



# Evaluación de uniformidad del sistema presurizado de riego por goteo

## Evaluation of uniform system pressurized drip irrigation

*Gabriela Laura Apaza y Carlos López Blanco.*

### RESUMEN:

El riego tecnificado por goteo tiene interés debido a la alta eficiencia de aplicación del agua (85 a 95%) y por la reducción en los costos de operación. Como toda innovación requiere de un manejo adecuado que garantice el retorno de la inversión, por tanto, es conveniente evaluar una instalación para comprobar los criterios de diseño, también para monitorear las obturaciones de los emisores. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la uniformidad de aplicación de un sistema de riego presurizado por goteo. El estudio se realizó en la Estación Experimental Choquenaira de la Facultad de Agronomía - UMSA, ubicada a 8 km de la ciudad de Viacha, departamento de La Paz, durante el año 2013. La evaluación de uniformidad del sistema de riego se basó en la metodología de Merriam y Keller, 1978; y para la determinación de puntos de aforo se empleó el método de Centro Agua (UMSS), en un área de 1400 m<sup>2</sup>. Las variables de respuesta estudiadas fueron: comportamiento hidráulico del emisor, indicadores de uniformidad del caudal y presión y el análisis del comportamiento de riego. La relación presión/caudal determinó el flujo de circulación, cuyo régimen fue turbulento, lo que significa que no se tendrán problemas de obstrucción en los emisores. El coeficiente de uniformidad más desfavorable fue de 69,61% reflejándose en el coeficiente de variación que fue 13,68% quedando excluido de la clasificación por categorías. La velocidad de infiltración básica del suelo fue de 6,54 mm.h<sup>-1</sup> (Franco arcillo limoso), considerado alto. Las dimensiones del diámetro mojado fueron de 14 cm de ancho y 18 cm de largo, con profundidad de bulbo húmedo de 10 cm.h<sup>-1</sup>, con descarga de caudal de emisor de 1,4 l.h<sup>-1</sup>.

### PALABRAS CLAVE:

Riego presurizado por goteo, eficiencia de aplicación, emisores, uniformidad de aplicación, caudal, turbulento. 280

### ABSTRACT:

The drip irrigated interested because of the high water application efficiency (85-95%) and the reduction in operating costs. Like any innovation requires proper management to ensure the return on investment is therefore appropriate to assess a facility to check the design criteria, also to monitor the seals of issuers. The aim of this study was to evaluate the uniformity of application of a pressurized irrigation system drip. The study was conducted at the Experimental Station Choquenaira Agronomy - UMSA, located 8 km from the city of Viacha, Department of La Paz, in 2013. The assessment of uniformity of the irrigation system was based on the methodology of Merriam and Keller, 1978; and points for determining the method of gauging Water Center was used in an area of 1400 m<sup>2</sup>. The response variables studied were: hydraulic behavior of the issuer, indicators uniformity of flow and pressure and analyze the behavior of irrigation. The pressure / flow ratio determined traffic flow, whose regime was turbulent, meaning that no blockage problems will have on issuers. The worst uniformity coefficient of 69.61% was reflected in the coefficient of variation was 13.68% being excluded from the categorization. The basic infiltration rate of the soil was 6.54 mm.h<sup>-1</sup> (Franco clay loam), considered high. Wet diameter dimensions were 14 cm wide and 18 cm long, with a depth of 10 wet bulb cm.h<sup>-1</sup>, discharge flow issuer 1.4 l.h<sup>-1</sup>.

### KEYWORDS:

Pressurized drip irrigation, application efficiency, issuers, uniformity of application flow, turbulent.

### AUTORES:

**Gabriela Laura Apaza;** Facultad de Agronomía -UMSA

**Carlos López Blanco:** Docente Investigador Facultad de Agronomía – UMSA.

**Recibido:** 15/09/2017. **Aprobado:** 15/11/2017.

## INTRODUCCIÓN

El riego es un componente en el desarrollo de la agricultura que proporciona un equilibrio en la producción, en ese sentido la productividad de un cultivo se relaciona directamente con la cantidad de riego que recibe, por consiguiente, necesita ser tan uniformemente posible porque ese porcentaje representa el agua utilizada en el uso consuntivo del agua aplicada.

Un sistema de riego presurizado se compone por un cabezal, sistema de filtrado, laterales y unidades de

riego divididas en subunidades, se adiciona “energía” (HB) al sistema mediante una bomba. En cambio, un sistema de riego de baja carga se diferencia por que aprovecha la energía del desnivel de la fuente de agua hasta el punto de riego, por lo demás, puede ser similar al primero.

