

## CONDICIONES DE RIEGO CAMPESINO EN LA LOCALIDAD DE INQUISIVI, LA PAZ-BOLIVIA

### Conditions of peasant irrigation in the locality of Inquisivi, La Paz-Bolivia

Freddy Rojas<sup>1</sup>; Vladimir Orsag Céspedes<sup>2</sup>

#### RESUMEN

La agricultura en los valles de Inquisivi se desarrolla en laderas de pronunciadas, bajo condiciones climáticas subhúmedo seco, la precipitación media anual es 900 mm año<sup>-1</sup> con déficit hídrico desde el mes de abril a noviembre que demanda la necesidad de riego. El objetivo ha sido evaluar el riego actual y su relación con la necesidad hídrica de los cultivos, condiciones de operación y las alternativas de mejora mediante riego tecnificado en ladera. El estudio se desarrolló en la localidad de Inquisivi, la metodología para evaluar el clima local fueron los índices climáticos y para estudiar el funcionamiento del sistema de riego se aplicó un enfoque socio-técnico, que consiste en el "seguimiento del agua" y entrevistas a informantes clave. La distribución de agua es a demanda libre en la mayoría de los sistemas de riego, las presiones de operación fueron variables, dependiendo de la altura de carga y del tipo de tubería, que en ocasiones causa problemas sociales cuando varios usuarios riegan en un mismo periodo. Muchos sistemas operan con presiones bajas de 1 a 2 bar, resultando en que los aspersores alcancen radios menores de mojado de 3 a 7 m, por ello los regantes cambian de posición cada tres a cinco horas para alcanzar superficies mayores de riego pero con menores láminas de agua, la textura franco arenoso-gravoso de los suelos determina pérdidas de agua del 20%, esto obliga a que se realicen frecuencias de dos a tres riegos por semana en la época seca y una en la época de lluvias moderadas. En los sistemas que operan con presiones mayor a 4 bar se genera una baja uniformidad de distribución de agua. La necesidad hídrica de los cultivos está supeditada a las posibilidades de operación y manejo de agua por parte del agricultor, época del año, capacidad de operación, que demandan mayor mano de obra y mejor organización social entorno al sistema de riego para la adecuada distribución de agua.

**Palabras clave:** Riego tradicional, recursos hídricos, gestión de riego, riego por aspersión.

#### ABSTRACT

The agriculture in the valleys of Inquisivi develops on slopes of pronounced, under sub humid dry climatic conditions, the average annual precipitation is 900 mm year<sup>-1</sup> with water deficit from the month of April to November that demands the need for irrigation. The objective has been to evaluate the current irrigation and its relationship with the water needs of the crops, operating conditions and the improvement alternatives through technified irrigation on the hillside. The study was developed in the town of Inquisivi, the methodology for assessing the local climate were climatic indices and to study the functioning of the irrigation system a socio-technical approach was applied, which consists of "water monitoring" and interviews with key informants. The distribution of water is at free demand in most irrigation systems, operating pressures were variable, depending on the height of load and the type of pipe, which sometimes causes social problems when several users irrigate in the same period. Many systems operate with low pressures of 1 to 2 bar, resulting in the sprinklers reach minor radii of wet from 3 to 7 m, so the irrigators change position every three to five hours to reach greater areas of irrigation but with smaller sheets of water, the loamy sandy-gravel texture of the soils determines 20% water losses, which means that frequencies of two to three irrigations per week are carried out in the dry season and one in the season of moderate rainfall. In systems operating at pressures greater than 4 bar, a low uniformity of water distribution is generated. The water need of the crops is subject to the possibilities of operation and water management by the farmer, time of year, capacity of operation, which demand more labor and better social organization around the irrigation system for the adequate distribution of water.

**Keywords:** Traditional irrigation, water resources, irrigation management, sprinkler irrigation.

<sup>1</sup> Supervisor de obras, Gobierno Autónomo Municipal de Inquisivi, Bolivia. hydrobol@gmail.com

<sup>2</sup> Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

## INTRODUCCIÓN

Los valles interandinos de Inquisivi presentan sistemas agrícolas irrigadas con aguas provenientes de los ríos de la cordillera oriental de Los Andes y forman parte del caudal base del río Khatu. Las condiciones climáticas son subhúmedo seco, con una precipitación anual de alrededor de 900 mm (SENAMHI, 1973-2011) y un déficit hídrico de 200 mm, desde los meses de abril a noviembre. El déficit hídrico de los meses de septiembre a noviembre, incide sobre la época de siembras y desarrollo inicial de los cultivos, por ello los agricultores recurren al riego complementario para asegurar la producción de sus cultivos (Rojas, 2004).

Estos valles son vulnerables al cambio climático, las variaciones de la precipitación de 10% a 15% respecto a la media general, provoca sequías o avenidas que limitan el desarrollo de la agricultura en ecosistemas de estas montañas, la concentración de las precipitaciones en un periodo corto, ocasiona periodos largos secos y dificultan el desarrollo de los cultivos. El aumento de las temperaturas en 0.5°C repercute en una tasa alta de evapotranspiración y ello, en una mayor necesidad hídrica en el sector agrícola (Vuille et al., 2000). Las laderas de Inquisivi son de altas pendientes, susceptibles a la erosión hídrica, donde los métodos tradicionales de riego por gravedad (inundación) no son adecuados, provocando la remoción en masa de suelos (deslizamientos y erosión) desde la ladera alta (MEDMIN, 2006), asimismo, los suelos son de permeabilidad alta y textura gruesa con alto contenido de grava.

Las características de los valles interandinos, son favorables para el desarrollo de los cultivos durante todo el año, la ausencia de las lluvias en la época seca (junio a noviembre) hace que la agricultura sea limitada a la época de lluvias (SEMTA, 2010). El riego de Inquisivi es propia de valles interandinos, con características propias para la distribución de agua y operación para laderas accidentadas. En muchos sistemas de riego, la forma de distribución puede ser socialmente justa y técnicamente no coincide con la relación agua-suelo-planta-atmósfera, para un manejo y aprovechamiento sostenido del agua. Se carece de información, social, económica, hidro-climático, aptitud de suelos y manejo de cultivos, para la mejora de riego.

La práctica de riego en la zona de Inquisivi es de carácter artesanal presurizado con una distribución de agua en modalidad de mono flujo de arriba abajo y a

demanda libre, la conducción de agua está relacionada directamente con la distribución a las unidades de riego (zonas de riego) y subunidades de riego (parcelas de riego), esta forma de distribución afecta en un mayor tiempo entre turnos de riego y en las prácticas de riego parcelario (Díaz, 2012).

