



## Evaluación de la uniformidad de aplicación acorde al comportamiento hidráulico en el riego por aspersión empleado al cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en la Estación Experimental de Cota Cota

### Evaluation of the uniformity of application according to the hydraulic behavior in the irrigation by aspersion used to the crop of potato (*Solanum tuberosum*) in the Experimental Station of Cota Cota.

Miguel Angel Peñafiel Álvarez, Genaro Serrano Coronel y Luis Humberto Ortuño Rojas

#### RESUMEN:

En el presente estudio se realizó la evaluación del sistema de riego por aspersión en la parcela de fisiología vegetal en el Centro Experimental Cota Cota perteneciente a la Facultad de Agronomía de la UMSA, con el fin de determinar los indicadores de uniformidad de riego (CU, UD, EA, Ea) y el comportamiento hidráulico del sistema de riego instalado. Esta evaluación fue necesaria debido a que se desconocía la situación de los indicadores de uniformidad del sistema de riego, de esta manera tomar las decisiones en el manejo del sistema de riego, para la determinación de indicadores de uniformidad se realizó pruebas pluviométricas por subunidades parcelarias y evaluaciones generales. De manera paralela se realizó el registro de las presiones y aforo del caudal en el aspersor. Mediante la evaluación realizada se determinó que la eficiencia de aplicación del sistema es 54,62%, la eficiencia de almacenamiento 22,33%, el coeficiente de uniformidad de Christiansen 65,41% y la uniformidad de distribución 50,61%. Las pérdidas de carga calculada en el primer, segundo y tercer lateral fueron 7,01 m.c.a., 6,76 m.c.a., 6,54 m.c.a. respectivamente, de la relación entre la presión y caudal se determinó el flujo de circulación, el tipo de régimen obtenido fue turbulento debido a que el valor del exponente de descarga se encontraba entre 0,87 y 0,97 lo cual nos indica la sensibilidad del emisor ante el cambio de presión. Utilizando el programa Surfer nos permitió interpolar los datos y representarlos como curvas de nivel lo cual nos permitió visualizar la espacialidad de los datos pudiendo observar claramente los sitios con mayor y menor lámina de agua aplicando durante los eventos de evaluación.

#### PALABRAS CLAVE:

Riego por aspersión, indicadores de uniformidad, comportamiento hidráulico.

#### ABSTRACT:

In the present study, the evaluation of the sprinkler irrigation system was carried out in the plot of plant physiology at the Cota Cota Experimental Center belonging to the UMSA Faculty of Agronomy, to determine the indicators of irrigation uniformity (CU, UD, EA, Ea) and the hydraulic behavior of the installed irrigation system. This evaluation was necessary because the situation of the indicators of uniformity of the irrigation system was unknown, thus making decisions in the management of the irrigation system, for the determination of uniformity indicators, pluviometric tests were carried out by parcel subunits and general evaluations. In parallel, the recording of pressures and flow capacity in the sprinkler was recorded. Through the evaluation carried out it was determined that the application efficiency of the system is 54.62%, the storage efficiency 22.33%, the Christiansen uniformity coefficient 65.41% and the distribution uniformity 50.61%. The pressure losses calculated in the first, second and third laterals were 7.01 m.c.a., 6.76 m.c.a., 6.54 m.c.a. respectively, the circulation flow was determined from the relationship between pressure and flow, the type of regime obtained was turbulent because the value of the discharge exponent was between 0.87 and 0.97, which indicates the sensitivity of the emitter before the pressure change. Using the Surfer program allowed us to interpolate the data and represent them as contour lines, which allowed us to visualize the spatiality of the data, being able to clearly observe the sites with the largest and smallest sheet of water applied during the evaluation events.

#### KEYWORDS:

Sprinkler irrigation, uniformity indicators, hydraulic behavior

#### AUTORES:

**Miguel Angel Peñafiel Alvarez:** Centro Experimental Cota Cota. Carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. [pealmigang@yahoo.es](mailto:pealmigang@yahoo.es)

**Genaro Serrano Coronel:** Centro Experimental Cota Cota. Docente Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. [sicserrano@gmail.com](mailto:sicserrano@gmail.com)

**Luis Humberto Ortuño Rojas:** Centro Experimental Cota Cota. Docente Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. [lorojas@gmail.com](mailto:lorojas@gmail.com)

**Recibido:** 20/10/2020. **Aprobado:** 25/11/2020.



## INTRODUCCIÓN

La creciente presión sobre el agua y cada vez el mayor costo para incrementar su disponibilidad mediante el mejoramiento o construcción de infraestructuras hidráulicas están obligando a agricultores e instituciones a optimizar el uso del agua en la parcela. En esta búsqueda, el riego tecnificado se presenta como una alternativa ventajosa. (Hoogendam y Ríos, 2008)

El uso de tecnología de riego se ha convertido en una alternativa para realizar un mejor uso del agua en zonas en donde el recurso agua es limitante para la producción. La implementación y adopción de este método por los agricultores requiere más información y capacitación debido a que un mal uso de los sistemas de riego no representaría en una ayuda al productor, más al contrario podría llegar a causarle pérdidas en el rendimiento del cultivo que se esté regando con esta tecnología.

Realizar una evaluación del comportamiento hidráulico, en un sistema de riego nos ayuda en la determinación de las pérdidas de carga, velocidad del agua, diámetros de las tuberías principales, secundarias y porta aspersores. Asimismo, teniendo los resultados de comportamiento hidráulico en el sistema de riego se puede realizar la evaluación de la uniformidad de aplicación, esto nos beneficia debido a que nos da una mejor percepción de cómo está funcionando nuestro sistema de riego.

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los alimentos más importantes en la canasta familiar, al igual que es un alimento estratégico para la seguridad alimentaria por su alto contenido nutricional.

Según INIAF citado por Paye (2015) menciona que el consumo per cápita de papa en Bolivia es de 92 kilos por habitante en un año.

Según Canqui y Morales (2009) señalan que a pesar de que existe una gran cantidad de variedades de papa aptas para la producción

comercial y alimentaria en la región del Altiplano Norte de Bolivia, las dos variedades predominantes son la Huaycha paceña e Imilla negra.