El interés del riego por goteo se debe a que reduce la exigencia de agua y los costos de operación. Este método de riego constituye una mejora en la aplicación del agua a la planta. Como toda innovación requiere de un manejo adecuado que garantice el retorno de la inversión, por tanto, es conveniente

evaluar una instalación para comprobar los criterios de diseño y monitoreo de obturación en emisores mediante pruebas de Evaluación de Uniformidad, bajo una metodología desarrollada para el medio. Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue evaluar la uniformidad de aplicación de agua en un sistema de riego presurizado por goteo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la instalación del sistema de riego presurizado por goteo en la Estación Experimental de Choquenaira de la Facultad de Agronomía – UMSA, ubicada en la comunidad de Choquenaira, a 8 km de la ciudad de Viacha, Provincia Ingavi del departamento de La Paz; geográficamente se halla a

16° 41' 39,25" de Latitud Sur y a 68° 17' 14,31" de Longitud Oeste a una altitud de 3870 m.s.n.m. La instalación del sistema de riego se hizo en un área de 1400 m<sup>2</sup>, constituido por un reservorio de agua de capacidad de 280 m<sup>3</sup>, una unidad de bombeo y una unidad de riego con cuatro subunidades (cañahua 1 y 2 subunidad; cebolla 3 y 4 subunidad). Para la prueba de evaluación de uniformidad del sistema de riego se tomó la metodología de Merriam y Keller 1978; y para los puntos de aforo el método de Centro Agua, diseñado por Peñarrieta, 2006. Las etapas de trabajos realizados en la implementación y evaluación de uniformidad del sistema de riego presurizado por goteo, se detallan en la tabla 1:

Tabla 1. Etapas de implementación y evaluación de uniformidad del sistema de riego.

<b>Etapas de implementación del sistema de riego presurizado por goteo</b>	<b>Etapas de evaluación de uniformidad del sistema de riego (metodología Merriam y Keller)</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estudio topográfico (determinación de cotas, perfil longitudinal).</li> <li>2. Estudio de suelos (Físico y químico en el laboratorio de suelos de la UMSS).                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clase textural (% arena, % limo y % arcilla)</li> <li>- Parámetros de CEE, Porosidad, pH, etc.</li> <li>- Infiltración básica</li> <li>- Humedad (CC, PMP, HDA).</li> </ul> </li> <li>3. Estudio de calidad de agua (pH, CE, SAR, STD).</li> <li>4. Diseño del sistema de riego                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño agronómico (Balance hídrico).</li> <li>- Diseño hidráulico (Caudal, presión, Altura dinámica, pérdidas de carga, potencia de bomba, longitud de laterales).</li> </ul> </li> <li>5. Instalación del sistema de riego en terreno (Instalación de componentes del sistema de riego: redes de conducción, bomba).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificación de la Unidad de Evaluación: Coef. Uniformidad de descarga de caudal (CUc), Coef. Uniformidad de presión (CUp), Ec. Emisor, Coef. Variación de campo (CVc), Coef. Uniformidad del sistema (CUS), en base a la Figura 1.</li> <li>2. Toma de datos de partida (tipo y marca del emisor, distancia entre emisores, longitud y distancia entre laterales).</li> <li>3. Elección de los puntos de muestreo (puntos de aforo en lateral, matriz 4x4 según norma).</li> <li>4. Identificación de puntos de aforo.</li> <li>5. Puesta en operación del sistema (funcionamiento del sistema sin evaluación de caudal).</li> <li>6. Medición de volúmenes (registro en planillas).</li> <li>7. Determinación en campo del CU. (Identificación de CUD, mediante ecuaciones).</li> <li>8. Medición de presión(es) en la subunidad(es).</li> <li>9. Cálculo en Gabinete.</li> </ol>

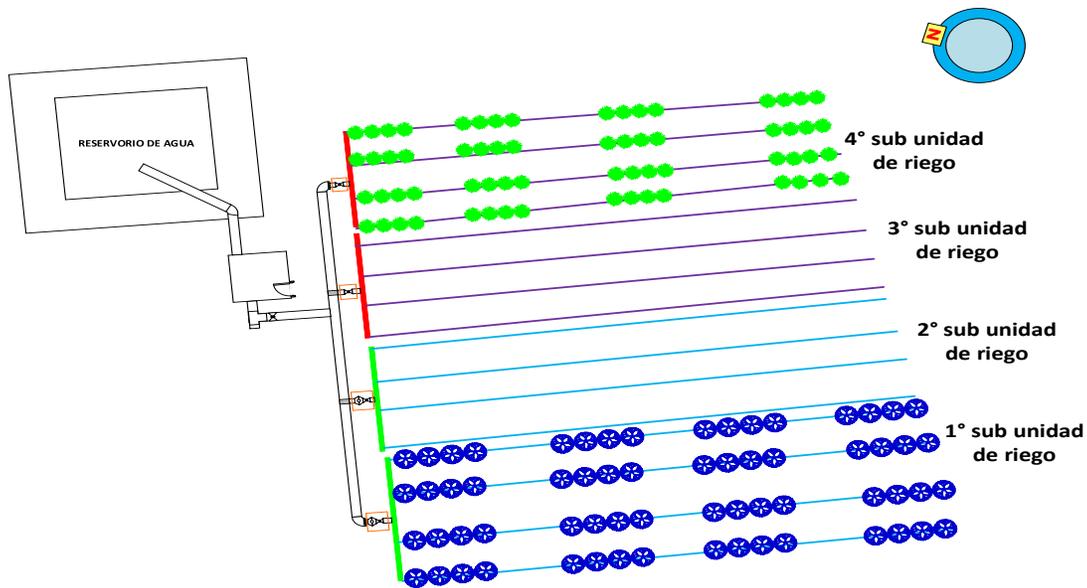


Figura 1. Esquema de puntos de muestreo en las sub unidades de riego.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación del balance hídrico

A partir de los parámetros climáticos del área de influencia (Cuadro 1), se determinó el balance hídrico (Cuadro 2), de oferta y demanda de agua de cultivos (cañahua y cebolla). Analizando la situación del

recurso agua, se tiene una precipitación de 485,0 mm.año<sup>-1</sup>, una Evapotranspiración Potencial calculada (Penman Monteith) de 1196,7 mm.año<sup>-1</sup>, una Evapotranspiración Real del cultivo de 436 mm.año<sup>-1</sup>, con un déficit y exceso de agua de 760,7 y 49,0 mm.año<sup>-1</sup> respectivamente.

