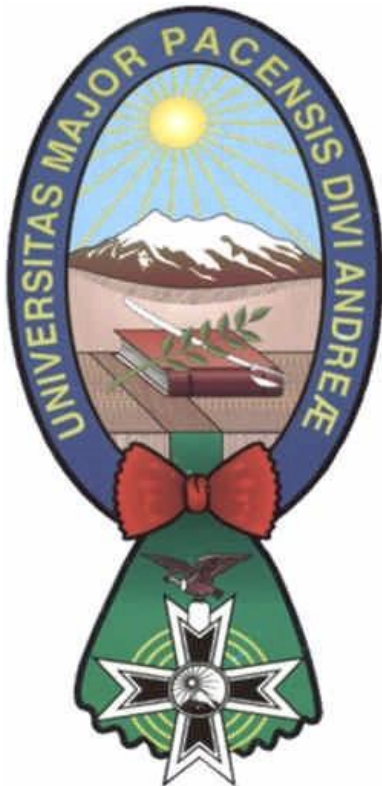


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA  
UNIDAD DE POSTGRADO DE AGRONOMIA



**MAESTRIA EN INGENIERIA DE RIEGO**

TESIS DE MAESTRIA

**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS  
ACTIVIDADES PRODUCTIVAS BAJO RIEGO MEDIANTE EL ANÁLISIS  
CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIEGO EN LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA”**

PRESENTADO POR:

**Ing. FREDDY VICTOR ARANO BARRIENTOS**

La Paz – Bolivia

2014



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
UNIDAD DE POSTGRADO DE AGRONOMÍA

**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS  
ACTIVIDADES PRODUCTIVAS BAJO RIEGO MEDIANTE EL ANÁLISIS CLIMÁTICO  
Y GESTIÓN DE RIEGO EN LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA”**

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

***Presentado por***

Ing. FREDDY VICTOR ARANO BARRIENTOS

**ASESOR**

M.Sc. Ing. Edwin Yucra Sea .....

**TRIBUNAL REVISOR**

Ing. M.Sc. Isidro Callizaya Mamani .....

Ing. M.Sc. Paula L. Pacheco Mollinedo .....

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....

2014

## *Dedicatoria*

*Este trabajo va dedicado con todo mi cariño y mi amor a mis padres, que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.*

*A Paola por ser una ejemplar hermana, por apoyarme en cada momento de mi vida y por la fuerza que siempre me dio para continuar.*

*A mi amada esposa Carola por tu paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por tu bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para ti, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.*

.....SER MAS PARA LOS DEMAS

## *Agradecimientos*

*Agradecer a mis padres por todo el apoyo que me brindaron para que logre cumplir esta etapa. Sin ellos no hubiese podido llegar donde estoy hoy y sé que con todo su amor, enseñanzas, consejos y sabiduría llegare a ser más de lo que alguna vez imagine ser.*

*A mi hermana, por todo el apoyo que me da. Gracias por ser una guía en mi vida, por ser la persona más alegre que conozco y por enseñarme que en la vida no hay porque complicarse tanto, todo tiene una solución.*

*Agradecer a mis compañeros de clases por todo el conocimiento compartido durante el desarrollo de la Maestría; en especial a Claudia, Fanny y Roxana que fueron un importante apoyo tanto en la parte académica como en la amistad. . . . . Mil gracias.*

*A Héctor y Katherine, dos personas que fueron una válvula de escape en momentos críticos y de los cuales aprendí mucho. Siempre recordare nuestras conversaciones como las más "intelectualmente divertidas". Les agradezco por ser mis amigos. . . . . Rock and Roll Forever y café Boliviano en algún lugar de Europa.*

*También un especial agradecimiento al Ing. Edwin Yucra por haber sido un compañero durante el desarrollo de la tesis y quien hizo posible la culminación de este trabajo con sus consejos y enseñanzas. Por haberme enseñado todo lo que sabía para que yo pueda ser un profesional de calidad, le agradezco infinitamente.*

*Agradecer también al tribunal revisor por los consejos y observaciones realizadas, para que este trabajo salga a la luz y lleve a ser de provecho para futuros profesionales.*

*A Claudia Saavedra por toda la ayuda brindada durante el proceso de la Maestría, sin su ayuda esto hubiese sido más difícil de lo que fue. Gracias por la paciencia y por los consejos.*

