

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
POSTGRADO**



**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE
MAGISTER SCIENTIARUM**

**ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE RIEGO CAMPESINO
PARA EL PLANTEAMIENTO DE PROPUESTAS DE MEJORA
EN LA LOCALIDAD DE INQUISIVI, LA PAZ**

ING. FREDDY SABINO ROJAS ROJAS

**LA PAZ - BOLÍVIA
2014**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
UNIDAD DE POSTGRADO FACULTAD DE AGRONOMÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE RIEGO

**Estudio de las condiciones de Riego Campesino para el
planteamiento de propuestas de mejora en la Localidad de
Inquisivi, La Paz**

*Tesis de Grado
presentada como requisito parcial
para optar al Título de
Master of Science*

Freddy Sabino Rojas Rojas

Asesor:

Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes

Revisores:

Ing. Ph. D. Carmen Rosa Del Castillo Gutiérrez

Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas

Ing. M. Sc. Hugo Daniel Bosque Sánchez

Aprobada:

Presidente Tribunal Examinador

INDICE

CONTENIDO	Pág.
	i
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	vii
INDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix

1. INTRODUCCIÓN	Pág.	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Problema de investigación	2
1.2.1	Identificación del problema	2
1.2.2	Pregunta de investigación	3
1.2.3	Sub preguntas de investigación	3
1.3	Justificación	3
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.4.3	Hipótesis	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA		5
2.1	Valles Interandinos	5
2.1.1	Problemas centrales en los valles interandinos	5
2.1.2	Características de la agricultura regada en la zona Andina	5
2.1.3	Terrenos irregulares	6
2.1.4	Topografía ondulada con pendientes fuertes	6
2.2	Sistemas de riego	6
2.2.1	Sistemas de riego tradicional o comunal	7
2.3	Gestión de riego	7
2.3.1	Gestión campesina del sistema de riego	7
2.3.2	Distribución de agua en sistemas de riego	7
2.3.3	Operación del sistema de riego	8
2.3.4	Manejo del agua en el sistema tradicional	8
2.4	Riego	9
2.4.1	Riego en valles interandinos	9
2.4.2	Compatibilizar el riego tecnificado y la agricultura andina	9
2.4.3	Necesidad de métodos de riego tecnificado	10
2.4.4	Riego tecnificado en valles	10
2.4.5	Características de los sistemas de riego tecnificado	10
2.4.5.1	Elementos básicos de un sistema de riego tecnificado	10
2.4.5.1	Características del riego tecnificado en operación	11
2.4.6	Planteamiento general de riego tecnificado	12
2.4.7	Ventajas y desventajas de los sistemas de riego por aspersión	12
2.5	Programación de los riegos	13

2.6	Relación agua - suelo - planta	14
2.6.1	El agua en el suelo	14
2.6.2	Retención de agua por el suelo	14
2.3.4	Curva característica de retención de humedad del suelo	15
2.6.5	Capacidad de Campo	16
2.6.6	Punto de Marchites Permanente	16
2.6.7	Agua disponible	16
2.6.8	Reserva fácilmente disponible y fracción de agotamiento	17
2.7	Determinación del contenido de agua del suelo	17
2.7.1	Métodos directos	17
2.7.2	Métodos indirectos	17
2.8	Uso consultivo	18
2.9	Balance hídrico	18
2.9.1	Demanda de agua por los cultivo	18
2.9.1	Necesidades de riego	19
2.9.2	Balance hídrico en sistemas de riego	19
2.10	Caudal máximo no erosivo	19
2.11	Marco integral de los proyectos	20

3. MATERIALES Y MÉTODOS **21**

3.1	Ubicación	22
3.2	Características generales de la zona de estudio	22
3.2.1	Clasificación climática	22
3.2.2	Precipitación	22
3.2.3	Recursos hídricos	22
3.3	Materiales	23
3.3.1	Materiales para la evaluación del sistema de riego	23
3.3.2	Materiales de laboratorio	23
3.3.3	Materiales de gabinete	23
3.4	Metodología	24
3.4.1	Recolecta y consulta de literatura especializada	24
3.4.2	Evaluación climática	24
3.4.3	Distribución de agua y operación del sistema	30
3.4.3.1	Levantamiento de información en campo	30
3.4.4	Alternativas de mejora de riego tecnificado y caudal no erosivo	32
3.4.5	Procesamiento de información en gabinete	33
3.5	Variables de respuesta (resultados esperados)	34

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES **35**

4.1	Climatología de la zona de Inquisivi	35
4.1.1	Resumen Climático de la zona de Inquisivi	35
4.1.2	Temperaturas máximas, mínimas y medias	36
4.1.3	Balance hídrico global de la zona de Inquisivi	37
4.1.4	Índices climáticos para la zona de Inquisivi	38
4.1.5	Zonificación para fines de riego	38
4.2	Cedula de cultivos de las laderas de Inquisivi	39
4.2.1	Necesidad hídrica de los cultivos en las laderas del valle de Inquisivi	40
4.2.2	Balance hídrico en los microsistemas de riego	40
4.2.3	Necesidad hídrica de los cultivos	41
4.4	Fuentes de agua	43

4.4.1	Estimación de la oferta de agua disponible en la zona de estudio	43
4.4.2	Calidad de las aguas	44
4.5	Suelos y vegetación	45
4.5.1	Tiempo y velocidad de infiltración básica	46
4.6	Descripción del los sistemas de riego de Inquisivi	49
4.6.1	Tomas de agua	49
4.6.2	Cámaras de aducción	50
4.6.3	Sistema de conducción	51
4.6.4	Distribución de agua	52
4.6.5	Modalidad de riego	53
4.6.6	Aplicación de agua	54
4.6.7	Equipos de riego	56
4.6.8	Desventajas y ventajas de los aspersores domésticos en la agricultura	56
4.7	Condiciones de operación del sistema de riego campesino	57
4.7.1	Microsistemas de riego familiar	58
4.7.2	Microsistemas de riego comunales	59
4.7.2.1	Estructuras de captación y aducción	59
4.7.2.2	Sistema de conducción	60
4.7.2.3	Sistema de distribución	60
4.7.2.4	Operación y mantenimiento de los microsistemas	63
4.7.2.5	Riego en las parcelas	65
4.7.3	Ausencia de asistencia técnica	67
4.8	Alternativas de mejora de riego de la zona Inquisivi	67
4.8.1	Obras de captación a mejorar	67
4.8.2	Obras de aducción a mejorar	69
4.8.3	Sistema de conducción a mejorar	70
4.8.4	Sistema de distribución a mejorar	72
4.8.5	Manejo de agua en las parcelas	72
4.8.6	Inclinación de los aspersores	75
4.8.7	Gestión de Riego	76
4.8.7.1	Diseño de la distribución para los microsistemas de riego de Inquisivi	77
4.8.7.2	Operación y mantenimiento	79
4.8.7.3	Diseño de la organización	81
4.9	Evaluación económica	82
5.	CONCLUSIONES	85
6.	RECOMENDACIONES	88
7.	BIBLIOGRAFÍA	89
	ANEXOS.....	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Contenido volumétrico de humedad de suelos típicos en %, en función del potencial matricial expresado en atmósferas	15
Tabla 2	Caudales máximos no erosivos según la pendiente del terreno	20
Tabla 3	Índices de sequía y la condición de humedad disponible de la zona de estudio	24
Tabla 4	Índice de Lang o índice pluviométrico	25
Tabla 5	Índices de aridez según UNEP	25
Tabla 6	Valores de humedad según el índice de Thornthwaite	26
Tabla 7	Régimen de velocidad e infiltración en los suelos	29
Tabla 8	Resumen de Datos Climáticos de la Estación de Independencia, Periodo 1973-2011	35
Tabla 9	Índices climáticos de la Localidad de Inquisivi	38
Tabla 10	Índice de aridez (Índice de Humedad Disponible De Martonne)	38
Tabla 11	Cedula de cultivo de los microsistemas de riego del Cantón Inquisivi y Capiñata	40
Tabla 12	Necesidad hídricas mensuales de los principales cultivos de los cantones de Inquisivi y Capiñata	42
Tabla 13	Oferta de agua de algunos ríos y vertientes para el riego de la zona de Inquisivi	43
Tabla 14	Características físico – químicas de las aguas de riego	44
Tabla 15	Resumen de las funciones de Infiltración del Cantón Inquisivi y Capiñata	47
Tabla 16	Tiempo y velocidad de infiltración básica del Cantón Inquisivi y Capiñata	47
Tabla 17	Algunos parámetros que caracterizan a los sistemas microriego tradicionales	55
Tabla 18	Factibilidad de uso y dificultades en la operación de sistemas de conducción por tuberías de polietileno	57
Tabla 19	Parámetros que caracterizan a los microsistemas de riego familiar	58
Tabla 20	Características del sistema de conducción de los microsistemas de riego del Distrito Centro de Inquisivi	60
Tabla 21	Parámetros que caracterizan a los microsistemas de riego Comunal	61
Tabla 22	Parámetros que caracterizan a los microsistemas de riego Comunal-Mixtos	64
Tabla 23	Descripción de riego tradicional (artesanal) en las parcelas de Inquisivi	65
Tabla 24	Características de conducción mediante politubo en microsistema familiar	66
Tabla 25	Características de conducción por manguera en microsistema familiar	66
Tabla 26	Aspersores de baja presión adecuadas para laderas pronunciadas	73
Tabla 27	Aspersores de alta presión para condiciones de ladera y planicie	74
Tabla 28	Parámetros que caracterizan la distribución de agua en los microsistemas de riego	78
Tabla 29	Caso ejemplo de programación de riego para la operación del sistema de riego estimando las necesidades hídricas de los cultivos por época	79
Tabla 30	Diferencias en los parámetros de riego y financiamiento	83
Tabla 31	Área bajo riego optimo, área incremental y las posibles inversiones económicas	83
Tabla 32	Presupuesto general de las obras del sistema de microriego Chiji	84
Tabla 33	Presupuesto total del proyecto de las obras del sistema de microriego Chiji	84

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Identificación de causas que afectan a las condiciones de riego campesino en la Localidad de Inquisivi.	2
Fig. 2	Curvas características de retención de humedad para varios tipos de suelos	15
Fig. 3	Mapa de ubicación del Área del Proyecto (Cantones de Inquisivi y Capiñata)	21
Fig. 4	Vista de planta y perfil del hoyo de infiltración para laderas	28
Fig. 5	Variación de las temperaturas máximas, mínimas y medias de la zona de Inquisivi para una altitud de 3750 msnm, periodo 1973 a 2011.	36
Fig. 6	Balance hídrico referencial para la zona de Inquisivi, tomando en cuenta la Estación de Independencia de Cochabamba.	37
Fig. 7	Cedula de cultivos en hectáreas de los microsistemas de la zona Inquisivi	39
Fig. 8	Balance hídrico observado en la Microcuenca del rio Chijijawira	40
Fig. 9	Evapotranspiración de los cultivos, periodos de desarrollo y la precipitación efectiva en las laderas del Distrito Centro de Inquisivi	42
Fig. 10	Velocidad y lámina de infiltración acumulada del microsistema de riego Upuña	49
Fig. 11	Esquema de la distribución del microsistema de riegos familiar	58
Fig. 12	Esquema de la distribución del microsistema de riego comunal	61
Fig. 13	Esquema de la distribución del microsistema de riegos mixtos	62
Fig. 14	Demanda de agua y ciclo vegetativo de los principales cultivos del Distrito Centro de Inquisivi.	64
Fig. 15	Sistema de captación y aducción para ríos con un nivel medio de transporte de carga	68
Fig. 16	Sistema de captación y aducción para ríos con bajo transporte de carga	68
Fig. 17	Sistema de captación y aducción para tomas de agua desde la orilla interior del río	68
Fig. 18	Sistema de captación y aducción de agua para tomas desde la vertiente	69
Fig. 19	Sistema de aducción de agua para ríos con transporte de sedimentos medio	70
Fig. 20	Sistema de aducción de agua para ríos con transporte de sedimentos alto	70
Fig. 21	Esquema de emplazamiento de válvulas para la eliminación de aire comprimido en tuberías del sistema de conducción.	71
Fig. 22	Estrategia de manejo de agua en zonas de ladera	76
Fig. 23	Causas y efectos de la espiral descendente de funcionamiento de los sistemas de microriego	77

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Aforo de caudales de los ríos de alta montaña	30
Fotografía 2	Medición de la humedad del suelo en las parcelas de cultivo	30
Fotografía 3	Medición de la presión en los hidrantes del sistema de conducción	33
Fotografía 4	Captaciones rústicas con politubos directos del río Chijjawira	49
Fotografía 5	Estructuras de aducción de agua en microsistemas de riego nuevos	50
Fotografía 6	Sistemas de conducción a través tuberías de polietileno (politubo) por laderas en proceso de deslizamiento. Microriego Chiji	52
Fotografía 7	Baja uniformidad de riego por aspersión en las parcelas de la Comunidad Chiji	53
Fotografía 8	Sistemas aspersión artesanales. Microriego Chiji	54
Fotografía 9	Manejo domésticos de riego en laderas pronunciadas que inciden en la erosión hídrica de suelos. Microriego Chiji	55
Fotografía 10	Dificultad en el manejo de aspersores domésticos de jardinería en la agricultura. Sistema de Microriego Chiji	56
Fotografía 11	Aspersores de baja presión Xcel Wobbler y aspersor de presión media y alta Smooth Drive	74

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Datos climáticos	95
Anexo 2	Índice de sequía (índice de humedad disponible de Martonne)	95
Anexo 3	Índice de aridez	96
Anexo 4	Coefficientes de cultivo (kc) para condiciones agroecológicas de valles	97
Anexo 5	Balance hídrico local	97
Anexo 6	Caudales observados y demandados	97
Anexo 7	Velocidad de infiltración	98
Anexo 8	Esquema de emplazamiento de válvulas expulsoras de aire en sistemas de conducción	103
Anexo 9	Calidad de las aguas para riego en el cantón Inquisivi	104
Anexo 10	Características del agua de riego en los cantones Inquisivi y Capiñata	105

Estudio de las condiciones de riego campesino y planteamiento de propuestas de mejora en la Localidad de Inquisivi, La Paz

RESUMEN

Los valles de Inquisivi situadas en laderas y de condiciones climáticas de sub húmedo seco, la precipitaciones anuales fue de alrededor de 900 mm/año, y un déficit hídrico desde el mes de abril a noviembre incide sobre la producción agrícola y por ello los agricultores recurren al riego. El propósito de la investigación fue evaluar el comportamiento climático local, las condiciones de riego referido a la distribución de agua del sistema de riego campesino y su relación con la necesidad hídrica de los cultivos, las condiciones de operación, alternativas de mejora mediante riego tecnificado para condiciones de ladera con caudal no erosivo. Para evaluar la climatología local se utilizo los índices climáticos y de aridez y para estudiar el funcionamiento del sistema de riego se aplico un enfoque socio-técnico. La metodología propuesta consiste en el “seguimiento de agua” que fue hecho de una manera directa, levantando la información en campo; o de una forma indirecta desarrollando entrevistas a informantes claves. Los resultados indican que en muchos microsistemas de riego la distribución de agua es a demanda libre en gran parte del año; 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. Ello, ocasiono problemas sociales cuando varios usuarios riegan en un mismo periodo; asimismo, no se ha evidenciado una organización entorno al riego la cual pueda tratar los problemas, definir actividades de mantenimiento y operación. Muchos de los microsistemas operan con presiones bajas (1 a 2 bar) hace que los aspersores alcancen radios menores de mojado (3 a 7 m), que lleva a que se cambien los aspersores de posición cada 3 a 5 horas para alcanzar superficies mayores pero con menores laminas de agua, sumado a ello la textura franco arenoso - gravoso de los suelos se tiene perdidas de agua de alrededor de 20 % hacia horizontes inferiores; ello obligó a que se realicen frecuencias de riego consecutivos de dos riegos a la semana en la época de estiaje y una vez en la época de lluvias moderadas para mantener un nivel de humedad para los cultivos. Por otro lado, se tiene microsistemas con presiones mayores a 4 bares que inciden sobre la distribución de agua. Las necesidades hídricas de los cultivos también esta supedita a las posibilidades de operación y manejo de agua por parte del agricultor, época del año, capacidad de operación y criterios. Estas actividades demandan mayor mano de obra y una organización social entorno al sistema de riego para una adecuada distribución de agua.

Study of the irrigation condition and suggestions for improvement approach in the Inquisivi Area, La Paz

ABSTRACT

The “*Inquisivi*” valley situated in slope and the climatic conditions of dry sub humid; the annual precipitations of 900 mm/year and a hydric deficit from April to November for agriculture production and then the farmers use the irrigation. The purpose of the research is to evaluate the local climatic behavior, to evaluate the irrigations conditions in terms of water distribution of the peasant irrigation system and their relationship with crop water necessities, the operation conditions of peasant irrigation system was studied in order to consider technical irrigation alternatives were valued for the slope conditions with no-eroded flow. To value the local climatology was used the climatic and aridity indexes. To determine the functioning of the irrigation system was applied a socio-technical approach, that allows to see physical, technical and social aspects. The proposed methodology was “following the water”; it was done directly, taking the field information or indirectly through interviews to key informants. In the majority of irrigation systems the distribution of water is a free demand almost in all the year; the operation pressure in the water distribution net are variable which depends of head height and diameter of domestic hose that affect in the flow and irrigation pressure. It caused many times social problems when many users irrigate in the same period; likewise, it is not observed an irrigation organization that can solve the problems, define maintenance activities and operation. Many systems operate with low pressures (1 to 2 bar), it causes short wet radius of sprinklers reaching from 3 to 7 m, which conditions to users to change the position in short time (3 to 5 hours) to reach a higher surface irrigated in one day, it implies a smaller water layers applied; adding the gravel sandy loam texture in some areas influences in a quick water lost with a value around 20% towards lower layers. It forces consecutive irrigation frequencies of two times per week in dry period and one time in middle rainy season to maintain an adequate water level for crops. In the other side, high pressures (> 4 bar) were observed which affects the water distribution. The crops water necessities are related with the possibilities of water management and operation by farmers, year season, operation capacity and criteria for irrigation. These activities demand bigger manpower and a social organization around the irrigation system to have a right water distribution.

1. INTRODUCCIÓN

Los valles interandinos del departamento de La Paz en su mayoría presentan sistemas agrícolas de producción irrigadas con aguas provenientes de los ríos de la cordillera oriental de Los Andes; estas aguas fluyen desde las vertientes fundamentalmente formando parte del caudal base de los ríos y son aprovechadas para el riego en la época de estiaje en su mayor proporción como sucede en los sistemas de riego de los valles de Inquisivi y Capiñata.

Las condiciones climáticas de los valles del Distrito Centro de Inquisivi (SENAMHI, 1973-2011) son próximas a sub húmedo seco con un déficit hídrico desde los meses de abril a noviembre debido a la época de estiaje (200 mm de lamina de agua de déficit) y la precipitación media anual esta alrededor de 900 mm. El periodo de déficit hídrico incide sobre la producción agrícola, por ello los agricultores recurren al riego complementario de los meses de precipitaciones bajas para garantizar la producción de cultivos y forrajes (Rojas, 2004).

Los sistema de riego de Inquisivi presentan condiciones propias de valles interandinos, con características particulares para la distribución de agua y operación en laderas de valles accidentados. Esta forma de distribución puede ser socialmente justa y técnicamente no considera la relación agua - suelo - planta - atmósfera, para un manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. Asimismo se carece de información técnica, social, económica, hidro-climático, aptitud de suelos y otros para proponer alternativas de mejora del uso de agua en la agricultura.

1.1 Antecedentes

Las cuencas de los valles interandinos son vulnerables a los cambios climáticos; las variaciones de la precipitación en un 10 a 15 % respecto a la media general, provoca sequías o avenidas torrenciales que afectan a los ecosistemas de estas montañas que limita el normal desarrollo de la agricultura. Así mismo un aumento de las temperaturas en un 0.5 °C repercute en una alta evapotranspiración y por ende en la mayor necesidad hídrica en el sector agrícola (Vuille *et al.*, 2000).

Los valles interandinos del Distrito Centro de Inquisivi situadas en laderas son susceptibles a la erosión hídrica principalmente, donde los métodos de riego superficial tradicionales no son adecuados, para ello se plantean la mejora de riego o alternativas de desarrollo de riego tecnificado. Asimismo, se consideró el manejo de caudales no erosivos, para ello se requiere conocer la dinámica en el manejo de agua tradicional en el riego campesino, el funcionamiento de los sistemas de riego, gestión de riego y aspectos técnico-sociales y económicos.

Según la Ley 2878, los estudios en el área de riego deberán estar en el ámbito del desarrollo agropecuario del país y enmarcado en las políticas públicas de riego para conseguir la reducción de los riesgos climáticos proporcionando agua para asegurar las cosechas, incremento de la producción y productividad agropecuaria, posibilitando el abastecimiento de productos para el mercado local y generar excedentes para la exportación; de esta manera se contribuirá la seguridad alimentaria y algunos casos posibilitara el aumento de los ingresos de las familias.

1.2 Problema de investigación

1.2.1 Identificación del problema

Los valles interandinos de Inquisivi situadas en pendientes son susceptibles a la erosión hídrica, donde los métodos tradicionales de riego por gravedad (inundación) no son adecuados; provocando en algunos casos la remoción en masa de suelos (deslizamientos y derrumbes) desde las partes altas de las laderas y generando la erosión hidrica (MEDMIN, 2006). Otra de las dificultades en la agricultura de estos valles es la variabilidad de las precipitaciones, y concentración de las mismas en un periodo corto con intensidades altas en muchos casos y periodos largos con escasa precipitación que determina que los cultivos no puedan desarrollarse adecuadamente.

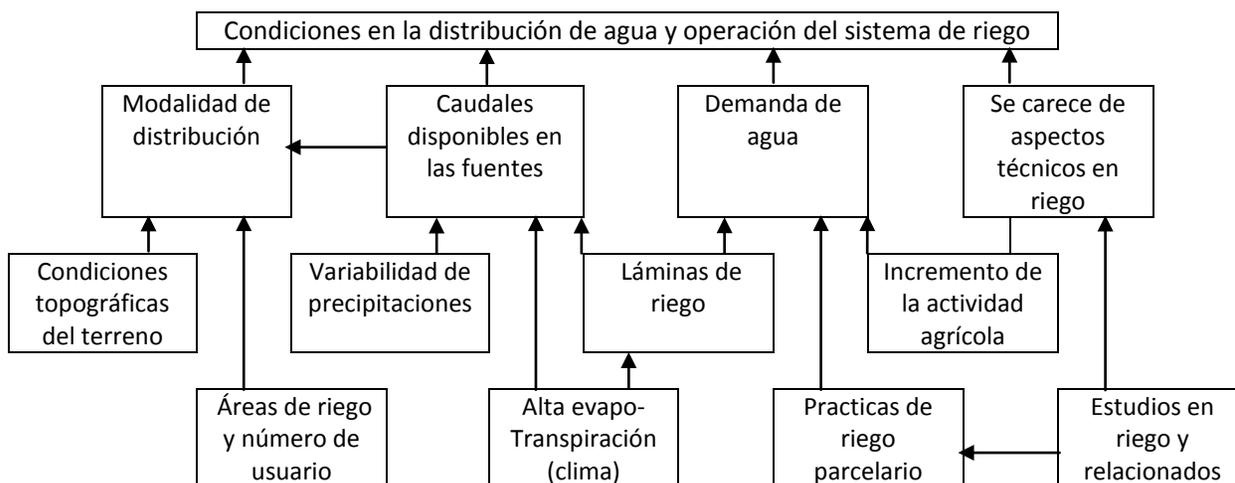


Fig. 1. Identificación de causas que afectan a las condiciones de riego campesino en la Localidad de Inquisivi

Los valles interandinos si bien son favorables para el desarrollo de los cultivos durante el año; las escasas precipitaciones de junio a noviembre (época seca) hace que la agricultura sea limitada a la época de lluvias (SEMTA, 2010). Por ello se practica riego de carácter artesanal presurizado con características de distribución de agua en una modalidad de mono flujo de

arriba abajo y en otras son a demanda libre; la conducción de agua en estas laderas está relacionada directamente con la distribución a las unidades de riego (zonas de riego) y en otros a las subunidades de riego (parcelas de riego); esta forma de distribución repercute en un mayor tiempo entre turnos y en las practicas de riego parcelario (Díaz, 2012).

Asimismo se presenta la dificultad de irrigar laderas de pendiente pronunciada de alta permeabilidad, donde es necesario la mejora del riego artesanal a riego tecnificado para una práctica adecuada. Para ello se necesita entender la dinámica en el manejo del agua en la agricultura bajo riego, reparto de agua, el funcionamiento del sistema y gestión de riego.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los vacíos en nuestro entendimiento sobre las condiciones de riego campesino para la propuesta de mejora de riego en la Localidad de Inquisivi?

1.2.3 Sub preguntas de investigación

- ¿Cómo será el comportamiento climático local de Inquisivi?
- ¿Cuáles son las características de distribución de agua para riego y ello se encuentra relacionada con los conceptos elementales de la necesidad hídrica de los cultivos?
- ¿Cómo será en nuestro entendimiento las condiciones operación de los sistemas de riego del Distrito Centro de Inquisivi para la propuesta de alternativas de mejora?
- ¿Cuáles son los mecanismos para valorar las alternativas de riego tecnificado para condiciones de laderas con caudal no erosivo?

1.3 Justificación

Los valles de Inquisivi con un drenaje de ríos de alta montaña y vertientes forman el caudal base en la época de estiaje; las cuales son aprovechadas para el riego de cultivos; mediante un sistema de riego artesanal presurizado por gravedad de baja eficiencia que demanda caudales elevados que repercute en muchos casos en una dificultad de conducción y manejo de agua en laderas; con respecto a la distribución de agua se carece de información sobre las características de aplicación de agua en las parcelas y si ello está relacionado con las necesidades hídricas de los cultivos. Ante estas incertidumbres se planteo estudiar las características de la distribución de agua para riego; la dinámica en el uso de agua y operación de los sistemas de riego.

En consecuencia el presente estudio posibilitará la mejora el manejo de agua en el sistema de riego campesino, como también proponer alternativas para la adopción de riego tecnificado para condiciones de laderas con caudal no erosivo y finalmente plantear propuestas de desarrollo de recursos hídricos en los sistemas de riego.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Estudiar las condiciones de riego campesino para proponer propuestas de mejora de riego en la Localidad de Inquisivi, La Paz.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento climático local de Inquisivi.
- Caracterizar la distribución de agua actual del sistema de riego campesino y evaluar la relación con los conceptos elementales de la necesidad hídrica de los cultivos.
- Estudiar las condiciones de operación del sistema de riego campesino para considerar alternativas de mejora.
- Valorar las alternativas de riego tecnificado para condiciones de ladera con caudal no erosivo.

1.4.3 Hipótesis

- La climatología local, los conocimientos sobre las condiciones de distribución de agua y operación del sistema de riego campesino de la Localidad de Inquisivi, no inciden sobre el diseño de alternativas para la mejora de riego y desarrollo de riego tecnificado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Valles Interandinos

Los valles interandinos del Distrito Centro de Inquisivi por sus características topográficas y altitudinales presenta condiciones climáticas favorables para el desarrollo de los cultivos durante el año; las dificultades se presentan por la variabilidad de las precipitaciones que se concentran entre los meses de diciembre a marzo con altas intensidades afectando la erosión del sistema suelo en laderas de estas zonas. Asimismo la práctica de riego tradicional complementario en la época estiaje (junio a diciembre) no es adecuado en las laderas de valles accidentados por la dificultad de conducir agua superficialmente (UMSA, 2011).

2.1.1 Problemas centrales en los valles interandinos

Los cantones de Inquisivi y Capiñata son afectadas por la ampliación de las plantaciones de Eucaliptos (*Eucaliptus sp.*) en desmedro de las tierras para cultivos anuales, perennes y praderas nativas, lo que no solo está incidiendo en la disminución de la producción, áreas de pastoreo, sino en la reducción de las fuentes de agua y la degradación de suelos por erosión hídrica y remoción en masa como deslizamientos, derrumbes y otros (los troncos cortados son enviados desde las partes altas por las laderas empinadas, lo que genera la formación de erosión en surcos y a la larga cárcavas y remoción en masa en grandes extensiones).

2.1.2 Características de la agricultura regada en la zona Andina

Con miras a la implementación de sistemas de riego tecnificado a continuación se describen algunas características más o menos generalizadas de la agricultura regada en los valles. Se detallan las que son de impacto directo para el diseño de un sistema de riego por aspersión o goteo y se explica la interrelación entre estas características con el riego tecnificado.

Las comunidades campesinas de la zona de Valles son agrupaciones de familias campesinas, que en general tienen extensiones pequeñas de terreno (entre 0.3 a 5 ha), normalmente subdivididas en distintas parcelas (Hoogendam y Ríos, 2008). En algunos lugares, principalmente donde la presión sobre la tierra es alta y hay agua disponible, las familias cultivan todos sus terrenos, pero es más común encontrar parcelas en descanso.

La implementación de riego tecnificado es más sencilla en parcelas de mayor superficie, para las que muchas recomendaciones de catálogo son aplicables. Cuanto más pequeñas e irregulares sean las parcelas, más compleja es la instalación de emisores. Por otra parte, la rotación de cultivos complica el diseño y el funcionamiento de un sistema de riego tecnificado (Hoogendam y Ríos, 2008).

2.1.3 Terrenos irregulares

Aparte de ser pequeñas, muchas de las parcelas en la zona Andina tienen una forma irregular, en límites y topografía. Ambos factores requieren atención especial a la hora del diseño de riego tecnificado. Las formas irregulares obligan al uso de emisores especiales (especialmente aspersión) para lograr una adecuada homogeneidad en el riego y no perder mucha agua fuera de los límites del terreno de uno. Si bien el efecto borde existe en cualquier tipo de parcela, en parcelas pequeñas el porcentaje de borde es tan sustancial, que debe considerárselo de forma distinta a las propuestas en la literatura clásica. Por su parte, las variaciones en altura por topografía ondulada obligan a prestar especial atención a los cambios de presión en la parcela, las que influyen en los caudales emitidos a lo largo de una línea de goteo o de aspersión (Hoogendam y Ríos, 2008).

2.1.4 Topografía ondulada con pendientes fuertes

En gran parte de la región de Valles, los terrenos por regarse se ubican en laderas, por lo que son difíciles de regar por métodos superficiales y sumamente propensos a la erosión. Si bien existen métodos de riego superficial que reducen el riesgo de erosión (como se demostró durante la investigación PIEN-Riego, 2008), en los Valles bolivianos estos aún no son muy difundidos. Por tanto, el riego en laderas se convierte en uno de los principales enemigos de los agricultores a mediano plazo, ya que la pérdida de suelo coloca en riesgo la sostenibilidad de su propia producción. En estas condiciones de ladera el riego tecnificado es una interesante alternativa de aplicación de agua, ya que elimina en gran parte el riesgo de erosión. Además la aplicación de riego tecnificado se facilita porque la energía de carga de presión es la gravedad, que evita costos energéticos adicionales.

2.2 Sistemas de riego

Gerbrandy (1995) define a un sistema de riego como: “Todos los medios, servicios, materiales y de organización necesarias, para conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los campos cultivados de los agricultores”.