Para ello, fue necesario entender la dinámica del manejo de agua, el funcionamiento de los sistemas, gestión de riego, aspectos técnico-social y económico, a fin de plantear alternativas de mejora de riego tecnificado, con caudales no erosivos. El propósito de la investigación fue evaluar la distribución de agua en riego campesino y su relación con la necesidad hídrica de los cultivos, estudiar las condiciones de operación de riego actual y evaluar las alternativas de riego tecnificado para condiciones de ladera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

El municipio de Inquisivi se sitúa entre las coordenadas geográficas de 15° 47' 35" - 17°18'20" de latitud sur y entre los 66° 43' 29" - 67° 17' 59" de longitud oeste y una altitud media de 2785 m s.n.m. Se encuentra al este del departamento de La Paz y limita con la provincia Independencia del departamento de Cochabamba. El municipio está conformado por tres distritos Norte, Centro y Sur; el distrito Centro cuenta con cuatro cantones: Eduardo Abaroa, Escola, Inquisivi y Capiñata que comprenden una superficie de 897.80 km<sup>2</sup>. Los sistemas de riego en estudio están ubicados en los cantones de Inquisivi y Capiñata, en las comunidades de Taucarasi, Yamora, Chiji, Upuña y Canqui Grande.

### Metodología

Con los datos climáticos mensuales de la estación de Independencia del año 1973 a 2011 (SENAMHI, 2013) se realizó los cálculos para evaluar los índices climáticos como el índice de sequía mediante el índice de humedad disponible de Martonne, índice de Lang por el método pluviométrico, índice de aridez de la UNEP (1992) y el índice de humedad de Thornthwaite, para la estimación de los indicadores climáticos se consideró la temperatura, precipitación, latitud, altitud y la relación entre la vegetación y clima.

Para estimar la necesidad hídrica mensual de los principales cultivos de la zona, se ha considerado las metodologías de los estudios de la FAO (Allen et al.,

1998) e investigaciones de PRONAR (2002), que están en función de la variación de las precipitaciones y variación de la evapotranspiración del cultivo que depende de su desarrollo. Los cultivos en estudio fueron la papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea maíz*), zapallo (*Cucúrbita maxima*), arveja (*Pisum sativum*), trigo (*Triticum sp.*), haba (*Vicia faba*) y cebolla (*Allium cepa*).

Para determinar los caudales de los en ríos de montaña y de las vertientes se utilizó el método de corrientes superficiales del "Manual 68" de la FAO (1996) y SEBA Hydrometrie (2013). La humedad del suelo se determinó con el TDR 300 tipo Field Scout de acuerdo al manual del Modelo 6430FS, antes y después de los riegos con una frecuencia de uno a dos días. La calibración del sensor de humedad se realizó mediante la correlación entre las lecturas del sensor y los valores del contenido de humedad de las muestras de suelo en húmedo, seco y mojado. Para estimar la velocidad de infiltración en condiciones de valles de laderas pronunciadas con pendientes de 20% a 50%, se utilizó el método de hoyo cuadrático, debido a la dificultad de emplazar los cilindros infiltrómetros en laderas pronunciadas.

Se ha recopilado la información técnico-social en campo, referida al i) levantamiento de información de la zona: relieve, morfología, geología, hidrología y variaciones climáticas, desastres naturales, suelos y uso actual del suelo, para ello se recurrió a documentos referidos al ordenamiento territorial, diagnóstico e investigaciones de la actividad agrícola y riego, ii) cobertura vegetal, mediante encuestas aplicadas a los productores, iii) las láminas de riego por cultivo, se estimaron por zonas de riego en función del área, caudal y tiempo, para estimar la altura de lámina de riego se aplicó los parámetros de caudal de operación del aspersor, área regada por posición, tiempo de aplicación y pérdida por evaporación directa tomando en cuenta las Ecuaciones 1 y 2.

$$Lr = \frac{Q \cdot t \cdot 3600}{A_p} \quad (1)$$

$$Lrn = Lr \cdot C \quad (2)$$

Dónde: Lr = lámina de riego (mm); Lrn = lámina de riego neta (mm); Q = caudal de operación del aspersor ( $L s^{-1}$ ); t = tiempo de aplicación de agua por posición (horas);  $A_p$  = área de mojado ( $m^2$ ); C = coeficiente de pérdida por evaporación directa y viento (5% a 10%).

Asimismo, se determinó las distancias entre los aspersores (Ecuación 3), área por posición (Ecuación 4) y número de posiciones por parcela mediante la distancia entre posiciones (Ecuación 5).

$$d_p = R_a \sqrt{2} \quad (3)$$

$$A_p = (R_a \sqrt{2})^2 \quad (4)$$

$$NPP = \frac{A_c}{A_p} \quad (5)$$

Dónde:  $d_p$  = distancia entre posiciones (m);  $R_a$  = radio mojado del aspersor (m);  $A_p$  = área por posición de aspersión ( $m^2$ ); NPP = número de posiciones por parcela;  $A_c$  = área de la parcela ( $m^2$ ).

La información de la infraestructura de riego y su estado fue verificado en las comunidades del distrito Centro de Inquisivi, estas obras hidráulicas son estructuras de captación de agua, cámaras de aducción, acueductos, estanques, sistema de conducción y red de distribución de agua.

Para la información de los turnos de riego, frecuencias y duración de los turnos de riego por zona y cultivo se aplicó la entrevista a los presidentes de riego y regantes. La descripción del método de riego y aplicación de agua en las parcelas se obtuvo de la observación directa, la información referente a la distribución de agua, derechos, organización, operación y mantenimiento se adquirió de las entrevistas a los regantes. Para determinar la presión de agua en los sistemas de conducción y distribución se utilizó un manómetro en seco, en unidades de bares que el agua ejerce en las paredes de las tuberías de conducción y distribución, durante la operación del sistema.

La metodología se basó en identificar los problemas en el sistema de captación, aducción, conducción, distribución, aplicación, manejo tradicional de los aspersores, tipos de emisores, porta aspersores e inclinación de los aspersores. En el sistema de captación y aducción se evaluó la eficiencia de captación, deficiencias en su diseño, estado, condición y operatividad, en el sistema de conducción y distribución, se evaluó el diámetro de las tuberías, pendientes, desniveles, presiones, aire comprimido, válvulas, tipos de tubería, distancias y cámaras rompe presión. En la aplicación de agua, se consideró las frecuencias, tiempos, láminas de riego, caudales y áreas regadas por posición, radios de mojado, profundidades de mojado y para el manejo de los

aspersores: el tipo, características, desempeño y rendimiento.

