

Diseño de riego y funcionamiento hidráulico en sistemas presurizados

Análisis de problemas recurrentes en procesos de innovación tecnológica en riego

Alfredo Durán; Vilma Castro

Centro AGUA (FCaYP - UMSS)

E mail: alfredo.duran3101@gmail.com

Resumen. En varias zonas de Cochabamba las aguas subterráneas son la principal fuente de agua de riego. Pese a que durante años se ha intentado implementar métodos de riego que ahorren agua, la mayor parte de los sistemas presurizados que se han construido en zonas planas, no funcionan. Para identificar los aspectos críticos, se realizó la evaluación de la eficiencia de riego por aspersión a nivel parcelario en el sistema de Flores Rancho (municipio de Cliza). Se efectuaron pruebas de riego en 4 parcelas, determinándose el arreglo de tuberías y aspersores en cada predio, midiendo láminas en diferentes sectores, con cuyos datos se calcularon eficiencias y uniformidad de riego. Los resultados muestran que la deficiente instalación de fuentes de presión, tuberías y aspersores, incide en un bajo desempeño del sistema y no se obtienen los caudales y presiones necesarios, consecuencia de la falta de diseño hidráulico parcelario. Mediante una modelación, utilizando tubería de 2" en lugar de 1.5" y un arreglo cuidadoso con un solo tipo de aspersor, se incrementan las eficiencias y uniformidad de riego. Los resultados demuestran la importancia de efectuar un adecuado diseño hidráulico y pruebas de riego para validar el desempeño del sistema.

Palabras clave: Riego por aspersión; Eficiencia y uniformidad de riego; Diseño hidráulico parcelario; Valles de Cochabamba.

Summary: Irrigation design and hydraulic performance at sprinkler irrigation systems – Analysis of current constraints on irrigation technical innovation. Groundwater is the main water source for most of the irrigated semi-arid areas in the Cochabamba Valley. Despite that during last years several attempts to save water by implementing sprinkler irrigation have been done, most of those irrigation systems are not working. To identify the reasons which avoid the proper functioning of such technical innovations, an irrigation efficiency assesment at plot level has been made on irrigation systems at Flores Rancho (Cliza municipality). The arrangement of pipes and sprinklers were tested, and water sheet, soil moisture and water distribution were measured at 4 plots. Both irrigation efficiency and uniformity were calculated. The results show that installation of lesser diameter pipes and the mixed use of different type of sprinklers, reduce the flow and the pressure required for proper working of the sprinkler method, due to the lack of specific field irrigation design before the system implementation. Hydraulic modelling increasing pipes diameter at plot level from 1.5" to 2", and the irrigation arrangement at plot using only one type of sprinkler increase significantly irrigation efficiency. Such results show the importance of both irrigation design and irrigation tests at plot level as part of the implementation process.

Keywords: Irrigation systems; Sprinkler irrigation; Irrigation efficiency, Irrigation design; Cochabamba Valley.

Introducción

En muchas zonas de los valles de Cochabamba, las aguas subterráneas son la fuente principal para consumo doméstico y para riego.

En el caso de sistemas de riego, los crecientes problemas de escasez de agua, debidos al incesante descenso del nivel freático y la consecuente disminución de los caudales de operación de los pozos, han generado preocupación en instituciones y organizaciones de riego, y durante varios años se ha intentado innovar los sistemas tradicionales, hacia esquemas de riego presurizado, en particular riego por aspersión.

Sin embargo, la mayor parte de los sistemas de riego presurizados que se han instalado en zonas planas, no están funcionando. Es el caso del municipio de Cliza, donde se instalaron en los últimos años, decenas de sistemas de riego por aspersión, pero ninguno de los cuales funciona a plenitud, salvo unos pocos usuarios que realizan el riego por aspersión en algunas parcelas y por iniciativa propia.

Para identificar los problemas que dificultan el funcionamiento de esos sistemas, se diseñó un proyecto de investigación aplicada a nivel de tesis de *Maestría Científica*, para evaluar la eficiencia de riego por aspersión en parcelas del sistema de Flores Rancho (municipio de Cliza).