Se define como un complejo de elementos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales interrelacionados, ubicados en un espacio territorial determinado y dispuestos en torno al aprovechamiento de una fuente de agua mediante diversas obras administradas bajo la gestión de una organización de usuarios con la finalidad de usar, manejar y conservar el agua aplicada a un proceso productivo de agricultura bajo riego (PRONAR, 1998).

2.2.1 Sistemas de riego tradicional o comunal

Amurrio (2002) menciona que los sistemas de riego tradicionales u originarios, son contruidos rústicamente por los mismos agricultores, sin la participación de instituciones; son operados y mantenidos por los mismos agricultores, éstos sistemas de riego, pueden ser: con agua permanente para el riego de todo el año y con riegos complementarios durante las épocas de lluvia solamente. Los sistemas de riego comunitarios con riego permanente todo el año, son pocos y utilizan aguas de ríos, lagunas, deshielos, quebradas y vertientes.

2.3 Gestión de riego

Gerbrandy (1995) define a la gestión de riego como: “El conjunto de actividades y los medios necesarios para lograr los objetivos formulados para la distribución y el uso del agua”.

El conjunto de actividades que involucra el funcionamiento de los sistemas de riego es asumido por diferentes actores del riego. En un caso serán los mismos usuarios, en otras, se estructurará una organización compuesta por funcionarios especializados, quienes organicen la entrega de agua. Sin embargo es importante reconocer que cada actor aplica diferentes criterios de uso del agua, la cual define sus características de funcionamiento de los sistemas de riego (PRONAR, 1998).

2.3.1 Gestión campesina del sistema de riego

La gestión campesina de sistema de riego, es una modalidad en que los usuarios adoptan formas organizativas de interrelacionamiento entre familias y comunidades para el uso y aprovechamiento de las fuentes de agua y la infraestructura de riego; a través del establecimiento de normas y reglas colectivas que definen los derechos al agua, las formas de operar la infraestructura, la distribución del agua entre regantes, las obligaciones y deberes mutuos para el mantenimiento, en función al modo de hacer agricultura y los ciclos del agua de cada fuente en particular (PRONAR, 1998).

2.3.2 Distribución de agua en sistemas de riego

La distribución de agua en un sistema de riego, es entendida como todas las actividades realizadas por los usuarios para entregar y repartir el agua desde la fuente hasta el usuario final (parcela). Estas actividades requieren: del manejo de la infraestructura hidráulica, de un conjunto de acuerdos que las regulen, sobre la base de los derechos al agua, y de una organización para su cumplimiento (Rutgerd y Apollin, 1996).

Para Orsag y Miranda (2000) la distribución de agua implica: la organización, los acuerdos para su distribución, la operación de la infraestructura y el reparto de agua, por ello puede ser considerada como la expresión práctica de la gestión de agua en el sistema de riego.

La distribución del agua esta generalmente relacionada con los derechos. Según Gerbrandy y Gutiérrez (1996), los criterios básicos de distribución en las comunidades andinas son: equidad, transparencia, flexibilidad y autonomía. Por lo general existen varios niveles e instancias de distribución del agua a nivel sistema, zonal y comunal. A nivel de la comunidad, estas instancias pueden formar parte de las organizaciones comunales (sindicato, OTB, etc.) que asumen la distribución del agua como una más de sus tareas o constituirse en entidades especializadas (comité, incluso asociación).

2.3.3 Operación del sistema de riego

La operación, es una labor permanente que realizan los usuarios en el manejo de las diferentes obras hidráulicas de una infraestructura de riego, con el fin de lograr la distribución de agua según los derechos y obligaciones que corresponde a cada usuario, acorde a los requerimientos de las plantas y tratando de optimizar la eficiencia del uso de agua (C3B, 2008).

La operación del sistema de riego comprende las actividades necesarias para establecer un adecuado control en el manejo de los métodos y equipos utilizados, con base en las especificaciones del diseño agronómico e hidráulico. El concepto de operación de un sistema de riego es bastante extenso y muy importante en la concepción del diseño. Se analiza únicamente la distribución de los gastos de riego entregados a nivel de parcela en toda la superficie del proyecto, así como las presiones y tiempos de operación (Montiel *et al.*, 2009).

2.3.4 Manejo del agua en el sistema tradicional

El término “manejo de agua” se refiere al funcionamiento de un sistema de riego. Este término comprendía todas las actividades para transportar el agua desde la bocatoma hacia las parcelas, mediante una infraestructura de canales, centralizando el flujo de agua, así como se debería hacer para el buen funcionamiento del sistema. Este concepto resulto insuficiente para analizar los sistemas de riego, porque su concentración en el flujo de agua fue obvio; todos los aspectos organizativos necesarios que los regantes sean capaces de implementar medidas del “manejo del agua” requerida, que faculta analizar cómo se debería de manejar el agua, pero sin relacionar este manejo con las capacidades y realidades de la organización de regantes (Gerbrandy y Hoogendam, 1996.)

2.4 Riego

Amurrio (2002) define el riego como el proceso de aplicar artificialmente el agua al suelo en cantidades adecuadas y oportunamente, para contrarrestar la evapotranspiración y sustentar las necesidades de los cultivos, para su desarrollo vegetativo normal y producir óptimamente.

El riego como factor de producción importante para el desarrollo normal de los cultivos, permitiendo obtener rendimientos óptimos y más aun en una agricultura rentable. El riego es fundamental en zonas áridas, semiáridas y aún sub húmedas donde la precipitación pluvial en volumen es suficiente, pero la distribución en el tiempo es desuniforme (Amurrio, 1997).

Chipana (1996) indica que el riego es básicamente una tentativa del hombre para alterar el ciclo hidrológico a nivel local y promover un incremento de la producción agrícola. El riego es el suministro oportuno de la cantidad adecuada de agua a los cultivos, de tal manera que estos no sufran disminución en sus rendimientos y sin causar daños al medio ambiente, para lo cual debemos respondernos, básicamente tres preguntas; ¿Cuándo regar?, ¿Cuánto regar? y ¿Cómo regar?. Así mismo menciona que la cantidad de agua aplicada al suelo está determinado por el tipo y manejo del sistema, generalmente cuando se trabaja con sistemas de riego por superficie se requieren mayores cantidades comparadas con los sistemas de riego presurizado y localizado.

2.4.1 Riego en valles interandinos

En gran parte de la región de los Valles los terrenos por regarse se ubican en laderas, por lo que son difíciles de regar por métodos superficiales y son sumamente propensos a la erosión. Si bien existen métodos de riego superficial que reducen el riesgo de erosión (como se demostró durante la investigación PIEN-Riego (2008), en los Valles bolivianos estos aún no son muy difundidos. Por tanto, el riego en laderas se convierte en uno de los principales enemigos de los agricultores a mediano plazo, ya que la pérdida de suelo pone en riesgo la sostenibilidad de su propia producción.

2.4.2 Compatibilizar el riego tecnificado y la agricultura andina

La introducción de riego tecnificado sólo puede ser exitosa cuando existe compatibilidad entre la tecnología introducida y las condiciones de producción agrícola existentes. La primera tarea de cualquier diseñador es entonces investigar si se puede generar tal compatibilidad. Para ello, debe conocer las características tanto de los sistemas de riego tecnificado, como de la agricultura de los valles.

2.4.3 Necesidad de métodos de riego tecnificado

Después de dos años de investigación-acción en distintas comunidades en la región de Valles del Bolivia, el PIEN-Riego (2008) determinó como el principal obstáculo para la divulgación de tecnología, la baja compatibilidad entre los esquemas de distribución existentes en sistemas mayores y las exigencias de la tecnología de riego tecnificado. En general, los caudales de distribución son demasiado grandes como para emplearlos directamente mediante aspersores o goteros. Por tanto, un agricultor que no cuenta con un reservorio de regulación, no le queda otra alternativa que aplicar su agua mediante métodos de riego superficial.

En vista de que para muchos agricultores no es posible construir un reservorio porque sus terrenos son muy pequeños o porque para cargar un sistema tecnificado por gravedad en ladera tendrían que construirlo en una parcela ajena, entonces la mayor divulgación de riego tecnificado depende en gran parte de modificar las condiciones de distribución antes de poder cambiar el método de aplicación (PIEN-Riego, 2008).

2.4.4 Riego tecnificado en valles

En las condiciones de ladera de los Valles el riego tecnificado es una interesante alternativa de aplicación de agua, ya que elimina en gran parte el riesgo de erosión. Además el riego tecnificado aprovecha la energía de carga de presión de la gravedad, que evita costos energéticos adicionales. Las actividades de operación más comunes en los sistemas de riego tecnificado son: apertura y cierre de válvulas, cargado de tubería, verificación de salida de aire, control de presiones, control de funcionamiento de emisores, evaluación de sectores de pérdidas (Hoogendam y Ríos, 2008).

La introducción de riego tecnificado sólo puede ser exitosa cuando existe compatibilidad entre la tecnología introducida y las condiciones de producción agrícola existentes. La primera tarea de cualquier diseñador es entonces investigar si se puede generar tal compatibilidad. Para ello, debe conocer las características tanto de los sistemas de riego tecnificado, como de la agricultura de los valles.

2.4.5 Características de los sistemas de riego tecnificado

Para simplificar el análisis de los sistemas de riego tecnificado, se dividen sus características en dos: sus elementos básicos y las características de su funcionamiento.

2.4.5.1 Elementos básicos de un sistema de riego tecnificado

En términos generales, un sistema de riego se define como la combinación de los siguientes elementos (Hoogendam y Ríos, 2008):

- Una fuente de agua.
- Una infraestructura para la captación, conducción y distribución de agua (eventualmente con embalsamiento).
- Un área geográfica con terrenos agrícolas, donde se aplica el agua, denominada área de riego o de influencia.
- Un grupo de usuarios, quienes conjuntamente tienen el usufructo de la fuente y distribuyen el flujo de agua entre ellos sobre la base de acuerdos locales.

Un sistema de riego tecnificado tiene los mismos elementos, pero a consecuencia del cambio de método de aplicación de agua en la parcela, con algunos elementos adicionales (Hoogendam y Ríos, 2008):

- Una red de conducción cerrada, que permite la distribución de agua bajo presión.
- Una serie de emisores (aspersores, microaspersores y goteros) a través de los cuales se realiza la aplicación controlada de agua al suelo.
- Una fuente de energía para generar presión en el sistema, que puede ser la diferencia de cota entre el lugar de carga y el sitio de aplicación o un equipo de impulsión (bomba).
- Estructuras o equipos auxiliares que permiten controlar presión y calidad física del agua.

2.4.5.2 Características del riego tecnificado en operación

Las características de operación de un sistema de riego tecnificado difieren sustancialmente de los métodos superficiales. Las principales diferencias se encuentran en los bajos caudales utilizados, en una estrategia de riego frecuente, extensos tiempos de aplicación, costos relativamente altos y requerimientos de uso de excelente calidad física (Hoogendam y Ríos, 2008).

Sobre la base de los datos básicos obtenidos, se evalúa si existen las condiciones mínimas para que un sistema de riego tecnificado funcione y pueda ser operado por el grupo de interesados o si estas condiciones pueden generarse. Entre las condiciones mínimas son:

- El agricultor pueda hacer aplicaciones con un intervalo máximo de 3 días en goteo y 8 días en aspersión.
- Sea posible realizar aplicaciones prolongadas con caudales pequeños.
- La innovación tecnológica resuelva uno o más problemas de los agricultores.
- Exista la predisposición y capacidad por parte de los agricultores para invertir en riego tecnificado.
- Los cultivos a regar mediante riego tecnificado son rentables, de manera que justifiquen las inversiones y permitan su sostenibilidad en el tiempo.

- Sea posible acceder a equipamiento de riego tecnificado y asistencia técnica próxima a la zona del proyecto.

2.4.6 Planteamiento general de riego tecnificado

Hoogendam y Ríos (2008) sobre la base de la información recolectada para el diagnóstico y evaluación se debe sacar una conclusión sobre la conveniencia de riego tecnificado. En caso de ser positiva, se define un planteamiento general del posible método de riego, el tipo y tamaño de emisor y la operación del sistema presurizado. Luego, este planteamiento debe ser evaluado con miras a su implementación dentro del contexto de los sistemas de producción, sus parcelas y el sistema de riego mayor. Adicionalmente se debe estimar el costo referencial y revisar si la inversión es rentable en relación a los beneficios por obtenerse.

2.4.7 Ventajas y desventajas de los sistemas de riego por aspersión

Debido a que el agua bajo un sistema de riego por aspersión es distribuida en forma de choro en movimiento, algunas ventajas y desventajas le resultan inherentes como describe Hoogendam y Ríos (2008) a continuación:

Las ventajas son:

- Un control efectivo sobre la, cantidad de agua y tasa de aplicación del agua es provisto en la mayoría de los sistemas de aspersión al ser diseñados a una tasa de aplicación menor o igual a que la tasa de infiltración básica del suelo. Los sistemas de aspersión son así adaptables a:
 - a. Suelos de textura variable.
 - b. Cultivos que requieren de ligeras pero frecuentes aplicaciones.
 - c. Suelos con bajas capacidades de retención de agua.
- La superficie del suelo no necesita ser uniformemente nivelada de tal manera que:
 - a. La nivelación de la superficie del campo es eliminado o reducida.
 - b. Terrenos con una topografía de superficie ondulada pueden ser utilizadas.
 - c. La tierra puede ser puesta rápidamente dentro de producción.
 - d. Es adaptable a suelos poco profundos que no pueden ser nivelados.
- Los gastos pequeños pueden ser usados eficientemente.
- Acequias, canales, etc. pueden ser eliminados.
- Buenas eficiencias de riego son usualmente posibles.
- Una relativa eficiencia en la aplicación de sustancias químicas con agua de riego.

- Las operaciones de labranza son agilizadas.
- Los riesgos de erosión son minimizadas.
- La mano de obra que se requiere es reducida.
- Puede ser poco especializado para operar estos sistemas.

Las desventajas son:

- La inversión inicial puede ser grande.
- El viento distorsiona el patrón de esparcimiento del agua arrojada por el aspersor y puede resultar en grandes pérdidas por evaporación.
- Los insecticidas pueden ser lavados del follaje de las plantas.
- Un daño en la floración puede ocurrir (y por lo tanto puede reducir la cantidad de fruto), también como enfermedades o reducción de la calidad de fruto.
- El sistema requiere para su mejor utilización condiciones de continuo suministro de agua.
- Se presentan problemas de tracción en algunos sistemas móviles debido a suelos arcillosos.
- El agua de alta salinidad puede causar problemas en las plantas.
- Los problemas de aspersion son generalmente sistemas que requieren de un uso intensivo de energía.

2.5 Programación de los riegos

La programación del riego es clave para el adecuado manejo del agua y es importante un pronóstico exacto del agua a aplicar, tanto en tiempo como en cantidad. El objetivo de la programación del riego es aplicar la cantidad correcta de agua, en el momento correcto, para reducir al mínimo los gastos y maximizar el rendimiento, y de esta forma los retornos.

De acuerdo a los métodos de riego evaluados por Bryla *et al.* (2011) muchas técnicas y tecnologías permiten pronosticar cuándo y cuánto regar, pero la técnica adecuada a utilizar va a depender de:

- La oferta de agua
- La capacidad técnica del regante
- El sistema de riego disponible
- La respuesta del cultivo al riego
- Las preferencias personales
- El costo de implementación de la tecnología

2.6 Relación agua - suelo – planta

Calvache (1984) indica que el agua constituye uno de los recursos naturales más importantes, cumple un papel vital en el desarrollo y producción de los cultivos. Se hace necesario conocer su dinámica en el sistema suelo-planta-atmósfera para optimizar su utilización. El mismo autor señala que el agua en el suelo se encuentra generalmente en movimiento, pero esta dinámica en un suelo cultivado depende de las características físico-químicas de este, del estado de crecimiento del cultivo, de las labores culturales que se realizan y de las condiciones meteorológicas imperantes. El mismo autor indica que muchos investigadores han conceptualizado el sistema suelo-planta-atmósfera como un conjunto biofísico en el cual todos los procesos de transferencia ocurren en una forma inter-dependiente. En este el flujo de agua recorre siempre en sentido de disminución de la energía potencial: del suelo hacia la raíz de la planta; de la raíz hacia las hojas y de las hojas de la planta hacia la atmósfera.

2.6.1 El agua en el suelo

Aidarov *et al.* (1985) y Calvache (1984) concuerdan que el suelo es un sistema poroso y posee propiedades de retener y transmitir el agua en menor o mayor cantidad en función de sus características físicas-químicas, físico-mecánicas, hidrofísicas, biológicas, térmicas de aireación, eléctricas y radioactivas, etc. que difieren del perfil del suelo, también explican que el agua del suelo se encuentra generalmente en movimiento. De esta manera, cuando se adiciona una determinada cantidad de agua en el suelo por irrigación o lluvia ésta penetra y se distribuye en el perfil. Si esta cantidad adicionada, excede a la capacidad de infiltración del suelo, su exceso se mueve lentamente sobre su superficie.

2.6.2 Retención de agua por el suelo

La relación entre el contenido de humedad y la tensión matricial del agua en un suelo se expresa gráficamente mediante “la curva característica de humedad”, que depende de la textura y de la estructura del suelo ya que viene influida por el número y el tamaño de poros (Fuentes, 1998).

Según Ferere (2002) el agua retenida en el suelo debe estar disponible para satisfacer la evapotranspiración de los cultivos y el lugar en donde puede ser almacenado para suplir esta demanda es el suelo de la zona de las raíces. La capacidad de almacenamiento de agua estará de acuerdo a sus características físicas.

2.6.3 Curva característica de retención de humedad del suelo

Cuando el contenido volumétrico de humedad (H_v), se expresa en función del potencial matricial (ψ_m), se obtiene una función de retención de humedad la cual algunas veces es de modelo potencial y otros logarítmicos. La representación grafica de esta función se conoce como curva característica de retención de humedad (figura 2). La tabla 1 registra contenidos volumétricos de humedad de los suelos típicos en %, a diferentes valores de potencial matricial en atmósferas (Ferere, 2002).

Tabla 1. Contenido volumétrico de humedad de suelos típicos en %, en función del potencial matricial expresado en atmósferas.

Potencial matricial, atm	0.1	0.3	1	3	5	10	15
Suelo arcilloso	42.51	37.92	32.88	28.29	25.50	23.25	21.56
Suelo franco	28.10	25.21	22.04	19.15	17.50	15.96	14.91
Suelo arenoso	10.12	9.00	7.77	6.66	6.14	5.43	5.02

Potencial matricial: es igual a la tensión de agua en el suelo, pero con signo positivo

Fuente: Ferere (2002)

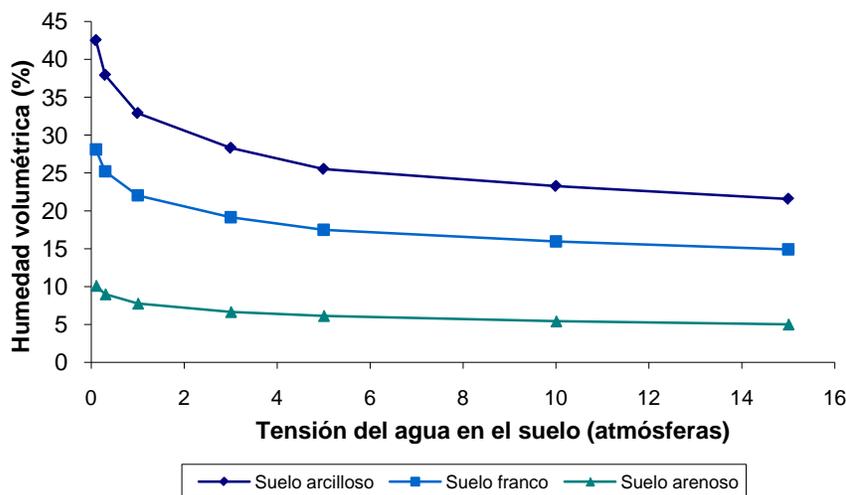


Fig. 2. Curvas características de retención de humedad para varios tipos de suelos

De la figura 2 se observa que para cada tipo textural de suelo, la curva de retención de humedad es diferente, así en suelos arenosos el agua no es retenida con demasiada fuerza, en cambio en suelos pesados o arcillosos para el mismo porcentaje de humedad la fuerza de retención es mayor (Amurrio, 2002).

2.6.4 Capacidad de Campo

Representa el contenido volumétrico de humedad de un suelo cuando se alcanza un equilibrio entre la fuerza de tensión superficial del agua en el suelo y la fuerza de peso de la misma. Con frecuencia se dice que es un contenido de agua luego que ha perdido su agua gravitacional. Una aproximación al valor de la Capacidad de Campo (CC) puede lograrse en campo después de aplicar un riego hasta saturación del suelo y determinando los contenidos de humedad a intervalos de tiempo; cuando se observa que no hay cambios sustanciales con el tiempo, se puede aceptar ese valor aparentemente asintótico como el contenido volumétrico de humedad a CC (Ferere, 2002).

En la mayoría de los suelos agrícolas este valor puede alcanzar entre 24 y 48 horas después de aplicado el riego hasta saturación. En laboratorio la CC se determina de muestras de suelo sin disturbar previamente saturadas y luego sometidas a potenciales matriciales entre -0.1 y -0.3 atmósferas, valores límites entre las cuales ocurre la CC (Ferere, 2002).

2.6.5 Punto de Marchites Permanente

Se define como el contenido volumétrico de humedad del suelo que somete a la planta a tal nivel de estrés que esta no podrá recuperarse ni aun después de aplicar agua al suelo. Se ha aceptado universalmente que el Punto de Marchitez Permanente (PMP) se alcanza a un potencial matricial de -15 atmósferas, para la mayoría de las especies vegetales. Puede ser determinado experimentalmente sometiendo a estrés de humedad la especie vegetal en cuestión hasta observar su muerte fisiológica momento en el cual se determina el contenido volumétrico de humedad. En el laboratorio se determina sometiendo una muestra de suelo no disturbada a un potencial matricial de -15 atmósferas en un plato de presión (Ferere, 2002).

2.6.6 Agua disponible

En una curva característica de retención de humedad hay dos límites CC y PMP, entre la cual está comprendida el agua disponible para las plantas. Estar disponible significa que en efecto lo está, pero a diferentes niveles de potencial matricial. Esto indica que para extraer el agua del suelo cuando este está a un determinado nivel de humedad volumétrica la planta debe realizar un trabajo de succión equivalente al potencial matricial que corresponde en la curva a dicha humedad (Ferere, 2002).

Fuentes (1998) explica que el agua disponible para las plantas es el agua comprendida entre la CC y PMP. También indica que el agua disponible para las plantas es el agua disponible contenida en una profundidad del suelo que alcanza las raíces.

2.6.7 Reserva fácilmente disponible y fracción de agotamiento

Fuentes (1998) señala que la reserva de agua fácilmente disponible (FA) es la cantidad de agua que está entre los niveles de humedad de CC y FA, el cual pueden absorber las plantas sin hacer un esfuerzo excesivo y por tanto sin que haya una disminución del rendimiento. La reserva de agua fácilmente disponible es igual a la reserva del agua disponible multiplicado por el coeficiente llamado fracción de agotamiento de agua disponible.

Cada vez que la humedad del suelo descienda hasta el nivel de FA debe aplicarse agua al suelo por medio del riego hasta alcanzar el nivel de CC para cumplir con el manejo adecuado del riego, además del conocimiento de la retención de humedad del suelo y del nivel de tolerancia permisible al estrés de humedad para la planta, para lo cual se debe contar dispositivo que permita conocer en cualquier momento el contenido de humedad (Ferere, 2002).

La fracción de agotamiento del agua disponible o umbral de riego depende del cultivo del tipo de suelo y la magnitud de transpiración (Fuentes, 1998).

2.7 Determinación del contenido de agua del suelo

2.7.1 Métodos directos

El contenido de humedad se puede expresar en forma gravimétrica o volumétrica. Para expresarlo en forma gravimétrica se pesa una muestra de suelo en estado húmedo y después, en estado seco, haciendo el secado en estufa a 105 °C hasta peso constante. Posteriormente se procede como ya se indicó con anterioridad al considerar las formas de expresar el contenido de humedad del suelo. Para la determinación volumétrica se deben tomar las muestras con recipientes de volumen determinado (Fuentes, 2002). Para Amurrio (2002) los métodos directos es uno de los más utilizados y es el método que sirve para calibrar los otros métodos.

2.7.2 Métodos indirectos

El dispersor de neutrones consiste en una fuente de neutrones rápidos o de alta energía y un detector de neutrones lentos o térmicos. Los neutrones rápidos se vuelven lentos por colisión con el núcleo de materia en el suelo y luego son absorbidos por la materia del suelo. Debido a que la masa del núcleo del hidrógeno es la misma que la de un neutrón libre, la presencia de hidrógeno origina un gran campo de neutrones térmicos. La detección de neutrones térmicos se asocia al contenido volumétrico de humedad del suelo previa calibración del aparato (Ferere, 2002).

2.8 Uso consultivo

Según Amurrio (2002) el consumo de agua está relacionada con conceptos de evapotranspiración del cultivo (ETc) o evaporación total y uso consultivo (UC): la ETc es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla. En cambio el UC está formado por la ETc más el agua que utilizan los cultivos en la formación de sus tejidos vegetales durante el desarrollo del ciclo vegetativo de los cultivos dentro de las condiciones que fija el medio donde se desarrolla.

El mismo autor señala que el consumo de aguas por los cultivos es determinado por la ETc y es igual al UC; entonces el concepto más usado es la ETc que el UC.

2.9 Balance hídrico

2.9.1 Demanda de agua por los cultivos

Al momento de definir la cantidad de agua aplicar en el riego es frecuente confundir los términos evapotranspiración del cultivo o demanda evapotranspirativa con las necesidades de riego para el cultivo.

La demanda de agua (Da) de los cultivos se obtiene al hacer el balance entre las ganancias (precipitación efectiva) y las pérdidas de agua (evapotranspiración real). Tal como se aprecia en la siguiente relación:

$$Da = ET - (Pe + d_1 + d_2)$$

Donde:

- Da = Demanda de agua, mm
- ET = Evapotranspiración real o actual, mm
- Pe = Precipitación efectiva, mm
- d₁ = humedad que existe en el perfil del suelo, mm
- d₂ = Aporte del nivel freático, mm

Por razones prácticas cuando no se tiene información confiable de d₁ y d₂, estos parámetros se hacen igual a cero, quedando la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$Da = ET - Pe$$

Entonces la demanda es el agua que necesita la planta ya sea en forma diaria o mensual, en zonas donde no existe precipitación la demanda de agua por las plantas es igual a la evapotranspiración real.

2.9.2 Necesidades de riego

La cantidad de agua que debe reponerse al suelo en cada riego, correspondiente al volumen de agua que dicho suelo puede almacenar entre el contenido de humedad a capacidad de campo y el contenido de agua seleccionada como punto de partida para el riego, es decir repondremos la humedad de déficit determinada al momento de definir la humedad fácilmente utilizable. La lamina de agua aplicar al suelo para conseguir que este se encuentre a capacidad de campo y así compensar la cantidad de agua evapotranspirada por las plantas (Ferere, 2002).

Según Amurrio (2002) el balance hídrico se refiere a la disponibilidad o no del recurso agua, el mismo no es más que una relación de entradas (precipitación pluvial efectiva, riego, ascenso capilar) y salidas (evapotranspiración del cultivo, escorrentía superficial, percolación profunda y variación de la cantidad de agua en el suelo).

2.9.3 Balance hídrico en sistemas de riego

Para Hoogendam y Ríos (2008) el balance hídrico expresa la relación entre la oferta y la demanda de agua para riego. Normalmente se calcula por mes. Para el diseño es un parámetro que ayuda a evaluar si en toda la etapa de crecimiento hay suficiente agua en la fuente para satisfacer la suma de requerimientos de los cultivos en el área de influencia (AR).

Se recomienda usar el balance hídrico también para evaluar las ganancias de agua y de área regable producto de la innovación tecnológica y así incorporarlas en los análisis económicos.

2.10 Caudal máximo no erosivo

Debido a que el agua escurre sobre por canales (surcos) desnudos, la posibilidad de erosionar el suelo y de esta manera de perder suelo es elevado. Por ésta razón en este tipo de riego se debe determinar el caudal máximo utilizable para no perder suelo por efecto de la erosión. Este caudal se denomina Caudal Máximo No Erosivo (Q_{mne}), el cual depende de la pendiente y se puede calcular según la siguiente fórmula (Innova Chile CORFO, 2008):

$$Q_{mne} = 0.63/S$$

Donde:

Q_{mne} : Caudal máximo no erosivo, l/s

S : pendiente del suelo, %

En la tabla siguiente se entregan caudales máximos no erosivos según la pendiente del terreno:

Tabla 2. Caudales máximos no erosivos según la pendiente del terreno

Pendiente [%]	Caudal máximo no erosivo [l/s]
0.3	2.0
0.5	1.2
1.0	0.6
1.5	0.4
2.0	0.3

Fuente: Israelsen (1964)

Su valor puede ser determinado a partir de ensayos de campo o bien empíricamente a través de la fórmula de Criddle, la cual entrega el valor en función de la pendiente longitudinal de los surcos, pero presenta como restricción que sólo puede ser utilizada con pendientes mayores a 0.2 % y menores a 1.2 % (Israelsen, 1964).