En este trabajo se realizó una evaluación hidráulica en campo mediante la lectura de manómetros de 4 bares, al mismo tiempo la evaluación pluviométrica en el área del sistema de riego. A esto también se añadieron análisis del suelo para el mejor estudio en la evaluación de la eficiencia de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El trabajo fue realizado en el Centro Experimental Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía-UMSA, la misma se ubica en la provincia Murillo del departamento de La Paz, en el Municipio de Nuestra Señora de La Paz con una altitud de 3.441 m.s.n.m. geográficamente a 16°32'12.58" LS y 68° 3'46.52" LW.

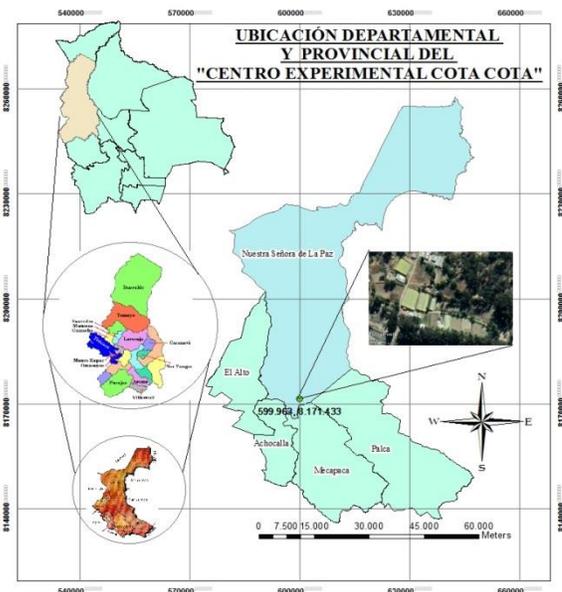


Figura 1. Ubicación del trabajo de investigación.

El Centro Experimental de Cota Cota presenta una temperatura media de 11,5°C,

alcanzando una temperatura mínima durante la época seca registrándose 0°C en los meses de junio y julio causando daño a las plantas, las máximas temperaturas de 28°C y 29°C se registran en los meses de noviembre y diciembre provocando desecación y marchitamiento en las plantas; estos meses también se tienen los valores más altos de radiación (Zeballos, 2000).

## Materiales

Los materiales utilizados para la evaluación del sistema de riego por aspersión fueron:

Manómetros de 4 y 6 bares, agujas de presión, cronómetro, mangueras flexibles, pluviómetros (envases de CD), probetas graduadas de 100 y 500 ml, cinta métrica, vernier, estacas, Hilo Plástico, cilindros de infiltración, planillas de campo, cilindros de muestreo de suelos, aspersores xcel wobbler, estación total, estación agroclimática.

## Metodología

Para realizar el trabajo de investigación se dividieron en dos fases:

### Primera fase

#### *Preparación del terreno y siembra del cultivo*

Se realizó de manera manual añadiendo abono de ovino sobre el terreno de trabajo, la siembra se realizó en surcos de forma manual, con una distancia entre plantas de 0,5 m y una distancia entre surcos de 0,8 m. las labores culturales necesarias para el cultivo de papa estuvieron a cargo de los responsables de la materia de fisiología, entre las actividades más importantes estuvieron el aporque, deshierbe, y riego este último en función a la programación de riego.

La cosecha y post cosecha al igual que en las anteriores actividades se la realizó de manera manual para posteriormente proceder con las labores propias de la post cosecha.

## *Estudio topográfico*

El estudio topográfico se realizó con la ayuda de un GPS y el equipo de estación total los cuales permitieron obtener datos referenciales para el plano topográfico. Los valores de coordenadas y altitudes fueron exportadas al programa ARCGIS generando de esta manera las curvas de nivel, cotas, distancias y superficie de estudio.

Para el levantamiento del perfil longitudinal desde la cisterna flexible hasta la parcela de estudio se realizó con un nivel de albañil

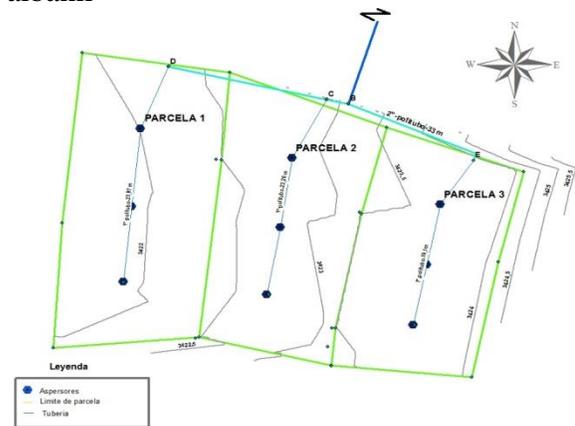


Figura 2. División de las parcelas en el área de evaluación.

### *Muestreo de suelos*

Se tomaron muestras compuestas de suelo en el área de estudio a una profundidad de 15 cm, las cuales fueron derivadas al laboratorio IBTEN donde se solicitó realizar el análisis de características físicas del suelo.

### *Calidad de agua para riego*

Para el siguiente trabajo se consideró los resultados de las muestras de agua producto de la tesis “Evaluación de la calidad físico- químico y bacteriológico del agua de riego del Centro Experimental Cota Cota”, de esta manera se logró realizar la interpretación de la calidad de agua de riego en el Centro Experimental Cota Cota.

### **Prueba de infiltración**

Para determinar cuál es la velocidad de infiltración del suelo en el área de estudio se procedió a calcular este valor mediante los cilindros de infiltración, las pruebas de infiltración se realizaron en diferentes lugares del área de estudio esto para determinar la permeabilidad en el suelo.

### **Diseño agronómico**

El diseño agronómico se realizó con la ayuda de datos climáticos, datos de la cédula de cultivo, para esto se utilizó la fórmula de Penman Monteith lo cual nos ayudó a determinar la evapotranspiración de referencia, ya con el dato calculado se procedió a realizar el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo.

### **Esquema del área de evaluación**

En la evaluación de la parcela de riego se dividieron en tres parcelas independientes y también se consideró la evaluación general de la parcela, para la ubicación de las parcelas divididas se realizó un esquema donde se puede ubicar claramente dónde se encuentra cada una de las parcelas evaluadas.

#### **Segunda fase**

Utilizando el procedimiento que recomienda Delgado, se evaluó el sistema de riego por aspersión en la parcela bajo los siguientes pasos:

Se obtuvo datos y características técnicas del sistema de riego.