*A Agua Sustentable y el Proyecto Illimani, por toda la información brindada.*

*Un muy especial agradecimiento a la PhD. Magali Garcia, por haberme dado la oportunidad de crecer como profesional y como persona. Sus consejos fueron de gran ayuda en las etapas más difíciles de este proceso y por eso siempre tendrá mi más grande gratitud por todo lo enseñado.*

*A mis suegros por haberme abierto las puertas de su hogar y haberme tratado como un hijo más, sin su ayuda esto no hubiese sido posible. . . . . Mil Gracias por todo.*

*Y por último, mi más infinito amor y gratitud al amor de mi vida; a la persona más importante que tengo, a mi Esposa Carola. Eres y serás el norte de mi vida, eres la persona que me da palabras de aliento cuando más las necesito y eres el pilar que forja nuestro hogar. Sin ti nada de esto sería posible y lo que vi alguna vez como un sueño, hoy ahora se convierte en una realidad. Gracias por todo lo que haces por nosotros para que tengamos un mejor futuro como familia. No me alcanzara toda una vida para demostrarte cuan agradecido estoy por haberme escogido como tu otra mitad. Te Amo*



## Contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	Antecedentes. ....	1
1.2	Justificación.....	2
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
<b>3</b>	<b>MARCO TEORICO</b> .....	<b>4</b>
3.1	Importancia del recurso agua .....	4
3.2	Hidrografía de Bolivia.....	4
3.3	Conceptos Básicos de Cuencas.....	6
3.4	La cuenca hidrográfica como un sistema.....	7
3.5	El ciclo hidrológico.....	9
3.6	Modelo de balance hídrico.....	10
3.7	Parámetros del balance hídrico .....	13
3.7.1	Precipitación, variación espacial y temporal .....	13
3.7.2	Importaciones superficiales de otra cuenca y Retornos de la demanda .....	13
3.7.3	Evaporación y Evapotranspiración.....	14
3.7.3.1	Evapotranspiración de Referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	14
3.7.3.2	Evapotranspiración del cultivo (ET <sub>c</sub> ).....	15
3.7.3.3	Coeficiente de cultivo K <sub>c</sub> .....	16
3.7.3.4	Evapotranspiración Real - Capacidad de Agua Disponible en los Suelos .....	16
3.8	Requerimientos de agua en los cultivos.....	18
3.8.1	Calidad de agua.....	18
3.9	Eficiencia en el uso del agua .....	18
3.9.1	Infiltración.....	19
3.9.2	Eficiencia de conducción .....	20
3.9.3	Pérdidas por infiltración .....	21
3.9.4	Pérdidas por evaporación .....	21
3.9.5	Perdidas por manejo del agua en la red de distribución.....	21
3.10	Situación de la Agricultura y el Área Rural .....	22
3.11	Zonas Agroecológicas con Demanda de Riego .....	22

3.12	Gestión de Riego .....	24
3.12.1	Gestión campesina.....	25
3.12.2	Gestión familiar .....	25
3.12.3	Gestión Comunitaria .....	26
3.12.3.1	Propiedad privada y propiedad colectiva en la comunidad.....	26
3.12.3.2	Organización comunitaria .....	26
3.12.3.3	Participación y equidad en la comunidad .....	27
3.13	Gestión campesina de agua.....	27
3.13.1	La gestión comunitaria de agua .....	28
3.13.2	La gestión intercomunitaria de los sistemas de riego mayores .....	29
3.14	El sistema de riego .....	29
3.14.1	Caracterización de los elementos del sistema .....	30
3.14.1.1	El sistema normativo .....	31
3.14.1.2	Los derechos del agua y las obligaciones .....	31
3.14.1.3	La infraestructura y la geografía de la red de riego.....	32
3.14.1.4	Los sistemas de producción y las estrategias familiares .....	33
3.14.1.5	La organización de regantes .....	34
3.15	Introducción al GIRH (Gestión Integral de Recursos Hídricos).....	34
3.16	Conceptos Clave de GIRH.....	34
3.16.1	Cuenca .....	35
3.16.2	El enfoque de la gestión integrada de recursos hídricos .....	35
3.16.3	Gestión de cuencas.....	36
3.16.4	Organismo de cuenca .....	36
4	MATERIALES Y METODOS.....	37
4.1	Área de estudio .....	37
4.1.1	Características generales de la zona de estudio (Fisiografía y clima) .....	38
4.2	Materiales .....	39
4.2.1	Equipos de campo.....	39
4.2.2	Materiales de gabinete.....	39
4.3	Metodología.....	39
4.3.1	Recopilación de información.....	39
4.3.1.1	Imágenes satelitales .....	39