Se analizaron los factores críticos que obstaculizan el desempeño hidráulico en sistemas presurizados a fin de dar orientaciones técnicas para mejorar el diseño e instalación de métodos de riego por aspersión (Castro 2019).

Materiales y métodos

Antecedentes y contexto de la zona de estudio

En el municipio de Cliza, al igual que en la mayoría de los municipios del Valle Alto, las aguas subterráneas son la principal fuente de agua para consumo humano y riego. Según el inventario de pozos realizado el año 2017 (Mayta y Ortiz 2017), se registraron un total de 271 pozos perforados en los municipios de Toco y Cliza, 224 pozos en funcionamiento, 20 pozos que funcionarían recién y se reportaron 27 pozos abandonados.

Flores Rancho se encuentra en la zona de mayor descarga natural de agua subterránea del abanico aluvial del río Sichez (Durán 2017). Hay alta densidad de pozos y extracción de agua en esa zona. El descenso de los niveles freáticos en los acuíferos de Toco y Cliza, a partir del año 2000 hasta el año 2017, ha sido alarmante, disminuyendo alrededor de 14 m en sectores aledaños a la comunidad de Flores Rancho. Como consecuencia, el caudal de los pozos ha disminuido desde topes de 20 l/s, según reportes de los años '90, a un máximo de 10 l/s en años recientes (Felipe 2015).

Por ello, las asociaciones de regantes y la Alcaldía del Municipio de Cliza, vienen trabajando en procesos de innovación tecnológica en riego, a través de la implementación de proyectos de riego presurizado (aspersión y goteo), orientados al uso eficiente del agua.

En total se diseñaron y construyeron 24 sistemas de riego por aspersión hasta el año 2018, en el municipio de Cliza:

- ⇒ Inicialmente, 7 sistemas de riego presurizado (2010-2012) y posteriormente se construyeron 17 nuevos sistemas de riego presurizado (2016), con el objetivo de beneficiar a 17 comunidades del municipio de Cliza.
- ⇒ De estos 24 sistemas de riego, solo el sistema de riego presurizado Pozo 3 "FPS", de la comunidad de Flores Rancho, funciona parcialmente con riego presurizado, tanto con aspersión y goteo. En este sistema actualmente son solo 4 socios de los 73 usuarios del sistema, que tienen implementado y utilizan riego por aspersión, por iniciativa propia.

Conceptos centrales

Un sistema de riego por aspersión es un conjunto de tuberías y/o mangueras, por las cuales el agua circula a presión, y es emitida a través de los aspersores que aplican el agua en forma de lluvia artificial y uniforme a la parcela. Sus componentes son los siguientes:

A. Fuente de agua. La principal fuente de agua en el municipio de Cliza es el agua subterránea, bombeada a la superficie a través de pozos de riego.

B. Fuente de energía. Genera la presión necesaria para el buen funcionamiento del sistema de riego. Puede ser por la diferencia de altura entre el tanque elevado y el sitio de aplicación, o mediante una bomba presurizadora adicional a la instalada en el pozo.

C y D. Red de conducción (tubería principal y secundaria). Son las tuberías principales y secundarias (ramales) las que conducen el agua. Deben mantener en todos los sectores la presión de trabajo necesaria para el funcionamiento adecuado de los aspersores.

E. Hidrantes. Son cámaras de distribución de agua, las cuales facilitan el ingreso de agua a cada sector o ramal de riego. Consta de válvulas de regulación o llaves de paso.

F. Aspersores (emisores). Son dispositivos mecánicos que expulsan agua en forma de lluvia, provistos de una o más boquillas, por las que sale el agua a presión. Su caudal y alcance (distancia) depende de la presión del agua y del tipo de aspersor.

La distancia entre aspersores se debe establecer de acuerdo a la configuración del terreno y el factor viento. Es necesario que exista un traslape de las superficies regadas entre los aspersores vecinos. Un traslape del 50% entre aspersores, garantiza una buena distribución del agua en la parcela.