Se obtuvo las características técnicas y comerciales del aspersor tal como: marca, modelo, diámetro de la boquilla, presión de operación, caudal del aspersor.

- Para determinar la presión de trabajo, se utilizaron manómetros de glicerina de 4 y 6 bares, estos manómetros fueron instalados en los puntos más críticos del sistema de riego de manera permanente mientras que en otros

puntos solo se instaló puntos de control de presión mediante agujas de presión.

- El caudal fue medido mediante el método volumétrico considerando el caudal emitido por el aspersor en un tiempo determinado.
- Para medir el radio de mojado del aspersor se usó una wincha métrica, desde la base del porta aspersor hasta el extremo del área mojada.
- Se midió cuál es el marco de riego espacio entre aspersores y espacio entre laterales en la parcela de estudio.
- Se realizó el armado de la red de pluviómetros con una distancia de 2 x 2 metros, asegurándolos para que durante la evaluación no se volteen.
- También se procedió a medir la altura y verticalidad de los porta aspersores.
- Se colocaron los puntos de control para medir la presión de trabajo con el que trabajaron los aspersores, para esto se identificaron los puntos más críticos.

Con referencia a los datos de los pluviómetros, es preciso indicar que estos no proporcionan una reproducción exacta de la realidad, debido a que:

- El área de los pluviómetros es pequeño en comparación con la superficie de suelo que representan.
- Existen pérdidas por evaporación en los pluviómetros.

El viento puede arrastrar gotas de agua fuera de la zona muestreada por los pluviómetros y puede alterar incluso la recogida de agua en los pluviómetros.

### **Fase de evaluación**

En esta fase se procedió de la siguiente manera:

- Se hizo funcionar los aspersores de manera que normalicen el caudal y la presión de servicio. En esta actividad se tuvo cuidado de

direccionar el caudal del aspersor antes que el funcionamiento afecte a los pluviómetros.

- Se procedió con el inicio de la prueba considerando la hora de inicio de la evaluación.
- Se tomó la medida de la presión de servicio en los aspersores al inicio, mitad y final de la evaluación.
- Se tomó la medida de la velocidad y dirección del viento con la ayuda de un anemómetro y veleta de la Estación Meteorológica del Centro Experimental Cota Cota.
- Habiendo concluido con la evaluación, se procedió a medir el volumen de agua recibida en los pluviómetros utilizando una probeta de 100 ml y jeringas de 5 ml.
- Se registraron los volúmenes de agua de los pluviómetros recogiendo los mismos de la zona de evaluación.
- Finalmente se midió el caudal y presión de los aspersores.

Por último, se realizó el cálculo de los aspectos hidráulicos en la red de riego y cálculo de los parámetros de calidad de riego. Los parámetros calculados fueron:

- La relación caudal vs presión fue calculada mediante los valores registrados de presión y caudal. La presión fue registrada mediante manómetros de 4 y 6 bares mientras que el caudal mediante el método volumétrico.
- La eficiencia de aplicación, eficiencia de almacenamiento, uniformidad de distribución y coeficiente de uniformidad fueron calculados mediante los valores registrados de volumen de agua recibidos en los pluviómetros

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Calidad de agua

El agua utilizada para riego pertenecía a la Clase C3 - S1 según la clasificación Riverside, con un pH neutro de 7.5. Con una relación de adsorción del sodio de  $4,06 \text{ meq l}^{-1}$ .

### Calidad del suelo

El suelo de la parcela de evaluación pertenece a una clase textural de franco arcillo limoso (FYL) con una densidad aparente de  $1,58 \text{ g cm}^{-3}$

Con un PH de 6,32, conductividad eléctrica de  $0,219 \text{ dSm}^{-1}$  la capacidad de campo es 15,69%. El punto de marchites permanente 6,89%. La velocidad de infiltración básica en el área de estudio fue de  $2,28 \text{ mm h}^{-1}$

### Evaluación del comportamiento

#### *Evaluación primera subunidad parcelaria*

La variación de presiones al inicio y al final de la evaluación fue de 8,5 m.c.a. con un caudal de  $955,37 \text{ lh}^{-1}$  a 5 m.c.a. con un caudal de  $585,51 \text{ lh}^{-1}$  en un tiempo de riego de una hora.

El gasto liberado por los aspersores estuvo en función a la presión del sistema de riego que este a su vez depende de la cisterna flexible, al relacionar las presiones y gasto de los emisores en el sistema se pudo obtener la ecuación de gasto del aspersor, a través del ajuste a una regresión potencial.

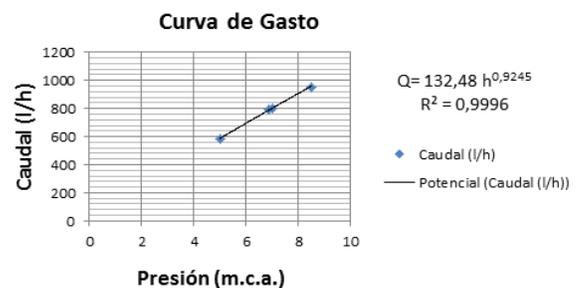


Figura 3. Curva de gasto de la primera subunidad parcelaria.

La ecuación ajustada a la regresión potencial en la evaluación es la siguiente:  $Q=132,48h^{0,9245}$

#### *Evaluación segunda subunidad parcelaria*

La variación de presiones al inicio y al final de la evaluación fue de 8,5 m.c.a. con un caudal de  $955,37 \text{ lh}^{-1}$  a 1,8 m.c.a. con un caudal

de 253,60lh<sup>-1</sup>. La figura de gasto de la evaluación se la presenta a continuación.

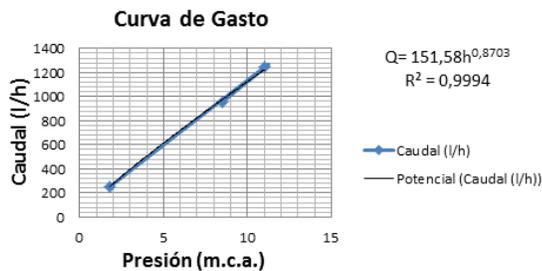


Figura 1. Curva de gasto de la segunda subunidad parcelaria.