El análisis de suelos se interpretó para conocer su aptitud para riego y su grado de fertilidad, el análisis del agua fue para identificar su aptitud para riego. Para el balance hídrico y riego se realizó la clasificación climática de la zona mediante los índices climáticos (aridez y humedad) y la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) calculado mediante la Ecuación de Penman Monteith de la FAO (Allen et al., 1998), la Evapotranspiración del cultivo ET<sub>c</sub> dado entre la ET<sub>o</sub> y el coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>) PRONAR (2002) y los balances hídricos locales de acuerdo a la metodología de Amurrio (2002). Los parámetros hidro-físicos se determinaron con el contenido de humedad a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), umbral de riego (UR), fracción de agotamiento (FA) de agua para los cultivos según la metodología de Fuentes y Ferere (2002) y la curva de retención de humedad (pF) según los parámetros de Ferere (2002), con la finalidad de determinar la necesidad hídrica del cultivo.

Para estimar las eficiencias de riego y las pérdidas de agua del sistema (Ecuaciones 6, 7 y 8), se realizaron aforos mediante el correntómetro (molinete) en la toma, al inicio y final del sistema de conducción y distribución, la ecuación de ajuste fue  $v = 0.000854 \cdot \text{RPM} + 0.05$  (Vásquez et al., 2017). Para el caudal no erosivo se consideró la pendiente de ladera, tipo de suelo y caudales de aplicación, tomando en cuenta que la tasa de infiltración de agua en la ladera que no debe ser inferior a la tasa de caudal asperjado por el emisor en un sistema presurizado (Jiménez y Delgadillo, 2004).

$$E_c = \frac{V_c}{V_e} \quad (6)$$

$$E_d = \frac{V_d}{V_c} \quad (7)$$

$$E_{cd} = E_c \cdot E_d \quad (8)$$

Dónde: E<sub>c</sub> = eficiencia de conducción (%); E<sub>d</sub> = eficiencia de distribución (%); E<sub>cd</sub> = eficiencia de conducción y distribución (%); V<sub>c</sub> = cantidad de agua entregada a los canales de distribución (L); V<sub>e</sub> = cantidad de agua extraída del reservorio (L); V<sub>d</sub> = cantidad de agua entregada a nivel de cabecera a los campos de cultivo (L).

Según los aspectos físicos, técnicos y sociales que definen el funcionamiento del sistema de riego y la metodología propuesta de “seguimiento de agua” de una manera directa observando el riego o indirecta mediante la aplicación de entrevistas a informantes clave como los presidentes de riego, se planteó las siguientes variables de estudio (Díaz, 2012): a) datos generales del sistema, fuente de agua e infraestructura de riego (caudal, esquema hidráulico, estado y capacidad de la obra), lámina de riego, eficiencias de riego, b) captación, conducción, distribución y aplicación, caudal no erosivo considerando la pendiente del terreno, tipo de suelo, tasa básica de infiltración y caudal aplicado, c) para la gestión de riego, se tomó en cuenta los derechos y obligaciones de los usuarios, operación y distribución de agua (modalidad, épocas, caudales y volúmenes por unidad, frecuencias y turnos), mantenimiento, administración (control, tarifas y mora) y organización (conformación y funciones), d) cultivos y área bajo riego, balance de oferta de agua (disponibilidad, demanda, periodos de déficit), área bajo riego óptimo, problemas de infraestructura, gestión, balance y planteamiento de alternativas de mejora y desarrollo de riego tecnificado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El municipio de Inquisivi tiene pisos ecológicos variados, el sur-este de características altiplánicas y el nor-este con tendencia a un clima cálido, asimismo presenta condiciones climáticas variables dentro de una misma zona debido a su altitud que varía desde 1500 a 4400 m s.n.m. que determinan microclimas desde cálido en el fondo de los valles, las laderas tipo cabecera de valle y estepa montano en la parte alta. El clima de las laderas del valle de Inquisivi es subhúmedo seco, según el índice hídrico de -40 a -30 y una evapotranspiración anual de 1348 mm, este comportamiento y sus variaciones están influenciadas por la topografía y la orientación de laderas, lo que condiciona el clima característico de esta zona.

### Climatología de Inquisivi

El promedio de las temperaturas del año 1973 a 2011, muestra mayor amplitud térmica dada por la variación entre la temperatura máxima y mínima en la época de invierno con 16.4°C durante el mes de julio, por el contrario la amplitud térmica menor fue en la época húmeda en el mes de febrero con 12.6°C (Figura 2). En el Altiplano, el comportamiento térmico fue diferente, las

amplitudes mayores se registraron en la época seca del mes de octubre con 16.2°C y la menor en febrero con 12.6°C para la estación meteorológica de Tacagua en Oruro (Rojas, 2004).

Por lo tanto, la magnitud de la amplitud térmica entre el valle de Inquisivi y el Altiplano de Oruro son similares. Los registros de humedad relativa (HR) de las laderas del valle de Inquisivi tiene valores altos durante el mes de marzo de 78.6% y las menores en

el mes de de junio con 65.3%, presenta una relación significativa con la variación de la temperatura media ( $r = 0.70$ ), lo cual explica que la variación de la HR mensual está relacionada con la variación de la temperatura media.

La estación climática de Independencia de Cochabamba ubicada a una altura de 3750 m s.n.m., muestra las variaciones máximas, mínimas y medias de las temperaturas de la zona de Inquisivi (Figura 1).

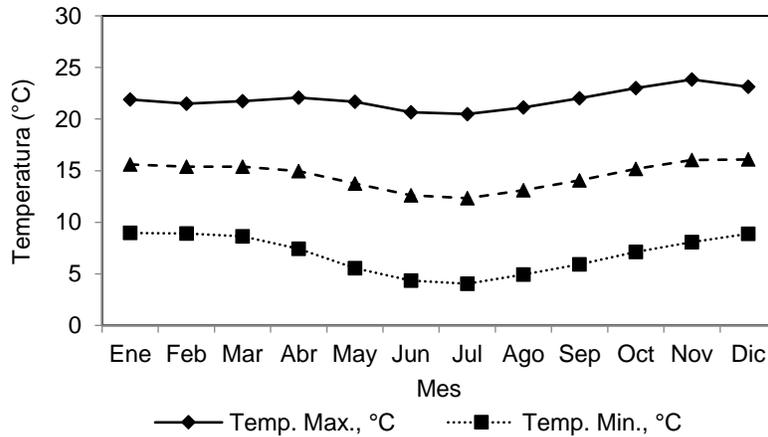


Figura 1. Variación de las temperaturas máximas, mínimas y medias de la zona de Inquisivi, periodo 1973 a 2011.

Las laderas del valle de Inquisivi presentan una curva pluviométrica de baja magnitud en la época seca y alta en la época de lluvia, típico de las regiones del Valle y Altiplano (Figura 2). Las masas de agua, producto de las precipitaciones en los meses de enero a marzo son almacenadas en el perfil del suelo y recarga las aguas subterráneas, así también se forman las escorrentías superficiales que originan los caudales de los ríos.

