sup>-1</sup> y sumados los 800 l del tanque se tienen 2420 litros por cada riego. Luego del tiempo de riego la bomba deberá llenar el tanque nuevamente lo que le llevará 45 minutos aproximadamente. En resumen, la bomba deberá funcionar 2 horas 15 minutos por día para que el agua extraída sea usada con fines de riego en el mes de mayor requerimiento.

## Suelo

Los resultados del análisis físico-químico del suelo se observan en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Resultados del análisis físico-químico del suelo

Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )		96,69
Carbono orgánico		0,99
Materia orgánica (%)		1,71
pH (1:2,5)		6,85
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )		0,359
Nitrógeno (%)		0,088
N-Nitratos (mg kg <sup>-1</sup> )		6,55
S-SO <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )		5,40
CIC (Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )		16,08
Cationes intercambiables	Ca <sup>++</sup>	7,00
	Mg <sup>++</sup>	7,05

(Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup>	1,040
	K <sup>+</sup>	0,75

El establecimiento se encuentra en el piedemonte de la sierra con orientación sur. El análisis determinó que el contenido de fósforo es alto en relación a los valores de la región. El alto contenido de materia orgánica puede estar dado por la ubicación del lote que recibe los aportes desde la sierra y además por la protección que le otorga la sierra, siendo más húmedo y frío por su orientación al sur. El valor de pH y conductividad eléctrica se encuentran dentro de los valores normales. La capacidad de intercambio catiónico es buena.

El análisis de los contenidos de los minerales del suelo determinó: Arcilla 19,6%, Limo 20,7% y Arena 59,7%. Según la clasificación de clases texturales se determinó que el suelo es franco-arenoso.

#### Agua

El agua del establecimiento presenta un pH levemente ácido. Los contenidos de Sulfatos, Magnesio y Arsénico se encuentran dentro de los límites normales para consumo animal (Tabla 2). La cantidad de sólidos solubles (residuo seco) determina agua de muy buena calidad y de bajo tenor salino para consumo animal. Sin embargo, es probable que se deban realizar suplementación con sales.

**Tabla 2**

Resultados del análisis químico del agua

pH	6,81
Conductividad eléctrica a 25°C (dS m <sup>-1</sup> )	1,096
Residuo seco a 110°C (mg l <sup>-1</sup> )	763,00
Carbonatos-CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	0
Bicarbonatos-CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	298,90
Sulfatos-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	216,13
Cloruros- Cl <sup>-</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	63,90
Calcio- Ca <sup>++</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	26,05
Magnesio-Mg <sup>++</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	63,18
Sodio-Na <sup>+</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	103,50
Potasio-K <sup>+</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	29,32
Arsénico-As <sup>+++</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	0,005
Dureza total-CO <sub>3</sub> Ca (mg l <sup>-1</sup> )	325,00
Relación de adsorción de sodio (RAS)	2,5

Según la clasificación de Richards (1954) el agua se clasifica como C2S1, que significa que el agua presenta riesgo medio de salinización del suelo y sin riesgo de sodificación, debido al bajo contenido de sodio del agua (Tabla 2).

#### Diseño del sistema de riego

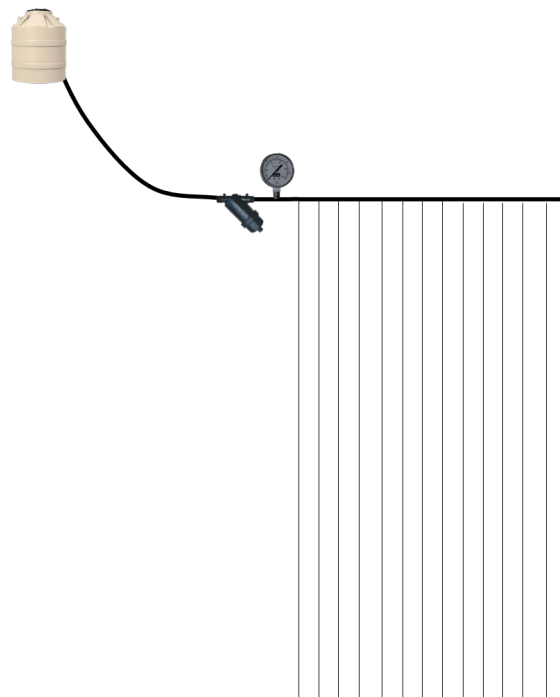
El sistema de riego (Figura 3) quedó constituido por un tanque de 800 l ubicado en altura en el cerro lindante al lote. La altura a la que se encuentra el tanque genera 1,2 bar. La tubería principal es de PE de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de diámetro y tiene 50 m de longitud.

El cabezal de riego quedó conformado por un filtro de anillas y un manómetro (rango de medición 0-1 bar). Cuando el sistema está en funcionamiento la presión al inicio de las cintas es de 0,45 bar. Se colocaron 14 cintas de 25 m de longitud a 1 m de distancia entre ellas, lo que determina una superficie de riego de 350 m<sup>2</sup>. Las cintas poseen goteros cada 20 cm y erogan un caudal en promedio de 0,73 l h<sup>-1</sup> a la presión de trabajo del sistema instalado.