Tabla 1. Datos climáticos del área de influencia de estudio.

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Precip. (mm.mes <sup>-1</sup> )	131,4	56,2	73,4	5,2	0,2	0,2	8,4	28,2	6,8	29,2	34,6	111,2	<b>485,0</b>
Temp. media (°C)	9,1	9,3	9,0	8,0	6,8	3,7	3,9	5,9	7,7	9,3	10,4	9,6	<b>7,7</b>
H.R. (%)	82,1	79,0	75,3	69,0	54,0	55,0	61,0	52,9	54,1	64,5	61,3	74,0	<b>65,2</b>
Vel. viento (m.s <sup>-1</sup> )	1,9	1,5	1,5	1,6	1,9	2,3	1,7	1,8	2,2	2,2	2,1	2,3	<b>1,9</b>

Fuente: Estación Experimental Choquenaira (2005 – 2013).

Tabla 2. Balance hídrico para la zona de estudio (método de Penman Monteith).

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETo (mm.mes <sup>-1</sup> )	90,8	91,3	104,4	91,2	75,0	54,9	67,9	113,8	143,8	127,3	133,5	102,8	<b>1196,7</b>
ETR (mm.mes <sup>-1</sup> )	90,8	56,2	73,4	5,2	0,2	0,2	8,4	28,2	6,8	29,2	34,6	102,8	<b>436,0</b>
Deficit	0,0	35,1	31,0	86,0	74,8	54,7	59,5	85,6	136,9	98,1	98,9	0,0	<b>760,7</b>
Exceso	40,6	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	<b>49,0</b>

Fuente: Elaborado en base a datos de la Estación Climática de Choquenaira (2005 – 2013).

### Análisis del suelo

Del análisis del suelo (Cuadro 3), destacar la clase textural (FYL), moderadamente fina (Rucks *et al.*, 2004); la Conductividad Eléctrica del extracto de

saturación (CEe) inferior a 0,75 dS.m<sup>-1</sup>, considerado suelo No salino (FAO, 2009). Callisaya (1994), caracterizo los suelos de la Estación Experimental Choquenaira, cuyos resultados presentan proximidad con los obtenidos en la actualidad.

Tabla 3. Análisis físico del suelo del área de riego por goteo.

Profundidad (cm)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura	Densidad aparente (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidad real (g.cm <sup>-3</sup> )	Porosidad (%)	pH	CEe (dS.m <sup>-1</sup> )
0 - 30	16	31	53	FYL	1,2	2,6	53,9	7,0	0,18

Fuente: Laboratorio, Universidad Mayor de San Simón UMSS (2014).

**Análisis del agua**

Los parámetros del agua obtenidos (Cuadro 4), indican un pH de 7,6; lo cual está dentro del rango

aceptable (6 a 8,5). Según su Conductividad Eléctrica (CE), es clasificada como agua de salinidad media (C<sub>2</sub>) apta para riego (CE 0,25 a 2,75 dS.m<sup>-1</sup>).

Tabla 4. Análisis físico químico del agua para riego agrícola (Muestra – Pozo 1).

Parámetros	Resultados	Unidad	Parámetros	Resultados	Unidad
pH	7,61	-	Sodio	1,65	mg.l <sup>-1</sup>
Conductividad Eléctrica	0,353	dS.m <sup>-1</sup>	Hierro	0,08	mg.l <sup>-1</sup>
Sólidos totales	0,295	g.l <sup>-1</sup>	Dureza	78,00	mg.l <sup>-1</sup>
Sólidos suspendidos totales	7,00	mg.l <sup>-1</sup>	Sulfatos	36,50	mg.l <sup>-1</sup>
Sólidos disueltos	152,0	mg.l <sup>-1</sup>	Cloruros	0,009	mg.l <sup>-1</sup>

Fuente: IIIDPROQ.

Mendoza (2013), indica la concentración de algunos elementos los cuales son considerados valores normales en el agua de riego: sólidos en disolución de 0 – 2000 mg.l<sup>-1</sup>, sodio 0 – 920 mg.l<sup>-1</sup>, sulfatos 0 – 960 mg.l<sup>-1</sup> y hierro de 0 – 0.5 mg.l<sup>-1</sup>; todos estos

parámetros se encuentran dentro del rango permisible.

**Diseño hidráulico del método de riego por goteo**

La Tabla 5 presenta el resumen de datos obtenidos del diseño hidráulico realizado.

Tabla 5. Resumen del diseño hidráulico para riego por goteo.

Concepto		Resultado
Superficie instalada		1400 m <sup>2</sup>
Área de la sub unidad de riego		350 m <sup>2</sup>
Potencia del motor		2 HP
Altura dinámica total		56,32 m.c.a.
Tubería principal	Largo	3,75 m
	Diámetro	1 ½”
Tubería secundaria	Largo	30 m
	Diámetro	1 ½”
Sub unidades de riego		4
Tubería terciaria c/sub unidad	Largo	9,50 m
	Diámetro	1”
Porta emisores	Largo	35 m
	Diámetro	16 mm
	N° de porta emisores	20
Gotos por porta emisor		116

Fuente: Elaboración Propia (2013).