2.11 Marco integral de los proyectos

Es necesario desarrollar enfoques, conceptos y metodologías que respondan a las condiciones de un espacio medio ambiental diverso, heterogéneo y de una enorme fragilidad, así como a las capacidades existentes en instituciones y usuarios en el país proporcionando la formulación de políticas y estrategias específicas para su desarrollo en base principalmente a los criterios siguientes (PRONAR, 2002):

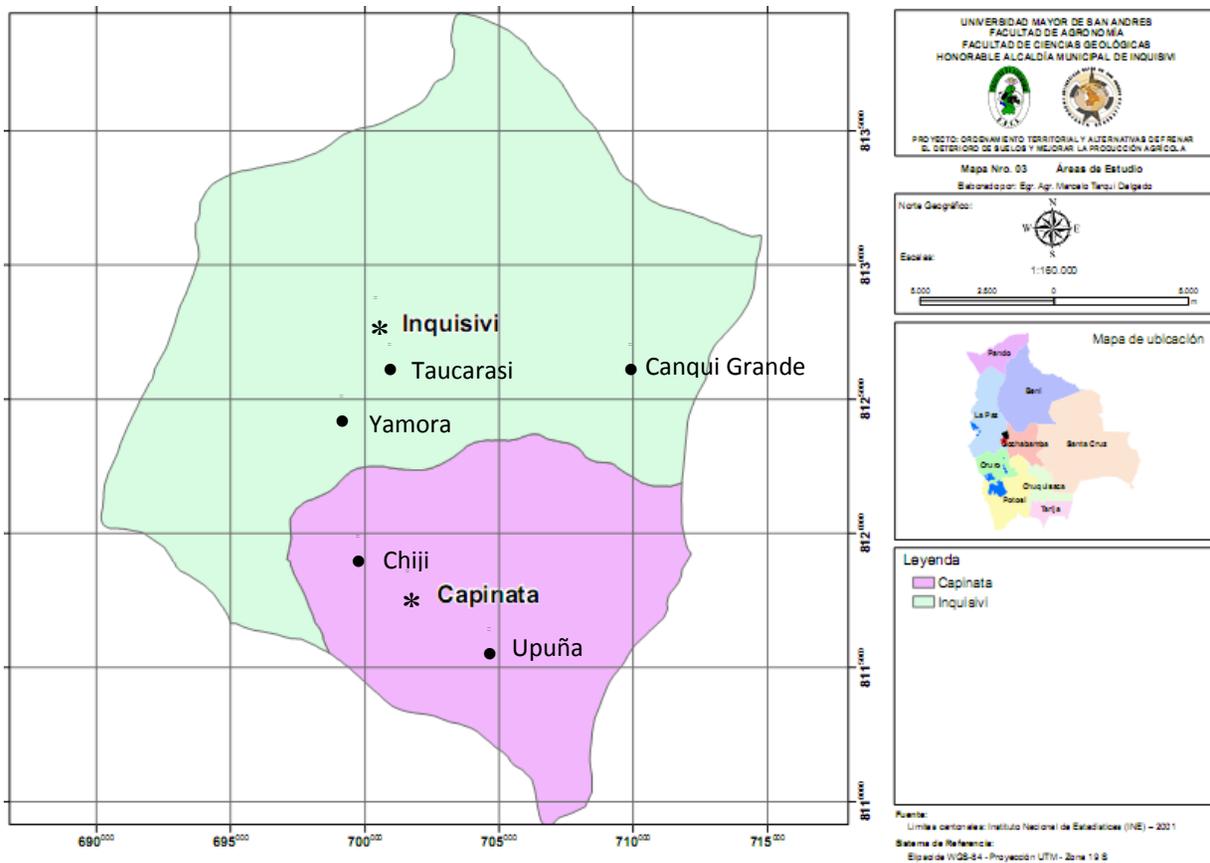
- Orientar la implementación de proyectos de riego con enfoque de prestación de servicios proporcionando acciones concertadas entre instituciones y usuarios.
- Partir de la demanda de los usuarios y comunidades fortaleciendo su capacidad de formulación.
- Reconocer las potencialidades de los usuarios, incentivar su participación y fortalecer su capacidad de negociación privilegiando el rol de la comunidad.
- Aprovechar la capacidad técnica e institucional instalada, ampliando y desarrollando la asistencia técnica y el apoyo financiero.
- Sistematizar y difundir experiencias, conceptos y metodologías en la implementación de proyectos y la gestión de sistemas de riego.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El Municipio de Inquisivi se sitúa entre las coordenadas geográficas de 15°47'35" - 17°18'20" de latitud Sud y entre los 66°43'29" - 67°17'59" de longitud Oeste y una altitud de 2785 msnm. Se encuentra al Este del departamento de La Paz y limita al Este con la Provincia Independencia del Departamento Cochabamba (mapa de ubicación en la Fig. 3).

Fig. 3. Mapa de ubicación del Área del Proyecto (Cantones de Inquisivi y Capiñata).



Fuente: Tarqui (2013) y UMSA (2011).

Según el Ordenamiento Territorial del Municipio de Inquisivi está conformada por tres distritos Norte, Centro y Sur; el distrito Centro cuenta con cuatro cantones: Eduardo Abaroa, Escola, Inquisivi y Capiñata que comprenden una superficie aproximada de 897.80 Km². Los microsistemas de riego en estudio están ubicados en los cantones de Inquisivi y Capiñata, específicamente en las comunidades de Taucarasi, Yamora, Chiji, Upuña y Canqui Grande.

3.2 Características generales de la zona de estudio

3.2.1 Clasificación climática

El clima predominante es templado en los valles meso térmicos. La temperatura media anual del aire fue de 15.9°. La temperatura máxima promedio fue de 23.8 °C que se registra en primavera. La temperatura mínima media registrada fue de 4 °C entre los meses de junio y junio. El período de lluvias se concentra desde el mes de diciembre a marzo, con una precipitación media anual de 860 mm (SENAMHI, 1973 - 2011). La radiación solar del mes de junio fue de 450 cal/cm²*día y entre los meses de noviembre y enero fue de 370 cal/cm²*día. La evaporación media estimada fue de 3.7 mm/día.

De acuerdo a su clima, Inquisivi se clasifica como una zona semiárido según el índice balance hídrico de -20 a -40 y una evapotranspiración anual alrededor de 1350 mm. La situación geográfica del Cantón Inquisivi y Capiñata condiciona una diferenciación hídrica marcada que abarca desde sub húmedo a seca; la presión atmosférica, la altitud, la topografía y orientación de las laderas, determinan las variaciones locales de clima (CIASER-GEOBOL, 1985).

3.2.2 Precipitación

La precipitación pluvial anual promedio registrada para el periodo 1974 – 2005 de la zona de Inquisivi fue de 860.0 mm (en base a las estaciones de Chorocona y Independencia); la precipitación máxima mensual fue registrada en el mes de enero con 184.6 mm y la menor se registro en el mes de junio con 12.0 mm.

3.2.3 Recursos hídricos

El municipio de Inquisivi forma parte de la cuenca del río Beni. Cuenta con diferentes tipos de recursos hídricos superficiales (ríos perennes, ríos efímeros y vertientes) y forma parte de la cuenca del río Sacabaya donde confluyen los ríos Kathu, Jucumarini y Ayopaya, el sistema de drenaje es dendrítico de densidad media (UMSA, 2011).

Topografía: La zona de estudio, se caracteriza por su topografía fuertemente plegada, con pendientes que varían desde empinadas a muy empinadas, con pendientes desde 20% a 60%, y las pendientes muy pronunciadas están próximas a la cordillera de Tres Cruces.

Las cumbres de mayor altitud se encuentran en los siguientes Pisos Ecológicos Subalpino y Piso Montano (cabecera de valle y valle), y en la parte más baja se tiene el Piso Montano Bajo (sub trópico), según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge (1978).

Fisiografía: El valle de Inquisivi, forma parte de la gran Meseta Andina que es parte de los valles interandinos que abarca desde el Norte de La Paz, pasando por Sorata, Palca, Río Abajo, Inquisivi, Caracato, Luribay, Araca y extendiéndose hacia los Yungas.

CIASER-GEOBOL (1985) señala que el valle de Inquisivi se encuentra en la provincia fisiográfica de la cordillera Oriental, se caracteriza por presentar paisajes predominantes de montañas y serranías de origen estructural modeladas por procesos glaciales. Los valles son profundos y encajados con pequeñas terrazas aluviales como resultado de los procesos de erosión fluvial. Asimismo, la clasificación realizada por PRONALDES (1996), Inquisivi se caracteriza por ser una región árida a sub húmeda seca, conformada por un paisaje muy accidentado; presenta alto índice de degradación de suelos y cobertura vegetal.

3.3 Materiales

3.3.1 Materiales para la evaluación del sistema de riego

- Sistema de Posicionamiento Global (GPS) “Garmin”
- Sensor de humedad portátil (TDR)
- Balanza analítica de pesaje hasta 400 gramos
- Molinete de hélice, aforador Parshall y cilindros infiltrómetro
- Equipo de muestreo de suelo: maletín de aluminio impermeable con cilindros metálicos de 100 cm³ de volumen, martinete, bolsas de plástico y navajas.
- Eclímetro para medir la inclinación de los terrenos (pendiente).
- Manómetros de aguja de 0 a 10 bares, con acoplamiento para medir la presión en las tuberías principales y de distribución.
- Herramientas: palas, picotas, baldes y maderas
- Cámara fotográfica, cronómetro, calculadora, planilla de campo, regla y lápices
- Wincha y flexo metro
- Cartas geográficas y croquis
- Planilla de encuesta

3.3.2 Materiales de laboratorio

- El análisis de suelos referente a las propiedades físicas y químicas fue realizada en el Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear IBTEN, CIN-Viacha.

3.3.3 Materiales de gabinete

- Material de escritorio y equipo de computadora.
- Cartas cartográficas de IGM a Escala 1:50 000.

3.4 Metodología

3.4.1 Recolecta y consulta de literatura especializada

Se recolectó información de páginas electrónicas y bibliotecas especializada acerca de la temática de estudio, como ser artículos científicos, revistas, libros y otros; asimismo se consultó a expertos con la finalidad de direccionar y apoyar la investigación, plantear las metodologías y para contrastar los resultados.

3.4.2 Evaluación climática

Para ello se recolectó información climática diaria y mensual desde SENAMHI-La Paz, de las estaciones de Independencia y Chorocona desde año 1973 a 2011.

Índice de sequía: los cálculos del Índice de Sequía (Índice de Humedad Disponible De Martonne) se obtuvieron a través de la siguiente expresión empírica (Amurrio, 2002):

$$Y = \frac{12 * p}{t + 10}$$

Donde:

- Y = Índice de sequía
- p = Lluvia mensual, en mm
- t = Temperatura media, en °C

En la tabla 3 se presenta los índices de sequía y la condición de humedad de la zona de estudio.

Tabla 3. Índices de sequía y la condición de humedad disponible de la zona de estudio

Índice de sequía	Condición de humedad disponible de las zonas
5 a 10	Períodos secos, zonas áridas donde es imprescindible el riego
10 a 20	El riego es necesario en la agricultura
20 a 30	Es necesario regar los cultivos de mayor demanda de agua
30 a 40	Se requiere de riegos esporádicos o complementarios
> a 40	Zonas muy húmedas, requiere drenaje

Fuente: Amurrio (2002)

Índice de Lang o índice *pluviométrico, pluvio-factor de Lang* (1915) o *regenfaktor* es igual a la división de las precipitaciones entre las temperaturas medias anuales. Actualmente su uso a nivel científico es poco; se utiliza debido a su simplicidad pero sigue teniendo un gran valor a nivel educativo.

$$IL = \frac{P}{T}$$

En donde:

- IL = Índice de Lang
- P = Precipitaciones anuales, en mm
- T = Temperatura media anual, en °C

El índice de Lang para su interpretación y clasificación del tipo de clima utiliza el índice pluviométrico de la tabla 4.

Tabla 4. Índice de Lang o índice pluviométrico

Tipo climático	Índice de Lang
Desiertos	0 - 20
Árida	20 - 40
Estepa y sabana	40 - 60
Templado cálido	60 - 100
Templado húmedo	100 - 160
Húmedo	>160

Fuente: Rivas Martínez (2005)

Índice de aridez de la UNEP: según el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1992) las tierras áridas tienen una relación de precipitación anual promedio (P) respecto a la evapotranspiración potencial (ETP) menor de 0.65.

$$Ia = \frac{P}{ET}$$

En donde:

- Ia = Índice de ridez
- P = Precipitaciones anuales, en mm y
- ET = Evapotranspiración potencial media anual, en mm

El índice de UNEP para su interpretación y clasificación del tipo de clima, utiliza el índice de aridez de la tabla 5.

Tabla 5. Índices de aridez según UNEP

Tipo climático	Índice de humedad
Húmedo	> 0.65
Sub húmedo - seco	0.65 - 0.5
Semiárido	0.5 - 0.2
Árido	0.2 - 0.05
Hiperárido	< 0.05

Fuente: UNEP (1992)

Índice de humedad de Thornthwaite: fue creado por Thornthwaite (1933) expresa el porcentaje del exceso o defecto de la precipitación anual (P) respecto a la evapotranspiración anual (ET).

$$IH = \frac{(P - ET)}{ET} * 100$$

En donde:

- IH = Índice de Humedad
- P = Precipitación anual, en mm
- ET = Evapotranspiración anual, en mm

El índice de humedad de Thornthwaite para su interpretación y clasificación del tipo de clima, utiliza los valores de índice de humedad según la tabla 6.

Tabla 6. Valores de humedad según el índice de Thornthwaite

Tipo climático	Índice de humedad
Sub húmedo - húmedo	0 a 20
Seco sub húmedo	-20 a 0
Semiárido	-40 a -20
Árido	-60 a -40

Fuente: Thornthwaite (1948)

Aforo de caudales: el método de aforo fue de caudales para corrientes superficiales del “Manual 68” de la FAO (1996) y SEBA Hydrometrie (2013). El aforo se realizó en ríos de alta montaña y flujo de las vertientes (fotografía2).



Fotografía 1. Aforo de caudales de los ríos de alta montaña

Para el caso de los flujos de agua de las tuberías, el aforo se realizó por el método de la cubeta en las cámaras para romper la presión e hidrantes.

Medición de la humedad el suelo: el procedimiento de la medición de la humedad del suelo fue de acuerdo al “manual del usuario Modelo 6430FS para TDR 300 tipo Field Scout” (fotografía 3), antes y después de los riegos y sucesivos hasta el siguiente turno de riego.



Fotografía 2. Medición de la humedad del suelo en las parcelas de cultivo

Las lecturas registradas fueron antes y después del riego para conocer la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos después de un evento de riego, como también para estimar la variación de la humedad hasta el siguiente evento de riego Rojas (2004), con una secuencia diaria al principio y después con un intervalo de dos días por lectura.

La calibración de los sensores de humedad fue mediante el método gravimétrico para las muestras de suelo húmedo, seco y mojado: se realizó la correlación de las lecturas del TDR versus los valores del contenido de humedad de los suelos.

Determinación de la velocidad de infiltración: para determinar la velocidad de infiltración (VI) en condiciones de valles interandinos con pendientes entre 20 a 50 %, el método empleado fue el de hoyo cuadrático que se adecua para condiciones de laderas (figura 4), debido a que no se dispone de un lugar plano para emplazar el método de cilindros infiltrómetros. Este método consiste en lo siguiente:

- Un cuadrado de dimensiones 0.50 * 0.50 m
- Un franja cuadrática de humedad que rodea al cuadrado
- Separación entre el cuadrado y la franja es de aproximadamente de 0.10 m.

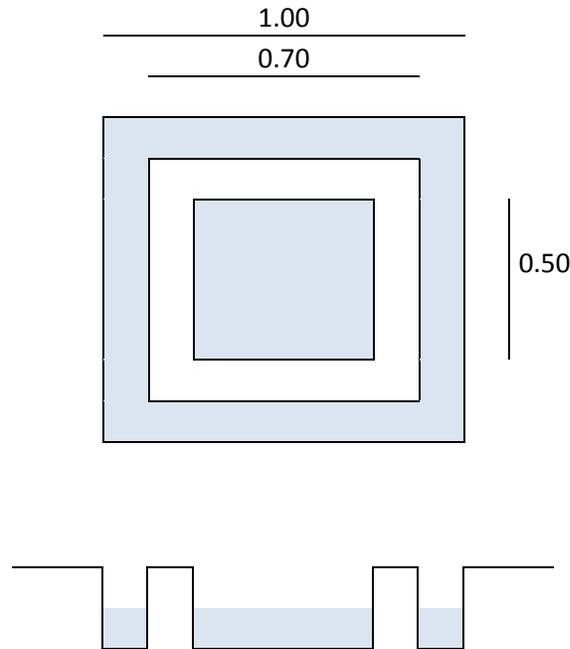


Fig. 4. Vista de planta y perfil del hoyo de infiltración para laderas

El procedimiento para determinar VI en condiciones de terreno en ladera es la siguiente:

- Colocar una regleta en la pared del “estanque central”.
- Llenar la franja externa con agua unos minutos antes.
- Luego verter aguas en el hoyo cuadrado central hasta una altura viable.
- Registrar los descensos de agua de acuerdo a los periodos establecidos en la planilla de infiltración y similar al método de cilindros infiltrómetros.

Para determinar la ecuación básica de infiltración se empleó la ecuación básica de Kostiakov (1932).

$$I = K * t^n$$

Donde:

- I = Velocidad de infiltración instantánea, en mm/h o cm/h
- K = Coeficiente que representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial, entonces depende de la estructura y de la condición de suelo.
- T = Tiempo de contacto de agua con el suelo, en min u h
- N = Coeficiente exponencial que depende de los cambios de estructura del suelo y varía entre 0 a 1 (con signo positivo).

La expresión general de la velocidad de infiltración que representa una curva que puede linealizar escribiendo logarítmicamente, considerando n con signo negativo (-n).

$$I = Kt^n$$

$$\text{Log } T = \text{Log } K - n * \text{Log } t$$

En la ecuación logarítmica representa gráficamente, se indica que k es la ordenada en el origen para una t inicial.

$$I = Kt^{-n}$$

Funciones de Infiltración:
Velocidad de infiltración

$$I = aKT^{a-1}$$

Infiltración acumulada

$$Z_{in} = kT^a$$

Tiempo de la Velocidad de Infiltración Básica

$$t_b = (-10 * n)$$

$$t_b = -600(a - 1)$$

Velocidad de Infiltración Básica

$$I_b = K(-10n)^n$$

El régimen de la velocidad de infiltración en los suelos se puede establecer de manera general en el siguiente orden (tabla 7):

Tabla 7. Régimen de velocidad e infiltración en los suelos

Régimen de infiltración	Valor	Unidad
Velocidad de infiltración muy lenta	< 0.13	[cm/h]
Velocidad de infiltración lenta	0.13 - 0.50	[cm/h]
Velocidad de infiltración relat. lenta	0.50 - 2.00	[cm/h]
Velocidad de infiltración media	2.00 - 12.70	[cm/h]
Velocidad de infiltración rápida	12.7- 25.00	[cm/h]
Velocidad de infiltración muy rápida	> 25.0	[cm/h]

Fuente: Amurrio (2002)

3.4.3 Distribución de agua y operación del sistema

Se aplicó un enfoque socio-técnico, que permitió ver no sólo los aspectos físicos y técnicos, sino también los aspectos sociales que determinan el funcionamiento del sistema de riego. La metodología propuesta consistió en el “seguimiento de agua” que fue hecho de una manera directa, es decir, levantando la información en campo, viendo el riego; o de una manera indirecta, mediante la aplicación de entrevistas a informantes clave, como son los jueces o ex-jueces de agua (Díaz 2012):

3.4.3.1 Levantamiento de información en campo

Durante el periodo de recolecta de información técnico-social en campo se realizó las siguientes actividades:

Levantamiento de información de la cuenca: relieve, morfología, geología, hidrología, fenómenos meteorológicos, desastres naturales, suelos, ecología y uso actual del suelo: Para conseguir esta información se recurrió a los documentos existentes de estudios referidos a ordenamiento territorial del municipio de Inquisivi, diagnóstico sobre las actividades agrícolas e investigaciones referidas al tema.

Cedula de cultivo y cobertura vegetal: para el levantamiento de la información de la cedula de cultivos se considero una población representativa de productores mediante a) la medición física de las parcelas de cultivo y b) el sondeo a través de encuestas a los productores considerado. Posteriormente esta información fue ponderada al área total cultivada, y el resto fue considerado como praderas y bosque.

Estimación de láminas de riego por cultivo y por zonas de riego fue en función del área, caudal y tiempo: se considero para ello los siguientes parámetros: caudal de operación del aspersor, área regada por posición, el tiempo de aplicación y la pérdida por evaporación directa tomando en cuenta la siguiente relación:

$$Lr = \frac{Q * t * 3600}{A_p}$$
$$Lrn = Lr * C$$

Donde:

- Lr = Lámina de riego, en mm
- Lrn = Lámina de riego neta, en mm
- Q = Caudal de operación del aspersor, en l/s
- T = Tiempo de aplicación de agua por posición, en horas
- A_p = Área de mojado, en m²
- C = Coeficiente de pérdida por evaporación directa y viento: 5 a 10 %.

Además también se determinó las distancias entre los aspersores, el área por posición y el número de posiciones por parcela:

Distancia entre posiciones:

$$d_p = R_a \sqrt{2}$$

Área por posición:

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

Número de posiciones por parcela:

$$NPP = \frac{A_c}{A_p}$$

Donde:

- Dp = Distancia entre posiciones, en m
- Ra = Radio mojado del aspersor, en m
- Ap = Área por posición de aspersión, en m²
- NPP = Número de posiciones por parcela

Levantamiento de información de la infraestructura de riego: esta actividad se realizó mediante la verificación de las obras de riego emplazadas en los sistemas de riego en estudio (Chiji, Upuña, Taucarasi, Yamora y Canqui Grande). Se evidenció el estado de la red de distribución de agua y el estado de las estructuras de captación de agua, cámaras de aducción, acueductos, estanques, sistema de conducción y distribución.

Turnos de riego por cultivo o zona de riego: esta información se recolectó en campo mediante entrevistas a jueces, ex-jueces y regantes, tanto de microsistemas familiares y comunales. Que consistió en recolectar información sobre las frecuencias de riego y la duración de los turnos de riego.

Descripción del método de riego y aplicación de agua en las parcelas: esta información se obtuvo de la descripción directa del riego de las parcelas cultivadas (dos a tres parcelas cultivadas por época).

Recopilación de información referente a distribución de agua, derechos, organización, operación y mantenimiento: esta información se obtuvo de las entrevistas realizadas a los regantes y autoridades responsables de riego.

Medición de la presión en los sistemas de conducción y distribución: para ello se utilizo un manómetro en seco para conocer las presiones en unidades de bares que ejerce el agua a las paredes de las tuberías de los sistemas de conducción y distribución, durante la operación del sistema de riego, y con tres lecturas por hidrante para la ponderación estadística (fotografía 4).



Fotografía 3. Medición de la presión en los hidrantes del sistema de conducción.

3.4.4 Alternativas de mejora de riego tecnificado y caudal no erosivo

Para cumplir con esta variable se identifico todos problemas referidos a sistemas de captación, aducción, conducción, distribución, aplicación, manejo tradicional de los aspersores, emisores de aspersión e inclinación de los porta aspersores.

Sistemas de captación y aducción: evaluación de la eficiencia de captación, deficiencias en su diseño, estado, condición y operatividad.

Sistema de conducción y distribución: evaluar el diámetro de las tuberías, pendientes, desniveles, presiones, aire comprimido, válvulas, tipos de tubería, distancias, cámaras rompe presiones y las pérdidas de carga.

Aplicación de agua: para ello se considero las frecuencias de riego, tiempos de riego, láminas de riego, caudales y áreas regadas por posición, radios de mojado y profundidades de mojado.

Manejo de los aspersores: tipo y características de los aspersores, desempeño y rendimiento de los aspersores.

3.4.5 Procesamiento de información en gabinete

Hidrología y recursos hídricos: para el estudio hidrológico se determino los parámetros de la cuenca mediante el uso de imágenes satelitales, información cobertura vegetal, uso de suelos, uso de agua, información climática y SIG; se realizó los balances hídricos, generación de caudales sintéticos y caudales observados en lo posible. Para conocer con que recursos hídricos se cuenta en la cuenca para fines de planificación de uso.

Procesamiento de la información hidro - meteorológica: la información climática de las Estaciones de Independencia y Chorocona fueron procesadas para la base de datos considerando su continuidad y representatividad. Luego se procedió a normalizar y homogenizar las series, relleno de valores faltantes y la corrección de datos; con ello, se procedió a determinar las distribuciones estadísticas y los ajustes para realizar las modelaciones necesarias y las calibraciones respectivas.

Referente a los análisis de suelos y aguas se procedió a su interpretación: en el caso de los suelos para conocer su aptitud para riego y su grado de fertilidad; y en caso del agua si son aptos para su uso en la agricultura.

Balance hídrico y riego: con la información climática se realizó la clasificación climática de la zona empleando los índices climáticos (aridez y humedad); asimismo, usando las planillas de Excel se determino la ETo, Kc, ETc y los balances hídricos locales.

Con la información de los parámetros hidro-físicos se determino el contenidos de humedad a CC, PMP, UR, FA, curva pF, curva de retención de humedad (tensión de humedad) del suelo, con la finalidad determinar las laminas de riego y las necesidades hídricas de los cultivos, utilizando las metodologías de Fuentes (1998) y Ferere (2002).

Eficiencias de riego: para ello se realizo los aforos respectivos en la toma de agua, al inicio y final de la tubería o canal principal, con ello se determinó las eficiencias de captación, y conducción; también se realizo el aforo de las tuberías o canales de distribución para determinar la eficiencia de distribución y finalmente se determino las pérdidas de agua en las parcelas de riego para estimar la eficiencia de aplicación.

Área bajo riego óptimo ABRO: con la información climática, cedula de cultivos, kc, caudales, áreas potenciales para riego, se determinó el área bajo riego óptimo y el área incremental, para ello se empleo planillas de cálculo en Excel y el software ABRO.

Caudal no erosivo: para ello se considero la pendiente del terreno de las laderas, tipo de suelo y caudales de aplicación; considerando que la tasa de infiltración de agua en la ladera no sea inferior a la tasa de caudal asperjado por el emisor en un sistema presurizado.

Finalmente se realizó el análisis de los resultados, la discusión y contrastación de manera que permita mostrar los resultados de la investigación y la síntesis de la información para presentar las conclusiones y recomendaciones.

3.5 Variables de respuesta

Considerando los aspectos físicos, técnicos y sociales que determinan el funcionamiento del sistema de riego y aplicada la metodología propuesta del “seguimiento de agua” que fue hecho de una manera directa, levantando la información en campo, viendo el riego; o de una manera indirecta, mediante la aplicación de entrevistas a informantes clave, como son los jueces o ex-jueces de agua, se planteo las siguientes variables de respuesta (Díaz, 2012)

- Datos generales de sistema y reseña histórica.
- Fuente de agua e infraestructura de riego (caudales, esquema hidráulico, estado y capacidades de las obras).
- Laminas de riego.
- Eficiencias de riego: captación, conducción, distribución y aplicación.
- Caudal no erosivo: se determinó considerando la pendiente del terreno, tipo de suelo, tasa básica de infiltración y caudales aplicados.
- Gestión de Riego: tomando en cuenta las siguientes consideraciones: derechos y obligaciones de los usuarios (tipos de usuarios, unidades de gestión), operación y distribución de agua (modalidades, épocas, caudales y volúmenes por unidad, frecuencias, turnos), mantenimiento (épocas, requerimientos y costos), administración (control, tarifas y mora) y oorganización (conformación y funciones).
- Cultivos y área bajo riego (zonas, cédulas de cultivos).
- Balance de oferta de agua (disponibilidad, demanda de agua, periodos de déficit).
- Área bajo riego óptimo ABRO y área incremental (planillas de cálculo en Excel).
- Problemas de infraestructura, gestión, balance y alternativas de solución.
- Planteamiento de alternativas de mejora y/o desarrollo de riego tecnificado.

Finalmente se evaluó si las láminas de agua aplicadas cubre los requerimientos hídricos de los cultivos (papa, maíz, zapallo, trigo, haba, arveja, etc.); es decir se riega en exceso o en déficit, en caso de riego deficitario que cantidad de agua sería necesario adicionar para “regar óptimamente”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Climatología de la zona de Inquisivi

El Municipio de Inquisivi presenta pisos ecológicos variados, desde el sur-este de características altioplánicas y hacia el nor-este con tendencia a un clima cálido tropical; asimismo presenta condiciones climáticas variables dentro de una misma zona debido a su altitud variable desde 1500 a 4400 msnm que determinan microclimas diferentes; cálido en el fondo del valle a diferencia de la ladera media de tipo cabecera de valle y estepa en lo alto de las montañas.

De acuerdo a ello, las laderas del valle de Inquisivi presentan un clima de semiárido a sub húmedo seco según el índice hídrico de - 40 a - 30 y una evapotranspiración anual de 1348 mm; este comportamiento climático y sus variaciones están influenciadas por la situación geográfica, la presión atmosférica, la topografía, las pendientes y la orientación de laderas, lo que condiciona un clima característico de esta zona y una diferenciación hídrica marcada.

4.1.1 Resumen Climático de la zona de Inquisivi

La estaciones climáticas del Municipio de Inquisivi están dispersa y la existente próxima a la Localidad de Inquisivi, es termo-pluviometría convencional (Estación de Chorocona) que a la fecha no se encuentra en operación; debido a ello, y su similitud altitudinal y proximidad se considero la Estación Climática de Independencia de Cochabamba (tabla 8), para el estudio del de la climatología local.

Tabla 8. Resumen de Datos Climáticos de la Estación de Independencia, Periodo 1973 - 2011

Estación:	Independencia	Latitud Sud:	17° 04' 53"
Departamento:	Cochabamba	Longitud Oeste:	66° 49' 07"
Provincia:	Ayopaya	Altitud:	2788 msnm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación,mm	184.6	153.4	124.5	36.0	11.8	12.0	13.1	30.5	41.6	55.0	74.5	122.4	859.4
Precip 24hr, mm	26.3	26.7	23.2	13.1	6.9	5.5	7.8	11.2	13.4	15.5	19.2	22.5	35.1
Temp. máxima, °C	21.9	21.5	21.7	22.1	21.7	20.6	20.5	21.1	22.0	23.0	23.8	23.1	21.9
Temp. mínima, °C	9.0	8.9	8.6	7.4	5.6	4.4	4.0	4.9	5.9	7.1	8.1	8.9	6.9
Temp. media, °C	15.6	15.4	15.4	15.0	13.8	12.6	12.3	13.1	14.1	15.2	16.0	16.1	14.5
HR, %	77.4	78.4	78.6	74.2	69.4	65.3	65.9	66.7	69.1	67.9	68.9	73.6	71.3
ET, mm/día	4.2	3.9	3.7	3.4	3.0	2.8	2.8	3.2	3.8	4.4	4.7	4.5	
ET, mm/mes	129.1	109.9	114.0	102.1	93.8	82.7	86.7	100.0	113.7	135.2	140.8	139.8	1347.8

4.1.2 Temperaturas máximas, mínimas y medias

La figura 5 elaborada en base a los datos de la tabla 8 presenta las variaciones máximas, mínimas y medias de las temperaturas de la zona de Inquisivi, periodo 1973 a 2011.

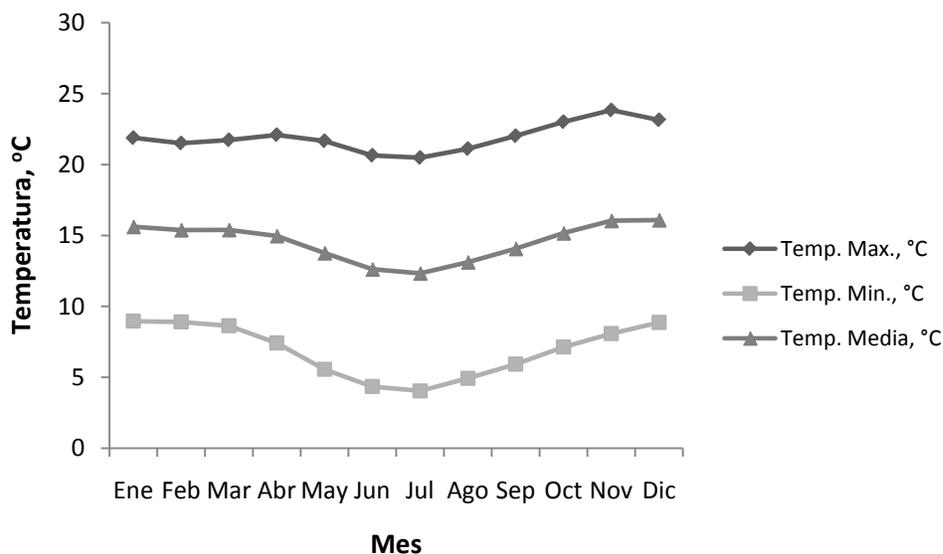


Fig. 5. Variación de las temperaturas máximas, mínimas y medias de la zona de Inquisivi para una altitud de 3750 msnm, periodo 1973 a 2011.