4.3.1.2	<b>Información climatológica</b> .....	40
4.3.1.3	<b>Cálculo del balance hídrico de agua superficial</b> .....	42
4.3.1.4	<b>Inventario de sistemas de riego y otros usos de agua</b> .....	42
4.3.1.5	<b>Análisis de información secundaria para el desarrollo del trabajo.</b> .....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>BALANCE HIDRICO.</b> .....	<b>44</b>
5.1.1	<b>Determinación de ETo y Precipitación</b> .....	44
5.1.2	<b>Determinación de cultivos y las áreas de cultivo de la Cuenca.</b> .....	46
5.1.3	<b>Determinación de Caudales</b> .....	49
5.1.4	<b>Determinación del balance hídrico de la cuenca.</b> .....	50
<b>5.2</b>	<b>EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA.</b> .....	<b>52</b>
5.2.1	<b>Origen y usos del recurso hídrico en la cuenca del rio Sajhuaya</b> ..	52
5.2.2	<b>Análisis del sistema de riego en la cuenca del rio Sajhuaya.</b> .....	54
5.2.3	<b>Análisis económico de la cuenca del Rio Sajhuaya.</b> .....	55
5.2.3.1	<b>Aspectos demográficos</b> .....	55
5.2.3.2	<b>Situación económica de las comunidades en estudio.</b> .....	56
5.2.3.2.1	<b>Comunidad de Khapi</b> .....	56
5.2.3.2.2	<b>Comunidad de Cebollullo</b> .....	58
5.2.3.2.3	<b>Comunidad de Tahuapalca</b> .....	59
5.2.3.3	<b>Evolución de los precios de los principales productos de la cuenca.</b> .....	60
5.2.3.4	<b>Cambios en los requerimientos de riego</b> .....	63
5.2.3.5	<b>Precipitaciones de las comunidades en estudio (Gestión 2010-2012)</b> .....	63
5.2.3.6	<b>Porcentaje del terreno cultivado en las comunidades de la cuenca del rio Sajhuaya.</b> .....	65
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIEGO DENTRO DE LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA.</b> .....	<b>67</b>
5.3.1	<b>Organización sindical en la cuenca del rio Sajhuaya</b> .....	67
5.3.2	<b>Derecho colectivo sobre el acceso y uso de agua para riego</b> .....	70
5.3.2.1	<b>Origen de los derechos colectivos</b> .....	70
5.3.2.2	<b>Acuerdos sobre el uso de los sistemas de riego en la zona.</b> ...	71

5.3.2.3	Ingreso, Transferencia, Obligaciones y Gestión para mantener el derecho colectivo.....	71
5.3.3	Derecho familiar sobre el acceso y uso de agua para riego .....	73
5.3.3.1	Origen de los derechos Familiares.....	73
5.3.3.2	Ingreso, Transferencia, Obligaciones y Gestión para mantener el derecho familiar .....	73
5.3.4	Construcción de obras piloto para la mejora del uso del recurso hídrico en la Cuenca del Rio Sajhuaya. ....	74
6	DISCUSIONES.....	76
7	CONCLUSIONES .....	83
8	RECOMENDACIONES .....	86
9	BIBLIOGRAFIA. ....	88

## Índice de Figuras

Figura 1. Distribución de cuencas Hidrográficas en Bolivia .....	5
Figura 2. Cuenca Hidrográfica .....	6
Figura 3. Ciclo Hidrológico.....	8
Figura 4. Elementos que integran el ciclo hidrológico.....	9
Figura 5. Influencia del clima en el ciclo hidrológico. Fuente: Diaz, Esteller y López (2005) ...	10