En los meses con lluvias altas no existe la necesidad de riego para los cultivos, esto es corroborado por el

índice de aridez de Martonne con valores entre 59 a 86, que corresponde para periodos subhúmedos a húmedos, sin necesidad de riego en cultivos. En la época seca de invierno a primavera existe la necesidad de aplicar riego de acuerdo a la variación de las precipitaciones mensuales de 12 a 55 mm y riego complementario cuando se tienen lluvias de magnitud media a baja entre 74.5 y 122.4 mm frente a la evapotranspiración referencial de 140.8 a 122.4 mm.

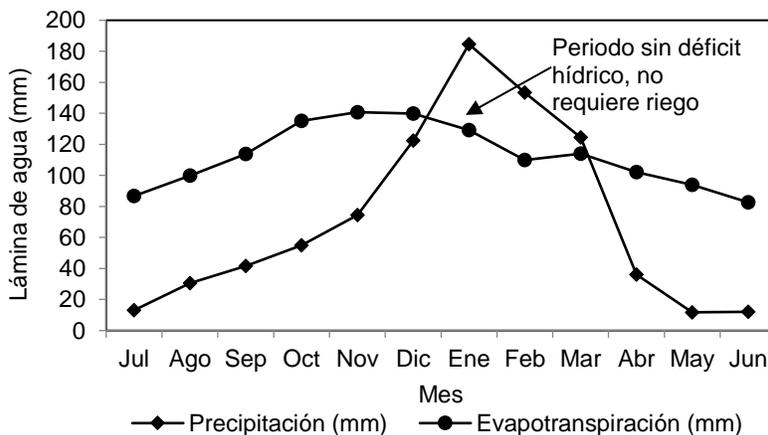


Figura 2. Balance hídrico referencial para la zona de Inquisivi, considerando la estación de Independencia.

Los valores de la Tabla 1 indican que el clima de la localidad de Inquisivi varía de semiárido a subhúmedo seco. Aunque en las partes altas de las montañas se tiene un clima de estepa subhúmeda seco y subhúmedo en los valles.

Según el índice de aridez de Martonne y las características ecológicas de Amurrio (2002) clasifica la zona como semiárida con un valor de 0.4 con periodos secos donde es imprescindible el riego, necesario en los meses con lluvias esporádicas, riegos complementarios en los meses de septiembre a noviembre con lluvias medias y en la época de lluvias de diciembre a marzo sin necesidad de riego.

Esta zona se caracteriza por periodos largos con escasas lluvias que demandan riego para cultivos de invierno como la papa, arveja, trigo y haba.

Tabla 1. Índices climáticos de la localidad de Inquisivi.

Índice climático	Valor	Descripción
Índice Lang	59.1	Húmeda de estepa y sabana
Índice global de humedad	-36.2	Semiárido a subhúmedo seco
Índice de aridez-UNEP	0.64	Subhúmedo seco

Las necesidades hídricas mensuales de los cultivos dependen de los factores de variación de las precipitaciones, variación de la evapotranspiración del cultivo y en base a ello, se presenta la necesidad de agua mensual. La demanda de riego del cultivo de maíz es mínima en la época de lluvias debido a que su desarrollo es paralelo a la progresión de precipitación efectiva (Pe), a diferencia del cultivo de trigo, que en su desarrollo inicial fueron suficientes las lluvias, a partir de abril y mayo son necesarios los riegos (Tabla 2).

Tabla 2. Necesidad hídrica (mm) mensual de los principales cultivos de los cantones de Inquisivi y Capiñata.

Cultivo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Papa		-20.8	-62.3	-96.0	-71.4	-23.0						
Maíz					-2.4	-13.1	-31.3	-12.3	-9.4	-9.1		
Zapallo				-22.1	-61.9	-96.2	-41.1	30.3				
Arveja	-33.9	-67.7	-103.3	-99.4	-78.1							
Trigo	-49.6							78.1	20.3	-26.2	-101.7	-81.6
Haba		-37.3	-67.3	-109.7	-109.2	-68.0						
Cebolla	-75.2	-91.1	-90.3	-93.7								-73.2

El signo (-) indica el déficit hídrico o la necesidad de agua del cultivo.

Los resultados de la Figura 4 y Tabla 2, evidencian que el manejo de cultivos es intensivo durante los meses de julio a diciembre, los principales cultivos son papa, haba, arveja y trigo, que demandaron mayor cantidad de agua para riego. En la época de lluvias la necesidad de riego es esporádica, solo cuando se tiene lapsos de dos a tres semanas sin lluvias. Los suelos de esta

zona tienen menor capacidad de retención y almacenamiento de agua, debido a su alta permeabilidad, contenido de grava del 20% y mayor porcentaje de arena frente a las partículas finas como las arcillas. La Figura 3 muestra la evapotranspiración de los principales cultivos y variación de la precipitación efectiva en la zona de Inquisivi.

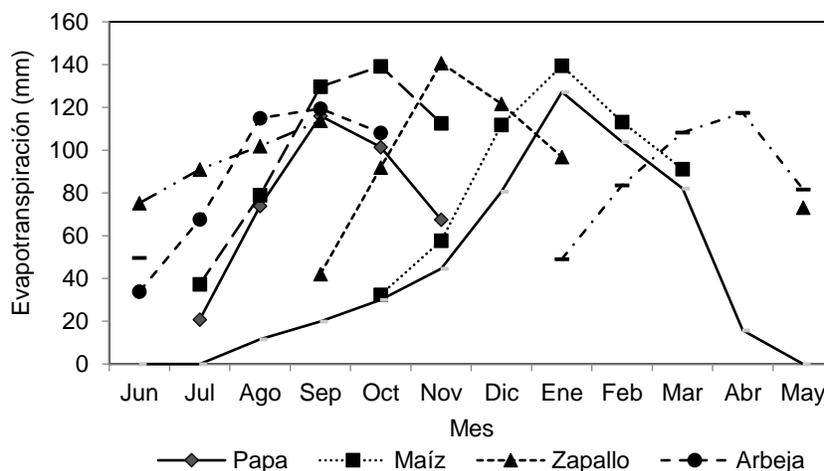


Figura 3. Evapotranspiración de los cultivos y la precipitación efectiva en las laderas Inquisivi.

Los recursos hídricos de la zona Inquisivi son ríos de alta montaña y vertientes, generado de la recarga y almacenamiento de agua en el subsuelo desde la época de lluvias. En la época de seca de julio a noviembre, los caudales en los ríos son mínimos y la demanda para riego máximo, captándose casi todo el caudal. En los meses lluviosos de caudales en las fuentes son máximas y las captaciones son esporádicas. En muchos sistemas, los caudales de captación y conducción para riego de agua están limitados al diámetro de las tuberías de conducción.