El riego por goteo instalado coincide con lo expresado por Martínez y col. (2022) en cuanto a la simplicidad y sencillez de este tipo sistemas.

#### Figura 3

Esquema del sistema de riego instalado. Fuente: Elaboración propia



Los valores promedios de los volúmenes de agua recogidos siguiendo la metodología para medir el coeficiente de uniformidad se presentan en la Tabla 3.

Para calificar el desempeño del sistema de riego se procede al cálculo del coeficiente de uniformidad (CU) y se clasificó de acuerdo a los valores indicados por ASAE EP-458 (2001), Merriam y Keller (1978) e IRYDA (1983).

El CU se determinó dividiendo el caudal promedio del 25% de las lecturas más bajas ( $l\ h^{-1}$ ) sobre el caudal promedio de todas las lecturas ( $l\ h^{-1}$ ). El CU obtenido es de 97% determinando una clasificación de Excelente según los tres autores citados.

**Tabla 3**

Evaluación del coeficiente de uniformidad

Distancia desde el principal	Líneas evaluadas (siendo 1 la más cercana al manómetro)			
	Nº 1 $l\ h^{-1}$	Nº 5 $l\ h^{-1}$	Nº 10 $l\ h^{-1}$	Nº 14 $l\ h^{-1}$
1 m	0,74	0,748	0,745	0,74
8 m	0,735	0,72	0,74	0,745
18 m	0,725	0,73	0,728	0,745
26 m	0,69	0,73	0,735	0,74

#### 4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo aportan a los propietarios información de gran importancia sobre el clima, suelo y agua de su establecimiento. Se logró diseñar, instalar y evaluar un sistema de riego por goteo, con un coeficiente de uniformidad excelente. Además, el funcionamiento de la bomba con fines de riego se estableció en 2,5 horas por día, lo que permite utilizar el equipo de bombeo el tiempo restante para extraer agua para los animales y para uso doméstico.

#### 5. Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional de los Comechingones por su apoyo a esta investigación.

Los autores agradecen al Proyecto de Extensión "Implementación de sistema de riego de baja presión con bombeo fotovoltaico" de la Universidad Nacional de los Comechingones por los materiales que permitieron la realización de este trabajo.

#### 6. Referencias bibliográficas

- ASAE EP-458. (2001). Field evaluation of Microirrigation Systems. St. Joseph: ASAE Standards Engineering Practices data: EP 458 p792-797.
- Chilundo, R. J., Mahanjane, U. S., & Neves, D. (2018). Design and performance of photovoltaic water pumping systems: comprehensive review towards a



- renewable strategy for Mozambique. *Journal of Power and Energy Engineering*, 6(7), 32-63.
- Ella, V. B., Reyes, M. R., y Yoder, R. (2009). Effect of hydraulic head and slope on water distribution uniformity of a low-cost drip irrigation system. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(3), 349-356.
- INTA. (2011). Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego). [http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmprotocolo\\_de\\_muestreo\\_de\\_aguas\\_inta.pdf](http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmprotocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf).
- IRYDA (Instituto de Reforma Y Desarrollo Agrario). (1983): Rules for Writing Localized Irrigation Projects. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Madrid. (in Spanish)
- Martínez, C. G., Wu, C. I. R. & Ella, V. B. (2022). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1038 012005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1038/1/012005/pdf>
- Merriam, J.L. & Keller, J. (1978). Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management (p. 271). Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, UT.
- Monteagudo L., Dalmasso F., Venturelli P., Frank F., Benitez S., Hellmers M.M. y Garbero M.M. (2015). Adopción de tecnologías de riego por goteo en comunidades campesinas. *VII Jornadas de Riego y Fertirriego*. 5 al 7 de agosto de 2015. Mendoza.
- Pizarro Cabello, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia. Goteo Microaspersión y exudación*. Ediciones Mundi Prensa.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook 60*, 160 p.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA/AWWA/WEF. (2017). (23<sup>rd</sup> ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Denver.
- Saenz, C. A. y Colazo, J. C. (2015). *Gestión de suelos y agua en sistemas productivos de la provincia de San Luis*. Ediciones INTA.
- Singh, A.K., Rahman, A., Sharma, S.P., Upadhyaya, A. & Sikka, A. K. (2009). Small Holders' Irrigation—Problems and Options. *Water Resour Manage* 23, 289–302 <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9275-3>
- Venturelli P., y Churin N. (2019). La cuestión del agua. *Novenas Jornadas de la Agricultura Familiar*. Facultad de Ciencias Veterinarias y la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, los días 7, 8 y 9 de agosto de 2019.
- Yunkai, L., Ji, F., Peng, S., Bo, Z., Tianzhi, W., & Song, X. (2016). Developing situation and system construction of low-carbon environment friendly drip irrigation technology. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 47(6).