La ecuación ajustada a la regresión potencial en esta evaluación es la siguiente:  $Q=151,58h^{0,8703}$

### Evaluación tercera subunidad parcelaria

La variación de presiones al inicio y al final de la evaluación fue de 8,5 m.c.a. con un caudal de 955,37 lh<sup>-1</sup> a 7,9 m.c.a. con un caudal de 909,30 lh<sup>-1</sup>. La figura de gasto de la evaluación se la presenta a continuación.

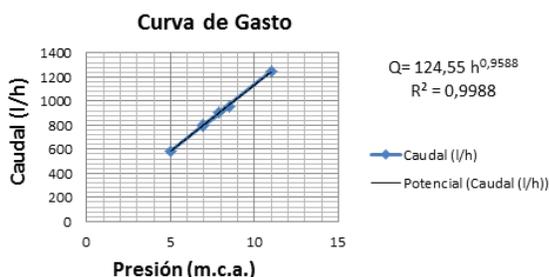


Figura 5. Curva de gasto de la tercera subunidad parcelaria.

La ecuación ajustada a la regresión potencial en esta evaluación es la siguiente:  $Q=124,55h^{0,958}$

### Primera evaluación general

La variación de presiones al inicio y al final de la evaluación fue de 8,5 m.c.a. con un caudal de 960,34 lh<sup>-1</sup> a 4,8 m.c.a. con un caudal de y 557,88 lh<sup>-1</sup> en un tiempo de riego de una hora.

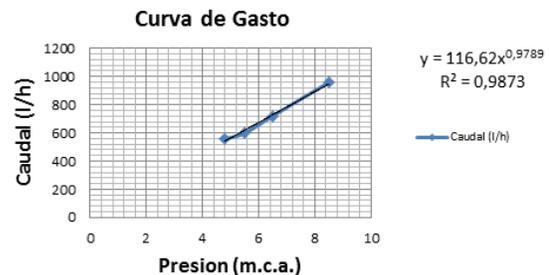


Figura 6. Curva de gasto de la primera evaluación general.

La ecuación ajustada a la regresión potencial en esta evaluación es la siguiente:  $Q=116,62h^{0,9789}$

### Segunda evaluación general

La variación de presiones al inicio y al final de la evaluación fue de 8 m.c.a. con un caudal de 925,23 lh<sup>-1</sup> a 5 m.c.a. con un caudal de y 585,51 lh<sup>-1</sup> en un tiempo de riego de una hora.

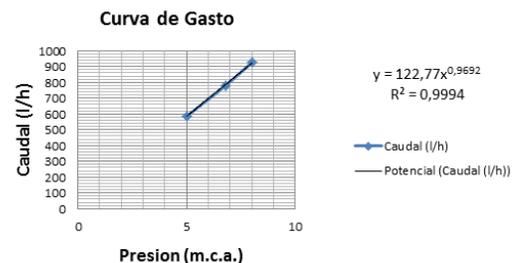


Figura 7. Curva de gasto de la segunda evaluación general.

La ecuación ajustada a la regresión potencial en esta evaluación es la siguiente:  $Q=122,77h^{0,9692}$

Como se pudo observar en las evaluaciones realizadas el exponente de descarga presenta valores que variaron de 0,87 a 0,98 estos valores nos indican que el flujo de circulación del agua es turbulento, con alta sensibilidad de los emisores al cambio de presión.

### Evaluación de los indicadores de uniformidad

#### Evaluación subunidad parcela N°1

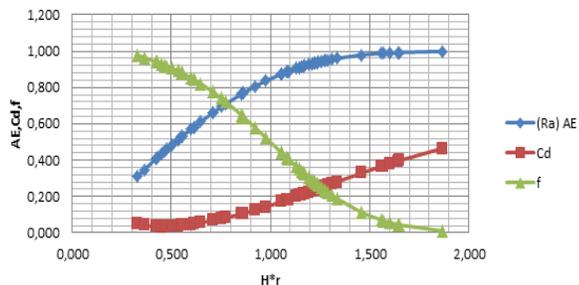


Figura 8. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal, primera subunidad parcelaria.

Respecto al manejo de riego el diagrama de este para una función de distribución normal, de acuerdo con el mismo Ra (Rendimiento de

aplicación) tiene la posibilidad de ir aumentando desde 0,311 hasta 0,874, sin que la lámina requerida  $H_i$  sobrepase a la lámina bruta acumulada ( $H_{ba}$ ). Significa que como mínimo se admite 5,2% y como máximo 17,2% con una fracción de suelo adecuadamente regada entre 97,7% y 44,2% respectivamente, aunque lo ideal será mantenerse cerca al 85% de fracción de suelo adecuadamente regada ( $Cd=4,8\%$  y  $AE=56,9\%$ ).

El comportamiento de la lámina de agua en la subunidad 1, tuvo un promedio de la lámina aplicada de 16,37 mm y promedio de la lámina del cuarto inferior de 8,07 mm.

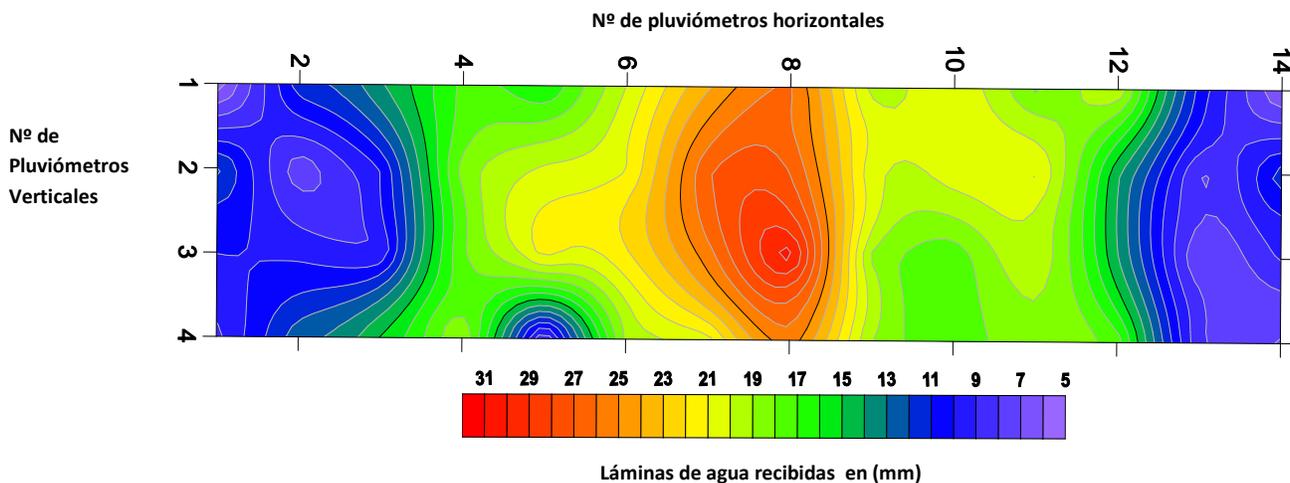


Figura 9. Comportamiento de la lámina de agua en la primera subunidad parcelaria.