La calidad de las aguas expresadas en la conductividad eléctrica (CE) presenta un valor de 0.077 dS m<sup>-1</sup>, según la escala propuesta por la FAO (1976) esta clase de agua no presentan problemas de salinidad para su uso en la agricultura. La categorización de Chilón (2006) indica que las aguas del río Chiji son de baja CE debido a su bajo contenido de sales. Finalmente, la norma de Riverside establece que la clase de agua del río Chijijahuira, corresponde a salinidad baja (C<sub>1</sub>) y con respecto al peligro de sodio el rango es bajo (S<sub>1</sub>) en consecuencia el agua pertenece a la clase C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>.

La fisiografía de los cantones de Capiñata e Inquisivi es muy diversa, como consecuencia de las formaciones geológicas naturales que dieron origen a los diferentes elementos de paisaje como las serranías, áreas onduladas, llanuras y geformas asociadas. El valle del río Khatu, está ubicado al sureste de la localidad de Inquisivi, con pendientes frecuentes entre 20% a 50%. Geológicamente está compuesta de depósitos recientes pertenecientes al Cuaternario: afloramiento rocoso en la ladera alta,

presencia de ríos y riachuelos en la cabecera de valle y la cordillera de Tres Cruces, presencia de vertientes en la parte media y alta de las cuencas y predominancia de material grueso volcánico tipo pizarra perteneciente al cuaternario, suelos grises oscuros a suelos son de color claro con texturas medias a finas compuestos por limos y arcillas.

La vegetación desde el fondo del río Khatu tiene especies de clima cálido, la parte media de las laderas contempla la producción de cultivos frutales y hortalizas. En la parte alta, la vegetación es xerofítica, arbustos bajos con afloramientos rocosos. Desde hace una década se ha intensificado la producción de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en las laderas por su alta rentabilidad, afectando el equilibrio natural y agrícola (UMSA, 2011).

En gran parte de las parcelas de la zona de riego se presenta velocidad de infiltración básica (VIB) entre 16.3 y 23.2 cm h<sup>-1</sup> clasificada según la FAO (1998) como velocidades rápidas, pueden soportar láminas altas de precipitación o riego, debido a su alta capacidad de absorción, por lo tanto, estos suelos no son proclives a encharcamientos con precipitaciones intensas (Figura 4). Según la FAO (1998), la velocidad estabilizada de infiltración corresponde para tipos de suelo arenoso y arenoso grueso con una infiltración básica de 3 a 5 cm h<sup>-1</sup>, por lo cual el tiempo de riego en estos suelos es amplio con una mínima probabilidad de encharcamiento. La velocidad de infiltración (VI) estabilizada representa el valor límite de infiltración, lo que implica que láminas de agua de las lluvias o riegos por aspersión, superiores a VI generarían agua superficial o de escorrentía (Vera, 1999).

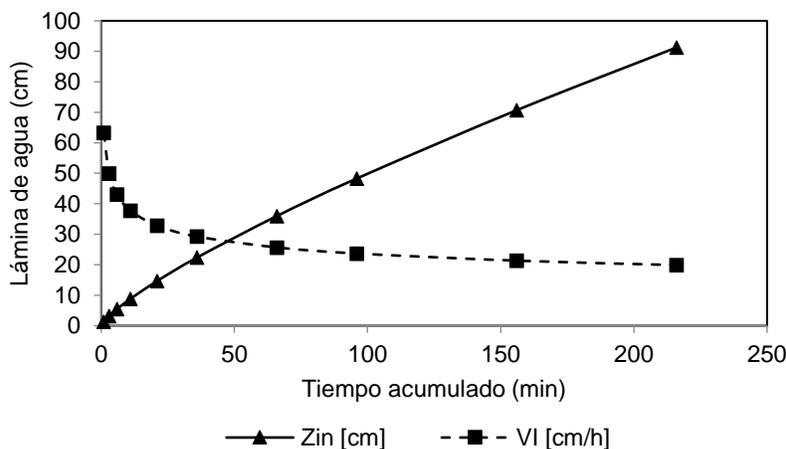


Figura 4. Velocidad de infiltración (Zin) y lámina de infiltración (VI) del sistema de riego Yamora, Inquisivi.

Las actividades de riego en las laderas del valle de Inquisivi se inician con el “riego de barbecho” para la preparación del suelo, que consiste en la aplicación directa de agua desde los tubos a la superficie de la parcela, en otros casos cuando el terreno es muy accidentado se aplica por medio de aspersores durante el día y la noche. En los cultivos recién establecidos se aplica uno o dos riegos por semana dependiendo de la época y desarrollo vegetativo. Otro factor determinante es el tipo de suelo, suelos franco arenosos con alto porcentaje de material de clase fragmentario de tipo pizarra, tienen baja capacidad de almacenamiento, bajo grado de retención de agua y su combinación con la época cálida determina la rápida pérdida de agua a la atmósfera.

El riego durante el día, por lo general, es en parcelas de laderas con pendientes de 20% a 50%, y durante la noche en laderas de baja pendiente menor a 20%. El manejo de agua y sus características técnicas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción de riego tradicional de los sistemas de riego de Inquisivi.

Parámetro	Valor
Frecuencia de riego	3 a 5 días
Lámina bruta	23.0 - 38.3 mm
Lámina neta	18.4 - 30.6 mm
Tiempo de riego	3.0 - 6.0 h
Caudal de operación del aspersor	0.15 - 0.25 L s <sup>-1</sup>
Número de posiciones por día	2 - 3
Número de aspersores	1
Área regada por posición	28.3 - 314.2 m <sup>2</sup>
Área regada por día	85.0 - 942.5 m <sup>2</sup>

En sistemas familiares las actividades para el riego se inician con el traslado de politubos hasta la fuente de agua, procediendo a su instalación con una malla fina en el extremo que se sumerge en el agua para evitar la entrada de material grueso, una vez que el agua corre se procede a la instalación del aspersor en el extremo que esta sobre la parcela, luego se sujeta en un porta aspersor que generalmente es de madera de eucalipto biselado para su sujeción en el suelo, el aspersor es instalado a una altura de un metro.

La modalidad de distribución es a demanda libre en gran parte del año y en algunos casos turnos discontinuos en la época seca. Las presiones de operación son variables dependiendo de la altura de carga y tipo de tubería que repercute en un menor caudal y pérdida de carga. Se ha evidenciado

problemas sociales cuando varios usuarios riegan al mismo tiempo.