Metodología de evaluación

Para evaluar el diseño y funcionamiento a nivel parcelario del sistema de riego por aspersión de Flores Rancho, se determinaron todas las características técnicas e hidráulicas a nivel del sistema y a nivel de las parcelas, para verificar si la aplicación del agua al terreno es uniforme y eficiente.

Los principales parámetros hidráulicos del riego por aspersión, son la presión y el caudal, que a su vez permiten determinar las láminas de aplicación.

La presión se define como la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de tuberías y de los distintos elementos del sistema de riego. La variación de la presión afecta la cantidad de agua distribuida por los aspersores. Se expresa generalmente en metros de columna de agua (mca) o en Bares (bar) (1 bar equivale a 10.2 mca).

El caudal (Q) se define como la cantidad de agua o volumen (V) que pasa por un canal o tubería en un tiempo (t) determinado:

$$Q = \frac{V}{t}$$

sus unidades de medida pueden ser litros/segundo (l/s), litros/hora (l/h), metros cúbicos/hora (m³/h).

Conociendo el área (A) a la que se aplica un volumen (V) de agua determinado, se determina la lámina de riego (L):

$$L = \frac{V}{A}$$

sus unidades son milímetros (mm) u otras unidades de altura de agua.

A partir de la medición en campo de tales parámetros hidráulicos, se determinan los valores de:

- *Eficiencia de Aplicación* (EA)
- *Uniformidad de Distribución* (UD)
- *Eficiencia de Almacenamiento* (ES)

de acuerdo a criterios de Walker (1989); Merriam y Keller (1978); Chambouleyron (1993); Hansen (1960).

Estos criterios son complementados con el análisis de la humedad existente en el suelo, antes y después del riego, expresado como:

Déficit de Humedad del Suelo (DHS)

que representa la fracción de humedad que debe ser repuesta en el suelo a través de la aplicación de agua.

Para la toma de datos, se requiere hacer mediciones de los parámetros hidráulicos mencionados:

- ✓ **Caudal**, que es medido en distintos sectores del sistema, incluidos en aspersores situados en sectores próximos y alejados a las tuberías de distribución, con el fin de verificar si la distribución de agua es uniforme.
- ✓ **Presión**, mediante manómetros acoplados a las tuberías de distribución y a aspersores situados en distintos lugares, a fin de determinar el grado de variabilidad de las presiones de operación.
- ✓ **Láminas de aplicación**, a través de la instalación de pequeños recipientes a lo largo y ancho de la parcela, que almacenen la lluvia emitida por los aspersores, a fin de determinar la uniformidad de aplicación.
- ✓ **Humedad del suelo**, mediante muestras volumétricas en las cuales se determinan los contenidos de humedad a distintas profundidades, a fin de verificar el almacenamiento de humedad en el suelo y su proximidad a la capacidad de campo, como criterio de suficiencia.

La evaluación de eficiencias de riego y uniformidad a nivel parcelario se efectuó en tres parcelas, en las cuales se efectuaron las evaluaciones de eficiencia descritas (EA, UD, ES), además del análisis del funcionamiento hidráulico del sistema y a nivel de parcela.

Resultados y discusión

En Flores Rancho, solo 4 socios del sistema riegan por aspersión. Durante la implementación del sistema, los usuarios contaron con el apoyo de la asistencia técnica, que realizó un bosquejo para la

instalación de riego parcelario (disposición de aspersores en la parcela, longitudes, material y diámetros de mangueras). Sin embargo, no existió un diseño hidráulico específico, ni se hicieron evaluaciones del desempeño del riego parcelario, tras su instalación.

Arreglo actual

En las parcelas evaluadas, se tienen instalados equipos de riego móviles (EMRA) con dos tipos de aspersores (NaanDan-Jain 5035 y Senninger Xcel Wobbler), así como una bomba de presurización de 10 HP para generar presión en los aspersores.

La instalación efectuada en las tres parcelas, presenta factores que influyen en la uniformidad. Por una parte, el diámetro de la tubería principal en las parcelas es menor del requerido, por tanto, la presión de trabajo es considerablemente menor que la esperada, lo cual ocasiona que el caudal sea reducido y las láminas aplicadas totalmente desaparejas dentro de las parcelas.