Los parámetros de uniformidad de riego en la primera subunidad parcelaria fueron los siguientes.

Tabla 1. Parámetros de evaluación primera subunidad parcelaria.

Ea (%)	EA (%)	CU (%)	UD (%)
58,0	31,79	67,77	50,64

En la evaluación realizada se obtuvo una eficiencia de aplicación de 58% lo cual se considera como bajo para un sistema de riego por

aspersión. La eficiencia de almacenamiento en la evaluación fue de 31,79%, lo que nos indica que solamente el 31,79% del déficit de humedad del suelo ha sido repuesto con ese riego, restando un 69,21 a reponer.

La uniformidad de distribución del sistema tiene un valor de 50,64%, lo cual es bajo, sin embargo, nos indica que el agua de riego no se está aplicando de manera uniforme. El coeficiente de uniformidad de Christiansen calculado reporta un valor de 67,77%, este valor

nos indica que los equipos de riego no se están utilizando en forma adecuada.

**Evaluación subunidad parcela N°2**

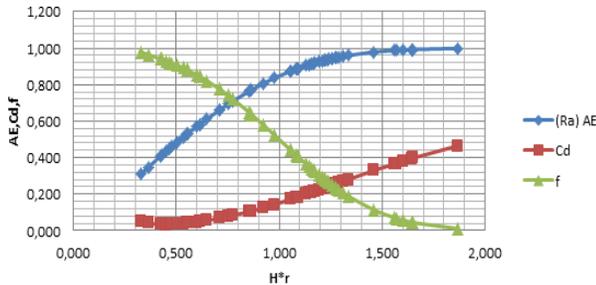


Figura 10. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal, segunda subunidad parcelaria.

Respecto al manejo de riego el diagrama de este para una función de distribución normal, de acuerdo con el mismo Ra (Rendimiento de aplicación) tiene la posibilidad de ir aumentando desde 0,254 hasta 0,836, sin que la lámina requerida  $H_i$  sobrepase a la lámina bruta acumulada ( $H_{ba}$ ). Significa que como mínimo se admite 6,8% y como máximo 16,5% con una fracción de suelo adecuadamente regada entre 97,8% y 49,8% respectivamente, aunque lo ideal es mantenerse cerca al 85% de fracción de suelo adecuadamente regada, ( $Cd=5,5\%$  y  $AE=53,5\%$ ).

El comportamiento de la lámina de agua en la subunidad 2, tuvo un promedio de la lámina aplicada de 12,53 mm y promedio de la lámina en el cuarto inferior de 6,46 mm.

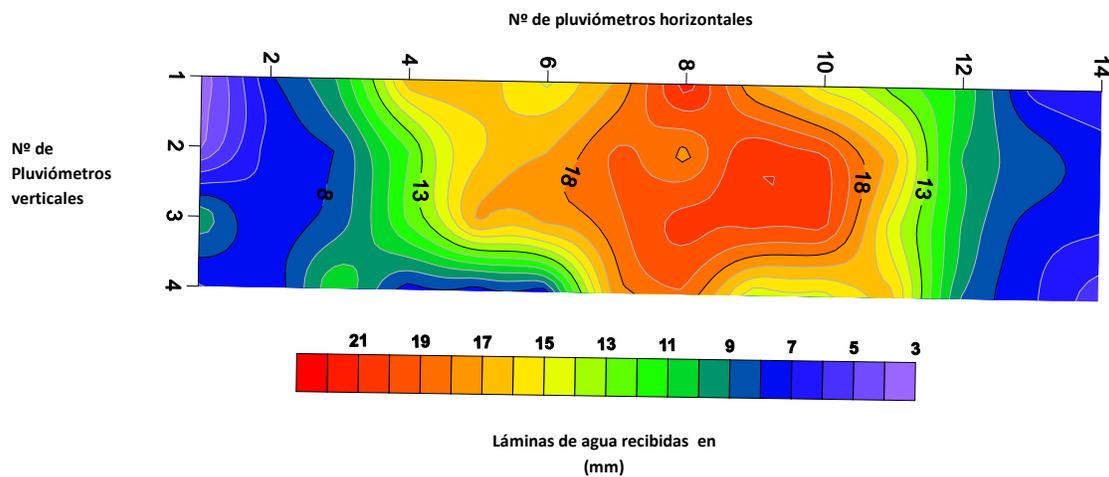


Figura 11. Comportamiento de la lámina de agua en la segunda subunidad parcelaria.

Los parámetros de uniformidad de riego en la primera subunidad parcelaria fueron los siguientes.

Tabla 2. Parámetros de evaluación segunda subunidad parcelaria.

Ea (%)	EA (%)	CU (%)	UD (%)
54,58	28,1	62,99	51,56

En la evaluación realizada se obtuvo una eficiencia de aplicación de 54,58% lo cual podemos considerar como bajo para un sistema

de riego por aspersión. La eficiencia de almacenamiento calculada fue de 28,1%, lo cual nos indica que solamente el 28,1% del déficit de humedad del suelo ha sido repuesto con este riego restando un 71,9% a reponer.

La uniformidad de distribución del sistema en la evaluación fue 51,56% lo que nos indica que el agua de riego no se está aplicando de manera uniforme. El coeficiente de uniformidad de Christiansen calculado en la evaluación fue 62,99%, este valor nos indica que los equipos de riego no se están utilizando en forma adecuada.