## Índice de Gráficos

Grafico No. 1. Climatogramas Periodos 2010- 2013.....	44
Grafico No. 2. Climatograma Promedio .....	45
Grafico No. 3. Valores de Eto para balance hídrico. ....	46
Grafico No. 4. Relación de áreas de cultivos con área total agrícola.....	49
Grafico No. 5. Introducción de precipitaciones y Áreas regables, capacidad de canal e eficiencias.....	50
Grafico No. 6. Caudales y superficies de cultivos.....	50
Grafico No. 7. Balance hídrico de la cuenca, tomando en cuenta todos los datos disponibles .....	51
Grafico No. 8. Rendimiento (kg) de papa en la comunidad de Khapi 1975 – 2009 .....	57
Grafico No. 9. Rendimiento de maíz en Cebollullo 1975 – 2009 (unid).....	59
Grafico No. 10. Rendimiento de Lechuga en la comunidad de Tahuapalca 1975 – 2009 (unid) .....	60
Grafico No. 11. Evolución del precio de la a) papa, b) maíz y c) cebolla para los periodos 1975-2009.....	62
Grafico No. 12. Requerimiento y tendencias de riego en las comunidades de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca.....	63
Grafico No. 13. Comportamiento de lluvias en las tres comunidades de la Cuenca del rio Sajhuaya Gestión 2010-2011 - Gestión 2011-2012.....	64
Grafico No. 14. Superficies Cultivadas en las tres comunidades de la cuenca del Rio Sajhuaya (Taboada & Garcia, 2010) .....	66
Grafico No. 15. Principales Canales de riego de la cuenca del Rio Sajhuaya.....	68
Grafico No. 16. Sistemas de Canales de las comunidades de a) Khapi, b) Cebollullo y c) Tahuapalca .....	69

## Índice de Tablas

Tabla 1. Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas.....	17
Tabla 2. Zonas agroecológicas con déficit hídrico .....	24
Tabla 3. Superficie de las tres Macrocuencas de Bolivia .....	35
Tabla 4. Características de la cuenca del río Sajhuaya .....	37
Tabla 5. Valores de temp. Máxima, temp. Mínima y Precipitación .....	45
Tabla 6. Área Cultivada de los productos más importantes de la Cuenca .....	46
Tabla 7. Caudales de acuerdo a la época.....	49
Tabla 8. Cantidad de usuarios y superficies regadas por los sistemas (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010) .....	54
Tabla 9. Diferentes épocas de riego por sistemas (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010) .....	54
Tabla 10. Días de riego por comunidad y según sistemas y acuerdos (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010) .....	55
Tabla 11. Población por comunidad de la zona de estudio (Cuiza Bejarano, 2011) .....	56
Tabla 12. No. de familias de la cuenca del rio Sajhuaya (Cuiza Bejarano, 2011) .....	56
Tabla 13. Incremento de precio en los productos de la cuenca (Cuiza Bejarano, 2011) .....	62
Tabla 14. Cargos de responsables del sistema de riego (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010) .....	68

## Índice de Mapas

Mapa 1. Distribución de la cuenca del rio Sajhuaya.....	38
Mapa 2. Ubicación de las estaciones climáticas .....	41
Mapa 3. Mapa de suelos agrícolas Vs. Mapa de uso de suelos.....	48
Mapa 4. Afluentes y Canales de la Cuenca .....	53

## Resumen

En la región andina, el agua es gestionada principalmente por comunidades campesinas e indígenas que, a partir de la acción colectiva para acceder a este vital recurso, establecen sus derechos colectivos sobre diversas fuentes de agua. En este contexto conviven una serie de formas consuetudinarias de derechos de agua (colectivos e individuales) que hacen compleja su gestión y por ende el desarrollo de políticas hídricas.

Debido a la gran demanda de productos agrícolas de zonas de valle, (productos que genera una gran demanda de los recursos hídricos para su producción), muestra la necesidad de realizar estudios en la zona para poder determinar las necesidades de riego y determinar de qué manera estas influye en las actividades agrícolas de los productores.

El presente estudio pretende realizar el monitoreo del balance hídrico de la cuenca del río Sajhuaya, y establecer su efecto a la producción agrícola tomando en cuenta el funcionamiento de la infraestructura y/o almacenamiento de los respectivos sistemas de conducción y distribución de agua, así también como su respectiva gestión del recurso hídrico en las diferentes zonas que componen la cuenca.

**Palabras Clave:** Gestión, Riego, Recursos Hídricos, Cuenca, Derecho sobre el Agua

## Summary

In the Andean region, water is mainly managed by peasant and indigenous communities, from collective action to access this vital resource, establish their collective rights to various water sources. In this context a variety of forms coexist about water rights (collective and individual) that make be complex management and therefore the development of water policies.

Due to high demand for agricultural products valley areas (products generated a great demand for water resources for production), shows the need for studies in the area to determine irrigation needs and determine how these affect agricultural activities of farmers.

The present study aims to perform monitoring of the water balance of the river basin Sajhuaya and establish its effect on agricultural production taking into account the operation of the infrastructure and / or storage of the respective conduction systems and water distribution, as well as their respective management of water resources in the different areas that compose the basin.