### Condiciones de operación del sistema de riego campesino

Los sistemas de riego de los cantones de Inquisivi y Capiñata, en el pasado fueron sistemas a través de canales y riego por superficie, estos canales afrontaban dificultades para su implementación, operación y mantenimiento debido a las pendientes accidentadas de las laderas, los costos de inversión fueron altos para su construcción debido a la dificultad de conseguir materiales adecuados y transportarlos hasta los lugares distantes de las obras. De estas obras, los canales de hormigón pronto presentaron deterioros en su tramo, como rajaduras por la inestabilidad de los suelos o destrozos por el material rocoso rodante desde las partes altas, la caída de tierra desde el lado de la ladera y la vegetación próxima a estos canales, causa la obstrucción del flujo de agua y ello originó desbordamientos de agua, socavamiento y desplome de los canales, asimismo, la construcción deficiente genera alta porosidad que incide en una permeabilidad de agua de la base y paredes del canal, generando alta pérdida de agua en su trayecto. El mantenimiento de estos canales por la gran cantidad de tramos deteriorados, significó costos altos para conseguir y transportar los materiales, esto derivó en dejar de operar estas obras.

Actualmente, se han implementado algunos sistemas de riego con politubos o tuberías PVC, que afrontan principalmente dificultades en la captación con estructuras no adecuadas o rusticas, como también en los sistemas de conducción se tiene problemas en el empalme entre tuberías o roturas por la presión de aire acumulada dentro del conducto y alturas de carga de agua que generan presiones superiores a la permitida por tipo de tubería, esta situación repercute con menores caudales, en aguas abajo, generando problemas en su distribución y en la operación de los aspersores que no cuentan con suficiente caudal y presión de operación.

La mayoría de los sistemas de riego no contó con una etapa de asistencia técnica integral y acompañamiento debido a que, en su mayoría son microproyectos financiados por el Gobierno Municipal y construidos mediante pequeñas empresas o implementados por los propios productores. La ausencia de asistencia técnica y acompañamiento causa dificultades en la operación y mantenimiento que ocasiona déficit de agua,

problemas sociales, productivos y pérdida de agua por la baja eficiencia en los sistemas de captación, conducción y distribución que son de 0.75, 0.60 y 0.70 respectivamente.

Las dificultades indicadas repercuten en que se tenga menor área regada, lámina deficitaria de riego, frecuencias de riego no acorde a las necesidades hídricas del cultivo, todo esto implica dificultades en el manejo de los cultivos, escasas siembras de invierno y bajo volumen por cosecha en la gestión agrícola.

Muchos de los sistemas operan con presiones bajas de 1 a 2 bar y se alcanza radios menores de mojado de 3 a 7 m, que lleva a que se cambien de posición los aspersores cada tres a cinco horas para lograr superficies mayores pero con menores láminas de agua, que en términos de profundidad infiltrada son de alrededor de 0.10 m, la textura franco arenoso-gravoso de los suelos genera pérdidas de agua hacia horizontes inferiores en un 20%, esa situación, demanda frecuencias de dos riegos por semana en la época seca y una en la época de lluvia moderada. En sistemas que operan con presiones mayores de 4 bar se tuvieron problemas en la uniformidad de distribución de agua.

### Alternativas de mejora de riego

La mejora del sistema de riego plantea criterios para la distribución del agua a las parcelas, considerando la operación con tuberías flexibles de diámetros mayores a ¾ plg, uso de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) para laderas pronunciadas que se ajusten a las condiciones topográficas del terreno para presiones mayores a 20 mca, longitudes de operación de las tuberías ajustadas a las parcelas, a fin de evitar pérdidas de carga, sistemas acoplables mediante rosca o presión para su extensión hacia otras parcelas y evitar fugas de agua, incorporar cámaras rompe

presión y dispositivos para liberar el aire comprimido dentro los sistemas de conducción en lugares donde se tiene cambio de pendiente en el tramo, aliviaderos de presión en el sistema de conducción y distribución cuando las alturas de carga son mayores a 80 mca.

Para el manejo de agua en las laderas accidentadas se debe considerar las presiones y caudales de operación de 20 mca para una adecuada operación de los aspersores, en caso de caídas de 15 a 20 mca, se debe usar aspersores de baja presión tipo Xcel Wobbler con una entrada de ½ plg de diámetro. Se puede admitir pérdidas de cargas para fines de cálculo de 1 mca por cada 50 m de tubería tendida. La conducción de agua debe realizarse mediante tuberías de polietileno con diámetros mayores a ¾ plg, con extensiones directas y justas hasta las parcelas. En caso de que se tenga presiones mayores a 35 mca y caudales superiores a 0.40 L s<sup>-1</sup>, se aconseja instalar dos aspersores en serie, con un punto en transversal a la pendiente y laterales equidistantes hasta los dispositivos de aspersión.

En las laderas pronunciadas, los aspersores se desempeñan adecuadamente en porta aspersores de 1.5 a 2.0 m de altura desde el nivel del suelo, con un anclaje en el suelo para mantener estable y vertical el aspersor, aun cuando el suelo este mojado. De acuerdo a las pruebas realizadas en las comunidades, los tipos de aspersores que tuvieron mejor desempeño son de media y baja presión (Tabla 4).

Para la selección de los aspersores se tomó en cuenta que los terrenos tengan pendiente mayor a 20% y presión de operación entre 1.0 a 2.0 bar. Los aspersores que tuvieron mejor desempeño fueron los tipo Xcel Wobbler, con una elevación del porta aspersor de 1 a 1.5 m desde el nivel del suelo, consiguiéndose un coeficiente de uniformidad (CU) del 85% al 90 %.

Tabla 4. Aspersores de baja presión adecuadas para laderas pronunciadas.

Tipo de aspersor	Presiones (bar)	Diámetro de tubería (plg)	Caudales (L s <sup>-1</sup> )	Diámetro mojado (m)	CU (%)
Xcel Wobbler	0.69 - 1.72	½	0.05 - 0.44	13.4 - 16.0	85 - 90
Taiwan aspersor	1.00 - 2.00	½	0.10 - 0.20	17.0 - 20.0	80
5022-U NDJ	2.00 - 4.00	½	0.12 - 0.17	22.0	88 - 92

Los aspersores de mayor presión, se desempeñan mejor con alturas de carga superiores a 2.0 bar y con caudales provistas por tuberías con diámetros de al menos ¾ plg, por su gran magnitud de diámetro mojado, en pendientes mayor a 20% es conveniente elevar estos aspersores entre 1.5 a 2.0 m de altura para conseguir una distribución de agua uniforme (Tabla 5).

El aspersor con mejor desempeño en terrenos de pendiente pronunciada fue el Smooth Drive por su fino asperjado, uniformidad en su radio de mojado e impacto de las gotas en la cuesta arriba que no ocasionó golpes al suelo. La modificación en el ensanchamiento de la boquilla principal y remoción de la boquilla secundaria en los aspersores, afectan el funcionamiento hidráulico notablemente (Delgadillo, 2004).

Tabla 5. Aspersores de alta presión para condiciones de ladera y planicie.