Asimismo, la mezcla y disposición de dos tipos de aspersores, reduce aún más la eficiencia y la uniformidad de aplicación de agua.

Se verificó que el arreglo parcelario de tuberías y aspersores fue totalmente empírico, tratando de acomodar los artefactos hidráulicos a la geometría de cada parcela, pero sin comprobar el adecuado funcionamiento hidráulico y si los parámetros de riego eran los requeridos para satisfacer las necesidades de agua del cultivo. Tampoco se evaluó si las eficiencias de riego llegaban a los estándares que debería alcanzarse con el riego por aspersión.

Tanto el caudal, la presión de trabajo y la disposición de aspersores para lograr el traslape uniforme de las áreas de mojado, no fue calculado y menos verificado en campo, implementándose el funcionamiento de las pocas parcelas en las cuales se habilitó el método de riego por aspersión, a base de prueba y error.

Al efectuar las evaluaciones de campo, se encontró que las aplicaciones de agua eran muy disímiles entre los distintos sectores de la parcela, lo cual reduce significativamente las eficiencias de riego, como se observa en la Figura 1.

Asimismo, el análisis comparativo entre los dos tipos de aspersor utilizados, muestra que solo el modelo Senninger Xcel Wobbler, se ajusta a las condiciones de presión (0.6 bares como mínimo) y caudal de operación establecidos en el sistema (0.11 a 0.18 l/s).

El modelo Naandajain 5035, requiere presiones de trabajo mucho más elevadas (2.5 bares mínimo), con un caudal de 0.4 l/s como mínimo. Es decir, las especificaciones técnicas de funcionamiento establecidas por el fabricante, están muy por encima de las reales condiciones operativas existentes y su inclusión en el marco de riego actual, empeora las eficiencias y aplicaciones de agua, en lugar de mejorarlas.

Parámetros de riego

Finalmente, para completar la evaluación, se hizo un análisis de las láminas e intervalos de riego aplicados con el esquema actual de distribución de agua en el riego por aspersión. El Cuadro 1 muestra los principales parámetros de riego calculados.

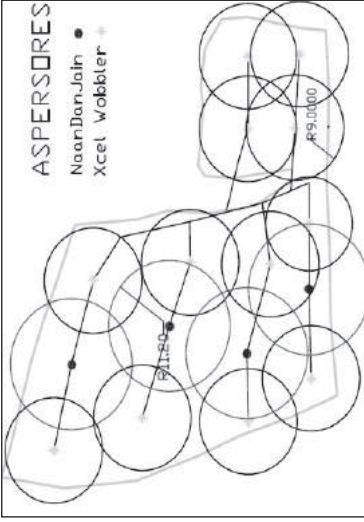
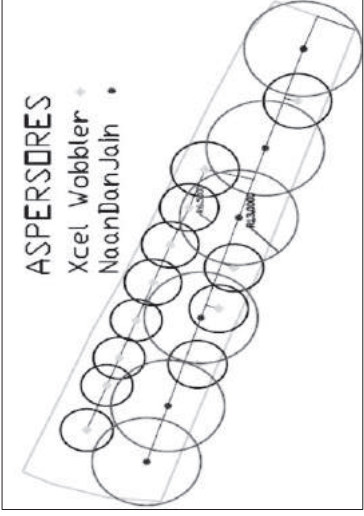

	Parcela 1 (Área: 1250 m ²)	Parcela 2 (Área: 3728 m ²)	Parcela 3 (Área: 485 m ²)
			
Aspersores	Senninger Xcel wobbler = 12 NaanDanJain 5035 = 4	Senninger Xcel wobbler = 12 NaanDanJain 5035 = 6	Senninger Xcel wobbler = 7 NaanDanJain 5035 = 1
Espaciamiento entre aspersores	Min. (m) = 26.4	Min. (m) = 3.0	Min. (m) = 6.7
	Prom. (m) = 33.5	Prom. (m) = 26.7	Prom. (m) = 17.7
	Max. (m) = 38.8	Max. (m) = 50.4	Max. (m) = 31.0
UD	43%	60%	72%

Figura 1. Esquema hidráulico de las parcelas 1, 2 y 3 evaluadas

Los requerimientos máximos de riego del cultivo de papa, en el caso de la evaluación efectuada, se encuentran en el orden de 4.0 a 6.3 mm/día desde las épocas de mayor desarrollo hasta la floración, respectivamente.