La bomba seleccionada de 2 HP de potencia emite un caudal de 1,67 a 8,33 l.s<sup>-1</sup>, con una presión de carga de 10 a 20,5 m.c.a. (presión estática de 20,37 m.c.a., y presión dinámica de 14,40 m.c.a).

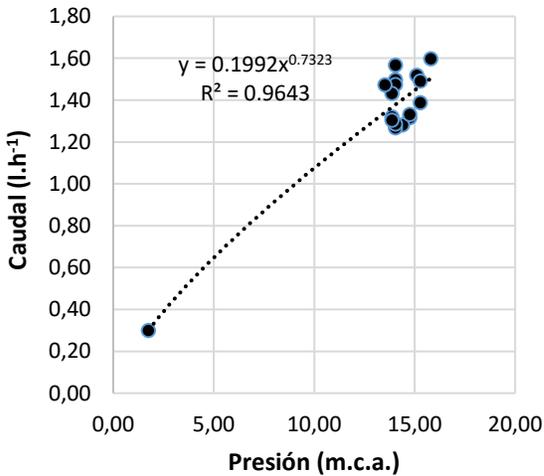
**Variabes de respuesta hidráulicas del sistema de riego**

*1. Comportamiento del emisor*

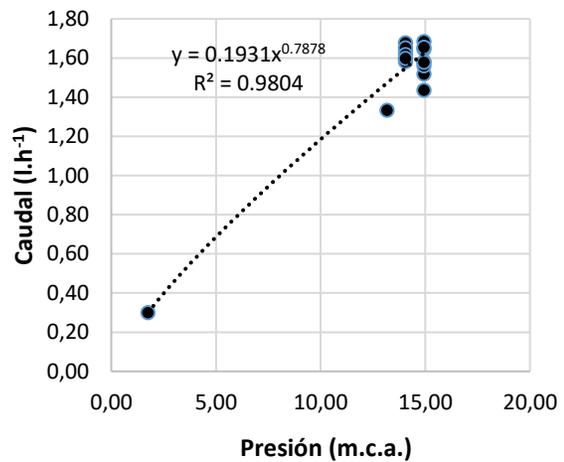
Se tomó en cuenta los aspectos de presión y caudal en los puntos de aforo y su correspondiente exponente de

descarga, evaluados en las cuatro subunidades de riego (1 y 2 cañahua; 3 y 4 cebolla).

En evaluaciones realizadas en las subunidades de riego se obtuvieron caudales que oscilaron en el rango de 1,27 a 1,77 l.h<sup>-1</sup>, con presiones de 13 a 16 m.c.a. En la Figura 2, se tiene a manera de ejemplo a las curvas de gasto de las subunidades 1 y 3 respectivamente.



Curva de gasto en la subunidad.



Curva de gasto en la subunidad.

Figura 2. Curvas de gasto de las subunidades de riego 1 y 3 (cañahua y cebolla).

Tabla 6. Ecuaciones y régimen de circulación de goteros en subunidades.

Cultivo	Fecha de evaluación	Nro. subunidades	Ecuación Q vs H	R <sup>2</sup>
Cañahua	08/10/2013	1	$Q = 0,1992 * h^{0,7323}$	0,9643
		2	$Q = 0,2587 * h^{0,7359}$	0,9528
	14/01/2014	1	$Q = 0,1962 * h^{0,8369}$	0,9418
		2	$Q = 0,2011 * h^{0,7138}$	0,9441
Cebolla	22/01/2014	1	$Q = 0,2084 * h^{0,8385}$	0,8540
		2	$Q = 0,1900 * h^{0,8512}$	0,9140
	14/11/2013	1	$Q = 0,1931 * h^{0,7878}$	0,9804
		2	$Q = 0,1897 * h^{0,8227}$	0,9844
22/02/2014	1	$Q = 0,1957 * h^{0,7660}$	0,8821	
	2	$Q = 0,1889 * h^{0,8287}$	0,9714	

Así mismo a través de la regresión potencial se obtuvo los coeficientes de descarga de las subunidades de riego con valores inferiores a 1,0 lo que se enmarca dentro del régimen de circulación turbulento, y en consecuencia no existe el riesgo de obstrucción de emisores. En ese sentido las ecuaciones de emisor halladas se detallan en el Cuadro 6.

En evaluaciones realizadas en campo tanto la variación de caudal ( $\pm 0,3 \text{ l.h}^{-1}$ ) y la presión que trabaja (10 a 15 m.c.a.) llegan a coincidir con la curva de gasto del emisor.