De acuerdo al promedio de las temperaturas del año 1973 a 2011, la amplitud térmica mayor registrada fue en la época de invierno con 16.4 °C durante el mes de julio, y por el contrario la amplitud térmica menor fue en la época húmeda (mes de febrero) con 12.6 °C (figura 5). Por ello, el comportamiento térmico es diferente; las amplitudes térmicas mayores se registran en la época seca (mes de octubre) con 16.2 °C y la menor variación entre la temperatura máxima y mínima fue en el mes de febrero con 12.6 °C para la estación meteorológica de Tacagua (Rojas, 2004). Por tanto, se indica que la magnitud de la amplitud térmica entre el valle de Inquisivi y el Altiplano de Tacagua de Oruro son similares.

La amplitud mayor de las variaciones de las temperaturas mínimas es debida al escape de la radiación terrestre en la época seca (ausencia de nubes) y lo contrario en la época de lluvias. Las temperaturas son el factor que determina el momento oportuno para las actividades agrícolas y el riego. En las laderas del valle de Inquisivi, si bien las condiciones climáticas son favorables para la producción agrícola durante el año; se ha evidenciado que los cultivos de verano como el maíz y el zapallo requieren temperaturas cálidas a diferencia de los cultivos de invierno como los tubérculos y leguminosas que requieren temperaturas templadas (cultivos de invierno).

Los registros de humedad relativa (HR) de las laderas del valle de Inquisivi presenta valores altos durante el mes de marzo con alrededor de 78.6 % y las menores en el mes de junio con 65.3 %, y asimismo presenta una relación significativa con el comportamiento 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.

4.1.3 Balance hídrico global de la zona de Inquisivi

Las laderas del valle de Inquisivi presentan una curva pluviométrica de bajas magnitudes en la época seca y altas en la época de lluvias típico de las regiones del Valle y el Altiplano como se puede apreciar en la figura 6. Asimismo, se observa la curva de la evapotranspiración referencial que permite evidenciar de forma general el balance de masas de agua de la zona Inquisivi considerando para ello la Estación Climática de Independencia de Cochabamba.

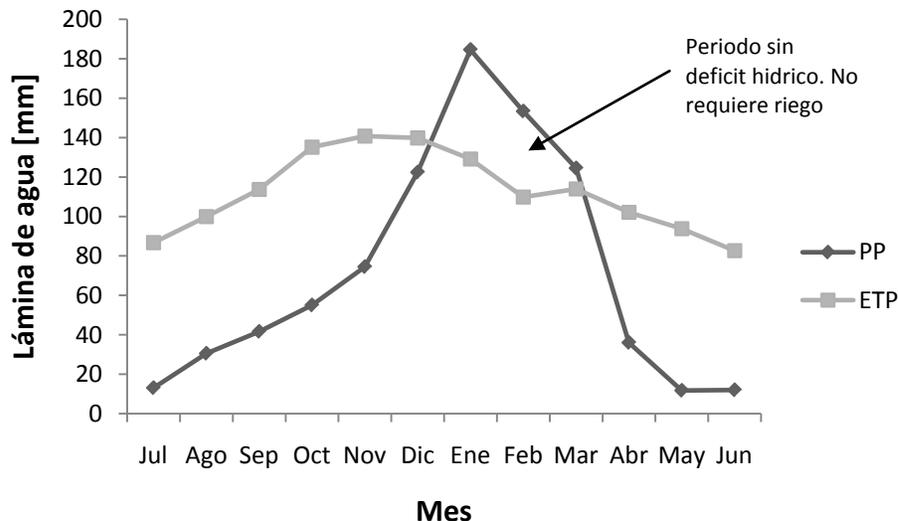


Fig. 6. Balance hídrico referencial para la zona de Inquisivi, considerando la Estación Climática de Independencia de Cochabamba.

Según balances de las masas de agua, las precipitaciones de los meses de enero a marzo son almacenadas en el perfil del suelo para la recarga de las aguas “subterráneas”; asimismo se forman las escorrentías superficiales que originan los caudales torrenciales de la época. En los meses de las precipitaciones altas no existe la necesidad de riego para los cultivos como referencia (figura 6), esto es corroborado por la zonificación para fines de riego (ver acápite 4.1.4). Por el contrario en la época seca (invierno y primavera) se evidencia 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 precipitaciones de magnitud media a baja (74.5 a 122.4 mm) y una evapotranspiración referencial de 140.8 a 122.4 mm.

4.1.4 Índices climáticos para la zona de Inquisivi

Para la estimación de los indicadores climáticos se considero los parámetros climáticos (principalmente temperatura y precipitaciones), la altitud, la latitud, la relación entre la vegetación y el clima.

Tabla 9. Índices climáticos de la Localidad de Inquisivi

Índice climático	Valor	Descripción
Índice Lang	59.1	Húmedas de estepa y sabana
Índice global de humedad	-36.2	Semiarido a sub húmedo seco
Índice de aridez de la UNEP	0.64	Sub húmedo seco

Los valores hallados en la tabla 9 indican que el comportamiento del clima de la localidad de Inquisivi varía de semiárido a sub húmedo seco. Aunque en las partes altas de las montañas se tiene un clima de estepa sub húmeda seco y sub húmedo en el fondo de los valles.

4.1.5 Zonificación para fines de riego

Como orientación general para determinar y/o clasificar las zonas que necesitan riego o drenaje se calculo el índice de aridez y balance hídrico en base a precipitación pluvial.

a) Índice de aridez

Se consideraron como dato fundamental las precipitaciones de los meses del año como fuente de agua y las temperaturas como indicador de la capacidad para evaporar el agua (tabla 10).

Tabla 10. Índice de aridez (Índice de Humedad Disponible De Martonne)

Mes	Precipitación [mm]	Temperatura media [°C]	Índice de sequía	Condición de humedad disponible de las zonas
Julio	13.1	12.3	7.0	Periodo seco, riego necesario
Agosto	30.5	13.1	15.8	Riego necesario
Septiembre	41.6	14.1	20.8	Riego complementario
Octubre	55.0	15.2	26.2	Riego complementario
Noviembre	74.5	16.0	34.3	Riegos esporádicos
Diciembre	122.4	16.1	56.3	No requiere riego
Enero	184.6	15.6	86.5	No requiere riego
Febrero	153.4	15.4	72.5	No requiere riego
Marzo	124.5	15.4	58.8	No requiere riego
Abril	36.0	15.0	17.3	Riego necesario
Mayo	11.8	13.8	5.9	Periodo seco, riego necesario
Junio	12.0	12.6	6.4	Periodo seco, riego necesario
Media	859.4	14.5	34.0	Riegos necesario

Según el índice de aridez De Martonne y las características ecológicas de la zona, Amurrio (2002) clasifica a la zona como semiárida; con periodos secos donde es imprescindible el riego; necesario en los meses con lluvias esporádicas; riegos complementarios en los meses de septiembre a noviembre de precipitaciones medias y en los meses lluviosos de diciembre a marzo sin necesidad de riego. Asimismo, la zona se caracteriza por las bajas precipitaciones y periodos prolongados sin lluvias que demandan riego para la producción agrícola, principalmente en la época de estiaje que demanda mayor cantidad de agua para los cultivos de invierno como la papa, arveja, trigo, haba.

4.2 Cedula de cultivos de las laderas de Inquisivi

De acuerdo a la información recolectada de área de cultivo de riego de las Comunidades de Chiji y Taucarasi de la zona de Inquisivi, se presenta la siguiente cedula de cultivos (figura 7).

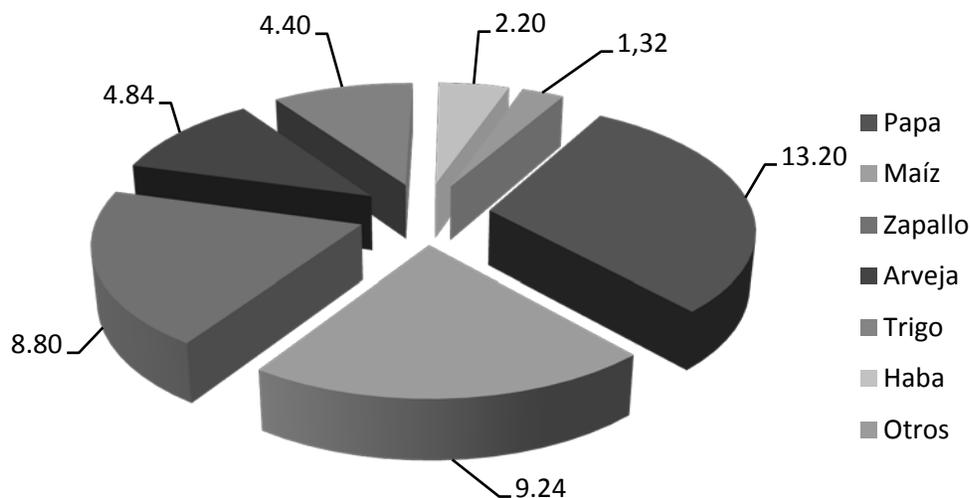


Fig. 7. Cedula de cultivos en hectáreas de los microsistemas de la zona Inquisivi

De la figura 7 se evidencia que el principal cultivo de la zona es la papa con un porcentaje de 30 %, seguida del cultivo de maíz y zapallo con 21 y 20 % respectivamente, los cultivos de arveja y trigo en menor grado con 11 y 10 % respectivamente y finalmente el cultivo de la haba con un porcentajes bajo (tabla 11). Asimismo, se presenta en los últimos años, grandes plantaciones de eucaliptos que van en aumento, causando desequilibrio ecológico y reduciendo parte las áreas cultivables, praderas de pastoreo y bosques naturales; como también está afectando en las masas de aguas de agua de las cuencas y micro cuencas.

Tabla 11. Cedula de cultivo de los microsistemas de riego del Cantón Inquisivi y Capiñata

Cultivo	Área [ha]	Porcentaje
Papa	13.20	30
Maíz	9.24	21
Zapallo	8.80	20
Arveja	4.84	11
Trigo	4.40	10
Haba	2.20	5
Otros	1.32	3
TOTAL	44.0	100

La cedula de cultivos en las zonas de riego de Inquisivi están influenciado por las alturas de la puna del sur-este (altiplano), por ello, el principal cultivo es la papa, seguida del cultivo de maíz y zapallo y la producción de frutas se desarrolla en el fondo de los valles.

4.3 Necesidad hídrica de los cultivos en las laderas del valle de Inquisivi

4.3.1 Balance hídrico en los microsistemas de riego

La figura 8 presenta la oferta y la demanda de agua en las zonas de riego, en la cual, se ha evidenciado que en muchos microsistemas de riego los caudales disponibles en las fuentes de agua (microcuencas) son mayores a los caudales de demanda para riego.

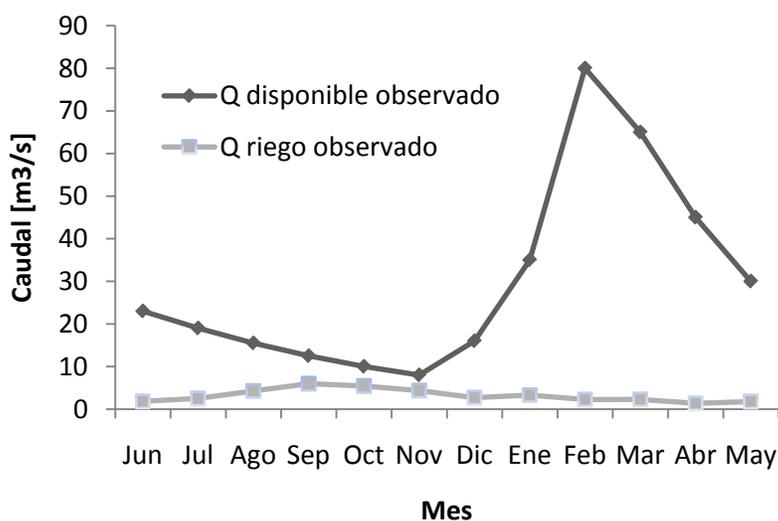


Fig. 8. Balance hídrico observado en la Microcuenca del río Chijjawira

- En la época seca (julio a noviembre) los caudales en los ríos son mínimos y los caudales de demanda para riego máximos; asimismo se ha evidenciado que solo un porcentaje del caudal no es captado.
- En la época de lluvias los caudales mayores y las captaciones son mínimas debido al escaso riego y muchas de las tomas de agua no están en operación (enero a marzo).
- De lo mencionado, los caudales de captación y conducción de agua para riego están limitados al diámetro de las tuberías.

Las pérdidas de agua en los microsistemas comunales y familiares en la zona de Inquisivi, son debido a las siguientes situaciones:

- Las mangueras y tuberías domésticas en muchos casos presentan fisuras que causan derrames de agua entre 5 a 10 % en el sistema de distribución principalmente.
- Los acoples (conexiones) inadecuadas o directas sin consideras el acople mediante rosca (o niples) a hidrantes o tuberías principales en sistemas presurizados causo perdidas de agua de alrededor 10 a 20 %.
- Se evidenciado la “perdidas de agua” en los dispositivos de aspersión viejos; el caudal de agua no alcanza a asperjarse totalmente, si no caen como choro al suelo.
- Las pérdidas de agua por las corrientes de viento fueron significativas, cuando el agua ex transportado fuera de las parcelas cultivadas; se ha estimado que estas pérdidas de alcanzan de 5 a 10 %.
- En algunos microsistemas, después del riego de los cultivos el caudal restante de las horas del turno, son vertidas directamente a las parcelas baldías.

Se estima que todas estas “perdidas de agua” pueden oscilar entre 30 a 50 %. Esta situación es mayor cuando las parcelas cultivadas son escasas y el flujo de agua en el sistema es constante; por el contrario estas pérdidas pueden ser menores cuando se tiene muchas parcelas cultivadas para regar que requieren un mayor caudal de agua.

4.3.2 Necesidad hídrica de los cultivos

La variación de las necesidades hídricas mensuales de los cultivos depende de los siguientes factores:

- Variación de las precipitaciones.
- Variación de la evapotranspiración.
- Evapotranspiración del cultivo que depende del tipo y desarrollo del cultivo.

En base a lo mencionado, la tabla 12 presenta la necesidad de agua mensual para los cultivos del valle de Inquisivi, considerando para ello las metodologías en base a los estudios de la FAO (1996) e investigaciones de PRONAR (2002).

Tabla 12. Necesidades hídricas mensuales 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

De acuerdo a la tabla 12 la demanda de agua (riego) para el cultivo de maíz puede ser mínima en la época de lluvias y coincide paralelamente su desarrollo con la precipitación efectiva, a diferencia del cultivo de trigo que está en su desarrollo inicial cuando las lluvias son altas y suficientes para esta etapa, y a partir del mes de abril y mayo son necesarias los riegos.

La figura 9 muestra la evapotranspiración de los principales cultivos, los periodos de desarrollo y la variación de la precipitación efectiva de la zona de Inquisivi.

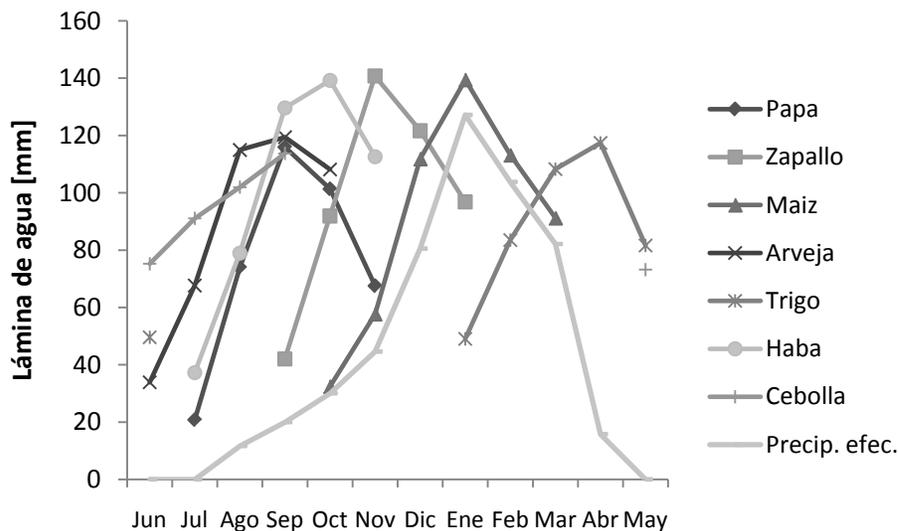


Fig. 9. Evapotranspiración de los cultivos, periodos de desarrollo y la precipitación efectiva en las laderas del Distrito Centro de Inquisivi

En base a la figura 9 y la tabla 12 se evidencia que en la zona de Inquisivi la producción de cultivos es durante todo el año y con mayor frecuencia de julio a diciembre; en la época seca hasta inicios de la época de lluvias la producción principal es de papa, haba, arveja y trigo, debido a ello la demanda de agua es mayor en esta época.

En la época de lluvias cuando se tiene una a dos semanas sin lluvias es necesarios aplicar riego complementario para mantener el nivel de humedad del suelo, asimismo, los suelos de esta zona presentan menor capacidad de retención y almacenamiento de agua debido su mayor porcentaje de arena frente a las partículas finas (arcillas) y contenido de grava (20 %).

4.4 Fuentes de agua

Las fuentes de agua para riego son las vertientes en ríos provenientes de las altas montañas de la cordillera de “Tres Cruces” principalmente; esta característica hace que se cuente con agua permanente a lo largo del año y como caudal base de los ríos en la época de estiaje. La presencia de las vertientes desde el punto de vista hidrogeológico es debido a que en la cordillera se tiene nevados y en otras se tiene zonas de recarga de aguas de las lluvias, que fluye como aguas subterráneas a lo largo de la cuenca. Por ejemplo, el caudal base del río Chijjahuirá en la época de estiaje oscila entre los 5 y 10 l/s (caudal de agua para riego) y alcanzar caudales máximos hasta de 80 l/s en la época de lluvias.

El microsistema de riego ubicados en la cuenca río Chijjahuirá aprovecha las aguas del río que son alimentadas por vertientes con caudal alrededor de 1 l/s, por el contrario las vertientes ubicadas en las proximidades de las parcelas son drenadas por acequias hacia el río, en otros casos son aprovechadas para riego mediante acequias o tuberías de policarbonato (politubos). Estas vertientes muestran su mayor caudal después de periodo de lluvias y va descendiendo paulatinamente hasta la época de estiaje; algunas vertientes son consideradas como estacionales o temporales de la época de lluvias cuando estas se secan en la época de estiaje.

4.4.1 Estimación de la oferta de agua disponible en la zona de estudio

La oferta de agua disponible de algunos ríos y vertientes de la época de estiaje se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Oferta de agua de algunos ríos y vertientes para riego de la zona de Inquisivi

Fuente	Ubicación	Caudal base [l/s]	Fecha	Condición
Río Chicani	Cuenca Chicani	17.0	Ago-sep 2013	Apta para riego
Río Chijjawira	Cuenca Chicani	9.4	Ago-sep 2013	Apta para riego
Río Palomarini	Cuenca Waichani	13.0	Ago-sep 2013	Apta para riego
Río Cacome	Cuenca Cacome	6.5	Ago-sep 2013	Apta para riego
Río Mallku Uma	Cuenca Mallku Uma	19.0	Ago-sep 2013	Apta para riego
Vertiente	Cuenca Upuña	0.7	Octubre 2013	Apta para riego
Vertiente	Cuenca Chicani	1.1	Ago-sep 2013	Apta para riego
Vertiente	Cuenca Chicani	2.1	Ago-sep 2013	Apta para riego
Vertiente	Cuenca Chicani	0.6	Ago-sep 2013	Apta para riego

La calidad de las aguas desde el punto de vista geológico referido a la contaminación minera y metales pesados, se evidencia que la provincia geológica no corresponde a una zona con actividad minera, debido a que la litología de interés metalúrgico (plegamiento de las placas rocosas) se encuentra en la cadena montañosa y próxima a la localidad de Quime. Asimismo, de acuerdo a los estudios de la UMSA (2011), la superficie de las laderas del Cantón Inquisivi y Capiñata están constituidas mayormente de suelos cultivables y en menor proporción de afloramiento rocoso de origen volcánico; por ello las aguas no presentan restricciones de toxicidad iónica de cloruro, boro, bicarbonato y metales pesados para su uso en la agricultura.

Los ríos del Cantón de Inquisivi (anexo 9) según la clasificación del FAO (1976) y García (2012), en la mayoría de los casos no presentan problemas de salinidad y sodicidad y por lo tanto se clasifican como aguas de clase (C₁S₁), es decir, presentan bajos contenidos de sales y sodio, demostrando una calidad de agua con bajo o nulo peligro de salinidad y peligro de sodicidad y por consiguiente son aptos para fines de riego (UMSA, 2011). Solo los ríos Canalali y Chawajawiri presentan una calidad que corresponde a la clase C₂S₁, es decir presentan contenidos de sales moderados lo que implica un uso restringido en cuanto al uso para riego más cuidadoso en suelos pesados.

4.4.2 Calidad de las aguas

Para evaluar la calidad de las aguas para riego es importante señalar algunas características que intervienen como la concentración de las sales solubles (carbonatos, cloruros, sulfatos), conductibilidad eléctrica, salinidad y concentración de sustancias tóxicas.

Como referencia se considero los resultados del análisis físico - químico de las aguas del río Chijjahuirra para fines de riego (tabla 14).

Tabla 14. Características físico – químicas de las aguas de riego

Parámetro	Valores	Limite permisible*
pH	8.24	6.5 a 8.4
C.E. (dS/m)	0.077	< 0.7
Sólidos en suspensión (mg/l)	8.00	< 200
Sólidos disueltos (mg/l)	56.32	< 2000
Sólidos totales (mg/l)	64.32	< 1000
Sodio (mg/l)	1.97	< 3
Potasio (mg/l)	0.59	< 3
Calcio (mg/l)	7.01	< 2
Magnesio (mg/l)	4.68	< 0.5
Cloro (mg/l)	4.06	< 3
Carbonatos (mg/l)	0.00	< 1
Bicarbonatos (mg/l)	43.44	< 1.5
Sulfatos (mg/l)	0.02	-
Fosfato (mg/l)	0.034	< 2
RAS *	0.141	< 3

*Ninguna restricción

La conductibilidad eléctrica (CE) de las agua del rio Chijjahuirra presenta un valor de 0.077 dS/m (tabla 14) y que de acuerdo a la escala propuesta por Palacios (1996) esta clase de agua no presentan problemas de salinidad para su uso en la agricultura. Asimismo, según la categorización de Chilon (2006) las aguas del río Chiji son de baja CE debido a su bajo contenido de sales.

Los problemas de permeabilidad expresada mediante la relación de absorción de sodio (SAR) con un valor de 0.141 indican que esta agua no presenta restricciones para su uso en el regadío. Según su grado de infiltración que conlleva su RAS y salinidad, no presentan restricciones de uso y es recomendable en suelos de diferente permeabilidad. Por otro lado, la dureza del agua tiene un valor de 3.78 °F que se categoriza como “agua dulce”. En cuanto al contenido de carbonato sódico residual (CSR) parámetro que se encarga de pronosticar la acción degradante sobre las plantas y suelos, en este caso cuyo valor es de - 0.028 (anexo 9) que indica que esta agua es de buena calidad para el riego y no presentará problemas futuros.

Según los parámetro de categorización del anexo 9; la relación de Calcio (Índice de Kelly) que indica el grado de alcalinización de las aguas; en el caso del rio Chijjahuirra presenta un valor de 42.42% que significa un bajo riesgo en su uso. Asimismo, las directrices de la FAO que consideran para su clasificación la concentración total de las sales (1.67 meq/l) y la relación del porcentaje de sodio (10.18%) valores que expresan que el agua es de buena calidad.

Finalmente, la norma de Riverside establece que la clase de agua del rio Chijjahuirra, corresponden a una calidad de salinidad baja (C_1) y con respecto al peligro de sodio el rango es bajo (S_1) en consecuencia el agua pertenece a la clase C_1S_1 .

4.5 Suelos y vegetación

La Fisiografía que presenta los cantones de Capiñata e Inquisivi es muy diversa, como consecuencia de las formaciones geológicas que dieron origen a los diferentes elementos de paisaje como: serranías, áreas onduladas y llanuras y geo-formas asociadas. Los valles de la zona de Inquisivi con pendientes entre 10 a 40 %. La característica de esta unidad desde las alturas hasta el río es una trayectoria curvilínea semiparabolica. Geológicamente está compuesta de depósitos recientes pertenecientes al Cuaternario:

- Afloramiento rocoso en la ladera alta y cima de las montañas.
- Presencia de ríos y riachuelos provenientes del valle alto de la cordillera de tres cruces.
- Presencia de vertientes y ojos de agua en la parte media y media alta de las cuencas.
- Predominancia de material grueso volcánico tipo pizarra perteneciente al cuaternario en suelos grises (oscuros), también se evidencia suelos consolidados de texturas medias a finas (limos y arcillas) de colores claros.

La vegetación de estos valles presenta una variabilidad desde el nivel del río principal Khatu con especies arbóreas y arbustivas de zonas de clima cálido y en la parte media de las laderas la producción de cultivos anuales, frutales y hortícolas. En la parte alta se evidencia la proliferación de vegetación xerofítica, arbustos bajos con afloramientos rocosos. Desde hace una década se ha intensificado la producción de eucalipto por su rentabilidad alta principalmente en la parte media y media alta de las laderas y próximas a la carretera principal (UMSA, 2011). La proliferación de este cultivo también va sucediendo en parcelas cultivables y en algunas zonas va desplazando a la producción agrícola.

Las comunidades en su mayoría están ubicadas en laderas de la cadena montañosa de la cordillera de Tres Cruces, en donde los suelos son formaciones de rocas de origen volcánico; por ello, los suelos de estas comunidades se encuentran en proceso de formación y desarrollo. De acuerdo a lo mencionado las características de estos suelos son las siguientes:

- Franco a franco arenoso con presencia de gravas y piedras.
- Suelos en proceso de consolidación de depósitos cuaternarios.
- Porosidad alta y continuidad de los espacios aéreos determina una infiltración rápida de agua al perfil del suelo.
- Menor capacidad de retención de agua en el tiempo.
- Menor almacenamiento de agua para los cultivos.
- Suelos de colores grises (origen volcánico) y amarillos claros en algunos sectores.

La presencia de material grueso de tipo pizarra en estos suelos y porosidad alta producen los siguientes efectos:

- Rápida infiltración de agua de las lluvias y de riego, ello determina que la tasa de infiltración básica sea alta.
- Altos volúmenes de infiltración de agua a profundidades del perfil del suelo.
- Rápida pérdida de agua por la alta evapotranspiración desde la superficie del suelo y subsuelo debido a la continuidad física de los espacios aéreos.
- La radiación solar sobre la superficie de estos suelos genera que el aire retenido en el espacio poroso del subsuelo se caliente y vaporice el agua contenida en ella, y ello favorece a la baja humedad del ambiente (65.3 %) de la época de estiaje.
- La infiltración de agua hasta profundidades distantes recarga el flujo subterráneo de agua que en algunos sectores aparece flujo superficial.

4.5.1 Tiempo y velocidad de infiltración básica

Las parcelas de riego de las comunidades del Cantón Inquisivi y Capiñata al estar situadas en laderas con pendientes de 20 % a 50 %, fue necesario utilizar las pruebas de infiltración por el método de hoyo y con un perímetro de mojado para que el flujo de agua sea vertical.

En la tabla 15 se presentan las funciones de la velocidad de infiltración (VI) de acuerdo a la ecuación general de Kostiakov (1932) y la infiltración acumulada (IA) de las parcelas representativas de las comunidades consideradas para el estudio.

Tabla 15. Resumen de las funciones de Infiltración del Cantón Inquisivi y Capiñata

Comunidad	Velocidad de Infiltración [cm/h]	Infiltración acumulada [cm]	Coefficiente de Correlación
Taucarasi	$I = 24.4254 T^{-0.4942}$	$Zin = 0.8048 T^{0.5058}$	$r = 0.99$
Yamora	$I = 24.6153 T^{-0.3397}$	$Zin = 0.6213 T^{0.6603}$	$r = 0.99$
Chiji	$I = 44.4666 T^{-0.4399}$	$Zin = 1.3232 T^{0.5601}$	$r = 0.99$
Upuña	$I = 63.2592 T^{-0.2152}$	$Zin = 1.3435 T^{0.7848}$	$r = 0.99$
Taucarasi Alto	$I = 34.6923 T^{-0.1648}$	$Zin = 0.6923 T^{0.8352}$	$r = 0.99$

La tabla 16 presenta el tiempo (TB) necesario para alcanzar la velocidad de infiltración básica (VIB), el régimen de la velocidad de infiltración básica y el rango de clasificación correspondiente.

Tabla 16. Tiempo y velocidad de infiltración básica del Cantón Inquisivi y Capiñata

Comunidad	Tiempo en que ocurre la VIB [min]	Velocidad de infiltración básica [cm/h]	Clasificación VIB según la FAO 1998
Taucarasi	296.5	11.1	Media
Yamora	203.8	16.3	Rápida
Chiji	264.0	23.2	Rápida
Upuña	129.1	53.6	Muy rápida
Taucarasi Alto	98.9	32.0	Muy rápida

VIB: Velocidad de infiltración básica

De la tabla 16 se deduce que las parcelas de la Comunidad Taucarasi alcanzan la VIB a 11.1 cm/h considerada como una velocidad media (Amurrio, 2002), esto significa que el suelo a ese tiempo puede absorber agua de 111 litros/m²/h, entonces una precipitación intensa o riego por aspersión, superior a VIB produciría un encharcamiento o agua de escorrentía.

Las parcelas de Yamora y Chiji con VIB de 16.3 y 23.2 cm/h respectivamente se clasifican según la FAO (1998) como velocidades rápidas; pudiendo soportar láminas altas de precipitación o riego, debido a su capacidad de absorción de 16.3 y 23.2 mm/m²/h respectivamente, por lo tanto, estos suelo no son proclives a los encharcamientos a precipitaciones intensas como se puede evidenciar en la figura 10.

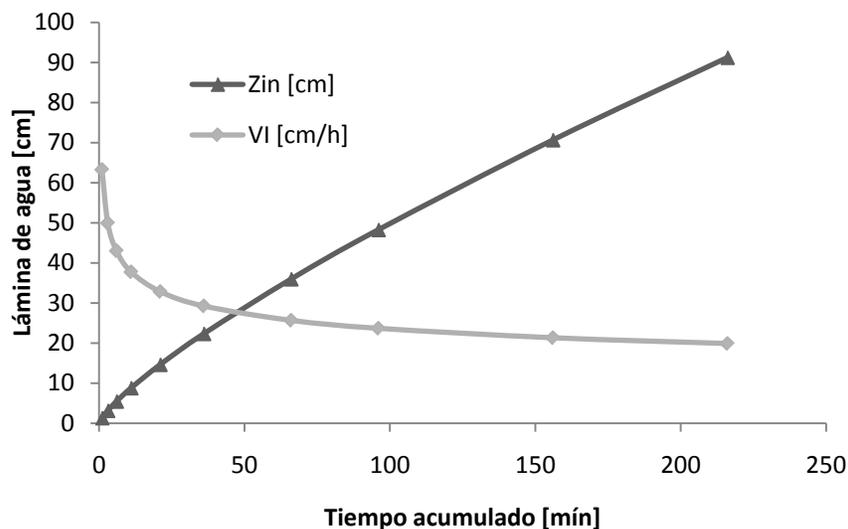


Fig. 10. Velocidad y lámina de infiltración acumulada del microsistema de riego Upuña

La ocurrencia del VIB menor de los suelos de Comunidad de Taucarasi y Upuña (figura 10) fue debido a la textura franca arenosa y suelta con presencia de material grueso (gravas planas), ello determina que la compactación sea menor, asimismo, las elevadas pendientes y el material grueso influye a que el ordenamiento de las partículas no sea la adecuada teniendo como consecuencia suelos altamente permeables.