**Evaluación subunidad parcela N°3**

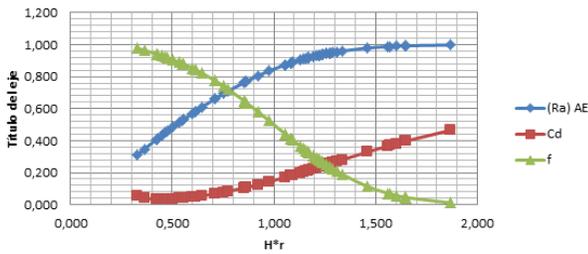


Figura 12. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal, tercera subunidad parcelaria.

Respecto al manejo de riego el diagrama de este para una función de distribución normal, de

acuerdo con el mismo Ra (Rendimiento de aplicación) tiene la posibilidad de ir aumentando desde 0,179 hasta 0,867, sin que la lámina requerida Hi sobrepase a la lámina bruta acumulada (Hba). Significa que como mínimo se admite 2,46% y como máximo 13,7% con una fracción de suelo adecuadamente regada entre 100% y 49,4% respectivamente, aunque lo ideal será mantenerse cerca al 85% de fracción de suelo adecuadamente regada (Cd=3,9% y AE=61,4%).

El comportamiento de la lámina de agua en la subunidad 3, tuvo un promedio de la lámina aplicada de 14,11 mm y promedio de la lámina en el cuarto inferior de 7,97 mm.

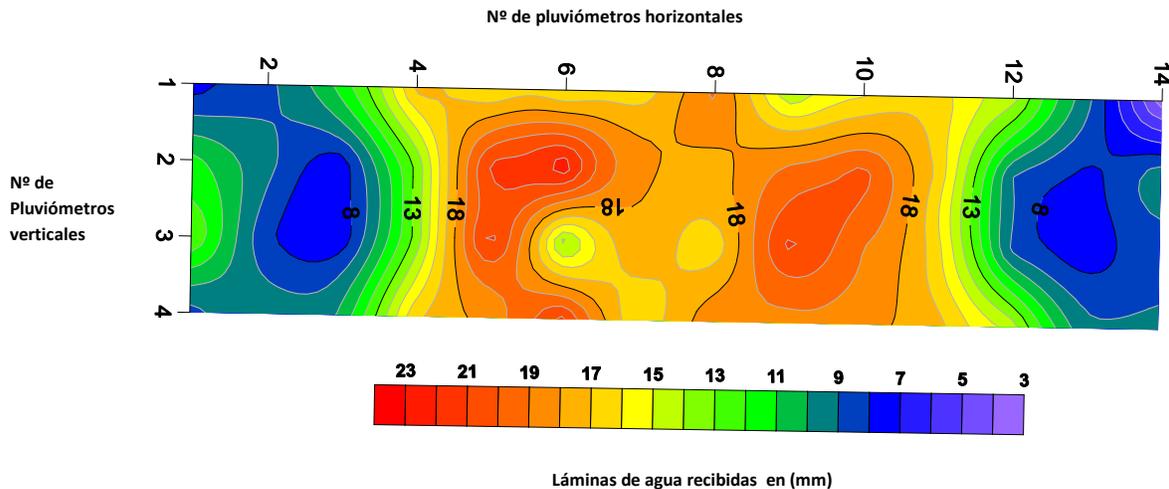


Figura 13. Comportamiento de la lámina de agua en la tercera subunidad parcelaria.

Los parámetros de uniformidad de riego en la tercera subunidad parcelaria fueron los siguientes.

Tabla 3. Parámetros de evaluación tercera subunidad parcelaria.

Ea (%)	EA (%)	CU (%)	UD (%)
62,28	28,09	70,38	56,46

En la evaluación a la tercera parcela se obtuvieron los siguientes resultados, la eficiencia de aplicación fue 62,28%, se considera como bajo para el sistema de riego por aspersión, la

eficiencia de almacenamiento calculado en la evaluación fue 28,09%, lo cual indica que solamente el 28,09% del déficit de humedad del suelo ha sido reponido con este riego restando un 71,11% a reponer.

La uniformidad de distribución del sistema en la evaluación fue 56,46% lo que nos indica que el agua de riego no se está aplicando de manera uniforme, el coeficiente de uniformidad de Christiansen fue 70,38% este valor nos indica que no se está manejando de manera adecuada los equipos de riego

### Primera evaluación general del área de estudio

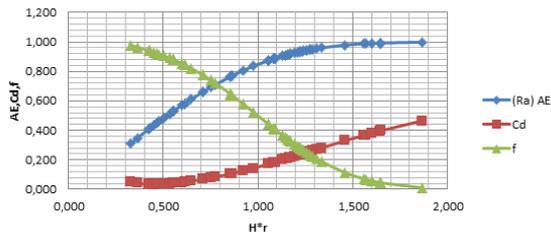


Figura 14. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal, primera evaluación general.

Respecto al manejo de riego el diagrama de este para una función de distribución normal,

de acuerdo con el mismo Ra (Rendimiento de aplicación) tiene la posibilidad de ir aumentando desde 0 hasta 0,89 sin que la lámina requerida Hr sobrepase a la lámina bruta acumulada (Hba) significa que como mínimo se admite 0% y máximo 19,9 respectivamente, aunque lo ideal será mantenerse cerca del 85% de fracción de suelo adecuadamente regada (Cd=7,6% y AE=44,4%).

El comportamiento de la lámina de agua en el área de estudio tuvo un promedio de la lámina aplicada de 5,085 mm y promedio de la lámina en el cuarto inferior de 2,29 mm.