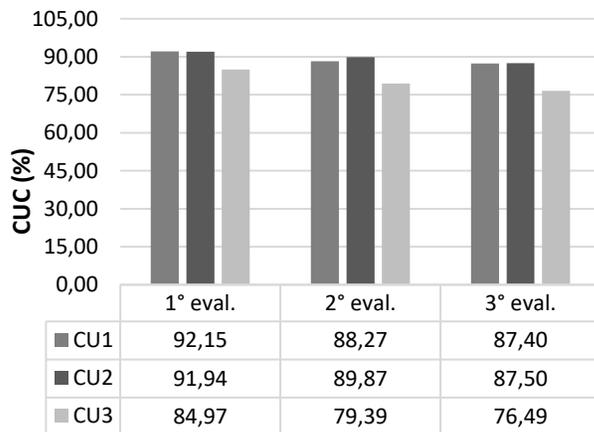
**2. Indicadores de uniformidad**

El coeficiente de uniformidad del caudal y la presión son los parámetros hidráulicos de gran importancia, ya que a través de ellas se puede identificar la uniformidad de distribución del agua aplicado al cultivo y por ende refleja en su rendimiento.

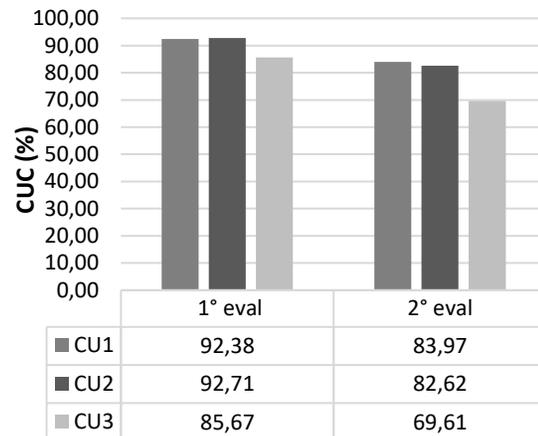
**- Coeficiente de uniformidad caudal**

La comparación de distintos valores de CU (%) obtenido a través de tres ecuaciones, son producto de las evaluaciones realizadas en las subunidades de cañahua y cebolla. El primer coeficiente CU1, descrito por Keller y Karmeli (1975) y Hoffman *et al.* (1992), relaciona la media de la cuarta parte de datos más bajo dividida entre la media general, el CU2 descrito por López (1992) adiciona el coeficiente de variación de fabricación y el número de emisores, y el CU3 resultado de la fusión de las dos anteriores propuestas, toma en cuenta el caudal mínimo y el caudal medio.

La Figura 3, muestra la comparación de los valores del Coeficiente de uniformidad (CU) de la subunidad 2 y 3 (cañahua y cebolla), con diferencias en la aplicación de ecuaciones y evaluaciones, disminuyendo los valores en todos los casos.



N° de evaluaciones, subunidad 2



N° de evaluaciones, subunidad 3

Figura 3. Representación de CUC de las subunidades 2 y 3 (cañahua y cebolla).

Según Merriam y Keller (1978), la clasificación de los valores de CU entre el rango de 80 a 90% se consideran buenos. Para la clasificación según la ASAE EP458 (1988), se encuentra entre el grado de aceptabilidad de normal y bueno. Según López *et al.* (1992), clasifica como inaceptable valores inferiores a 70% (caso CU3, subunidad 3, debido a problemas de fuga en mangueras).

**- Coeficiente de variación del caudal**

El Coeficiente de Variación (CV), se determinó utilizando la ecuación de Da Silva *et al.* (2005), a partir de la relación de desviación estándar sobre el valor de caudal medio. La Figura 4 muestra las evaluaciones realizadas en las subunidades de riego, con resultados de CV variables. Esta variabilidad se atribuye a ciertos factores como ser el número de

personas que participaron en la evaluación, la técnica de recolección del volumen emitido por los emisores. El CV es directamente proporcional al CU, es decir si el CV es alta (13,68%, subunidad 3) este influirá en CU, reflejándose en la distribución de agua hacia las plantas. El incremento de la variación en subunidades, puede deberse al incremento de caudal, ya que algunos datos obtenidos en subunidades estuvieron por encima del caudal nominal de 1,4 l.h<sup>-1</sup>.

A través de la ficha técnica de estos goteros integrados se encontró que su CV es 7%, en tal sentido valores de CV menores o igual a este rango son aceptables. Según ASAE, las evaluaciones con valores inferiores a 7% no existe problemas, se encuentra en condiciones buenas, para los CV hasta 13,68% se considera como normal, si lo comparamos respecto a las categorías, este último valor no tiene clasificación.

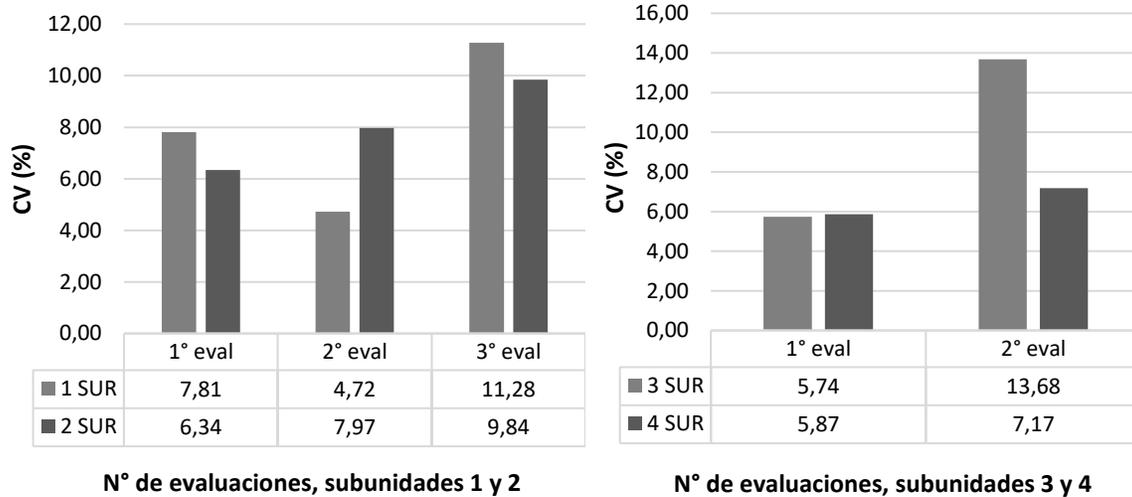


Figura 4. Representación del CV en las cuatro subunidades de riego (cañahua y cebolla).