Según la FAO (1998) la velocidad estabilizada de infiltración determinada corresponde a suelos arenoso y arenoso gruesos con una infiltración básica de 3 a 5 cm/h, por lo cual el tiempo de riego en estos suelos es amplio con una mínima probabilidad de encharcamiento.

La VIB o VI estabilizada representa el valor límite de infiltración de cada una de las parcelas, lo que implica que laminas de agua de las lluvias o riegos por aspersión, superiores a VIB generarían agua superficial o de escorrentía (Vera, 1999).

Chipana y Cisneros (2008) indican que en suelos arenosos con elevada capacidad de infiltración se complica la implementación de sistemas de riego por superficie, donde las parcelas tienen una pequeña longitud y el agua podría perderse por percolación profunda, por tanto se debe preferir el riego por aspersión y el riego localizado (suelos con velocidad básica de infiltración mayor a 30 mm/h). Asimismo indican que en relación a la aireación del suelo, los métodos de riego localizado y por aspersión son superiores a los de la superficie.

4.6 Descripción del los sistemas de riego de Inquisivi

4.6.1 Tomas de agua

Desde el punto de vista del diseño las obras hidráulicas para la captación de aguas superficiales (ríos), no presenta un diseño específico para la captación de agua que tome en cuenta parámetros como la sección y tramo del río para el emplazamiento de las obras. Las infraestructuras de captación en su mayoría son derivaciones directas de agua mediante un politubo sumergido en agua, en muchos casos sin filtros; asimismo, no se evidencia los caudales máximos y mínimos a captar, por ello son de baja eficiencia de captación:

- Las tuberías de captación están sumergidos parcialmente y la sección superior vacía.
- La boca de la tubería no siempre está sumergida en su totalidad por su resistencia a la flexibilidad (fotografía 5).



Fotografía 4. Captaciones rusticas con politubos directos del rio Chijjawira

- El diámetro de la tubería de captación es la misma a la tubería de conducción por lo que esta cumple como canal cerrado en tramos con pendientes elevados aguas abajo.
- No se considera las pendientes en el sistema de captación y aducción para el cálculo de caudales.
- Las estructuras de captación no presentan filtros o rejillas, esta situación produce obturaciones en la tubería de conducción o en los emisores de aspersión.
- Requiere encausamiento periódico de agua hacia la tubería de captación.
- Susceptible a quedar colgado por socavamiento del fondo del río.

- En muchas tomas las deficiencias en la captación de agua obedece a la falta de mantenimiento y en algunos casos a las deficiencias en el diseño de la toma.

Mucha de las tuberías de polietileno para la captación de agua no consideran los aspectos técnicos desde el punto de vista hidráulico, solamente los costos bajos, como sucede frecuentemente con los sistemas familiares que buscan tener su propia “toma de agua”; por otra parte se carece del apoyo de instituciones públicas y privadas para el adecuado manejo de agua en la agricultura.

4.6.2 Cámaras de aducción

Muchas de las estructuras de aducción actuales son confundidas como tomas de agua; ello se repite con frecuencia y están distribuidas en la mayoría de los microsistemas nuevos, pero en su estructura no presentan las características de captación propiamente dicha (fotografía 6).



Fotografía 5. Estructuras de aducción de agua en microsistemas nuevos de riego

Estas obras presentan deficiencias en su diseño debido a que no contemplan para ello las características del tramo y sección particular del río en donde se vaya emplazar la toma; muchos micro-proyectos de riego en la parte de diseño considera únicamente la estructura de aducción, y no la toma de agua en sí, ello repercute en las dificultades de operación y la baja eficiencia en la captación de agua.

Estas obras en su diseño presentan las siguientes deficiencias:

- No considera una estructura de captación propiamente dicha.
- No considera para su diseño las pendientes para la captación y aducción de agua hacia la tubería de conducción. Puede considerarse pendientes de captación de 1 % y 0 % en la cámara de aducción.
- No presenta una estructura de sedimentación para la aducción de agua desde los ríos.
- En la cámara de aducción se presenta estructuras que no se explican claramente su funcionalidad.
- La rejilla de la cámara de aducción (fotografía 5) con espaciamiento de 2 cm permite el ingreso material grueso que sedimenta la cámara y ello incide en el flujo de agua a hacia las tuberías conducción.
- Bottega y Hoogendam (2004) sugieren construir un vertedor de masías (excedencias) en la piscina de sedimentación.
- Para el diseño de las cámaras de aducción y otras estructuras se debe considerar el Reglamento Técnico de la Dirección General de Saneamiento de 1999.

4.6.3 Sistema de conducción

Los sistemas de conducción en su mayoría son de tuberías de polietileno (politubos) de 2 o 3 pulgadas de diámetro y no considera en su tramo cámaras de quiebre de presión, aliviaderos o reguladores de presión (fotografía 7). Estos sistemas se encuentran enterrados en zanjas superficiales 0.30 a 0.40 m de profundidad. En algunos sistemas de microriego se tienen deficiencias en el sistema de conducción debido a las siguientes causas:

- Uso de material de calidad baja como tuberías de pared delgada y poli tubos no adecuados para sistemas presurizados.
- Falta de cámaras rompe presión y válvulas liberadoras de aire comprimido dentro de los sistemas de conducción con tramos largos y con cambios de pendiente; donde las tuberías actúan como canales cerrados y se evidencia la acumulación de aire.
- No considera aliviaderos de presión en los sistemas de conducción con tramos largos mediante el vertido de un caudal mínimo en las partes altas o cambios de pendiente.
- Las roturas o filtraciones de agua en sistema de conducción pueden atribuirse al enterrado superficial del politubo, y en tramos con tuberías a la intemperie se produce las roturas por caída de rocas, pisoteo de animales o secado.



Fotografía 6. Sistemas de conducción a mediante tuberías de polietileno (politubo) por laderas en proceso de deslizamiento, Microriego Chiji

Los sistemas de conducción actuales, emplea únicamente las válvulas de regulación o llaves de paso, no contempla las válvulas de seguridad, válvulas de drenaje, válvula de desagüe que puede estar ubicadas en las cotas bajas (quebradas) de la tubería principal, y las válvulas para regular o reducir la presión en los tramos con cambio de pendiente; ello permitiría que el sistema este aliviado y no sufra roturas por la compresión de aire dentro la tubería.

4.6.4 Distribución de agua

La distribución de agua en los sistemas de micro riego implementados por el GAM Inquisivi e iniciativas propias de las comunidades, en su mayoría no tuvieron una modalidad de distribución definida debido fundamentalmente a la ausencia de asistencia técnica y acompañamiento, por ello las particularidades de estos microsistemas son:

- La modalidad de distribución de agua se consideraría a demanda libre.
- Muchos riegan al mismo tiempo lo que repercute en la caída presión y caudal; no operable para los dispositivos de aspersión y por ello la eficiencia de riego es bajo.
- Se genera problemas sociales cuando muchos agricultores riegan en un mismo periodo y no existen reuniones y acuerdos para superar esta situación, y crear una organización entorno al riego, la cual puedan definir actividades de mantenimiento, operación y administración del sistema de riego.

4.6.5 Modalidad de riego

Después de la siembra cada regante conecta su politubo o manguera al hidrante del sistema de distribución, sin considerar si el sistema está con suficiente presión y caudal, como también no toma en cuenta si la red de distribución y conducción conlleva aire comprimido dentro ella.

Por ello, en estos sistemas los caudales y presiones de operación no son adecuados, generando resultados no alentadores (frecuencias de 7 días). Asimismo, los periodos de riego son arbitrarios de 3 a 4 horas, que determina áreas de riego menores por posición (fotografía 8); profundidades de mojado menores debido a cambios de posición en menor tiempo, para alcanzar áreas representativas regadas por día, que en términos de profundidad infiltrada son superficiales alrededor de 0.10 m. Asimismo se tiene dificultades en la instalación y manejo de mangueras o politubos.



Fotografía 7. Baja uniformidad de riego por aspersión en las parcelas de la Comunidad Chiji

Se ha evidenciado en algunas comunidades que la práctica de riego nocturno es favorable para la eficiencia de riego presurizado debido a las siguientes razones:

- Se evidenció un incremento en el caudal durante la noche por la baja evaporación de agua en las fuentes (de acuerdo a los aforos realizados el incremento es de 5 a 14 %).
- Menor evaporación del agua durante el proceso de asperjado de agua sobre los cultivos, asimismo menor pérdida de agua desde el suelo y los cultivos.
- Mayor almacenamiento de agua en el perfil del suelo.
- Mayor uniformidad de aplicación por la ausencia de vientos fuertes diurnos.
- Según los conocimientos locales la ausencia de la radiación solar permite el adecuado aprovechamiento de agua y nutrientes desde el suelo para los cultivos.

El tiempo de aplicación de agua por posición es variable y depende del caudal que fluye en la tubería matriz lo que determinó diferentes radios de mojado y con uniformidades de distribución de agua menores ($UD = 0.5 - 0.7$).

4.6.6 Aplicación de agua

Muchas familias afrontan problemas en el manejo del agua debido a la carencia de recursos económicos, asistencia técnica y capacitación, como se puede apreciar en la fotografía 9.



Fotografía 8. Sistemas aspersión artesanales, Microriego Chiji

El manejo de agua a nivel parcelario en sistemas de microriego afronta problemas serios desde el punto de vista técnico, materiales y equipos inadecuados, carencia de capacitación y criterios para el manejo de riego en laderas, todo esto incide sobre la baja eficiencia de riego, problemas sociales y económicos debido a los siguientes factores:

- La conducción de agua desde los hidrantes hasta las parcelas de riego se realiza con mangueras domésticas con diámetros menores a $\frac{1}{2}$ pulgadas para hacer “operar” aspersores de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ pulgadas.
- La longitud de las mangueras que superan el largo de las parcelas que genera mayor pérdida de carga, reduciendo la presión necesaria para la operación de los aspersores y ello repercute en caudales de salida y área de mojado menores (tabla 17).
- Desde hidrantes de $\frac{3}{4}$ pulgadas se reducen a mangueras domésticas de $\frac{1}{2}$ pulgadas de forma rustica que repercute en una mayor pérdida de carga.

Tabla 17. Algunos parámetros que caracterizan a los sistemas microriego tradicionales

Microriego	Tipo de tubería	Diámetro de tubería [plg]	Tipo de aspersor	Altura del porta aspersor [m]	Radio mojado [m]
Chiji A	Doméstica	½	Chinos	0.10	1.0
Chiji B	Politubo	½	Chinos	0.80	3.0
Yamora	Politubo	¾	RC 020-25	2.00	8.5
Taucarasi	Doméstica	½	Chinos	1.00	4.5

- El remojo del suelo afecta en la verticalidad del anclaje de los porta aspersores, ello afecta en la uniformidad de distribución de agua.
- La aplicación de agua en laderas no tiene un manejo diferenciado.
- Se ha evidencio que el área mojada hacia la cuesta es menor y la lámina de agua mayor a diferencia del lado de abajo de mayor área mojada y con menor lámina de agua.
- El riego con presiones de operación bajas causa la erosión hídrica en laderas pronunciadas (fotografía 10) debido a que no se logra asperjarse y cae como chorro sobre la superficie del suelo.



Fotografía 9. Manejo domésticos de riego en laderas pronunciadas que inciden en la erosión hídrica de los suelos, Microriego Chiji

- Una longitud mayor de los porta aspersores (alrededor de 2 m) es adecuado para riego en laderas pronunciadas, ello favorece el asperjado de una mayor área y por el contrario los porta aspersor cortos (fotografía 10) no favorecen al asperjado de agua.
- Las mangueras domésticas empleadas repercuten en la pérdida de carga, lo cual se evidencia en una menor presión y caudal para riego.

4.6.7 Equipos de riego

Los dispositivos de aspersión (emisores) más usuales en los sistemas de microriego en estudio son domésticos en muchos casos de jardinería como los “trupper chinos” o similares. Estos aspersores presentan dificultad para su adaptación a los sistemas de distribución, es decir requieren una adaptación particular a la tubería de distribución (fotografía 10).



Fotografía 10. Dificultad en el manejo de aspersores domésticos de jardinería en la agricultura, Sistema de Microriego Chiji

4.6.8 Desventajas y ventajas de los aspersores domésticos en la agricultura

Desventajas:

- Algunos modelos de los dispositivos de aspersión chinos no presentan diámetros nominales para la conexión a la tubería de distribución.
- Su instalación requiere una adaptación específica y ello dificulta su uso adecuado.
- Muchos de estos aspersores son de jardinería y con un radio de mojado menor.
- Su rendimiento es menor a diferencia de los aspersores agrícolas.
- Desde el punto de vista hidráulico no son adecuados para el uso agrícola; cuando la presión es alta su estructura no es estable. Se tiene evidencias de los regantes que con presiones altas sufren desgaste acelerado llegando incluso a romperse.

Ventajas:

- Bajo costo.
- No sufre robos y considerado estratégico para su uso en parcelas alejadas.
- Uso para parcelas pequeñas.

4.7 Condiciones de operación del sistema de riego campesino

Los microsistemas de riego del Cantón de Inquisivi y Capiniata, en el pasado fueron sistemas a través de canales y riego por superficie; estos canales afrontaron dificultades para su implementación, operación y mantenimiento debido a las siguientes situaciones:

- Laderas accidentadas y verticales en algunas laderas.
- Costos de inversión altos para la construcción de canales de hormigón debido a la dificultad de conseguir áridos adecuados y su transporte hasta los lugares de implementación de las obras.
- Desestabilización y destrozo de los canales por el material rocoso rodante desde las partes altas, produciendo el deterioro y rajaduras de la infraestructura riego.
- Dificultad de mantenimiento de los tramos a reparar debido a las largas distancias y pendientes que implican costos altos para conseguir y transportar los materiales.
- El desarrollo de la vegetación próximo a los canales deteriora la infraestructura, y ello dificulta en el flujo de agua provocando los desbordes y caídas por socavamiento.
- Los canales construidos con alta porosidad inciden en una alta permeabilidad de sus paredes con la consecuencia de pérdida de agua.

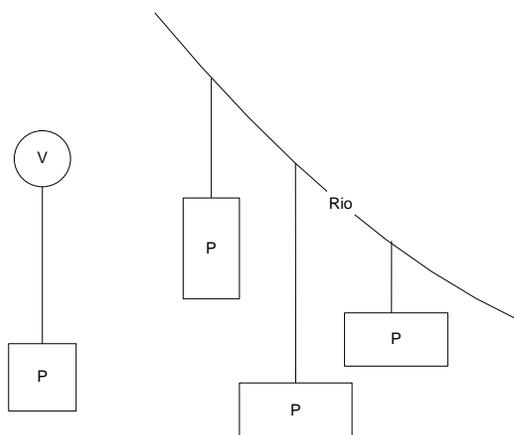
De lo mencionado, la conducción de agua en las laderas pronunciadas, peñascos y quebradas fue posible mediante tuberías polietileno, pero ello conlleva algunos problemas como también a facilidades en su uso (tabla 18).

Tabla 18. Factibilidad de uso y dificultades en la operación de sistemas de conducción por el uso de tuberías de polietileno

Ventajas de uso	Desventajas en la operación
<ul style="list-style-type: none">- Viabilidad de conducción de agua en laderas pronunciadas y farallones.- Facilidad de salvar quebradas profundas mediante cables y acueductos.- Escaso mantenimiento de este tipo sistemas de conducción.- Resistencia al arrastrado y manipulación.- Permanencia a la intemperie por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none">- Desconocimiento en el manejo de presiones en las tuberías principales.- Dificultades para eliminar el aire contenido dentro el sistema de tuberías y reducir sus efectos negativos.- Escaso conocimiento de conducción de caudales, alturas de carga (desnivel de caída), pérdidas de carga y presiones para una adecuada distribución de agua y operación del sistema de riego.

4.7.1 Microsistemas de riego familiar

Los sistemas de riego familiar tienen una fuente de agua directa desde río o vertiente próxima a la parcela de riego, de ello se aprovecha el agua mediante una tubería de polietileno o manguera doméstica y una caída por gravedad de por lo menos 10 mca para la operación de los aspersores (figura 11).



Donde: V: vertiente y P: Parcela de riego de una familia

Fig. 11. Esquema de la distribución del microsistema de riego familiar

Los microsistemas de riego familiares se caracterizan por los siguientes parámetros de distribución de agua (tabla 19):

Tabla 19. Parámetros que caracterizan a los microsistemas de riego familiar

Parámetro	Valor
Fuente de agua	Riachuelo o Vertiente
Demanda de agua	Libre
Distribución	Mono flujo - intermitente
Unidad de gestión	Familiar
Tipo de tubería	Polietileno o manguera
Diámetro de tubería [plg]	½, ¾ y 1
Caudales de operación [l/s]	0.20 a 0.25
Desnivel de conducción [m]	5/100 a 40/100
Perdida de carga [mca]	0.5 a 4
Presión [bar]	1.0 - 5.0
Longitud de tubería [m]	100 a 500
Pendiente de la ladera [%]	10 a 40
Microsistemas	Yamora y Chiji

Otras particularidades de los microsistemas de riego familiares son:

- Una o varias unidades de riego (familias) tiene su toma directa desde una fuente agua.
- El caudal de agua es captada según el diámetro de la tubería de conducción y
- Sistema artesanal presurizado o tecnificado artesanal.

4.7.2 Microsistemas de riego comunales

Los microsistemas de riego comunales por lo general forman parte de los proyectos municipales o instituciones de apoyo. Estos microsistemas de riego tiene una toma o más para la captación de agua desde rio o vertientes de alta y media montaña; su sistema de aducción y conducción de agua son por lo general de tuberías de polietileno de 2 a 3 pulgadas, y que por el desnivel (gravedad) se conduce el agua hasta las parcelas.

4.7.2.1 Estructuras de captación y aducción

Las estructuras de captación son de dos tipos; los construidos por SEMTA (2012) y los nuevos por el Gobierno Autónomo Municipal de Inquisivi. Estas últimas no muestran un diseño específico para la captación y aducción de agua:

- No presentan una estructura específica de captación de agua desde ríos ni vertientes.
- La estructura de aducción no presenta un desarenador de acuerdo a las condiciones de la fuente de agua (ríos y vertientes).
- La estructura de aducción presenta una rejilla con una separación que permite la entrada de sedimento a la cámara con la consiguiente reducción en el flujo de agua.
- Algunas de estas estructuras no son fácilmente operables por su tamaño para los trabajos de mantenimiento y limpieza.

Sin embargo las estructuras implementadas por Save The Children (1986), presentan la tubería de captación sumergido en agua con un filtro, consiguiendo que el ingreso del sedimento a la cámara de aducción sea mínima. Asimismo, la cámara de aducción presenta dos compartimentos dividida por un vertedero rectangular; el primero cumple la función de reducir la velocidad de agua y el sedimento precipite en el fondo, luego el agua pasa por el vertedero con un flujo laminar al segundo compartimento, en donde está la tubería de aducción con su filtro para evitar el paso de material flotante hacia el sistema de conducción.

Por otro lado, algunas de estas estructuras actualmente están en operación y manteniendo sus características hidráulicas para la captación de agua; tanto para el sistema de canales de hormigón o sistema de tuberías de polietileno de 3 a 4 pulgadas.

4.7.2.2 Sistema de conducción

Los sistemas de conducción en el pasado fueron de canales de hormigón, actualmente solo el 20 % de ellos están en funcionamiento; en algunos casos sobre estas mismas infraestructuras se han emplazados las estructuras para sistemas presurizados.

En los microsistemas comunales (multifamiliar) con fuentes de agua distantes, los diámetros de la tubería de distribución deberán ser mayor a 2 pulgadas para el flujo de caudales altos. Los sistemas de conducción de agua por lo general presentan las siguientes características que se resumen en la tabla 20.

Tabla 20. Características del sistema de conducción de los microsistemas de riego del Distrito Centro de Inquisivi

Parámetros	Valor
Tipo de tubería	Polietileno o PVC
Diámetros de tuberías [plg]	2 a 4
Desnivel de conducción	5/100 a 30/100
Distancias de conducción [m]	1000 a 7000
Perdida de carga [mca]	2.5/100 a 5/100
Caudales [l/s]	3 a 15
Cámara rompe presión	A cada 50 a 80 m de desnivel

Estos sistemas por lo general conducen agua desde la parte alta cuenca hasta las zonas de riego. Cuando las fuentes de agua están ubicadas a miles de metros de la zona de riego; se instalan tuberías con diámetro mayor a 2 pulgadas y con desniveles de conducción de 5 a 10 por cada 100 m de longitud.

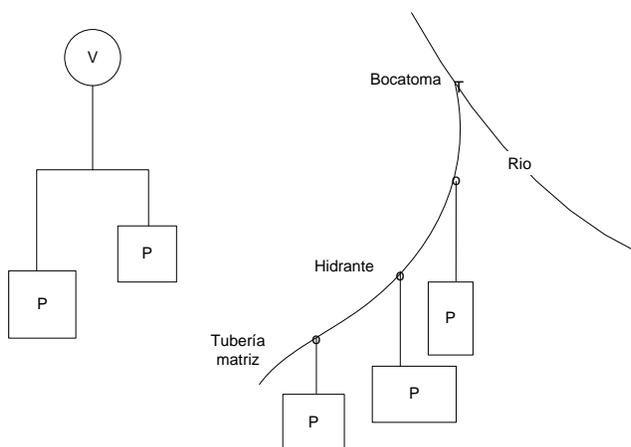
4.7.2.3 Sistema de distribución

Son considerados sistemas de distribución el tramo a partir del tanque de almacenamiento hasta las parcelas riego, y en sistemas sin tanques desde el punto de donde empieza la ramificación de las tuberías a las unidades de riego (familias). Una de las modalidades de distribución de agua es continua y en mono flujo desde las parcelas ubicadas en la parte de la cabecera hasta la zona baja (tabla 21).

Tabla 21. Parámetros que caracterizan a los microsistemas de riego comunal

Parámetro	Valor
Fuente	Río o vertientes
Demanda	Libre y turnos discontinuos
Distribución	Continua - monoflujo
Unidad de gestión	Comunal - multifamiliar
Tipo de tubería	Polietileno, PVC, E-40
Diámetro de la tubería de conducción [plg]	2 a 3
Caudales [l/s]	2 a 6
Desnivel de conducción [m]	4.0/100 - 10.0/100
Perdida de carga [mca/m]	0.5 a 1/100
Presión [bar]	0.0 - 1.0
Longitud de tubería [m]	50 a 250
Pendiente de la ladera [%]	10 a 40
Microsistemas	Chiji

Esta modalidad de distribución (tabla 21) es más frecuente en los microsistemas que cuentan con menor número de usuarios, o microsistemas que han adoptado periodos de riego con turnos menores a 12 horas. Esta modalidad es adoptada también cuando se tiene presiones y caudales menores en el sistema lo cual no permite que más de un usuario riego a la vez.



Donde: V: vertiente y P: Parcela de riego

Fig. 12. Esquema de la distribución de agua en los microsistemas de riego comunal

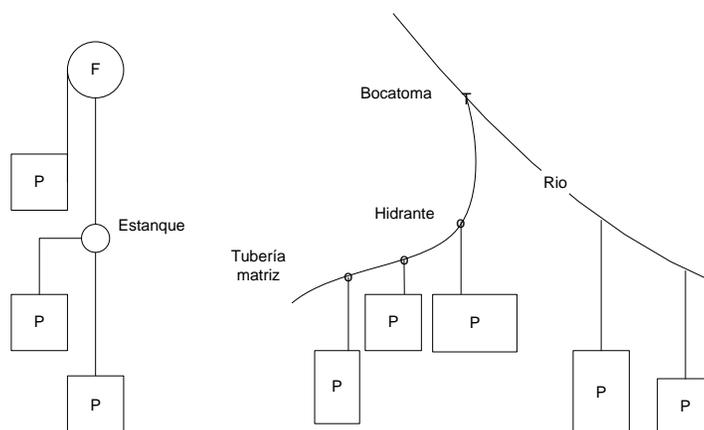
En los microsistemas de riego comunales otra modalidades de distribución de agua es la continua y en multiflujo por bloques desde la parte alta, seguido de la parte media y finalmente la parte baja, como se muestran en la tabla 21 y figura 12.

Otra modalidad de distribución es la mixta de flujo continuo y multiflujo dentro de los bloques ubicados en la ladera media y baja. Es decir el flujo de agua en el sistema es continuo y rotacional por bloques desde la cabecera, zona media y baja, con frecuencia de disponibilidad de agua por bloques de 3 días.

Tabla 22. Parámetros que caracterizan a los microsistemas de riego Comunales-Mixtos

Parámetro	Valor
Fuente de agua	Río o vertientes
Demanda de agua	Libre y turnos discontinuos
Distribución de agua	Continua - multiflujo
Unidad de gestión	Comunal
Tipo de canal	Hormigón
Sección del canal [plg]	40 * 40 * 30 m
Caudales [l/s]	10 a 20
Desnivel de conducción [m]	2.0/1000 – 6.0/100
Longitud del canal [m]	2560
Pendiente del terreno [%]	5.0 - 40.0
Microsistemas	Canqui Grande

El uso de agua dentro de los bloques fue a demanda libre durante el periodo que corresponde al bloque (uno a tres días); periodo que depende del número de usuarios que conforman el bloque.



Donde: F: Fuente de agua y P: Parcela de riego

Fig. 13. Esquema de la distribución del micro-sistema de riegos mixtos

Algunos microsistemas presentan como tuberías de distribución mangueras domésticas de 10 y 12 mm y en otros casos politubos de ½ pulgada. Lo cual hace que las presiones y caudales de operación sean bajas (oscilan entre 0.15 y 0.20 l/s).

Los problemas que presentan los sistemas de distribución pueden ser similares a los problemas de los sistemas de conducción:

- Uso de material de calidad baja como tuberías de pared delgada y/o poli tubos no adecuados para presiones de riego por aspersión.
- Falta de cámaras rompe presión y válvulas liberadoras de aire comprimido dentro del sistema, para reducir presiones altas en sistemas con caídas fuertes (mayor a 80 mca).
- No se evidencia aliviaderos de presión del sistema de conducción cuando está captando agua pero no está en operación los emisores.
- Los sistemas de conducción de politubos con tendidos superficiales incide en la rotura por el paso de animales, caída de material y rocas.

De acuerdo a estudios de Delgadillo (2004), en el Sistema de riego Mishka Mayu no ha cambiado en sus elementos hidráulicos principales, los cambios en algunos componentes, dimensionamiento de la tubería de presión o la tubería de distribución matriz principal (manguera rígida o flexible), esta situación aun no pudo ser adoptada en los microsistemas de riego de los cantones de Inquisivi y Capiñata, debido a las siguientes razones:

- La práctica de riego en la zona de Inquisivi es casi durante todo el año y por ello, el uso de la tubería de polietileno a la intemperie es un factor considerado para este propósito a diferencia de mangueras flexibles de lona.
- El arrastrado de estas tuberías de polietileno es periódico en las parcelas, como también de las parcelas a las fuentes de agua.

4.7.2.4 Operación y mantenimiento de los microsistemas

En los microsistemas de riego de la zona de estudio la programación de las fechas de entregas de agua para riego inicia con las siembras de papa, arveja y haba en la época de invierno (meses de junio y julio), continuando en septiembre a noviembre con la siembra del cultivo de zapallo y maíz. Después de la época de lluvias (abril a mayo), se tiene riegos esporádicos para algunos cultivos como el trigo (figura 14).

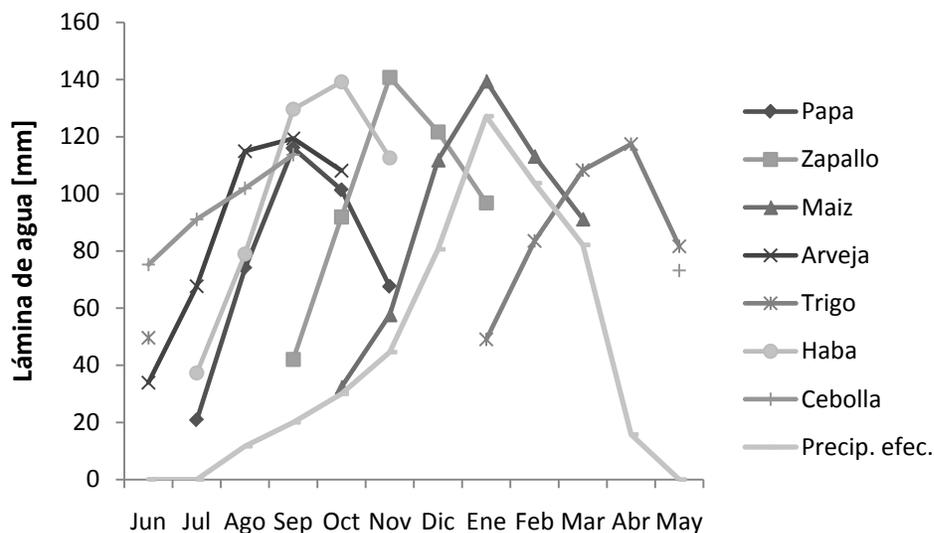


Fig. 14. Demanda de agua y ciclo vegetativo de los principales cultivos del Distrito Centro de Inquisivi.

De acuerdo a la figura 14, los meses de mayor intensidad de riego fueron de julio a octubre (época con escasas precipitaciones y alta evapotranspiración), donde la mayoría de los cultivos están en su desarrollo y que demanda láminas de agua mayores. A partir del mes de noviembre hasta finales del mes de diciembre se continúa con los riegos complementarios a las lluvias esporádicas de la época. En algunos años, después de la época de lluvias es necesario aplicar el riego para que alcance su maduración. Se estima que los ciclos de riego son anuales que duran aproximadamente 8 a 9 meses y únicamente en la época de lluvias con precipitaciones similares a la evapotranspiración (enero a marzo) no se aplica el riego.

Por otro lado, las frecuencias de aplicación de agua son de 3 a 4 días en la época de estiaje y de 5 a 7 días (semanal) en la época de lluvias. Las frecuencias de riego también es influenciado por el tipo de suelo, en suelos de textura fina (francos arcillosos) los riegos pueden ser semanales para cultivos como la papa, maíz y zapallo.

El Plan de Operación para la programación de actividades para el reparto de agua, es convocada por el presidente de riego en una reunión antes del inicio de la temporada de riego, durante el riego o para el periodo de contingencia u otros. Las actividades preliminares antes de la temporada de riego en los microsistemas familiares y comunales fueron los siguientes:

- Limpieza de material sedimentario de la toma, desarenador y aducción.
- En los riachuelos se realizó el encausado de agua hacia el lugar de captación de agua.
- Reparación de la toma artesanal para el encausamiento de agua hacia el sistema de aducción.

- Reparación de fisuras de las mangueras domesticas, tuberías de polietileno y PVC.
- Cambio de tubería(s) en los tramos con roturas.
- Reparación de filtros para aducción de agua a las tuberías.
- Preparación de dispositivos artesanales para la derivación de agua desde las tuberías matrices hacia las mangueras domésticas.
- Fabricación de dispositivos artesanales para el asperjado de agua en las parcelas.