El intervalo de riego en el método por aspersión, se ha establecido en 4 días. El Cuadro 2 muestra cuales son las condiciones actuales de la aplicación de agua en relación a los requerimientos de los cultivos.

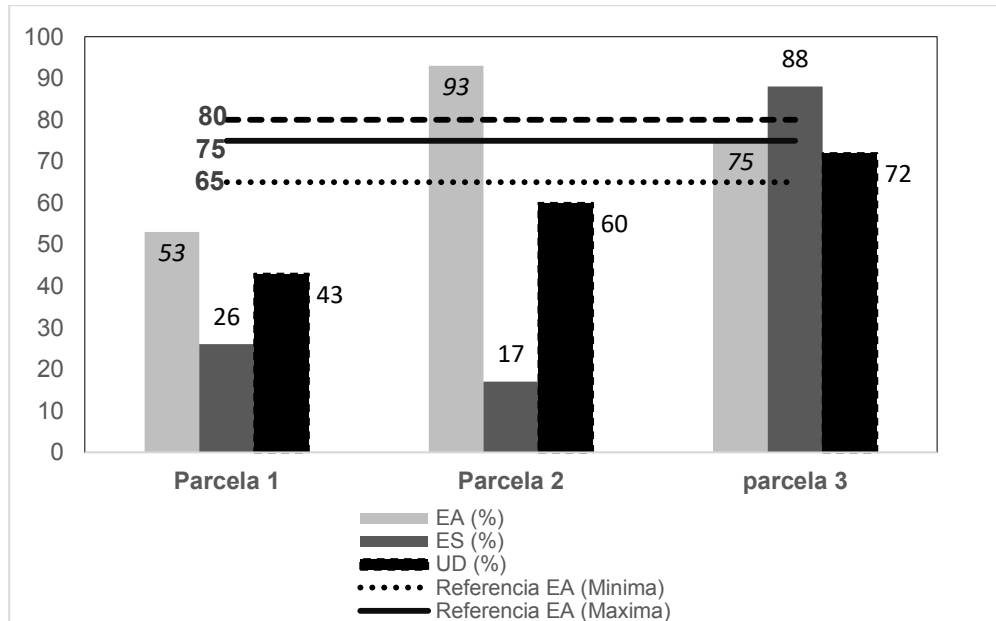


Figura 2. Análisis comparativo de EA, ES y UD en las tres parcelas

Cuadro 1. Parámetros de riego en el esquema de riego por aspersión de Flores Rancho

Parcelas	Caudal (m ³ /hora)	Tiempo (horas)	Volumen (m ³ /hora)	Superficie (m ²)	Lámina (mm)
1	9.79	4.00	39.17	2885.00	13.58
2	12.53	4.00	50.11	3728.00	13.44
3	5.22	4.00	20.88	485.00	43.05

Cuadro 2. Lámina aplicada y requerida de cultivo de papa

Parcelas	Láminas (mm/día)	Meses		
		Julio (etapa inicial)	Agosto (crecimiento)	Septiembre (floración)
Lámina requerida		1.13	4.00	6.32
1	Lámina aplicada	3.39	3.39	3.39
2	Lámina aplicada	3.36	3.36	3.36
3	Lámina aplicada	10.76	10.76	10.76

Estos resultados muestran que en las parcelas 1 y 2, la lámina aplicada cubre el requerimiento del cultivo durante sus estadios iniciales. Sin embargo, en los meses consecutivos, la lámina aplicada está por debajo del requerimiento de cultivo. Por tanto, las plantas llegarían a sufrir estrés hídrico.

En el caso de la parcela 3, la lámina aplicada de 10.76 mm muestra un gran exceso con el requerimiento del cultivo en cualquier momento del ciclo fenológico. La consecuencia es un sobre-riego en la parcela y la eficiencia de riego es muy baja.