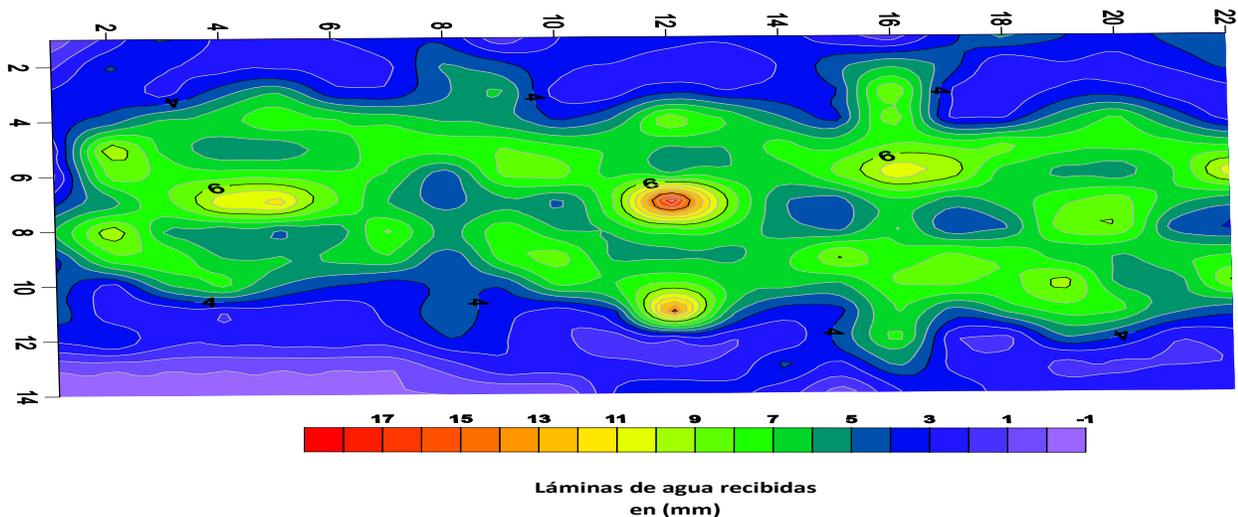


Figura 15. Comportamiento de la lámina de agua en la primera evaluación general.

Los parámetros de uniformidad de riego en la primera evaluación general fueron los siguientes.

Tabla 4. Parámetros de evaluación primera evaluación general.

Ea (%)	EA (%)	CU (%)	UD (%)
46,88	8,79	59,90	45,07

En la evaluación realizada se obtuvo una eficiencia de aplicación de 46,88% lo que no podemos considerar como bajo para el sistema de riego por aspersión, la eficiencia de

almacenamiento calculada fue 8,79% lo que nos indica que solo el 8,79% ha sido repuesto con el riego dejando a reponer un 91,21% mientras que si observamos el valor de la uniformidad de distribución con un valor de 45,07% lo cual nos indica que el agua no se está aplicando de manera uniforme.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen calculado fue 59,90%, este valor nos indica que no se está manejando de manera adecuada el equipo de riego.

### Segunda evaluación general del área de estudio

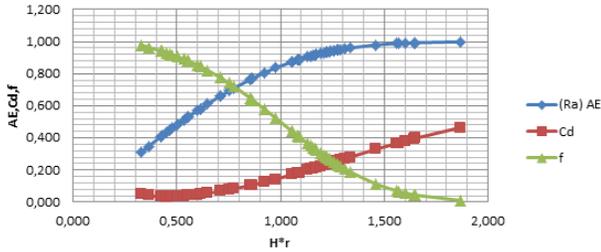


Figura 16. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal, segunda evaluación general.

Respecto al manejo de riego el diagrama de este para una función de distribución normal, de acuerdo con el mismo Ra (Rendimiento de aplicación) tiene la posibilidad de ir aumentando desde 0,001 hasta 0,822 sin que la lámina requerida Hr, sobrepase a la lámina bruta acumulada (Hba). Significaba que como mínimo se admite 0% y máximo 17,9% con, una fracción de suelo adecuadamente regada entre 100% y 49,8% respectivamente, aunque lo ideal será mantenerse cerca al 85% de fracción de suelo adecuadamente regada (Cd=6,4% y AE=49,3%).

Los parámetros de uniformidad de riego en la primera evaluación general fueron los siguientes.

Tabla 5. Parámetros de evaluación segunda evaluación general.

Ea (%)	EA (%)	CU (%)	UD (%)
66	44,86	50,65	41,86

En la evaluación realizada se obtuvo una eficiencia de aplicación de 51,37% lo podemos considerar como bajo para un sistema de riego por aspersión. La eficiencia de almacenamiento calculado fue 14,89% lo que nos indica que solo el 14,89 ha sido repuesto con el riego dejando a reponer un 85,11% mientras que si observamos el valor de la uniformidad de distribución cuyo valor calculado fue de 50,65% lo que nos indica que el agua no se está aplicando de manera uniforme.

El coeficiente de uniformidad de Christiansen calculado en la evaluación fue 66% este valor nos indica que no se está manejando de manera adecuada el equipo de riego.

El comportamiento de la lámina de agua en el área de estudio tuvo un promedio de la lámina aplicada de 7,73 mm y promedio de la lámina en el cuarto inferior de 3,92 mm.

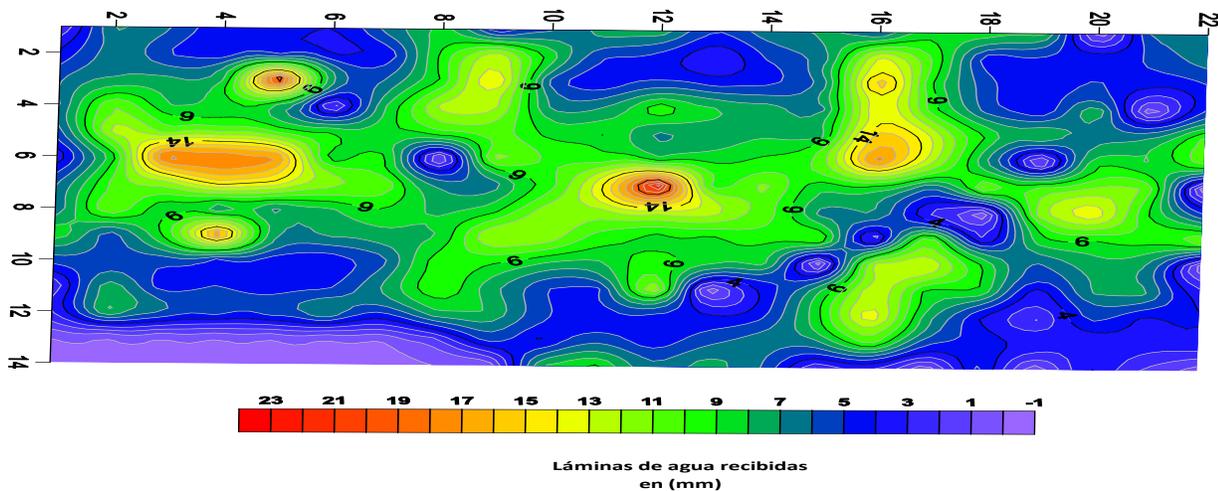


Figura 17. Comportamiento de la lámina de agua en la segunda evaluación general.