Para cumplir con el plan de operación y el esquema de reparto de agua por lo general inicia de de arriba hacia abajo; de acuerdo a ello el reparto es equitativo y en demanda libre por sectores o turnos discontinuos; en los sistemas de micro riego familiares la planificación para riego es familiar de acuerdo al manejo de sus cultivos y época.

En algunos microsistemas de riego como el Chiji los caudales en la tubería matriz están por alrededor de los 2.5 litros por segundo; en algunos días cuando varios riegan a la vez (6) se generan caudales reducidos para regar con presiones por debajo de 1 bar y en días con pocos regantes (2) caudales suficientes para regar.

4.7.2.5 Riego en las parcelas

Las actividades de riego en las laderas del valle de Inquisivi se inician con el riego de humedecimiento de las parcelas para la preparación del suelo. Esta aplicación de agua es directamente desde las tuberías a la superficie del suelo, en otros casos cuando el terreno es muy accidentado se aplica por medio de los aspersores viejos durante el día y la noche.

En los cultivos recién establecidos se aplica una a dos riegos por semana dependiendo de la época y desarrollo vegetativo (Tabla 23). Otro factor determinante es el tipo de suelo, suelos franco arenosos con alto porcentaje de material clase fragmentario de pizarra, tienen baja capacidad de almacenamiento de agua y combinado a ello la época calurosa resulta en una pérdida de agua violenta hacia la atmosfera.

Tabla 23. Descripción de riego tradicional (artesanal) en las parcelas riego de Inquisivi

Parámetro	Valor
Frecuencia de riego (cada)	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]
Numero de posiciones por día	2 - 3
Numero de aspersores	1
Área regada por posición	28.3 - 314.2 [m2]
Área regada por día	85.0 - 942.5 [m2]

El riego practicado en los microsistemas familiares y comunales se realiza en parcelas de laderas con pendientes de 10 – 50 %, lo cual implica que el riego se realice de día y en laderas de baja pendiente de día y noche. Las actividades para el riego se inician con el arrastre del politubo hasta la fuente de agua, luego se coloca una malla plástica (filtro) en el extremo de la tubería que es sumergido en agua; con flujo de agua en la tubería se procede a la instalación del aspersor en el extremo que esta sobre la parcela; fijándolo con ligas para su estabilidad en un porta aspersor que es básicamente un palo de eucalipto biselado en un extremo para su estacado en el suelo; la altura aproximada del posta aspersor instalado es de un metro.

Los microsistemas familiares para la conducción de agua usan tuberías de polietileno (tabla 24), con una distribución de agua a demanda libre; considerando un caudal reducido en la fuente se ha adoptado una rotación flexible para su uso en algunos microsistemas.

Tabla 24. Características de conducción por politubo en microsistemas familiares

Parámetro	Valor
Captación o aducción	Directa desde la vertiente o hidrante
Tubería de conducción	Polietileno (politubo)
Presiones de operación [bar]	1.0 a 3.0
Tipo de instalación	Móvil - temporal
Tipos de aspersores	Doméstica de jardinería y agrícola
Diámetro de la tubería [plg]	3/4
Caudal de operación del aspersor [l/s]	0.20 a 0.25
Radio de mojado [m]	6.0 - 12.0

En los microsistemas que fueron en el pasado de canales y riego superficial, actualmente su transición hacia riego presurizado artesanal; los gastos de caudales son bajos (0.15 a 0.20 litros por segundo) debido al uso de mangueras domésticas, esto puede ser explicado por el escaso conocimiento en manejo de riego por aspersión. Estos sistemas familiares o comunales estratificados por el uso de mangueras domésticas y dispositivos de aspersión de jardinería presentan las siguientes características (tabla 25).

Tabla 25. Características de conducción por manguera en microsistemas familiares

Parámetro	Valor
Captación o aducción	Desde la tubería principal
Conducción	Manguera de doméstica
Presiones de operación [bar]	1.0 a 2.0
Tipo de instalación	Móvil - temporal
Tipos de aspersores	Doméstica de jardín
Diámetro de la tubería [plg]	1/2
Caudal de operación del aspersor [l/s]	0.15 a 0.20
Radio de mojado [m]	3.0 a 7.0

4.7.3 Ausencia de asistencia técnica

Los microsistemas de riego del Distrito Central de Inquisivi, no cuentan a la fecha (2014) con una etapa de Asistencia Técnica Integral y Acompañamiento (ATIs); debido a su baja inversión económica; estos proyectos son financiados por el Gobierno Municipal y ejecutados mediante adjudicación a pequeñas “empresas constructoras”; ello generó dificultades en la operación y mantenimiento (O+M) de estos microsistemas:

- No se cuenta con un Manual de Operación y Mantenimiento del microsistema de riego, incluyendo un modelo de presupuesto anual de O+M.
- No se tienen los Estatutos y Reglamentos internos aprobados por la organización de regantes.
- No se cuenta con el informe de asistencia técnica y seguimiento a la producción agrícola en parcelas de los beneficiarios.
- Ausencia de criterios técnicos para el diseño de las obras y manejo del agua que generen sostenibilidad social del riego.
- No se cuenta con una estrategia de desarrollo agrícola de la zona de riego.
- No se dispone de parcelas demostrativas para el manejo integral del agua.

4.8 Alternativas de mejora de riego de la zona Inquisivi

Para la mejora de riego de los microsistemas de la zona Inquisivi se consideró acápites referidos a las obras hidráulicas (infraestructura de riego), manejo y aplicación de agua en las parcelas y gestión de riego. Como también se consideró aspectos referidos al apoyo de las instituciones al sector de riego.

4.8.1 Obras de captación a mejorar

Para cada tipo de fuente (río o vertiente) y sus particularidades en el terreno, se plantean las siguientes alternativas de captación de agua:

Para ríos con caudales mayor a 15 l/s en la época de estiaje se recomienda realizar la captación de agua mediante una presa derivador emplazada en un tramo estable (rocoso); en la cual se tiene emplazada la tubería de captación en forma sumergida con su filtro, esta conduce agua hacia la cámara de aducción. En casos de derivación tipo canal con su rejilla y compuerta de entrada, el agua es conducida a una cámara de sedimentación con su vertedor de excedencias, luego el agua pasa por encima de un vertedero a la cámara de aducción diseñada para la conducción hacia la tubería de conducción. Estas obras para su diseño deberán contemplar las pendientes del tramo del río y los caudales de captación (figura 15 y 16).

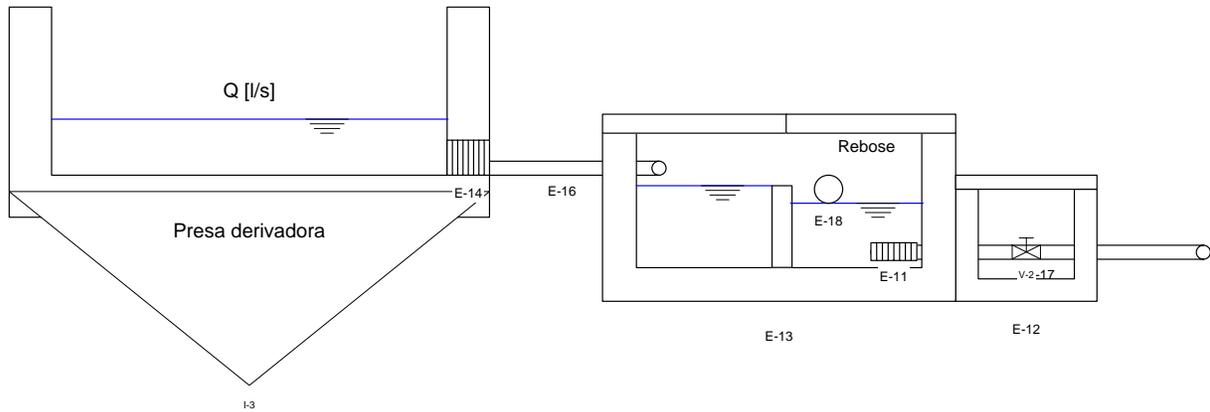


Fig. 15. Sistema de captación y aducción para ríos con un nivel medio de transporte de carga

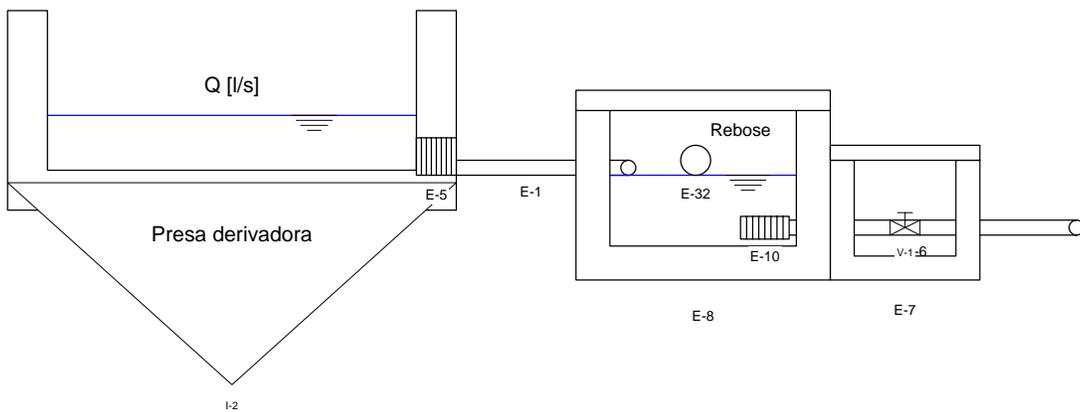


Fig. 16. Sistema de captación y aducción para ríos con bajo transporte de carga

Para los ríos con flujos de agua menor a 15 l/s en la época de estiaje se plantea diseñar obras de derivación lateral específicas para tuberías de 2 a 3 pulgadas. La estructura de la cámara de captación puede ser de características móviles o semimoviles, es decir una estructura prefabricada e inserta en el interior de la orilla del río para evitar destrozos o socavamiento por crecidas (figura 17). Estas estructuras y con adecuaciones pueden estar emplazadas en los lechos estables de los ríos hasta para captar el flujo mínimo.

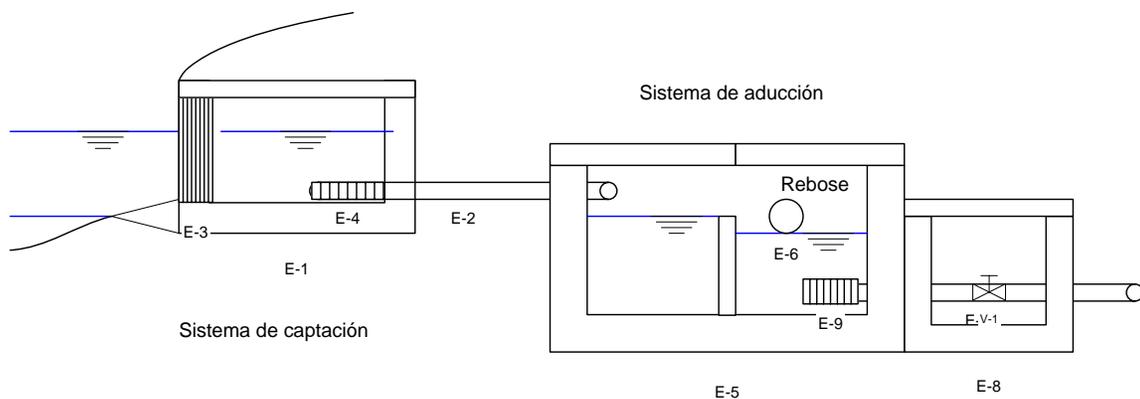


Fig. 17. Sistema de captación y aducción para tomas de agua desde la orilla interior del río

En el caso de captaciones rústicas de agua se plantea que estas infraestructuras deben estar emplazadas considerando los siguientes criterios para su ubicación y operación:

- Sector del tramo con menor pendiente.
- Sector del tramo con bastante volumen de agua.
- Formar un cuadrado en la orilla del río con una profundidad próxima al cauce central para emplazar una cámara de captación.
- Emplazar la tubería de captación con su filtro sumergido y con una pendiente que permita el flujo de agua hacia ella. Luego rellenar con material fino o tepes sobre y los costados de la tubería de captación.
- Emplazar con rocas en los laterales del mismo formando una cámara, luego rellenar los orificios o partes vacías con piedras y grava.

Estructuras de captación y aducción de agua para las vertientes: estas estructuras presentan una cámara recolectora de agua desde el “ojo de agua” pasando a través de barbacanas hacia la cámara de aducción en la cual se tiene emplazada la tubería de conducción con su respectivo filtro (figura 18).

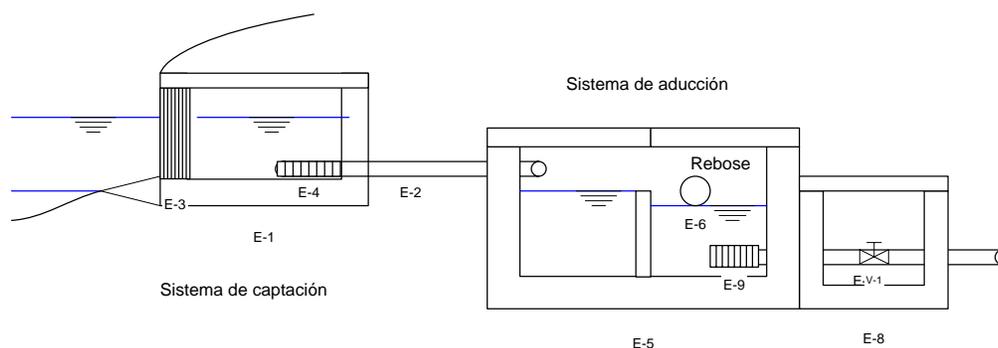


Fig. 18. Sistema de captación y aducción de agua para tomas desde la vertiente

Parte de la estructura del sistema de captación puede ser prefabricada de acuerdo a las características del sitio de emplazamiento (figura 18), esto con la finalidad de evitar las dificultades en la construcción (fraguado de hormigón) en medio del flujo de agua.

4.8.2 Obras de aducción a mejorar

Las estructuras de aducción deben consignar en su diseño particularidades que hacen que su emplazamiento permita un adecuado funcionamiento y para ello debe considerar los siguientes criterios para su diseño:

- Caudales de captación
- Pendientes desde el tramo de captación hasta la estructura de aducción.
- Velocidad del flujo hacia la estructura de aducción.

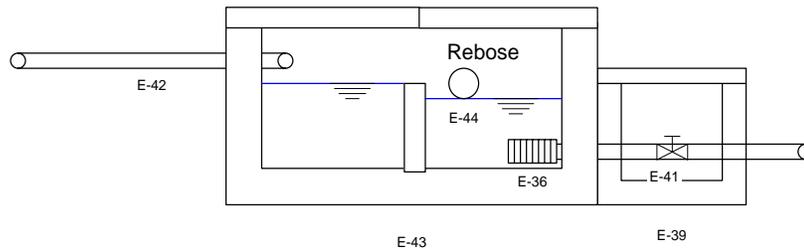


Fig. 19. Sistema de aducción de agua para ríos con transporte de sedimentos medio

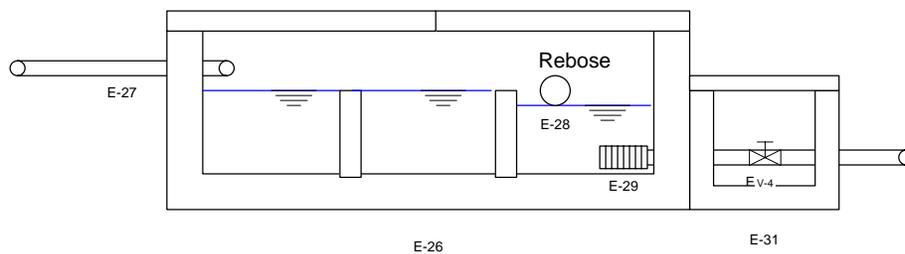


Fig. 20. Sistema de aducción de agua para ríos con transporte de sedimentos alto

Las estructuras de aducción presentan dos compartimentos (figura 19): el primero reduce la velocidad de flujo y precipitado de sedimentos, luego el agua pasa en flujo laminar por el vertedero rectangular que divide y forma los dos compartimentos. En segundo compartimento está emplazada la tubería de conducción con sus respectivos filtros. En este mismo compartimento está emplazada el vertedor de excedencias.

4.8.3 Sistema de conducción a mejorar

Para corregir problemas y dificultades descritas (acápito 4.2.4) de los sistemas de conducción se considera los siguientes aspectos técnicos:

- Uso de material de alta calidad y pared gruesa; diseñados para presiones de riego por aspersión mayor a 20 mca.
- Emplazamiento de cámaras rompe presión en alturas de carga menor o igual a 80 mca, para tuberías E-40, HDPE, SDR 21 o Clase 9 adelante.
- Implementación de válvulas tipo ventosas para liberar el aire comprimido en el interior de las tuberías en tramos con cambios de pendiente o en tramos con flujo de agua parcial, y en tramos largos de conducción mayores a 200 m (figura 21).

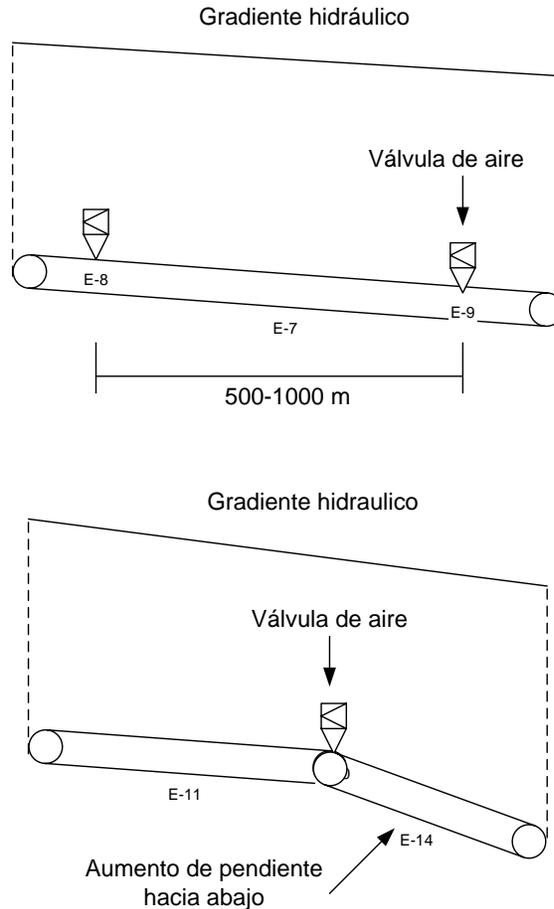


Fig.21. Esquema de emplazamiento de válvulas para la eliminación de aire comprimido en tuberías del sistema de conducción (Hidroval, 2013).

- Cuando el sistema de captación y conducción están captando agua pero no está en operación los aspersores; los aliviaderos de presión pueden estar ubicados en cotas altas.
- El enterado de las tuberías de conducción de acuerdo a la norma boliviana RTDGS (1999), adopta que la profundidad H debe ser mínima 0.80 m para tuberías PVC y 0.60 m para tuberías de hierro galvanizado y con un ancho de 0.5 m.

Con respecto a la presión en tuberías de PVC y polietileno, según Fuentes (2008) se debe considerar los siguientes aspectos:

- Presión nominal: que sirve para tipificar, clasificar y timbrar los tubos y
- Presión de trabajo: que es la máxima presión interna a la que puede estar sometida en un tubo en servicio a la temperatura de utilización.

Para el diseño de sistemas de conducción a presión se debe considerar los caudales demandados para riego tecnificado que tomen en cuenta las áreas a regar, los cultivos, los desniveles de captación, la velocidad media del agua y la pérdida de carga unitaria.

Anten y Willet (2000) indican que el caudal a pasar por la tubería puede considerarse 2 opciones: conducción con tubos llenos y conducción con tubos con tirante hasta 75% del diámetro del tubo. Para trabajar con tubos llenos debemos asegurar que en el perfil longitudinal de la línea de presión en la tubería no baje de la línea de altura del terreno, ya que esta condición representa presiones negativas en el tubo, con los problemas que esto implica (formación de bolsas de aire, explosión de tuberías).

En cuanto a la reducción de diámetros, teniendo en cuenta que el mayor ahorro de caudales se da en los tramos terminales, lo más lógico será que fuera en estos tramos en los cuales se redujeran las mayores reducciones. Sin embargo, por razones económicas resulta más rentable reducir el diámetro de los tramos de cabecera que son los más costosos (Alduán y Monserrat, 2009).

4.8.4 Sistema de distribución a mejorar

Para la mejora del sistema de distribución se plantea los siguientes criterios para el reparto de agua en las parcelas situadas en las laderas de la zona de Inquisivi:

- El diámetro de las tuberías mayores a $\frac{3}{4}$ pulgadas.
- Uso de tuberías de polietileno o mangas de lona de calidad para presiones mayores a 20 mca.
- Longitudes de operación de las tuberías “exactas hasta las parcelas”
- Sistema de acoplado mediante rosca o presión para extender la tubería hasta otras parcelas con la finalidad de evitar fugas de agua.
- Cámaras rompe presión y liberadoras de aire comprimido dentro del sistema de distribución; ubicadas en lugares donde se tiene cambio de pendiente.
- Considerar aliviaderos de presión en el sistema de distribución cuando las alturas de carga sean mayores a 80 mca.
- En caso de que se tenga presiones mayores a 35 mca y caudales mayores a 0.40 l/s, se recomienda instalar dos aspersores en serie, es decir que tengan un punto de distribución con longitudes iguales hasta los aspersores.

4.8.5 Manejo de agua en las parcelas

Para el manejo de agua en las laderas accidentadas del valle de Inquisivi se recomienda considerar los siguientes criterios para mejorar los nuevos microsistemas a implementarse:

Presiones y caudales: se debe considerar desniveles de 20 m por lo menos desde la captación de agua para una adecuada operación de los aspersores; en caso de caídas entre 15 a 20 mca, usar aspersores de baja presión (pequeños) tipo Excel Boobler de un diámetro de ½ pulgada.

Pérdidas de cargas: se admite para fines de cálculo que las pérdidas de carga de 1 mca por cada 50 m de tubería. En muchos de los sistemas se desprecia cuando se tiene fuentes de agua o tuberías matrices próximas a las parcelas de riego.

Conducción de agua a las parcelas de riego: se debe realizar mediante tuberías de polietileno con diámetros mayores a ¾ pulgadas, con extensiones “directas y exactas hasta las parcelas” y con aducción a las tuberías mediante rosca o presión.

Porta aspersores: por las condiciones accidentadas y laderas pronunciadas, los dispositivos de aspersión desempeñan adecuadamente en porta aspersores de 1.5 a 2.0 m de altura desde el nivel del suelo; con un anclaje en suelo con barrilla de metal aguzado o madera dura que permita mantener estable y vertical el aspersor, aun cuando el suelo se haya remojado.

Tipos de aspersores: de acuerdo a las pruebas realizadas en las comunidades de estudio y situaciones de desempeño de los aspersores, se evidencian dos grupos de aspersores:

Aspersores para presiones menores: estos aspersores se desempeñan adecuadamente en situaciones de presiones medias y bajas, los cuales se detallan en la tabla 26.

Tabla 26. Aspersores de baja presión adecuadas para laderas pronunciadas

Tipo de aspersor	Presiones [bar]	Diámetro de tubería [plg]	Caudales [l/s]	Diámetro de mojado [m]	CU [%]
Xcel wobblers Sinn.	0.69 - 1.72	½	0.05 - 0.44	13.4 - 16.0	85 - 90
Taiwan aspersor	1.0 - 2.0	½	0.10 - 0.20	17.0 - 20.0	80
5022-U NDJ	2.0 - 4.0	½	0.125 - 0.17	22.0	88 - 92

Para la selección de los aspersores se plantea que se tome en cuenta los siguientes aspectos:

- Presiones de operación del sistema sobre las parcelas
- Caudales medios a bajos
- Tamaño de las parcelas
- Pendiente del terreno

Cuando se tiene pendientes del terreno mayores a 20 % y con presiones entre 1.0 a 2.0 bares, se ha evidenciado que mejor desempeño tuvieron los aspersores tipo Xcel Wobber (fotografía 12), con una elevación del porta aspersor de por lo menos 1.5 m desde el nivel del suelo, consiguiéndose una distribución de agua como lluvia sobre el cultivo del 85 al 90 %.



Fotografía 11. Aspersores de baja presión Xcel Wobbler y aspersor de presión media y alta Smooth Drive

Aspersores para presiones mayores: este tipo de aspersores desempeñan mejor con alturas de carga mayores y con caudales de agua provistas por tuberías con diámetros de por lo menos $\frac{3}{4}$ pulgadas; por su gran magnitud de diámetro mojado en pendientes mayor a 30 % es conveniente elevar estos aspersores alrededor de 2.0 m de altura para conseguir una distribución de agua uniforme (tabla 27).

Tabla 27. Aspersores de alta presión para condiciones de ladera y planicie

Tipo de aspersor	Presiones [bar]	Diámetro de tubería [plg]	Caudales [l/s]	Diámetro de mojado [m]	CU [%]
Smooth drive Sinn.	1.72 - 2.76	$\frac{1}{2}$	0.077 - 0.176	18.5 - 20.9	85
Rain bird	1.7 - 4.1	$\frac{3}{4}$	0.142 - 0.908	23.8 - 33.0	85 - 90
5035-SD NDJ	1.75 - 4.2	$\frac{3}{4}$	0.347 - 0.542	29.0 - 32.0	88 - 92

Los aspersores que mejor desempeño tuvieron en terrenos de pendiente pronunciada fueron los Smooth drive debido a su asperjado fino y uniformidad dentro de su radio de mojado y se evidencio que el impacto de las gotas sobre la cuesta arriba no es significativo.

Por otro lado, las modificaciones en los aspersores (ensanchamiento de la boquilla principal) y remoción de la boquilla secundaria, afectan el funcionamiento hidráulico notablemente (Delgadillo, 2004). Aun no puede considerarse las modificaciones a los dispositivos de aspersión domesticas utilizados en su mayoría.

La adopción de la tecnología de riego por aspersión en el contexto agrícola de ladera responde varios aspectos tales como: la reducción de la mano de obra empleada en el riego, reducción de la labor sacrificada del riego en ladera, reducción de la erosión antes que a lograr valores altos de eficiencia y uniformidad de riego o incrementar los rendimientos del cultivo.

4.8.6 Inclinación de los aspersores

Se ha evidenciado que los aspersores de impacto con diámetro de 20 mm (3/4”) y 13 mm (1/2”), fueron conveniente inclinar de acuerdo a las situaciones del terreno:

- Puede inclinarse en pendientes del terreno desde 20 a 50 %
- Cuando se cuenta con porta aspersores con una longitud menor a 1.5 m.
- Se puede inclinar desde la vertical 10 a 20 grados dependiendo de la inclinación del terreno.
- Se obtiene a favor de la pendiente un metro de avance del diámetro de mojado y mejor uniformidad de distribución de agua.

Se ha evidenciado en campo que con la inclinación de los porta aspersores se logra una mejor uniformidad en la distribución de agua dentro el diámetro de mojado y se logra que el impacto del agua en el lado de inclinación del terreno sea menor o similar a los otros lados. Se logra también que las equidistancias en el radio de mojado sean similares en todos los sentidos y consiguiéndose con ello una distribución de agua uniforme sobre el cultivo.

En laderas de pendiente pronunciada solo pueden introducirse recomendaciones (Jiménez y Delgadillo, 2004) en cuanto al manejo de riego (pendiente de los porta aspersores, tiempo de riego por posición), y poco de orden técnico reales a la zona (uso de aspersores de baja presión) en donde el agricultor pueda aplicarlo.

La metodología propuesta para evaluar el riego por aspersión en parcelas de pendientes altas, se torna dificultosa para parcelas grandes (mayor a 2000 m²), debido a que implica mayor horas para su evaluación, manejo dificultoso del material, etc., asimismo se torna dificultoso la instalación de la red de pluviómetros en parcelas irregulares (Jiménez y Delgadillo, 2004).

Cuando uno se encuentra parado en una parcela con 70% de pendiente, recién uno aprecia la dificultad, primero, para permanecer parado sin usar las manos para evitar caerse, y si a esto agregamos labrar la parcela, sembrar,..., y regar mediante métodos de riego por superficie, algunas veces durante la noche bajo condiciones de temperatura difíciles, entonces uno se da cuenta que la eficiencia de riego o uniformidad no debe quitarnos el sueño (Delgadillo, 2004).

4.8.7 Gestión de Riego

Se llevaron reuniones y talleres para definir la gestión de riego en los microsistemas en estudio, como también cursos de capacitación y asistencia técnica para el manejo de riego tecnificado. Asimismo se genero manuales de operación y mantenimiento para los sistemas de microriego.

En definitiva, debemos ir de lo difícil a lo fácil, y en lo que se refiere a proyectos de riego, la topografía y el diseño hidráulico y agronómico es lo fácil y lo que debe dejar será para el final (Corazón, 2007). Se trata en último caso no de desarrollar sistemas de riego porque sí, sino de desarrollar sistemas sostenibles de riego (figura 23).



Fig. 22. Estrategia de manejo de agua en zonas de ladera (Flores, 1999).

Chancellor (1997) muestra la típica evolución de un sistema de minirriego en el cual no se ha considerado convenientemente alguno o algunos de los factores detallados en la figura 24.

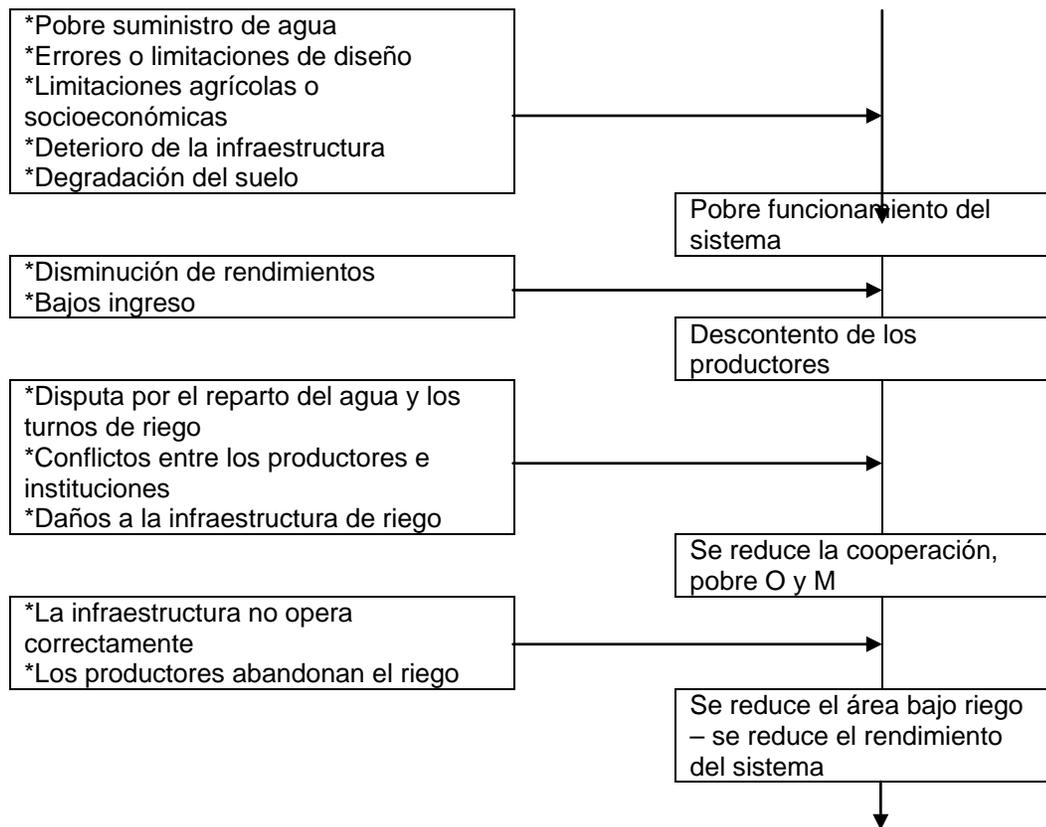


Fig. 23. Causas y efectos de la espiral descendente de funcionamiento de los sistemas de microriego (Chancellor, 1997).