Tipo de aspersor	Presiones (bar)	Diámetro de tubería (plg)	Caudales (L s <sup>-1</sup> )	Diámetro mojado (m)	CU (%)
Smooth Drive	1.72 - 2.76	½	0.077 - 0.176	18.5 - 20.9	85
Rain bird	1.70 - 4.10	¾	0.142 - 0.908	23.8 - 33.0	85 - 90
5035-SD NDJ	1.75 - 4.20	¾	0.347 - 0.542	29.0 - 32.0	88 - 92

La adopción del riego por aspersión en el contexto agrícola de ladera responde varios aspectos como: la reducción de la mano de obra empleada en el riego, disminución de la labor sacrificada del riego en ladera, reducción de la erosión, valores altos de eficiencia y uniformidad e incremento del rendimiento del cultivo. Otro aspecto a considerar es la práctica de riego nocturno, que es favorable para el riego presurizado

debido a un incremento en el caudal en 5% a 14% por la baja evaporación de agua en las fuentes, menor evaporación del agua asperjado sobre los cultivos, mejor uniformidad de aplicación por la ausencia de vientos fuertes diurnos, pérdida menor de agua en el suelo y cultivos, como también mayor almacenamiento de agua el perfil del suelo.



Figura 5. Variación de la pendiente de las parcelas bajo riego por aspersión.

### Inclinación de los aspersores

Los aspersores con diámetro de ¾ y ½ plg, en situaciones de terreno con pendientes de 20% a 50%, inclinados desde la vertical de 10° a 20° y con porta aspersores de longitud menor a 1.5 m, favorece el avance en un metro de diámetro de mojado a favor de la pendiente y mejor uniformidad de distribución de agua dentro de este diámetro. Se logra que las equidistancias en el radio de mojado sean similares en diferentes direcciones y se consigue una distribución

de agua uniforme sobre el cultivo. En laderas de pendiente pronunciada, Jiménez y Delgadillo (2004) indican que el manejo de riego con los porta aspersores y tiempo de riego por posición en pendiente, es de poco de orden técnico en la zona debido al uso de aspersores de baja presión. La metodología propuesta para evaluar el riego por aspersión en parcelas de pendientes altas es dificultosa para parcelas mayores a 2000 m<sup>2</sup>, debido a que implica mayor tiempo para su evaluación, manejo del material, etc., asimismo se torna dificultoso la

instalación de la red de pluviómetros en parcelas irregulares.

### **Gestión de riego**

En la estructura organizativa de la comunidad se contempla un presidente de riego, con cargo rotacional anual, supeditado a las autoridades de la comunidad. Las funciones del presidente de riego son realizar las gestiones ante el municipio para el mejoramiento y/o ampliación del sistema de riego, gestionar el apoyo técnico y capacitación para la operación, mantenimiento y administración del sistema de riego, velar por el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura, programar el inicio de la temporada de riego y los turnos, convocar a reuniones para actividades de mantenimiento y operación del sistema, afiliación de nuevos socios, cobro de aportes monetarios y compra de equipos para el funcionamiento del sistema de riego.

Todos los productores de la comunidad tienen derecho al uso de las vertientes y/o riachuelos, que según los aforos tienen suficientes caudales para su uso, desde 7 a 80 L s<sup>-1</sup>, la carencia en infraestructura hidráulica dificulta la conducción del agua hasta las parcelas, es decir, el sistema de captación es poco operativo, el sistema de conducción es de baja eficiencia con filtraciones y los sistemas de distribución son de menor capacidad de conducción. La pérdida de agua en los dispositivos de aspersión es debido al desgaste en el mecanismo de la empaquetadura, asimismo, se carece de programación y operación de riego para un aprovechamiento continuo de agua.

En la mayoría de los sistemas de riego, la distribución de agua es a demanda libre, las presiones de operación en las redes de distribución de agua son variables dependiendo de la altura de carga y del diámetro de la tubería que repercute en el caudal y presión. A pesar de que cuentan con turnos de riego, varios usuarios riegan al mismo tiempo, provocando problemas entre los productores. La necesidad hídrica de los cultivos está sujeta a las posibilidades de operación y manejo de agua del productor, época del año, capacidad de operación y capacitación (PIEN-Riego, 2008). Estas actividades demandan mayor mano de obra y una organización social entorno al sistema de riego para una adecuada distribución de agua.

De acuerdo a los estudios de Cisneros et al. (2007) los sistemas de riego por aspersión con baja pluviosidad y en terrenos de alta pendiente, necesita de entrenamiento a los productores en la revisión de los aspersores y de los diseños de los sistemas referido a los espaciamientos de los dispositivos de aspersión que permitirán mejorar el funcionamiento del sistema para lograr mejoras en la uniformidad. Reducir las pérdidas de agua en la aplicación, incide sobre los tiempos de aplicación, es decir, menor tiempo por posición por aspersor, con lo cual se obtiene mejoras en la superficie regada con un incremento en tiempo de riego de dos horas aproximadamente.

La organización y cumplimiento de los turnos de riego permite una reducción media de los caudales de diseño de la red del 30% en los tramos terminales, es decir, aquellos que abastecen a pocas parcelas, ya que en estos tramos la organización demanda un caudal de diseño acumulativo mediante la suma de hidrantes abastecidos aguas abajo. En los tramos principales la reducción relativa es mucho menor, en torno a un 3%, en estos tramos la necesidad de riego no depende del tipo de organización (Alduán y Monserrat, 2009).

### **CONCLUSIONES**

La modalidad de distribución del agua es a demanda libre en gran parte del año y en algunos sistemas en turnos discontinuos en la época seca. Las presiones de operación son variables dependiendo de la altura de carga y tipo de tubería que repercute en un menor caudal y pérdida de carga.

En la estructura organizativa de la comunidad se tiene el cargo de presidente de riego que tiene dentro de sus competencias, organizar y aplicar los turnos de riego, sin embargo existen problemas sociales cuando varios usuarios riegan al mismo tiempo. El manejo de agua a nivel parcelario afronta problemas técnicos, carencia de materiales, equipos inadecuados, ausencia de capacitación y criterios para el manejo de riego en laderas, que incide sobre la baja eficiencia de riego, problemas sociales y económicos.

La frecuencia de riego son a criterio del regante que por la dificultad de la instalación del sistema de conducción, los caudales y presiones de operación no son adecuados. Muchos de los sistemas operan con presiones bajas de 1 a 2 bar con radios menores de

mojado de 3 a 7 m y con cambios de posición en menor tiempo, cada tres a cinco horas para lograr significativas superficies regadas por día, con profundidad infiltrada de 0.10 m, la textura franco arenoso-gravoso de los suelos genera pérdidas de agua del 20% hacia horizontes inferiores, esa situación, demanda riegos frecuentes por semana. En sistemas que operan con presiones mayores a 4 bar se tuvieron problemas en la uniformidad de distribución de agua.