Los agricultores no tienen el criterio ni conocimientos suficientes para establecer una programación de riego que permita el ajuste paulatino, según el periodo de cultivo, de los parámetros de tiempo, frecuencia y caudal, por lo cual la aplicación de agua la realizan de acuerdo a la observación y experiencias que fueron obteniendo durante este tiempo.

Por tanto, la gestión actual requiere ajustarse a una modalidad más flexible, por ejemplo modificando progresivamente los tiempos de riego, a fin de adecuar los parámetros hidráulicos a las diferentes épocas.

Esta mayor flexibilidad en la distribución de agua, significa una nueva reinterpretación de los derechos de agua, por ejemplo el derecho expresado en volumen de agua y ya no en tiempo. Ello significaría la posibilidad concreta de adecuar caudales, tiempos y frecuencias de riego a los diferentes periodos de cultivo, incluyendo incrementar las frecuencias de riego en épocas críticas y/o disminuir los tiempos de aplicación.

Modelación hidráulica

A fin de contar con criterios concretos que permitan sugerir ajustes para mejorar la eficiencia y uniformidad del riego parcelario, se efectuó una modelación con el software EPANET.

El modelo EPANET simula un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas por sus nudos extremos. Las líneas representan tuberías, bombas o válvulas de control. Los nudos representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas y también depósitos o embalses.

La introducción de los datos de campo al modelo, permite reproducir la red actual, en principio para todo el sistema de riego, y a partir de ello, se hace luego la simulación correspondiente a nivel de parcela. Se logra el ajuste hidráulico correspondiente a través de la aplicación de cambios en los parámetros y dimensiones de los componentes hidráulicos del sistema.

El esquema de la Figura 3, muestra los resultados de la modelación en la parcela 1 del sistema de riego de Flores Rancho.

En la Figura 3, al lado izquierdo se muestra el arreglo inicial con los dos tipos de aspersores y el correspondiente tendido de tubería de 1.5". A la derecha se muestra un posible escenario en el cual se ha modificado la tubería secundaria en la parcela, utilizando una de 2". Asimismo, se utiliza un solo tipo de aspersor de baja presión (Senninger-Xcel-Wobbler) y se ha introducido un nuevo marco de riego, es decir el arreglo de distancias entre los aspersores con 8 metros entre tuberías laterales y 6 a 8 m entre aspersores, dependiendo de las dimensiones en cada sector de la parcela.

La consecuencia de este nuevo esquema de reparto de agua, a nivel parcela, es que tanto los caudales de operación y las presiones en los diversos sectores de la parcela, tienen una variación mínima, optimizándose el funcionamiento hidráulico del sistema y lográndose eficiencias

de riego muy cercanas a los parámetros teóricos de referencia.

Asimismo, el ajuste de los tiempos de riego, frecuencias y caudales de operación, permite asegurar un óptimo suministro de agua al cultivo.