Pobre funcionamiento del sistema, descontento de los productores, se reduce la cooperación, pobre O y M, se reduce el área bajo riego – se reduce el rendimiento del sistema.

4.8.7.1 Diseño de la distribución para los microsistemas de riego de Inquisivi

Para el diseño de la distribución de agua se ha contemplado los siguientes aspectos técnicos:

- Número de regantes que demandan el agua
- Caudal de entrega y caudal mínimo de conducción
- Caudal por usuario
- Frecuencia de entrega
- Tiempo de entrega
- Épocas de riego
- Cupo Productivo
- Tipo de flujo: monoflujo o multiflujo, continuo o discontinuo

De acuerdo a los parámetros considerados como número de usuarios, cedula de cultivos, calendarios de riego, láminas de riego por cultivo, tipo de suelo y climatología local. Los parámetros que caracterizan la distribución de agua se presentan en la tabla 28.

Tabla 28. Parámetros que caracterizan la distribución de agua en los microsistemas de riego

Parámetro	Valor
Caudal de entrega en el sistema [l/s]	3.00
Caudal mínimo de conducción [l/s]	1.00
Caudal por usuario [l/s]	0.20 0.30
Frecuencia de entrega	Cada 5 días
Tiempo de entrega [hr]	12 a 24
Época de riego [meses]	Septiembre a diciembre
Cupo productivo	Familiar
Tipo de flujo	Continua o discontinúa

Se ha considerado dos periodos para la distribución de agua, la primera en la época de estiaje en la cual la distribución deberá ser a demanda libre y a partir del mes de septiembre con las siembras de zapallo y maíz la distribución será por turnos de 24 horas por regante, procediendo a su cambio a las 7 de la mañana del día siguiente.

De acuerdo al sistema de conducción el caudal de agua disponible para la operación es de aproximadamente de 3 litros por segundo, con una variación hasta de 0.5 l/s que depende de la capacidad y nivel de agua en el sistema de captación y aducción; este nivel permite operar cuatro aspersores de baja presión (15 a 25 mca) como los *Xcel Wobbler*, *NDJ*, *Rain Bird* con caudales de operación de alrededor de 0.25 l/s por emisor.

Esta modalidad de distribución permite que cuatro regantes operen al día. Asimismo el riego con un aspersor por regante permite que el manejo sea funcional y viable, debido a las siguientes razones:

- Las parcelas por lo general son pequeñas y con una forma asimétrica, ello obliga a un manejo particular.
- Las pendientes altas de algunas parcelas determina que solo se pueda operar con un solo aspersor y esta sea de presión media y un caudal moderado (0.25 l/s).
- Las tuberías de distribución con diámetros de por lo menos $\frac{3}{4}$ pulgadas son factibles para la operación.
- Las distancias desde los hidrantes hasta las parcelas de riego son en algunos casos mayores a 100 m, que provoca que la pérdida de carga sea significativa.

Finalmente, la distribución de agua inicia con los usuarios de la parte de arriba y terminando con los usuarios de la parte baja con una secuencia de turnos que dura aproximadamente 5 días, considerando un número de 4 regantes por día y para una población de 20 usuarios. De acuerdo a lo descrito, los sistemas de riego no son regulados lo que plantea que la programación de riego puede considerarse de acuerdo al uso consultivo de los cultivos.

En estudios de riego en la Agricultura de Los Andes al sur de Ecuador para el sector de la Playa se obtuvo importantes mejoras en superficie adecuadamente regada con un incremento de 2 horas en el tiempo de riego. Para el sector Las Nieves se logró un importante incremento en uniformidad mediante la disminución de 3 metros en espaciamiento entre aspersores, y se disminuyó considerablemente las pérdidas realizando operaciones de riego en horas sin viento. Para el sector las Ranas, se disminuyó el espaciamiento de posicionamiento de aspersores en el orden de 3 metros para mejorar aspectos de uniformidad y se redujo el tiempo de aplicación en aproximadamente 2.5 horas (Cisneros *et al.*, 2007).

4.8.7.2 Operación y mantenimiento

Operación: las actividades para el reparto de agua implicará personas e instrumentos en riego colectivo es imprescindible la organización de los usuarios para la operación en los sistemas de microriego comunales considerando esquemas de reparto y plan de operación a diferencia de los sistemas unipersonales es en función de la demanda de agua de los cultivos que en muchos casos es visual e intuitiva de acuerdo a su experiencia (tabla 29).

Tabla 29. Caso ejemplo de programación de riego para la operación del sistema de riego estimando las necesidades hídricas de los cultivos por época

Parámetro	Valor
Lámina al umbral de riego [mm]	18
Frecuencia de riego septiembre a octubre [días]	4
Frecuencia de riego noviembre a diciembre [días]	5
Frecuencia de riego enero [días]	6
Número de riegos al mes	4 a 6
Periodo de turno [h]	24
Tiempo de riego por posición [h]	6
Número de posiciones por familia/día	4
Número de regantes por día	4
Número regantes	20
Área regada por posición [m ²]*	288
Área regada por familia/día [m ²]	1152
Área regada por día [m ²]	4608
Área regada por sistema [m ²]	92160

*Incluye la diferencia de área por solapamiento

Esquema de reparto: plantea para el reparto el número de regantes activos de la comunidad, áreas de riego por regante, caudal disponible en el sistema de conducción, balance hídrico local (figura 22 del anexo 10). La información de la tabla 29 fue necesaria para una programación de entregas estableciendo fechas y ciclos.

Plan de Operación: para la planificación de operación del sistema de riego comunal se considera la programación de actividades para cada entrega y de acuerdo al esquema de reparto la comunidad planifica las siguientes actividades:

- Actividades de mantenimiento y habilitación de la bocatoma de agua, estructuras complementarias como desarenadores, cámaras de aducción, filtros y otros.
- Limpieza y reparación del sistema de conducción, cámaras rompe presión, válvulas de alivio de aire, fisuras y otras.
- Mantenimiento de estanques, sistema de distribución referida tuberías de polietileno, cámaras de distribución (reparto), llaves de distribución e hidrantes.
- En los microsistemas familiares se recomienda que se realice la construcción y mantenimiento de sus cámaras artesanales de captación, verificación de filtros y preparado de tuberías para la conducción de agua hasta las parcelas.

Requerimientos para cumplir con el plan de operación:

- *Mantenimiento de las estructuras de captación*: estas actividades consisten en el mantenimiento de la cámara artesanal de piedra que forman la estructura; la limpieza de material grueso dentro de la cámara de captación, de la tubería de captación y la limpieza del filtro artesanal de entrada.
- *Encausamiento de agua en la bocatoma*: se debe mantener de encausado el agua hacia la tubería o canal de captación cada vez que las lluvias sedimenten o desvíen el curso de agua por un lado del río.

Las actividades de mantenimiento se deben realizar antes de la época de riego (mes de abril a mayo), durante la época de riego, en periodos de lluvias temporales, cuando los niveles del agua son mínimas y necesitan ser encausadas.

Para el buen mantenimiento y la operación del sistema se requiere la organización de los regantes en un comité, integrando a todos los usuarios y encabezado por una directiva elegida democráticamente entre ellos. Este comité debe tener un reglamento donde detallan las funciones de cada uno de los integrantes de la directiva y de los usuarios, obligaciones y derechos. Además el comité tiene la obligación de estar legalmente reconocido por la Autoridad de Aguas (Anten y Willet, 2000).

4.8.7.3 Diseño de la organización

Etapas de diseño de la organización: en el proceso del diseño de la organización debe participar la comunidad, para definir la estructura a ser incluida dentro de la estructura comunal, en ello se debe tratar los niveles de conformación, funciones específicas para el presidente de riego o juez de aguas. Toda esta estructura organizativa debe ser documentada en actas como también las actividades que implican decisiones comunales y registro de actividades y asistencia.

En esta etapa de diseño es necesario el acompañamiento para ello se organiza a los regantes para cumplir con las actividades de gestión, que son:

- Asignar agua (derechos y distribución).
- Operar obras (prácticas o actividades en infraestructura de riego).
- Mantener obras (prácticas o actividades en infraestructura de riego).
- Administrar recursos (monetarios y no monetarios).

De las vertientes y/o riachuelos ubicados en una comunidad es derecho el uso del agua de la comunidad y de cada uno de los comunarios tienen derecho para su uso. Por otro lado, se ha evidenciado que el agua de las vertientes y riachuelos es suficiente para el uso en la agricultura, aun no siendo optimizados se cuenta con suficiente agua.

Según aforos realizados se cuenta con suficientes caudales en las fuentes de agua para el riego; pero a veces se tiene situaciones en la que no se cuenta con flujo continuo o disponible de agua en las parcelas de los cultivos debido a las siguientes razones:

- Sistemas de captación poco operativos para la captación de agua.
- Sistemas de conducción de baja eficiencia (con filtraciones de agua en el tramo).
- Sistemas de distribución de menor capacidad de conducción de caudales y que puede atribuirse al infiltrando del agua al suelo.
- Se carece de programación y operación de riego para un aprovechamiento continuo y eficiente de agua.
- Pérdida de agua en los dispositivos de aspersión debido al desgaste en la empuetadura del mecanismo de aspersión.

Dentro de la estructura organizativa de las comunidades la estructura organizativa de riego contempla el presidente de riego o juez de agua, el cual es cargo rotacional anual como de las autoridades originarias. El presidente de riego está supeditada dentro de esta estructura a las autoridades originarias (Jilir y Sullka Mallcu) en comunidades no originarias al secretario general y relaciones. Las funciones del presidente de riego son las siguientes:

- Realizar las gestiones ante instancias municipales para el mejoramiento y/o ampliación del microsistema de riego, como también solicitar asesoramiento técnico y capacitación para la operación, mantenimiento y administración del sistema de riego.
- Velar por el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura de riego.
- Programar el inicio de la temporada de riego y los turnos de riego.
- Convocar a las reuniones para programar actividades de mantenimiento y operación del microsistema de riego.
- Realizar la afiliación de socios nuevos, cobro de cuotas y compra de equipos para el funcionamiento del microsistema de riego.

De acuerdo a los estudios de Cisneros *et al.* (2007) en los sistemas de riego por aspersión de baja pluviosidad y en terrenos de alta pendiente, indican que se debe entrenar a los agricultores en la revisión de los aspersores y revisión de los diseños de los sistemas referido a los espaciamientos de los dispositivos de aspersión que permitirán mejorar el funcionamiento del sistema y 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 de aspersor, con lo cual se obtuvo importantes mejoras en la superficie adecuadamente regada con un incremento en tiempo de riego de 2 horas aproximadamente.

La organización por turnos permite una reducción media de los caudales de diseño de la red del orden del 30% en los tramos terminales, es decir, aquellos que abastecen a pocas parcelas, ya que en estos tramos en la organización a la demanda el caudal de diseño suele ser el acumulado (suma de los hidrantes abastecidos aguas abajo). En los tramos principales la reducción relativa es mucho menor, en torno a un 3%, ya que en estos tramos las necesidades de riego no dependen del tipo de organización (Alduán y Monserrat, 2009).

4.9 Evaluación Económica

Las diferencias económicas entre las comunidades con riego son principalmente en la infraestructura de riego y asistencia técnica, cuyas diferencias son determinadas por el grado de financiamiento de instituciones al sector agrícola y riego. Estas diferencias entre los sistemas o comunidades de riego se detallan en la tabla 30.

Tabla 30. Diferencias en los parámetros de riego y financiamiento

Parámetros	Municipio	Estatad
Financiamiento	POA	Programa Mi Agua
Área de riego [ha]	0.25 a 1	0.5 a 2
Área incremental [ha]	0.25 a 1	0.5 a 2
Inversión por hectárea incremental [\$us]	305.32	3330.07
Inversión por familia [\$us]	152.66	3972.30
Infraestructura de riego	Por fases	Integral
Equipo de riego	No contempla	Integral
Asistencia técnica y acompañamiento	No contempla	Integral
Eficiencia de riego [%]	31.36	73.10

De acuerdo a lo descrito en tabla 12, el área regada y la eficiencia de riego, dependen fundamentalmente del apoyo económico de las instituciones al sector agrícola. Muchos de los proyectos de riego ejecutados por el municipio consisten únicamente en la provisión de materiales muchas veces sin un estudio previo, asimismo, se carece de apoyo en la asistencia técnica para la operación, mantenimiento y administración del sistema de riego, ello incide en la baja eficiencia de riego y menor área regada por familia.

Para conocer acerca de los proyectos de riego integrales que se tiene en la zona, se tomo como caso se estudio a la comunidad Chiji que cuenta con 40 familias beneficiarias; el proyecto de riego para su diseño aplico fundamentalmente el caudal disponible en la fuente, condiciones climáticas, suelos y tipos de cultivo; donde los cultivos no expresen ningún déficit hídrico, es decir que la oferta de agua en el área considerada se encuentra en equilibrio con la demanda hídrica (PRONAR, 2002).

Tabla 31. Área Bajo Riego Óptimo, Área Incremental y las posibles Inversiones Económicas

Condición	Caudal [l/s]	Volumen [M3] *	Área Bajo Riego Optimo (ABRO) [ha]	Área Incremental [ha]	Costo hectárea con riego [\$us/ha]	Inversión Familia [\$us]
Sin Proyecto	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
Con Proyecto	8.00	252288.00	47.60	47.60	3330.07	3972.30
TOTAL		252288.00	47.60			

* Volumen de agua actual (2014) a ser utilizado por una gestión agrícola

La tabla 31 se muestra la situación actual sin proyecto como la situación posible con proyecto, como también las posibles inversiones económicas que demandaría el proyecto de acuerdo al área incremental. De acuerdo a los cálculos con el software área bajo riego optimo (ABRO), el caudal de agua captado por el sistema es de 8 l/s, con ello se podrá regar óptimamente 47.6 ha y con un beneficio de 1.2 hectárea regada por familia.

En la siguiente tabla se presenta un resumen del costo de inversión desglosado por obras principales y que alcanza a un monto total de Bs. 973422.25.

Tabla 32. Presupuesto general de las obras del Sistema de Microriego Chiji

Componentes	Costo [Bs.]
Obras preliminares	4901.25
Obra toma nuevo	5587.12
Cámara aducción	7680.73
Sistema conducción	325559.10
Sistema distribución	131946.65
Cámaras derivación y distribución	20961.53
Tanques almacenamiento 100 m ³ (3)	475374.07
Obras complementarias	1411.80
Total presupuesto	973422.25

A ello se suma el presupuesto que se debe consigna para la asistencia técnica integral y acompañamiento y la supervisión de obras, las cuales se detallan en la tabla 33:

Tabla 33. Presupuesto total del proyecto Sistema de Microriego Chiji

Componente	Presupuesto [Bs.]	Porcentaje [%]
Infraestructura	973422.00	89.3
Supervisión	55878.00	5.2
Acompañamiento/ATI	60700.00	5.5
Total	1090000.00	100.0

De acuerdo a la tabla 33 se evidencia que el costo de la infraestructura de de riego es del 90% del costo total del proyecto y la asistencia técnica integral y acompañamiento y la supervisión de obras es del 10 %, aunque este último puede variar entre 10 a 15%. Asimismo el costo total del proyecto fue de 1090000.00 Bs.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los índices climáticos, el clima de la Localidad de Inquisivi varía de semiárido a sub húmedo seco, con variantes en las partes altas de las montañas de un clima de estepa sub húmeda seco y sub húmedo en el fondo de los valles. La amplitud térmica de la cabecera de valle es similar al Altiplano (Tacagua - Oruro) con valores de 16.4 °C en la época seca (mes de julio) y en la época húmeda (mes de febrero) con 12.6 °C. Las características ecológicas de la zona de Inquisivi, se clasifica como una zona semiárida; con periodos secos donde es imprescindible el riego; necesario en los meses con lluvias esporádicas; riegos complementarios en los meses de septiembre a noviembre de precipitaciones medias.

En la época seca (invierno y primavera) se evidencia la necesidad de aplicar riego de acuerdo a la variación de las precipitaciones mensuales (12 a 55 mm) y riego complementario de noviembre a diciembre cuando se tienen lluvias de magnitud media a baja (74.5 a 122.4 mm de) y la evapotranspiración referencial de 140.8 a 122.4 mm.

En la época de seca (julio a noviembre) los caudales en los ríos son mínimos y los caudales de demanda para riego máximos; asimismo, se ha evidenciado que solo un porcentaje del caudal no es captado. En los meses lluviosos de caudales son máximas y las captaciones son esporádicas. En muchos microsistemas, los caudales de captación y conducción para riego de agua están limitados al diámetro de las tuberías.

Las laderas de Inquisivi en su mayoría son suelos de origen volcánico; por ello las aguas no presentan restricciones de toxicidad iónica de cloruro, boro, bicarbonato y metales pesados para su uso en la agricultura. La mayoría de los ríos no presentan problemas de salinidad y sodicidad, por lo tanto, se clasifican como aguas de clase (C₁S₁), es decir, presentan bajos contenidos de sales y sodio, por ello estas aguas son de bajo o nulo peligro por consiguiente son aptos para fines de riego.

Los suelos del Cantón Inquisivi y Capiñata al estar ubicadas en laderas de la cadena montañosa de la cordillera de Tres Cruces, son formaciones de origen volcánico, y por ello se encuentran en proceso de formación y desarrollo (consolidación de depósitos cuaternarios); de características físicas franco a franco arenoso con presencia material grueso como gravas y piedras (20 %), porosidad alta y continuidad de los espacios aéreos que determina una infiltración rápida de agua a horizontes inferiores, por ello la capacidad de retención y almacenamiento de agua es menor para los cultivos.

La producción de cultivos es durante todo el año y con mayor intensidad de julio a diciembre; de acuerdo a ello la producción de cultivos como la papa, haba, arveja y trigo es durante la época seca hasta inicios de la época de lluvias, por ello, la demanda de agua es mayor en esta época. En la época de lluvias cuando se tiene lapsos de una a dos semanas sin lluvias es necesarios aplicar riegos esporádicos para mantener el nivel de humedad del suelo, en razón a que estos suelos presentan una permeabilidad alta.

La modalidad de distribución es catalogada como demanda libre en gran parte del año y en algunos microsistemas turnos discontinuos en la época seca. Las presiones de operación son variables dependiendo de la altura de carga y tipo de tubería o uso de manguera doméstica que repercute en un menor caudal y pérdida de carga. Se ha evidenciado problemas sociales cuando varios usuarios riegan al mismo tiempo; se carece de acuerdos para superar esta situación, escasa organización entorno al riego para definir actividades de mantenimiento y operación del sistema de riego. Es decir no se cuenta con una gestión de riego en muchos sistemas.

La frecuencia de riego es criterio personal de cada regante que por la dificultad de instalación y manejo de mangueras o politubos, los caudales y presiones de operación no son adecuados, (frecuencias de 7 días). Asimismo, los periodos de riego son arbitrarios de 3 a 4 horas, que está determinada por el área de riego por posición; radios de mojado menores implica cambios de posición en menor tiempo, para alcanzar áreas representativas regadas por día, que en términos de profundidad infiltrada son superficiales alrededor de 0.10 m.

La práctica de riego nocturno es favorable para el riego presurizado “eficiente” de debido a un incremento relativo en el caudal en 5 a 14 % por la baja evaporación de agua en las fuentes, menor evaporación del agua asperjado sobre los cultivos, pérdida menor de agua desde el suelo y los cultivos, almacenamiento de agua mayor en el perfil del suelo y mayor uniformidad de aplicación por la ausencia de vientos fuertes diurnos.

El manejo de agua a nivel parcelario en sistemas de microriego afronta problemas serios desde el punto de vista técnico, materiales y equipos inadecuados, carencia de capacitación y criterios para el manejo de riego en laderas, todo ello incide sobre la baja eficiencia de riego, problemas sociales y económicos. Asimismo, muchos de los microsistemas de riego no cuentan a la fecha con una etapa de Asistencia Técnica Integral y Acompañamiento (ATIs); debido a su baja inversión económica y que fueron financiados por el Gobierno Municipal y ejecutados mediante adjudicación a “empresas constructoras no especializadas” o los propios comunarios. La ausencia de asistencia técnica y acompañamiento genero dificultades en la O y M principalmente.

De acuerdo al sistema de conducción el caudal de agua disponible para la operación es de aproximadamente de 3 litros por segundo, con una variación hasta de 0.5 l/s que depende de la capacidad y nivel de agua en el sistema de captación y aducción; este nivel permite operar alrededor de cuatro aspersores de baja presión (15 a 25 mca), con caudales de 0.25 l/s por emisor y con aspersores de tipo *Xcel Wobbler*, *NDJ*, *Rain Bird*, y que permite una modalidad de distribución de que cuatro regantes operen al día. Asimismo, el riego con un aspersor por regante permite que el manejo sea funcional y viable en laderas de alta pendiente.

Las vertientes y/o riachuelos dentro de una comunidad es derecho de cada uno de los comunarios para su uso y es suficiente para su uso en la agricultura y aun cuando no sean optimizados. Considerando la cedula de cultivos, número de usuarios, calendarios de riego, láminas de riego por cultivo, tipo de suelo y climatología local, se ha establecido la distribución de agua por grupos de usuarios por día en un sentido de rotación desde aguas arriba hacia abajo. Se ha planteado también que las frecuencia de riego de acuerdo al uso consultivo de los cultivos por época; las entregas de agua por turnos en la época de estiaje (julio a diciembre) y demanda libre en la época de mayor disponibilidad de caudales (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 revisión del diseño del sistema de espaciamientos de los dispositivos de aspersión que permitirán 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 de aspersor, con ello se logra mejoras en la superficie adecuadamente regada con un incremento en tiempo de riego de 2 horas aproximadamente.

6. RECOMENDACIONES

Profundizar estudios sobre los tipos de aspersores adecuados para condiciones de riego en laderas empinadas, considerando para ello aspersores de media y baja presión, la altura de los porta aspersores y además considerar la inclinación de los aspersores.

Proponer la implementación de propuestas de desarrollo de recursos hídricos innovadoras para valles interandinos del Distrito Centro de Inquisivi.

Realizar estudios para el desarrollo de dispositivos de aspersión artesanales de buena eficiencia y operatividad para las condiciones de laderas pronunciadas de los valles interandinos.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aidárov, L. P., Golovánov, A. I. y Mamáev M. G., 1985. "El Riego" Mir Moscú. Moscú - URSS.
- 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*, ISSN 1134-2196, Vol. 16, N°. 3, Septiembre 2009 , págs. 235-244. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3131032>
- Amurrio, F., 2002. Principios básicos de la ingeniería de Riego y Drenaje y su Aplicación. UMSS, Facultad de Ciencias Agrícolas, Forestales y Veterinaria. Cochabamba, Bolivia.
- Amurrio, F., 1997. Temas de riegos para técnico superior de agronomía. UMSS, Escuela Técnica Superior de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.
- Anten Michiel y Willet Has, 2000. Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersion en ladera. Sservicio Holandés de Cooperación al Desarrollo, Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrógrafas y Conservación de Suelos. Entre sus líneas de promoción está la realización de pequeñas obras hidráulicas para zonas rurales Alto andinas del Perú.
- Apollin, F. y Eberhort C., 1999. Análisis y Diagnóstico de los Sistemas de Producción en el Medio Rural. Quito, Ecuador.
- Apollin, F. y Eberhort C., 1993., Agricultura Campesina y Gestión Social de Agua en Tiquipaya. PEIRAV/CNEARC Montpellier- Universidad de Cochabamba, Bolivia.
- Apollin Frédéric y Eberhart Christophe, 2006. Metodologías de análisis y diagnostico de sistemas de riego campesino. Riego Andino. Quito, Ecuador: Recuperado 06, 2013, de <http://www.avsf.org/public/posts/550/metodologias-de-analisis-y-diagnostico-de-sistemas-de-riego-campesino.pdf>
- Arce, A. 1993. Balance hídrico en el cultivo de maíz para choclo bajo condiciones de Riego Tradicional en Punata - Cochabamba. Tesis de Grado, UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia.
- Bottega Alfonso y Hoogendam Paul, 2004. Obras de Riego para zonas montañosas. Investigación Aplicada. Programa Nacional de Riego PRONAR. Cochabamba - Bolivia.
- Bryla, D.R., Gartung, J.L., Strik, B.C. 2011. Evaluation of irrigation methods for highbush blueberry-- I. Growth and water requirements of young plants. *HortScience*. 46(1): 95-101. Available at: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/person/34338/PDF/2011/2011_HortScience_46_95_101.pdf
- Calvache, M. 1984. Estudios de las Relaciones Suelo - Agua - Planta. Quito - Ecuador.
- Chilon, E. 1997. Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. Ediciones CIDAT. UMSA - Facultad de Agronomía. EMI - Carrera de Agronomía.
- Chilón, E. 2006, Manual de Edafología: Prácticas de Campo y Laboratorio. UNIR-UMSA. La Paz, Bolivia. 290 p.
- Chipana, R. 1996. Principios de Riego y Drenaje. IRTEC. UMSA - Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia.

- Chipana, R. y Cisneros, F., 2008. Métodos y sistema de riego, elección de las tecnologías apropiadas. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad", La Antigua (Guatemala), 11 al 14 de agosto de 2008, Red Riegos, CYTED y AECID. Disponible en: <http://ceer.isa.utl.pt/cyted/2008/guatemala/cursos/Curso7-RChipana-FCisneros.pdf>
- CIASER-GEOBOL, 1985. Estudio integrado de los recursos naturales del departamento de La Paz "Proyecto CORDEPAZ" – Programa CIASER / GEOBOL. La Paz, Bolivia.
- Cisneros, F.; Pacheco T. y 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, ISSN 1134-2196, Vol. 14, Nº. 3, Septiembre 2007 , pp. 177-186. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2563355>
- Carazón, A., 2007. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2007). Serie Tecnologías. PESA - Honduras. Disponible en: http://www.pesacentroamerica.org/biblioteca/manual_de_riego.pdf
- C3B, 2008. Operación y Mantenimiento de sistemas de riego tecnificado. Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente, Sistema Boliviano de Tecnología Agropecuaria. Proyecto de Innovación Estratégica Nacional en Riego. PIEN – Riego. Consultora Boliviana Beccar Bottega Ltda. Cochabamba, Bolivia. 29 p.
- 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>
- Díaz, A., 2014. Biogeografía: Bioclimatología: Índices climáticos y bioclimáticos. Disponible en: <http://www.biogeografia.net.au.net/bioclima.html>
- Díaz Hugo, 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.
- Dirección General de Saneamiento Básico, 2001. Especificaciones técnicas generales para la construcción de sistemas de agua potable en poblaciones menores a 5000 habitantes, Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, Bolivia.
- Dirección General de Saneamiento Básico, 2001. Reglamento técnico de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 5000 habitantes, Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos, Bolivia.
- FAO, 1997. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Organización de Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación FAO. Segunda Edición. Servicio de Fomento y Conservación de Recursos de Suelos Dirección de Fomento de Tierra y Aguas. Roma. 69 p.
- FAO, 1990. Guidelines For soil Description. Roma, Italia. 5p.