Los aspersores con diámetro de  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  plg, en pendientes de terreno de 20% a 50%, se pueden inclinar desde la vertical entre  $10^\circ$  a  $20^\circ$  con un porta aspersores de altura menor a 1.5 m, esto permite obtener un metro de avance en el diámetro de mojado a favor de la pendiente y una uniformidad de distribución de agua similar al de planicie.

Considerando el número de usuarios, calendarios de riego, láminas de riego por cultivo, tipo de suelo y climatología, se establece la distribución de agua por grupos de usuarios por día en un sentido de rotación desde aguas arriba hacia abajo, con frecuencia de riego de acuerdo al uso consultivo de los cultivos por época y tipo de suelos. La entrega de agua debe ser por turnos en la época de estiaje y demanda libre en la época de lluvias.

En los sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad y en terrenos de alta pendiente, se debe entrenar a los agricultores en la revisión de los aspersores y diseño del sistema de espaciamientos de los dispositivos de aspersión que permitan mejorar el funcionamiento del sistema y lograr mejoras en la uniformidad. La reducción de las pérdidas de agua en la aplicación determina menor tiempo por posición del aspersor, logrando mejoras en la superficie regada con un incremento en tiempo de riego de dos horas aproximadamente.

## BIBLIOGRAFIA

Alduán, A., Monserrat, J. 2009. Estudio comparativo entre la organización a la demanda o por turnos en redes de riego a presión. Ingeniería del agua. v. 16, n. 3, 235-244. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3131032>. Consultado el 15 marzo 2015.

Allen, R., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop

water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No 56. Roma, Italia. 300 p. Disponible en: <https://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>. Consultado el 25 abril 2015.

Amurrio, F. 2002. Principios básicos de la ingeniería de riego y drenaje y su aplicación. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas, Forestales y Veterinaria. Cochabamba, Bolivia.

Chilón, E. 2006, Manual de edafología: prácticas de campo y laboratorio. UNIR-UMSA. La Paz, Bolivia. 290 p.

Cisneros, F., Pacheco T., Feyen, J. 2007. Evaluación del rendimiento de sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad como resultado de la aplicación de la extensión como soporte técnico. Ingeniería del Agua. v. 14, n. 3, 177-186. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2563355>. Consultado el 20 abril 2015.

Delgadillo, O. 2004. Lecciones aprendidas del proceso de adopción y adaptación de la tecnología de riego por aspersión en Mishka Mayu. Seminario: La gestión y uso del agua en la agenda actual (Cochabamba, 18 de junio de 2004). Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/180470301/Pon05-Adaptaciones-Aspersión>. Consultado el 8 mayo 2015.

Díaz, H. 2012. Metodologías para el estudio de la gestión en sistemas de agua. Manual al fortalecimiento al comité de agua. Centro AGUA, UMSS, ASDI. Cochabamba, Bolivia.

FAO. 1998. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Organización de Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación FAO. Servicio de Fomento y Conservación de Recursos de Suelos Dirección de Fomento de Tierra y Aguas. Roma. 69 p.

FAO. 1996. Método de evaluación de corrientes superficiales, manual 68. Organización de Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación FAO. Roma, Italia.

FAO. 1976. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper n. 29, Roma. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf). Consultado el 8 mayo 2015.

- Fuentes, J., Ferere, J. 2002. Parámetros Hidrodinámicos para Riego. Bogotá, Colombia. <http://www.senamhi.gob.bo/>. Consultado el 10 junio 2015.
- Jiménez, J., Delgadillo, O. 2004. Uniformidad y eficiencia de riego por aspersión en parcelas de alta pendiente. Seminario: La gestión y uso del agua en la agenda actual (Cochabamba, 18 de junio de 2004). Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Cochabamba, Bolivia.
- MEDMIN. 2006 - 2009. Plan de desarrollo municipal. Municipio de Inquisivi. Primera Sección. Provincia Inquisivi. Fundación MEDMIN. La Paz. Bolivia.
- PIEN-Riego, 2008. Manual de riego tecnificado para los valles. Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente, Sistema Boliviano de Tecnología Agropecuaria. Proyecto de Innovación Estratégica Nacional en Riego (PIEN-Riego). Cochabamba, Bolivia. 151 p.
- PRONAR. 2002. Cursos Sistemas de riego presurizado: Programa Nacional de Riego, Componente de Asistencia Técnica GTZ. Cochabamba, Bolivia.
- Rojas, F. 2004. Evaluación de riego tradicional parcelario de alfalfares (*Medicago sativa*) de la central de riego unificado del El Choro (Provincia Cercado-Oruro). Tesis de Licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía.
- SEBA Hydrometrie. 2013. Sistemas móviles de medición de caudal SEBA Hydrometrie. Para medir velocidades y caudales. Disponible en: <http://www.wobook.com/WBkk3hM6c870-3/ASI-ES-COLOMBIA-ESP/Sistemas-moviles-de-medicion-de-caudal.html>. Consultado el 13 mayo 2015.
- SEMTA. 2010. Plan de desarrollo municipal del municipio Inquisivi PDM, 2011-2015. Primera Sección. Provincia Inquisivi. Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas SEMTA. La Paz, Bolivia.
- SENAMHI, 2013. Servicio nacional de meteorología e hidrología, Bolivia. Disponible en:
- Vasquez, A., Vasquez, I., Vasquez, C., Cañamero, M. 2017. Fundamentos en la ingeniería de riego. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú, Lima. 442 p.
- Tarqui, M. 2013. Determinación de la aptitud del suelo en el municipio de Inquisivi (cantones Inquisivi y Capiñata) Tesis de Licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 150 p.
- TDR. s.f. Manual del usuario Modelo 6430FS para TDR 300 tipo Field Scout. Spectrum Technologies, Inc. USA. Disponible en: [http://www.kosmos.com.mx/fileadmin/documentos/Manuales/Estaciones/Spectrum/6430FS\\_TDR300.pdf](http://www.kosmos.com.mx/fileadmin/documentos/Manuales/Estaciones/Spectrum/6430FS_TDR300.pdf). Consultado el 24 mayo 2015.
- UMSA, 2011. Ordenamiento territorial del municipio de Inquisivi y alternativas para frenar el deterioro de sus suelos y mejorar la producción agrícola. Carrera de Ingeniería Agronómica y Carrera de Ingeniería Geográfica UMSA. Provincia Inquisivi. La Paz, Bolivia.
- UNEP, 1992. Índice de aridez de la UNEP. Sistema de clasificación bioclimática mundial. Disponible en: [www.ucm.es/info/cif](http://www.ucm.es/info/cif) y <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/form/indice.s.htm>. Consultado el 24 mayo 2015.
- Vera, L. A. 1999. Apuntes de riegos y drenajes. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.
- Vuille, M., Radley, R. S., Keimig, F. 2000. Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. J. Geophys. Res. 105, 12447-12460.

Artículo recibido en: 10 de agosto 2017

Aceptado en: 15 de septiembre 2017