**- Coeficiente de uniformidad de presión**

En la Figura 5, se observa la relación que existe entre la descarga de caudal y la presión a la entrada de los emisores. Se manifiesta la uniformidad de presión en las subunidades de riego, encontrándose por encima de 90%. El valor del gasto del emisor influye en el aumento de la presión, ya que existe una relación directa entre el gasto y la carga.

Martinez (s.f), indica, la determinación del Coeficiente de Uniformidad de Presión (CUp)

permite detectar las posibles diferencias de presiones que se puedan producir a lo largo de la red de riego, esta es imprescindible en la evaluación que debe realizarse que las dimensiones, tanto de la red como de los elementos de regulación sean las correctas.

**- Coeficiente de uniformidad del sistema**

Después de analizar los indicadores de uniformidad en subunidades se calculó el Coeficiente de Uniformidad del Sistema (CUS) (Tabla 7). Para ello se determinó el factor de corrección de descarga, con valores de presión medidos en los emisores, con las ecuaciones respectivas.

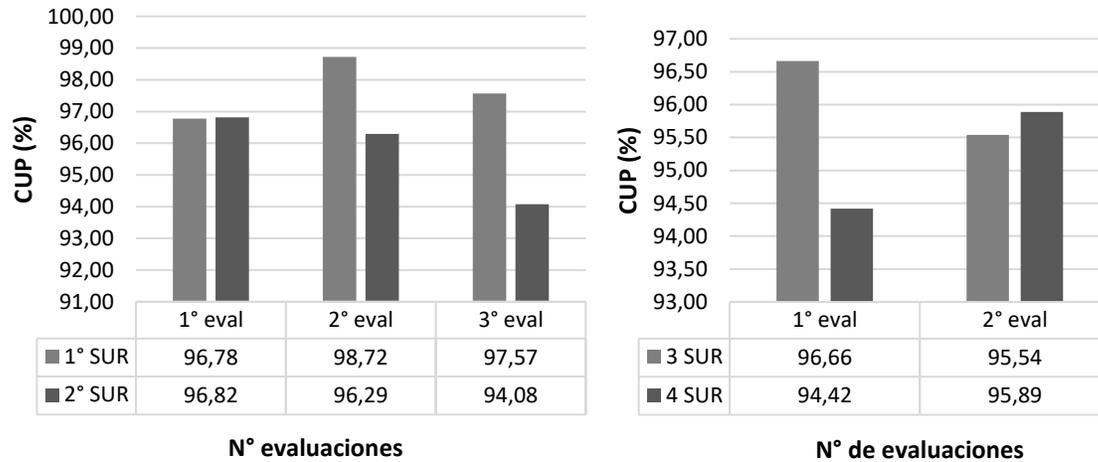


Figura 5. Representación de CUP de las evaluaciones dentro de las cuatro subunidades de riego.

Tabla 7. Determinación de la uniformidad del sistema de riego.

Subunidades de riego	Factor de corrección (Fc)	Coefficiente de Uniformidad del Sistema (CUS)
1 y 2 subunidad	0,98	79,54
3 y 4 subunidad	0,98	79,60

Promediando los valores de uniformidad de las subunidades de riego, se tiene para el sistema de riego un valor promedio de 79,57%, siendo clasificado de bueno (Bralts Kesner, 1983).

### 3. Análisis del comportamiento del riego

#### - Humedad disponible en el suelo

La Tabla 8, detalla los valores de humedad del suelo a distintas presiones, representado como curva de

retención de humedad (humedad del suelo y potencial matricial) en la Figura 6. El agua disponible de 11,5% en el suelo se obtiene de la diferencia de la Capacidad de Campo (26,0%) y el Punto de Marchitez Permanente, dentro de ese rango, no toda esa cantidad de agua es aprovechado por la planta, toma lo que esta su alcance por las raíces sin ningún esfuerzo denominado Agua Fácilmente Disponible (AFD).

Tabla 8. Humedad del suelo a distintas presiones (parcela de riego).

% CC (0,33 bar)	% HE (1 bar)	% PRC (5 bar)	% PMR (10 bar)	% PMP (15 bar)
<b>26,00</b>	20,11	16,30	15,00	14,50

Fuente: Laboratorio de suelos UMSS (2014).

CC= Capacidad de Campo; HE= Humedad Equivalente; PRC= Punto de Ruptura Capilar; PMR= Punto de Marchitez Reversible; PMP= Punto de Marchitez Permanente.