- FAO, 1976. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper No 29, Rome. Available at: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Feddes, R.A., P. Kabat, P.J.T. Van Bakel, J.J.B. Bronswijk y J. Halbertsma. 1988. Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone - State of the art. *J. Hydrology* 100: 69-111.
- Ferere, J. A., 2002. Parámetros Hidrodinámicos para Riego. Bogotá, Colombia.
- Fuentes, J. L., 1998. Técnicas de Riego. Editorial Mundi-Prensa Libros S. A. Tercera Edición. Madrid, España.
- García, A., 2012. Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua para riego. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Garreaud R., Vuille M. & Clement A.C., 2003. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 194: 5-22.
- Gerbrandy, G. y Hoogendam, P., 1996. Aguas y Acequias. Los derechos al agua y la gestión campesina de riego en los Andes boliviano. Editorial Plural. PEIRAV. UMSS – UAW. Cochabamba, Bolivia.
- Gerbrandy, G., 1995. La Materialización de los Derechos del Agua: La propiedad hidráulica en la Extensión y Rehabilitación de los Sistemas de Riego en Bolivia. CESU-PRIV-PEIRAV. Cochabamba, Bolivia.
- Gonzales, L., 2011. Clases de Taller de Tesis. La Paz: Maestría en Sistemas Información Geográfica Facultad de Geología. UMSA.
- Gurovich, L. A., 1985. Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. San José, Costa Rica.
- Hidroval , 2013. CatalogoIo Hidroval Industrial 2013. Fabrica de válvulas y conexiones. Disponible en: <http://www.hidroval.com.mx/modules/rmms/prods.php?idp=67>
- Hoogendam, P., 1999. ¿Cómo escribir una propuesta de investigación? Documento de trabajo N° 4. PEIRAV. UMSS – UAW. Cochabamba, Bolivia. 35 p.
- Hoogendam, P. y Ríos, C., 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. Consultora Boliviana Beccar Bottega Ltda. Cochabamba, Bolivia. 151 p.
- Holdridge, L. R., 1978. Ecología basada en las zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica.
- Hudson, N. W., 1996. Field measurement of soil erosion and runoff. FAO, Manual 68. United Kingdom. Available at: <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm>
- Innova Chile CORFO, 2008. Riego en Frutales. Manual de riego tercera parte. Recuperado 07, 2013, de: <http://www.riochoapa.com/Manual%203%20parte%20Programa%20de%20difusion%20y%20transferencia%20tecnologias%20de%20riego%20para%20el%20sistema%20Choapa%20Corrales%20Fase.pdf>

- Israelsen, H. 1964. Principios y Aplicación de Riego. Ed. Reverte. México.
- Jiménez, J. y 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.
- Martín De Santa, F. y De Juan Valero J. A. 1993. Agronomía del Riego. Universidad de Castilla. Madrid - España.
- MEDMIN, 2006 - 2009. Plan de Desarrollo Municipal. Municipio de Inquisivi. Primera Sección. Provincia Inquisivi. Elaborado por la Fundación MEDMIN. La Paz, Bolivia.
- Miller, K.A., S.L. Rhodes and L.J.MacDonnell, 1997: Water allocation in a changing climate: institutions and adaptation. *Climatic Change*, 35, 157–177.
- Montiel, M. A., Ángeles, J. M. y Guzmán, S., 2009. Operación de Sistemas de Riego. Regar. Recuperado 06, 2013, de <http://www.rregar.com/index.php?riego-parcelario/riego-parcelario-operacion-de-sistemas-de-riego.html>
- Obando, M., Fischler, M., Rodríguez, R., Sagastume, N., Sosa, H. y Morger, C. 2006. Guía técnica, manejo y aprovechamiento de agua con fines agropecuarios. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC) Primera Edición. PASOLAC de Nicaragua, Honduras y El Salvador. Disponible en: www.pasolac.org.ni y http://www.pasolac.org.ni/files/publicacion/1180635327_GUIA%20AGUA.pdf
- Orsag, V. y Miranda, R., 2000. Evaluación de la Gestión de Riego Tradicional con las aguas del río Desaguadero en la Región de Chilahuala y El Choro. Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (TDPS). La Paz - Bolivia.
- Palacios V., 1996. ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? Curso sobre sistemas de riego presurizado. FIRCO. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- 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. Consultora Boliviana Beccar Bottega Ltda. Cochabamba, Bolivia. 151 p.
- PRONAR. 1998. “Agricultura y Gestión Campesina de Riego”. Seminario-Taller Nacional. “Genero en Proyectos de Riego”. Programa Nacional de Riego. Cochabamba - Bolivia.
- PRONAR. 2002. Cursos Sistemas de riego presurizado: Programa Nacional de Riego, Componente de Asistencia Técnica GTZ. Cochabamba, Bolivia.
- PDM, 2006 - 2009. Plan de Desarrollo municipal. Municipio de Inquisivi. Primera Sección. Provincia Inquisivi. Elaborado por la Fundación MEDMIN. La Paz, Bolivia.
- Ramírez, A., 2011. Metodología de la Investigación Científica. Pontificia Universidad Javeriana. Fecha de consulta 18 de febrero de 2011. pp. 42-45. Disponible en:
- Rivas Martínez, 2005. Índice pluviométrico de Lang. Índices climáticos. Disponible en: <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/IndicesClima.htm>

- 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 Grado, UMSA Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.
- Rutgerd Boelens y Apollin Frédéric, 1996. El riego en la comunidad andina; una construcción social. CICDA-CESA-SNV, CAMAREN, Quito, Ecuador.
- Save Children, 1986. Save the Children began working in Inquisivi Province since 1986 during Bolivia's transition from a politically and economically tumultuous period. . Available at: <http://www.savethechildren.org/site/c.8rKLIXMGIpI4E/b.6150559/k.C78A/Bolivia.htm>
- 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>
- SEMTA. 2010. Plan de Desarrollo Municipal del Municipio Inquisivi PDM, 2011-2015. Primera Sección. Provincia Inquisivi. Elaborado por Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadadas SEMTA. La Paz, Bolivia.
- SEMTA, 2012. Proyecto de Microriego de la Comunidad de Fusil Choro. Municipio de Inquisivi. La Paz, Bolivia.
- SENAMHI, 2013. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Bolivia. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.bo/>
- Serrano, G., 2006. Ingeniería del Riego Tecnificado. Diseño. Manejo. Evaluación. La Paz, Bolivia.
- Tarqui, M., 2013. Aptitud de uso de la Tierra de Cantones de Capiñata e Inquisivi. Tesis de Grado, UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia.
- TDR, s.f. "Manual del usuario Modelo 6430FS para TDR 300 tipo Field Scout". Spectrum Technologies, Inc. USA. Available at: http://www.kosmos.com.mx/fileadmin/documentos/Manuales/Estaciones/Spectrum/6430FS_TDR300.pdf
- Tarjuelo, J. M., 2005. El riego por aspersión y su tecnología. 3ra. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 565 p.
- Thornthwaite, 1948. Índice Climático de Thornthwaite, basada en la eficacia térmica dada por la ETP. Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/clasificacionesclimaticas/Thornthwaiteclasificacionclimatica.pdf>
- 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 y <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/form/indices.htm>
- USDA, 1975. Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, Department of Agriculture Natural Resources conservation Service of Unite States

USDA. Agriculture Handbook N° 436, Superintendent of Documents, U.S. government Printing Office, 2da ed. Washington DC United States, 863 p.

US Global Change Research Program, 2000: Water: the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States. National Water Assessment Group, U.S. Global Change Research Program, 160 pp. Available at: <http://www.gcrio.org/NationalAssessment/water/water.pdf>.

s.a., 2010, 11. Ejemplos De Preguntas De Investigación. *BuenasTareas.com*. Recuperado 11, 2010, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Ejemplos-De-Preguntas-De-Investigacion/1044200.html>

Vera, L. A., 1999. Apuntes de Riegos y Drenajes. UMSA. 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.

ANEXO 1.

DATOS CLIMATICOS

Resumen Climático Inquisivi. Periodo 1973 - 2011

Estación:	Independencia	Latitud Sud:	17° 04' 53"
Departamento:	Cochabamba	Longitud Oeste:	66° 49' 07"
Provincia:	Ayopaya	Altitud:	2788 msnm

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación,mm	184.6	153.4	124.5	36.0	11.8	12.0	13.1	30.5	41.6	55.0	74.5	122.4	859.4
Precip 24hr, mm	26.3	26.7	23.2	13.1	6.9	5.5	7.8	11.2	13.4	15.5	19.2	22.5	35.1
Temp. máxima, °C	21.9	21.5	21.7	22.1	21.7	20.6	20.5	21.1	22.0	23.0	23.8	23.1	21.9
Temp. mínima, °C	9.0	8.9	8.6	7.4	5.6	4.4	4.0	4.9	5.9	7.1	8.1	8.9	6.9
Temp. media, °C	15.6	15.4	15.4	15.0	13.8	12.6	12.3	13.1	14.1	15.2	16.0	16.1	14.5
HR, %	77.4	78.4	78.6	74.2	69.4	65.3	65.9	66.7	69.1	67.9	68.9	73.6	71.3
ET, mm/día	4.2	3.9	3.7	3.4	3.0	2.8	2.8	3.2	3.8	4.4	4.7	4.5	
ET, mm/mes	129.1	109.9	114.0	102.1	93.8	82.7	86.7	100.0	113.7	135.2	140.8	139.8	1347.8

BALANCE HIDRICO

$$Pe = (PP - 15) * 0.75$$

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pe, mm/mm	127.2	103.8	82.1	15.8	-2.4	-2.3	-1.4	11.6	20.0	30.0	44.6	80.6	509.5
ET, mm/mes	129.1	109.9	114.0	102.1	93.8	82.7	86.7	100.0	113.7	135.2	140.8	139.8	1347.8
BH, mm/mes	-1.9	-6.1	-31.9	-86.3	-96.3	-84.9	-88.2	-88.3	-93.7	-105.2	-96.2	-59.3	-838.3

ANEXO 2.

Indice de Sequía (Indice de Humedad Disponible DE MARTONNE)

Mes	Precipitación	Temperatura media	Índice de sequía	Condición de humedad disponible de las zonas
Jul	13.1	12.3	7.0	Periodo seco
Ago	30.5	13.1	15.8	Riego necesario
Sep	41.6	14.1	20.8	Riego complementario
Oct	55.0	15.2	26.2	Riego complementario
Nov	74.5	16.0	34.3	Riego esporádico
Dic	122.4	16.1	56.3	No requiere riego
Ene	184.6	15.6	86.5	No requiere riego
Feb	153.4	15.4	72.5	No requiere riego
Mar	124.5	15.4	58.8	No requiere riego

I =

0.64

Sub húmedo seco

ANEXO 4.**COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA CONDICIONES AGROECOLÓGICAS DE VALLES
(Valores ajustados en base a estudios de FAO e investigaciones del PRONAR)**

Nº	CULTIVO	CICLO VEG. [Dias]	COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc)											
			JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	Papa	150		0.24	0.74	1.02	0.75	0.48						
2	Zapallo	150				0.37	0.68	1.00	0.87	0.75				
3	Maíz	180					0.24	0.41	0.80	1.08	1.03	0.80		
4	Arveja	150	0.41	0.78	1.15	1.05	0.80							
5	Trigo	180	0.60							0.38	0.76	0.95	1.15	0.87
6	Haba	150		0.43	0.79	1.14	1.03	0.80						
7	Cebolla	150	0.91	1.05	1.02	1.00								0.78

ANEXO 5.**BALANCE HIDRICO LOCAL**

CULTIVO	BALANCE	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
	Pe [mm]	0.0	0.0	11.6	20.0	30.0	44.6	80.6	127.2	103.8	82.1	15.8	0.0
Papa	BH [mm]		-20.8	-62.3	-96.0	-71.4	-23.0						
Zapallo	BH [mm]				-22.1	-61.9	-96.2	-41.1	30.3				
Maíz	BH [mm]					-2.4	-13.1	-31.3	-12.3	-9.4	-9.1		
Arveja	BH [mm]	-33.9	-67.7	-103.3	-99.4	-78.1							
Trigo	BH [mm]	-49.6							78.1	20.3	-26.2	-101.7	-81.6
Haba	BH [mm]		-37.3	-67.3	-109.7	-109.2	-68.0						
Cebolla	BH [mm]	-75.2	-91.1	-90.3	-93.7								-73.2
	BHS[mm]	-158.7	-216.9	-348.6	-456.2	-366.3	-181.9	-55.6	65.9	10.9	-35.2	-101.7	-154.8

BHS: Balance Hídrico del Sistema. El signo (-) indica la necesidad de riego

ANEXO 6.**CAUDALES OBSERVADOS Y DEMANDADAS**

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	30
Q [m3/s]	0.023	0.019	0.016	0.013	0.010	0.008	0.016	0.035	0.080	0.065	0.045	0.030
Qobs fuente [l/s]	23.0	19.0	15.5	12.5	10.0	8.0	16.0	35.0	80.0	65.0	45.0	30.0
Vol [m3]	59616	50890	41515.2	32400	26784	20736	42854	93744	193536	174096	116640	77760
Qobs. riego [l/s]	1.7	2.3	4.4	6.0	5.6	3.9	2.3	2.0	2.1	2.2	1.3	1.7

BH [l/s]	21.3	16.7	11.1	6.5	4.4	4.1	13.7	33.0	77.9	62.8	43.7	28.3	
Q riego [l/s]	0.38	1.73	6.13	10.20	9.77	3.35	1.93	0.42	-0.02	0.75	1.73	1.76	
				Valor mayor					Drena (-)				

ANEXO 7. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

PRUEBA DE INFILTRACION # 1

PARCELA: TAUCARASI
COMUNIDAD: TAUCARASI

TIEMPO		LAMINA		X	Y	X*Y	X^2	Zin(cm)	I(cm/h)
Ins(min)	Acu(min)	Ins(cm)	Acu(cm)	Log(TAcu)	Log(LAcu)				
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
1	1	0.80	0.8	0.00000	-0.09691	0	0	0.8048	24.4254
2	3	0.70	1.50	0.47712	0.17609	0.084	0.228	1.4029	14.1925
3	6	0.60	2.1	0.77815	0.32222	0.251	0.606	1.9920	10.0762
5	11	0.60	2.7	1.04139	0.43136	0.449	1.084	2.7068	7.4680
10	21	0.80	3.5	1.32222	0.54407	0.719	1.748	3.7540	5.4253
15	36	1.00	4.5	1.55630	0.65321	1.017	2.422	4.9306	4.1567
30	66	1.70	6.2	1.81954	0.79239	1.442	3.311	6.6997	3.0808
30	96	1.60	7.80	1.98227	0.89209	1.768	3.929	8.0978	2.5600
60	156	3.00	10.80	2.19312	1.03342	2.266	4.810	10.3519	2.0139
60	216	3.00	13.80	2.33445	1.13988	2.661	5.450	12.2042	1.7148
SUMA =				13.5046	5.8878	10.66	23.59		

SUMA X =	13.50458
SUMA Y =	5.88783
SUMA X*Y =	10.66
SUMA X^2 =	23.59
N =	10

B =	0.5058
A =	-0.094
r =	1.00

Lamina Infiltrada

$$Zin = K T^a$$

$$\log Zin = \log K + a \log T$$

$$y = A + B x$$

$$a = B = 0.5058$$

$$K = 10^A = 0.8048$$

Luego la Formula es:

$$Zin = 0.8048 T^{0.5058} \text{ (cm)}$$

Velocidad de Infiltración

$$I = a K T^{a-1}$$

$$aK (60) = 24.4254$$

$$a - 1 = -0.4942$$

Luego la Formula es:

$$I = 24.4254 T^{-0.4942} \text{ (cm /hr)}$$

Tiempo y velocidad de infiltración básica

$$tb = (-10 * n) \quad [\text{hr}]$$

$$tb = 4.94 \quad [\text{hr}] \quad 296.51 \quad [\text{min}]$$

$$tb = -600(a - 1)$$

$$tb = 296.51 \quad [\text{min}]$$

$$I = K * t^n$$

$$Ib = K * tb^n$$

$$I_b = K * (-10 * n)^n$$

$$I_b = 11.09 \text{ [cm/hr]}$$

PRUEBA DE INFILTRACION # 2

PARCELA: YAMORA
COMUNIDAD: YAMORA

TIEMPO		LAMINA		X	Y	X*Y	X^2	Zin(cm)	I(cm/h)
Ins(min)	Acu(min)	Ins(cm)	Acu(cm)	Log(TAcu)	Log(LAcu)				
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
1	1	0.50	0.5	0.00000	-0.30103	0	0	0.6213	24.6153
2	3	0.80	1.30	0.47712	0.11394	0.054	0.228	1.2834	16.9478
3	6	1.00	2.3	0.77815	0.36173	0.281	0.606	2.0283	13.3920
5	11	1.20	3.5	1.04139	0.54407	0.567	1.084	3.0264	10.8997
10	21	1.50	5	1.32222	0.69897	0.924	1.748	4.6383	8.7500
15	36	2.00	7	1.55630	0.84510	1.315	2.422	6.6208	7.2859
30	66	2.80	9.8	1.81954	0.99123	1.804	3.311	9.8792	5.9300
30	96	2.70	12.50	1.98227	1.09691	2.174	3.929	12.6522	5.2212
60	156	3.60	16.10	2.19312	1.20683	2.647	4.810	17.4336	4.4273
60	216	3.50	19.60	2.33445	1.29226	3.017	5.450	21.6124	3.9639
SUMA									
=				13.5046	6.8500	12.78	23.59		

SUMA X =	13.50458
SUMA Y =	6.85000
SUMA X*Y =	12.78
SUMA X^2 =	23.59
N =	10

B =	0.6603
A =	-0.207
r =	0.99

Lamina Infiltrada
 $Zin = K T^a$
 Log $Zin = \text{Log } K + a \text{ Log } T$

Velocidad de Infiltración
 $I = a K T^{a-1}$

$y = A + B x$	aK (60) =	24.6153
	a - 1 =	-0.3397
a = B =	0.6603	
K = 10^A =	0.6213	
	Luego la Formula es:	
	$I = 24.6153 T^{-0.3397} \text{ (cm /hr)}$	
	Luego la Formula es:	
	$Zin = 0.6213 T^{0.6603} \text{ (cm)}$	

Tiempo y velocidad de infiltración básica

$$t_b = (-10 * n) \text{ [hr]}$$

$$t_b = 3.40 \text{ [hr]} \quad 203.84 \text{ [min]}$$

$$t_b = -600(a - 1)$$

$$t_b = 203.84 \text{ [min]}$$

$$I = K * t^n$$

$$I_b = K * t_b^n$$

$$I_b = K * (-10 * n)^n$$

$$I_b = 16.25 \text{ [cm/hr]}$$

PRUEBA DE INFILTRACION # 3

PARCELA: CHIJI
COMUNIDAD: CHIJI

TIEMPO		LAMINA		X	Y	X*Y	X^2	Zin(cm)	I(cm/h)
Ins(min)	Acu(min)	Ins(cm)	Acu(cm)	Log(TAcu)	Log(LAcu)				
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
1	1	1.50	1.5	0.00000	0.17609	0	0	1.3232	44.4666
2	3	1.30	2.80	0.47712	0.44716	0.213	0.228	2.4483	27.4244
3	6	0.60	3.4	0.77815	0.53148	0.414	0.606	3.6096	20.2165
5	11	1.00	4.4	1.04139	0.64345	0.670	1.084	5.0687	15.4846
10	21	1.80	6.2	1.32222	0.79239	1.048	1.748	7.2808	11.6509
15	36	2.50	8.7	1.55630	0.93952	1.462	2.422	9.8465	9.1913
30	66	4.50	13.2	1.81954	1.12057	2.039	3.311	13.8267	7.0400
30	96	4.00	17.20	1.98227	1.23553	2.449	3.929	17.0553	5.9701
60	156	7.50	24.70	2.19312	1.39270	3.054	4.810	22.3847	4.8220
60	216	7.00	31.70	2.33445	1.50106	3.504	5.450	26.8601	4.1788
SUMA									
=				13.5046	8.7800	14.85	23.59		

SUMA X =	13.50458
SUMA Y=	8.77995
SUMA X*Y=	14.85
SUMA X^2 =	23.59
N=	10

B=	0.5601
A=	0.122
r=	0.99

Lamina Infiltrada

$$Zin = K T^a$$

$$\log Zin = \log K + a \log T$$

$$y = A + B x$$

$$a = B = 0.5601$$

$$K = 10^A = 1.3232$$

Luego la Formula es:

$$Zin = 1.3232 T^{0.5601} \text{ (cm)}$$

Velocidad de Infiltración

$$I = a K T^{a-1}$$

$$aK (60) = 44.4666$$

$$a - 1 = -0.4399$$

Luego la Formula es:

$$I = 44.4666 T^{-0.4399} \text{ (cm /hr)}$$

Tiempo y velocidad de infiltración básica

$$tb = (-10 * n) \text{ [hr]}$$

$$tb = 4.40 \text{ [hr]} \quad 263.95 \text{ [min]}$$

$$tb = -600(a - 1)$$

$$tb = 263.95 \text{ [min]}$$

$$I = K * t^n$$

$$Ib = K * tb^n$$

$$Ib = K * (-10 * n)^n$$

$$Ib = 23.17 \text{ [cm/hr]}$$

PRUEBA DE INFILTRACION # 4

PARCELA: UPUNIA
COMUNIDAD: UPUNIA

TIEMPO		LAMINA		X	Y	X*Y	X^2	Zin(cm)	I(cm/h)
Ins(min)	Acu(min)	Ins(cm)	Acu(cm)	Log(TAcu)	Log(LAcu)				
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
1	1	1.50	1.5	0.00000	0.17609	0	0	1.3435	63.2592
2	3	1.50	3.00	0.47712	0.47712	0.228	0.228	3.1817	49.9376
3	6	2.00	5	0.77815	0.69897	0.544	0.606	5.4815	43.0164
5	11	3.20	8.2	1.04139	0.91381	0.952	1.084	8.8202	37.7549
10	21	6.40	14.6	1.32222	1.16435	1.540	1.748	14.6507	32.8495
15	36	9.30	23.9	1.55630	1.37840	2.145	2.422	22.3645	29.2512
30	66	14.20	38.1	1.81954	1.58092	2.877	3.311	35.9865	25.6734
30	96	12.00	50.10	1.98227	1.69984	3.370	3.929	48.2883	23.6842
60	156	20.00	70.10	2.19312	1.84572	4.048	4.810	70.6823	21.3341
60	216	18.00	88.10	2.33445	1.94498	4.540	5.450	91.2473	19.8909
SUMA				=	13.5046	11.8802	20.24	23.59	

SUMA X =	13.50458
SUMA Y =	11.88020
SUMA X*Y =	20.24
SUMA X^2 =	23.59
N =	10

B =	0.7848
A =	0.128
r =	1.00

Lamina Infiltrada

$$Z_{in} = K T^a$$

$$\log Z_{in} = \log K + a \log T$$

$$y = A + Bx$$

$$a = B = 0.7848$$

$$K = 10^A = 1.3435$$

Luego la Formula es:

$$Z_{in} = 1.3435 T^{0.7848} \text{ (cm)}$$

Velocidad de Infiltración

$$I = a K T^{a-1}$$

$$aK (60) = 63.2592$$

$$a - 1 = -0.2152$$

Luego la Formula es:

$$I = 63.2592 T^{-0.2152} \text{ (cm /hr)}$$

Tiempo y velocidad de infiltración básica

$$t_b = (-10 * n) \quad [\text{hr}]$$

$$t_b = 2.15 \text{ [hr]} \quad 129.14 \text{ [min]}$$

$$t_b = -600(a - 1)$$

$$t_b = 129.14 \text{ [min]}$$

$$I = K * t^n$$

$$I_b = K * t_b^n$$

$$I_b = K * (-10 * n)^n$$

$$I_b = 53.64 \text{ [cm/hr]}$$

PRUEBA DE INFILTRACION # 5

PARCELA: TAUCARASI ALTO
 COMUNIDAD: TAUCARASI ALTO

TIEMPO		LAMINA		X	Y	X*Y	X^2	Zin(cm)	I(cm/h)
Ins(min)	Acu(min)	Ins(cm)	Acu(cm)	Log(TAcu)	Log(LAcu)				
0	0	0.00	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000
1	1	0.60	0.6	0.00000	-0.22185	0	0	0.6923	34.6923
2	3	1.00	1.60	0.47712	0.20412	0.097	0.228	1.7329	28.9474
3	6	1.50	3.1	0.77815	0.49136	0.382	0.606	3.0918	25.8228
5	11	3.10	6.2	1.04139	0.79239	0.825	1.084	5.1294	23.3681
10	21	3.90	10.1	1.32222	1.00432	1.328	1.748	8.8027	21.0062
15	36	5.60	15.7	1.55630	1.19590	1.861	2.422	13.8079	19.2209
30	66	8.00	23.7	1.81954	1.37475	2.501	3.311	22.9081	17.3938
30	96	6.80	30.50	1.98227	1.48430	2.942	3.929	31.3258	16.3523
60	156	12.00	42.50	2.19312	1.62839	3.571	4.810	46.9904	15.0950
60	216	11.00	53.50	2.33445	1.72835	4.035	5.450	61.6664	14.3068
SUMA									
=				13.5046	9.6820	17.54	23.59		

SUMA X =	13.50458
SUMA Y=	9.68204
SUMA X*Y=	17.54
SUMA X^2 =	23.59
N=	10

B=	0.8352
A=	-0.160
r=	1.00

Lamina Infiltrada

$$Zin = K T^a$$

$$\log Zin = \log K + a \log T$$

$$y = A + B x$$

$$a = B = 0.8352$$

$$K = 10^A = 0.6923$$

Luego la Formula es:

$$Zin = 0.6923 T^{0.8352} \text{ (cm)}$$

Velocidad de Infiltración

$$I = a K T^{a-1}$$

$$aK (60) = 34.6923$$

$$a - 1 = -0.1648$$

Luego la Formula es:

$$I = 34.6923 T^{-0.1648} \text{ (cm /hr)}$$

Tiempo y velocidad de infiltración básica

$$tb = (-10 * n) \quad [\text{hr}]$$

$$tb = 1.65 \text{ [hr]} \quad 98.87 \text{ [min]}$$

$$tb = -600(a - 1)$$

$$tb = 98.87 \text{ [min]}$$

$$I = K * t^n$$

$$Ib = K * tb^n$$

$$Ib = K * (-10 * n)^n$$

$$Ib = 31.95 \text{ [cm/hr]}$$

ANEXO 8.

Esquema de emplazamiento de válvulas expulsoras de aire en sistemas de conducción

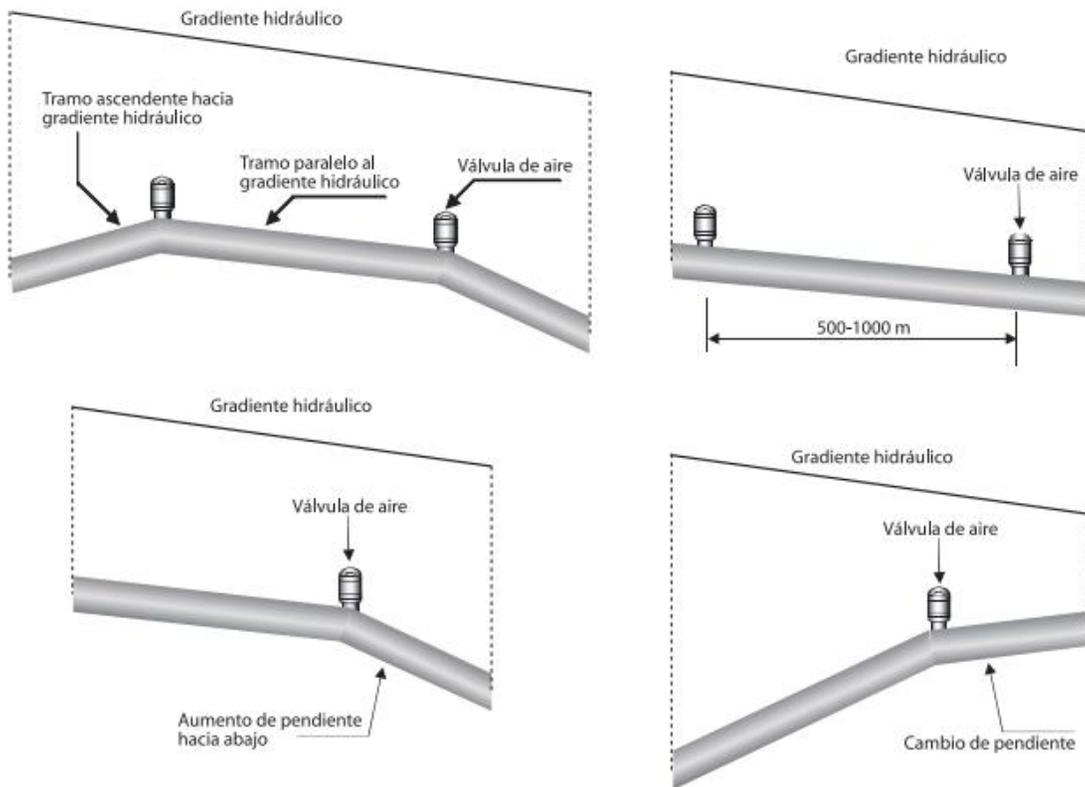


Fig. 21. Esquema de emplazamiento de válvulas para la eliminación aire comprimido en tuberías de sistema de conducción. Fuente: Hidroval (2013)

ANEXO 9

Cuadro 1. C calidad de las aguas para riego en el Cantón Inquisivi

RIOS	pH	C.E. (dS/cm)	Cationes (mg/l)				Aniones (mg/l)				Boro (mg/l)	SS (mg/l)	ST (mg/l)	SD (mg/l)	RAS
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻					
Mallku Uma	8,35	0,1349	1,26	0,69	9,12	8,51	5,07	0,00	70,77	0,02	0,004	9,00	68,03	59,03	0,072
Canalali	7	0,0587	2,99	0,89	4,21	1,7	4,06	0,00	28,55	0,01	0,015	20,00	74,4	54,4	0,31
Chapuma	8,23	0,1763	2,79	0,59	12,35	11,92	4,06	0,00	93,96	3,65	0,008	4,00	143,37	139,37	0,135
Vilacota	8,09	0,1274	2,48	0,69	9,82	5,96	6,08	0,00	52,71	5,47	0,012	1,00	100,88	99,88	0,153
Caluma	7,5	0,0923	1,67	1,09	7,01	4,26	6,59	0,00	20,54	10,18	0,008	48,00	104,47	56,47	0,122
Waychani	8,28	0,234	3,91	0,69	16,83	13,62	4,56	0,00	133	0,02	0,01	1,00	180,77	179,77	0,171
Chajawajawiri	7,71	0,342	7,47	1,40	17,54	10,85	5,08	0,00	49,66	43,06	0,013	6,00	191,83	185,83	0,344
Sajrapuncu	7,95	0,0899	1,67	0,79	10,52	0,43	6,59	0,00	26,48	5,04	0,005	2,00	60,04	58,04	0,137
Cocca Payani	8,71	0,1911	2,28	1,40	12,63	13,31	6,08	0,00	81,75	9,49	0,008	4,00	161,71	157,71	0,106
Duraznani	7,3	0,1152	2,28	0,79	7,01	5,11	4,56	0,00	34,17	8,25	0,010	8,00	81,32	73,32	0,159
Aynacota	8,28	0,2321	5,03	0,79	21,74	9,79	5,08	0,00	106,16	11,23	0,013	7,00	190,11	183,11	0,224
Kocokiri	7,4	0,0655	2,59	1,2	6,31	2,98	4,56	0,00	39,05	0,01	0,008	6,00	63,42	57,42	0,212

Cuadro 2. Calidad de las aguas para riego en el Cantón Capiñata

RIOS	pH	C.E. (dS/cm)	Cationes (mg/L)				Aniones (mg/L)				Boro (mg/l)	SS (mg/l)	ST (mg/l)	SD (mg/l)	RAS
			Na+	K+	Ca++	Mg++	Cl-	CO3-	HCO3-	SO4-					
Jucumarini	7,7	0,0713	1,36	0,59	8,42	0,85	4,06	0,00	30,64	0,26	0,002	8,00	50,99	42,99	0,119
Corachapi	8,43	0,1035	2,59	4,23	5,61	5,11	5,58	0,00	52,47	0,01	0,008	1,00	47,52	46,52	0,189
Chiji	8,24	0,0772	1,97	0,59	7,01	4,68	4,06	0,00	43,44	0,02	0,034	8,00	64,32	56,32	0,141
Acohota	8,5	0,1286	2,69	0,39	8,42	6,81	5,07	0,00	62,23	0,01	0,01	1,00	112,19	111,19	0,166
Chicani	8,2	0,1045	5,94	2,91	4,91	2,98	6,59	0,00	35,08	0,02	0,057	13,00	77,03	64,03	0,52
Kasaque	8,27	0,07	4,11	0,69	4,91	0,43	4,56	0,00	23,18	0,01	0,050	7,00	47,73	40,73	0,476
Palomani	7,21	0,23	3,5	1,60	11,22	16,17	60,08	0,00	82,97	21,53	0,000	1,00	168,9	167,9	0,156

ANEXO 10

Cuadro 3. Características del agua de riego en los cantones Inquisivi y Capiñata

Cantón	Ríos	Clasificación USDA (1973)		Clasificación FAO, 1987					
		Salinidad	Sodio (RAS)	Salinidad	Permeabilidad	Toxicidad iónica específica			
						Sodio (RAS)	Cloruro	Boro	Bicarbonato
Inquisivi	Mallku Uma	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Canalali	C2	S1	N	N	N	N	N	N
	Chapuma	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Vilacota	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Caluma	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Waychani	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Chawajawiri	C2	S1	N	N	N	N	N	N
	Sajrapuncu	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Cocca Payani	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Duraznani	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Aynacota	C1	S1	N	N	N	N	N	N
Kocokiri	C1	S1	N	N	N	N	N	N	
Capiñata	Jucumarini	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Corachapi	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Chiji	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Acohota	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Chicani	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Kasaque	C1	S1	N	N	N	N	N	N
	Palomani	C1	S1	N	N	N	N	N	N

CLASIFICACIÓN U.S.D.A

C1 Bajo peligro de salinidad S1 Bajo peligro de sodio
 C2 Medio peligro de salinidad S2 Medio peligro de sodio
 C3 Alto peligro de salinidad S3 Alto peligro de sodio
 C4 Muy alto peligro de salinidad S4 Muy alto peligro de sodio

CLASIFICACIÓN F.A.O

N Ninguno
 L Ligero a moderado
 S Severa