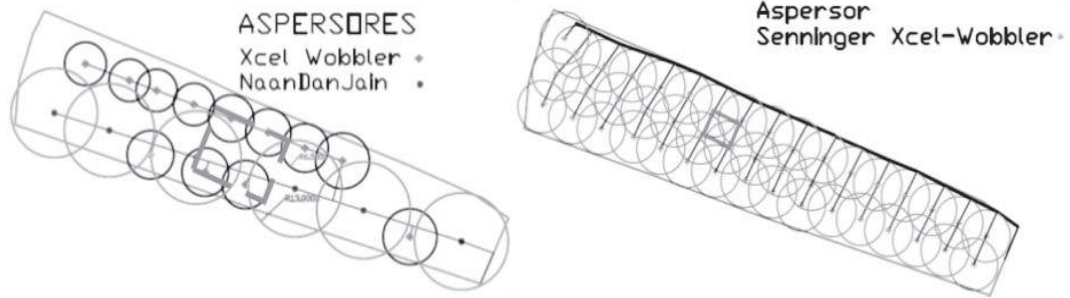


Figura 3. Análisis comparativo de modelación efectuada

Conclusiones

- Las dificultades para adecuar la gestión de riego con métodos superficiales, a métodos de riego presurizados, constituyen un obstáculo para el funcionamiento a nivel del sistema hidráulico, pues no están claros como se expresan los derechos de agua y por ende, la modalidad de distribución de agua, los requerimientos de operación y mantenimiento, así como los roles que debe cumplir la organización de regantes, actividades que se tornan confusas para los usuarios de los sistemas de riego.
- Otro gran problema identificado, es que no existe un adecuado diseño de riego parcelario en los proyectos de riego por aspersión, y tampoco, una vez instalados los sistemas, se verifica la eficiencia y uniformidad esperadas, debido a la deficiente instalación de fuentes de energía, tuberías y aspersores, los cuales no cumplen con los requerimientos operativos del sistema.
- Paralelamente, el arreglo de tuberías y aspersores dentro de cada parcela, no sigue criterios claros y se utilizan diversos tipos de aspersores con distintas características hidráulicas en marcos de riego muy diversos. La consecuencia es que no se logra obtener los caudales, presiones ni láminas de riego suficientes para lograr la eficiencia y la uniformidad necesaria en la aplicación.
- Las mejoras en procesos de innovación tecnológica en riego, van a depender de la calidad de los procesos de diseño, tanto del diseño hidráulico a nivel del sistema y nivel parcelario, incluyendo el arreglo de aspersores (marco de riego) dentro de las parcelas. Ello significa la obligatoriedad de realizar pruebas de funcionamiento hidráulico y medición de eficiencias de uso de agua en los sistemas implementados, a fin de asegurar que se cumplan los parámetros hidráulicos esperados.

- En cualquier caso, existe un gran requerimiento de formación de expertos, capacitación a usuarios, asistencia técnica y acompañamiento a los sistemas de riego, si realmente se desea mejorar los procesos de intervención e innovación tecnológica actuales.
- Finalmente, no menos importante es que las políticas y mecanismos de inversión pública, pongan mucha más atención al proceso de diseño y a la fase de implementación de los sistemas en sus diversos componentes socio-técnicos. El actual énfasis en solo construir las obras hidráulicas principales debe terminar y reorientar el proceso hacia un balance más equilibrado, entre los aspectos tecnológicos y socio-organizativos.

Referencias citadas

- Chambouleyron J. 1993. Diseño y evaluación del riego presurizado. INCYTH. Mendoza, Argentina. 36 p.
- Castro V. 2019. Evaluación de la eficiencia de riego por aspersión en el sistema de Flores Rancho, Municipio de Cliza. Tesis de Maestría Científica GIRH - 7ma. Versión. Proyecto VLIR-UOS: Cambiando paradigmas del riego en Bolivia. Centro AGUA-EUPG-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 124 p.
- Durán A. 2017. Seguridad hídrica en los municipios de Toco y Cliza. Reporte de investigación - Proyecto "Estrategia de sostenibilidad de las aguas subterráneas en Valles de Cochabamba", PIA ACC-COSUDE. Centro AGUA-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 22 p.
- Felipe M. 2015. Factores que dificultan el funcionamiento del sistema de riego presurizado en la comunidad de "Flores Rancho" del Municipio de Cliza. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 162 p.
- Hansen V. 1960. Mathematical relationships expressing the hydraulics of surface Irrigation. Proc. ARS, Soil Conservation Service, Workshop on Hydraulics of surface Irrigation, Denver, USA.
- Mayta A., Ortiz J. 2017. Metodología de inventario y disponibilidad de agua subterránea en los Municipios de Toco y Cliza. Reporte de Investigación-Proyecto "Estrategia de sostenibilidad de las aguas subterráneas en Valles de Cochabamba", PIA ACC-COSUDE. Centro AGUA-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 18 p.
- Merriam J., Keller J. 1978. Farm Irrigation System Evaluation. A guide to management. Utah State University, Logan, Utah. USA. 271 p.
- Walker R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. FAO - United Nations. Rome, Italy. 137 p.

Trabajo recibido el 17 de octubre de 2019 - Trabajo aceptado el 22 de noviembre de 2019