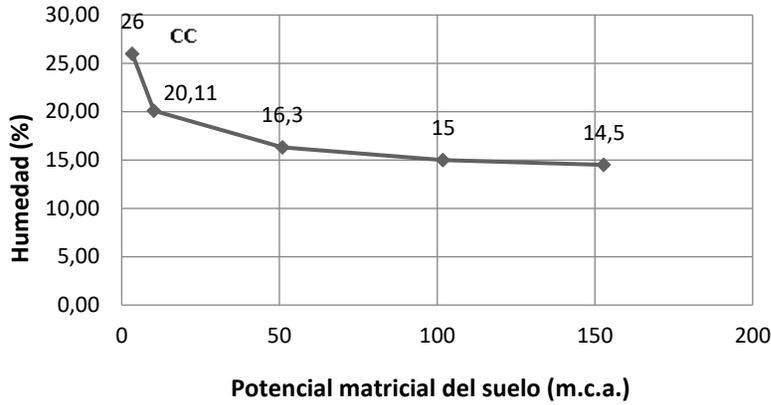


Figura 6. Curva de retención de humedad para el suelo FYL.

**- Velocidad de infiltración**

Los resultados de infiltración determinados en base a Kostiakov – Lewis, se reflejan en la Figura 7,

obteniendo para el suelo, la velocidad de infiltración básica de 6,54 mm.h<sup>-1</sup>, lo cual se considera alto.

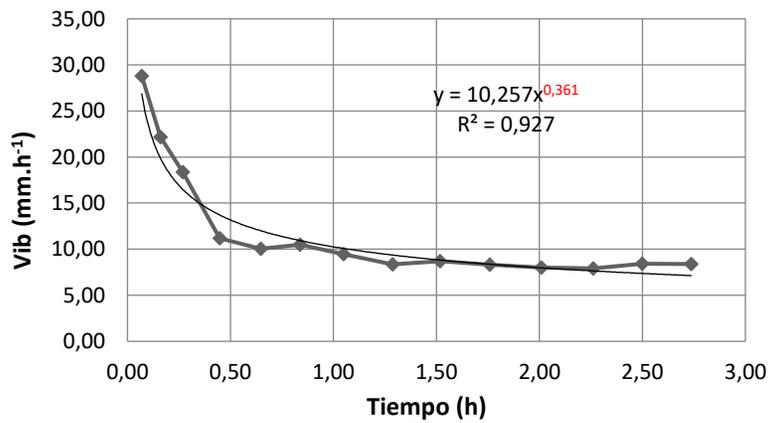


Figura 7. Curva de la velocidad de infiltración básica del suelo

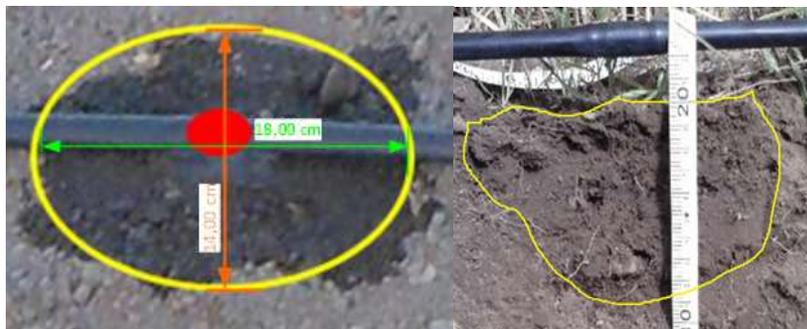


Figura 8. Formación del diámetro de mojado y bulbo húmedo.

Según Berlijn (1982); citado por Paredes (2008), la velocidad de infiltración depende de la porosidad, permeabilidad y estructura del suelo, es decir de la textura, materia orgánica y condición de labranza.

#### - Diámetro de mojado y profundidad

Con un tiempo de riego de 1 h, con caudal de  $1,4 \text{ l.h}^{-1}$ , se determinó un diámetro de mojado de 18 cm de longitud por 14 cm de ancho y un bulbo húmedo de 10 cm de profundidad de forma parcialmente horizontal (Figura 8). Arragan (2014), en trabajo similar en este tipo de suelo determino la extensión horizontal de 16 cm y una profundidad de bulbo húmedo de 12 cm con un caudal de  $1,5 \text{ l.h}^{-1}$ .

Cisneros (2003), señala que el bulbo húmedo está condicionado en gran parte por el tipo de suelo. En los suelos pesados, la velocidad de infiltración es menor que en los suelos ligeros, lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más en la parte horizontal que en profundidad. El humedecimiento varía dentro del bulbo desde el punto más elevado de humedad que se presenta en el sitio de aplicación de la gota de agua y disminuye hacia el perímetro del bulbo.

#### - Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación determinada para el sistema de riego por goteo fue de 81,95%, valor no muy alejado de lo teórico del riego por goteo que va de 90% - 95%. Valor que se obtendría en condiciones muy óptimas donde el escurrimiento y la percolación sea mínima. Se considera eficiente un método de riego cuando el agua aplicada al cultivo se usa en un porcentaje superior al 70% (Antúnez *et al.*, 2010).

### CONCLUSIONES

En la zona de estudio la precipitación llega a  $485 \text{ mm.año}^{-1}$ , con una ETo de  $1196,74 \text{ mm.año}^{-1}$ , los cultivos dependen del riego complementario o suplementario de acuerdo a los requerimientos de agua.

El suelo presenta una textura Franco Arcillo Limoso (FYL) (moderadamente fina), porosidad de 53%

favoreciendo la infiltración del agua, la CEe determinó que no presenta problemas de salinidad.