## CONCLUSIONES

La diferencia entre la parcela de riego y la cisterna flexible es 14,087 m con una longitud de 102,73 m produciendo una pérdida de carga de 4,69 m.c.a., transportando un caudal de 0,003 m<sup>3</sup> /s.

Las pérdidas de carga en el primer, segundo y tercer lateral son 2,18 m.c.a. 2,02 m.c.a. y 1,74 m.c.a. respectivamente.

Realizando una sumatoria de las pérdidas de carga en el sistema por lateral se obtuvo las siguientes pérdidas 7,015 m.c.a. en el primer lateral, 6,76 m.c.a. en el segundo lateral y 6,5172 m.c.a. en el tercer lateral. Dejando presiones de 8,09 m.c.a. 7,57 m.c.a. y 6,73 m.c.a. respectivamente.

En la relación caudal – presión en los emisores se registró una variación en comparación al señalado en el catálogo de Senninger. El caudal de descarga aforado en la evaluación fue 0,95537 m<sup>3</sup>/h a una presión de 8,5 m.c.a.

El índice de gota del aspersor utilizado en la evaluación fue 1,12, caracterizado como gota gruesa, esto debido al tamaño del diámetro de la boquilla del aspersor.

Realizar el cambio de las boquillas del aspersor a otras de menor diámetro debido a que la velocidad de infiltración del suelo es inferior a la del aspersor.

A través del cálculo del exponente de descarga se pudo determinar que el régimen de circulación pertenece a un régimen turbulento, además de la sensibilidad de los emisores ante los cambios de presión, los valores del exponente de descarga del emisor variaron de 0,87 a 0,98.

La eficiencia de aplicación promedio del área de evaluación fue 54,62%, este valor está muy alejado de los valores propios de la eficiencia de aplicación para un sistema de riego por aspersión. Cuyos valores van de 70% a 75%.

El coeficiente de uniformidad promedio de las evaluaciones realizadas fue 65,408% lo que nos indica que solo el 65,408% del área regada recibió una aplicación de agua uniforme a esto se puede mencionar que existió una desuniformidad de aplicación de 34,59%

La uniformidad de distribución promedio en el sistema fue 50,61%, este valor nos indica que por cada mm de agua que recibe el área de riego solo el 75% del área regada recibirá menos de 50,61 de altura media aplicada.

En los diagramas del comportamiento de la lámina de agua en la superficie de evaluación, se observaron que los extremos de la parcela son los lugares donde recibe menor cantidad de agua debido a la falta de solapamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, J.; Fernández, M.; Dearaujo, R; Eijito, A. (2005). Manual de hidráulica. Editorial Edgard Blucher Ltda. 8° Edición. 4° reimpresión. pp 109-121.
- Canqui, F.; Morales, E. (2009). Conocimiento local en el cultivo de la papa. Fundación PROIMPA. Cochabamba, Bolivia. 13 p.
- Chipana, R. (2003). Principios de Riego y Drenaje IRTEC 1° edición, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia. pp. 1-178.
- Delgadillo O.; Jiménez J.; Rojas C. (2011). Evaluación del riego por aspersión en parcela. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua - Centro AGUA – UMSS. Cochabamba, Bolivia 60 p.
- Fernández R, Oyonarte N. García J, Yruela M<sup>a</sup> del Carmen, Milla M, Ricardo. Et, al. (2010). Manual de Riego para Agricultores Módulo 3: Riego por Aspersión. Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Ediciones de Andalucía, S.L. Sevilla pp. 19 – 48.

- Fuentes J. (1998). Técnicas de riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Tercera Edición Mundi Prensa. Impreso en España. Pp 235-279.
- Gilves, R.; Evett, J.; Liu, C. (1994). Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. 3º Edición. Impreso en España. pp.118-196.
- Hoogendam, P; Loza, D; Maita, J. (2007). Aumentar la disponibilidad de agua en el suelo PIEN-Riego Cochabamba-Bolivia. 3 p.
- López R. (1997). Riego Localizado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Impreso en España.
- Poma, I. (2014). Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación mediante el método de riego por aspersión en la Estación Experimental de Choquenaira. Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. pp. 5-6.
- Quispe, J. (2016). Evaluación de la calidad físicoquímica y bacteriológica del agua de riego en la estación experimental Cota Cota. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia
- Román, M; Hurtado, G. (2002). Guía técnica, Cultivo de la papa CENTA El Salvador. 9 p.
- Serrano, G. (2018). Ingeniería del riego y drenaje. Edición S.I.M.A.R.T. La Paz-Bolivia pp. 130-185
- Serrano G. (2014). Ingeniería del riego tecnificado. Primera edición La paz Bolivia, 181 p.
- Sotelo, G. (1997). Hidráulica General Volumen 1 Fundamentos. Editorial LIMUSA. Impreso en México. pp.217-296
- Tarjuelo, M.B. et al. (2005). Riego por Aspersión y su tecnología. Edit. Mundi Prensa 3ra. Edición Barcelona, España 585 p.
- Tarjuelo, M.B. (2005). El riego por aspersión. Centro regional de estudios del agua-CREA-Universidad de Castillo-La Mancha.
- Tarjuelo J. (1999). Fundamentos de Hidráulica, Tuberías y Bombas. XI curso internacional de técnicas de Riego y Gestión del Regadío. CENTER. España Pp 1- 28.
- Uribe, F.; Calle, I.; Gonzales, V. (2013). Informativo N° 78 INIA-URURI, Manejo agronómico del cultivo de la papa para la precordillera de la comuna de Putre. Arica, Parinacota –Chile. pp.3-4.
- Vargas, E. (1992). Estudio de la flora y vegetación de la cuenca del río Jillusaya (Prov. Murillo, La Paz) como base para un futuro manejo. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. 97 p.
- Zeballos, M. (2000). Estudio de los cambios en la composición florística, cobertura vegetal y fenología a lo largo de un ciclo anual en el área permanente de Cota Cota – La Paz. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología. La Paz Bolivia. 133 p