El agua de riego tiene un pH de 7,61 y una CE de  $0,35 \text{ dS.m}^{-1}$  ( $C_2$ ), clasificada como agua de salinidad media apta para riego (CE 0,25 a  $2,75 \text{ dS.m}^{-1}$ ). No presenta problemas en la obstrucción de goteros, ya que la concentración de elementos se encuentra en menor proporción.

El diseño hidráulico calculado fue similar a la instalada en campo ( $1400 \text{ m}^2$ ), los diámetros obtenidos fueron de 16 mm en porta goteros, 1" en la tubería terciaria y  $1 \frac{1}{2}$ " en tuberías de la línea secundaria y primaria, una altura dinámica total de 56,32 m.c.a.; una potencia de bomba de 2 HP, con caudal de emisión de  $1,67$  a  $8,33 \text{ l.s}^{-1}$ , con una presión de carga de 10 a 20,5 m.c.a. La presión estática del cabezal de bombeo fue de 20,38 m.c.a. y la presión dinámica se redujo a 14,27 m.c.a., esta última es con la que ingreso a las subunidades de riego.

El exponente de descarga del emisor fluctuó entre 0,7131 a 0,8385, valores que pertenecen al régimen de circulación turbulento, lo que significa la no obstrucción fácil de emisores.

Los indicadores de uniformidad: El Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC), Coeficiente de Variación (CV), Coeficiente de Uniformidad de Presión (CUP), manifestaron variabilidad de valores, por factores de aplicación de ecuaciones, número de personas en evaluación, técnicas de recolección y otros. Los rangos obtenidos están dentro de lo aceptable de normal a bueno. El Coeficiente de Uniformidad del Sistema (CUS) es 79,57%, de clasificación como bueno, ya que por debajo de 70% es inaceptable.

El diámetro de mojado en el suelo fue de 18 cm de longitud por 14 cm de ancho y un bulbo húmedo de 10 cm de profundidad de forma parcialmente horizontal (suelo FYL), en un tiempo de riego de 1 h, con un caudal de emisor de  $1,4 \text{ l.h}^{-1}$ .

La curva de retención de humedad del suelo determina el agua fácilmente aprovechable por los

cultivos, obteniendo para el caso un 11,5% de humedad disponible para cultivos.

La eficiencia de aplicación del sistema de riego fue de 81,95%, valor no muy lejano de la eficiencia teórica (90 a 95%), en condiciones muy óptimas donde el escurrimiento y percolación son mínimos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Antúñez A., (2010). *Región De O'higgins: Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano*. INIA Tierra Adentro.

Arragan F. (2014). *Modelación matemática del bulbo húmedo bajo riego por goteo superficial para suelos de la Estación Experimental de Choquenaira*. Tesis de Maestría, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.

American Society of Agricultural Engineers (1988). *Field Evaluation of Microirrigation Systems*. ASAE Engineering Practice: ASAE EP458. St. Joseph, Michigan, U.S.A.

Callizaya I. (1994). *Caracterización de las tierras de la Estación Experimental Choquenaira, según su capacidad de uso aptitud para riego*. Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia, Pág. 40, 42,51-52.

Cisneros, R. (2003). *Sistemas de riego*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. México.

Cruz, R.; L. León. (2009). *Evaluación del sistema de riego localizado del cultivo del pimiento (Capsicum anum L.) en casas de cultivo protegido en las condiciones de la Empresa Pecuaría Genética Camilo Cienfuegos*.

FAO (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma. 111 páginas.

García M. (2003). *Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano*. Katholieke Universiteit Leuven. Disertaciones de Agricultura N° 556.

Hoffman G., et al. (1992). *Management of Farm Irrigation Systems*. Monograph No. 9 de la American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Segunda Reimpresión. St. Joseph, MI. USA.

ISO 9260. (1991). *Equipos de riego para la agricultura, goteros, especificaciones y métodos de prueba*.

Keller J. and Karmeli D. (1975). *Trickle irrigation design Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation*, Glendora, California, USA. 132 p.

Lazarovitch, N., Simunek, J., Shani, U. (2005). *System dependent boundary conditions for water flow from a subsurface source*. Soil Sci. Soc. Am. J. 69.

López R., et al. (1998). *Riego localizado*. Ediciones Mundi – Prensa. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos. España. 403 p.

Martínez R. (2004). *Diseño agronómico del riego*. X Curso Internacional de sistemas de riego. Departamento de irrigación, UACH. Texcoco, Estado de México, México.

Mendoza A. (2013). *Riego por goteo*. CENTA. El Salvador. Visitado marzo 2014. Disponible en: <http://centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20Goteo%202013>.

Montiel V. (1999). *Fundamentos de hidráulica para el diseño y revisión de riego presurizado (aspectos técnicos)*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 149 p.

Paredes M. (2008). *Efecto de tres niveles de fertilización orgánica en bokashi y dos tratamientos pre germinativos en ciprés (Cupressus sempervirens L.) en vivero*. Tesis de grado Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Facultad de agrónoma UMSA. La Paz Bolivia. 120 páginas.

Peñarrieta R. (2006). *Evaluación de uniformidad de riego por goteo (en sistemas de baja carga y presurizados)*. Centro AGUA - Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua, UMSS.