**Keywords:** Management, Irrigation, Water Resources, Basin, Law on Water



# **“EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS BAJO RIEGO MEDIANTE EL ANÁLISIS CLIMÁTICO Y GESTIÓN DE RIEGO”**

## **1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes.**

En los últimos años, en casi todos los países de América Latina y el Caribe se han sucedido reformas en las legislaciones y organizaciones orientadas a la gestión y el aprovechamiento del recurso agua. La diversidad de culturas, climas, así como las actividades políticas y financieras en cada uno de estos países ha ocasionado que cada día se busquen nuevos y mejores procedimientos para llevar a cabo una correcta gestión integrada de los recursos hídricos. Asimismo, los procesos de globalización y regionalización hidrológica permiten cada día afinar el detalle de los estudios hasta lograr una correcta administración a nivel de cuencas; con la consecuente reducción del papel del Estado (UNESCO, 2006).

En la región andina, el agua es gestionada principalmente por comunidades campesinas e indígenas que, a partir de la acción colectiva para acceder a este vital recurso, establecen sus derechos colectivos sobre diversas fuentes de agua. En este contexto conviven una serie de formas consuetudinarias de derechos de agua (colectivos e individuales) que hacen compleja su gestión y por ende el desarrollo de políticas hídricas. En los últimos años se vienen desarrollando procesos de formalización e individualización de derechos de agua en la región, generando diversos puntos de tensión en relación a los derechos colectivos. Estos conflictos y tensiones requieren de un urgente tratamiento considerando la diversidad de visiones y percepciones que surgen en torno a los derechos de agua (Vega, 2009).

Espinoza & Fuchs (2011) indican que se ha evidenciado que en el mundo existe un aumento significativo de la temperatura así como otros efectos atribuidos al cambio climático que afectan a los sectores productivos, económicos y sociales. En consecuencia se han elaborado proyectos que proponen estrategias de adaptación y

mitigación a los efectos de cambio climático, gestión del agua y manejo del sistema de cultivos, entre otros.

La evaluación de las demandas de riego en retrospectiva histórica de un territorio productivo agrícola permite identificar la evolución de la presión sobre los recursos hídricos y da luces sobre alternativas de manejo futuras en base a experiencias pasadas del manejo del riego (IIAREN, 2011).

## **1.2 Justificación**

Debido a la gran demanda de productos agrícolas de zonas de valle, (productos que genera una gran demanda de los recursos hídricos para su producción), muestra la necesidad de realizar estudios en la zona para poder determinar las necesidades de riego y determinar de qué manera estas influye en las actividades agrícolas de los productores.

El presente estudio pretende realizar el monitoreo del balance hídrico de la cuenca del río Sajhuaya, y establecer su efecto a la producción agrícola tomando en cuenta el funcionamiento de la infraestructura y/o almacenamiento de los respectivos sistemas de conducción y distribución de agua, así también como su respectiva gestión del recurso hídrico en las diferentes zonas que componen la cuenca.

Los temas relacionados con el agua afectan a todos los segmentos de la sociedad y a todos los sectores económicos. El crecimiento demográfico, el rápido proceso de urbanización e industrialización, la expansión de la agricultura y el turismo y el cambio climático, ejercen una presión cada vez mayor sobre los cultivos y por ende sobre el agua. Debido a esta creciente tensión, la gestión adecuada de este recurso vital es de crucial importancia.

La presión sobre los recursos hídricos pone de manifiesto las interdependencias hidrológicas, sociales, económicas y ecológicas que existen en las cuencas hidrográficas, lacustres y acuíferas. Dichas interdependencias exigen enfoques más integrados para el desarrollo y la gestión de los recursos del agua y de la tierra. Existe una relación dinámica entre las partes interesadas de las cuencas y los gobiernos



centrales, que deben trabajar en forma conjunta para asegurar la viabilidad de sus decisiones con el fin de alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.

## **2 OBJETIVOS.**

### **2.1 Objetivo General.**

- Evaluar la influencia de los recursos hídricos en las actividades productivas bajo riego mediante el análisis climático y gestión de riego en la cuenca del río Sajhuaya

### **2.2 Objetivos Específicos.**

- Determinar el balance hídrico superficial de cuenca del río Sajhuaya.
- Evaluar el uso de los recursos hídricos en la cuenca del río Sajhuaya
- Analizar la gestión de riego dentro la cuenca del río Sajhuaya.

### **3 MARCO TEORICO**

#### **3.1 Importancia del recurso agua**

Investigaciones realizadas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático reportan que, del 97 por ciento es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 por ciento de su volumen es dulce. De esta última, un 1 por ciento está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo o banquisas en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos. Hacia 1970 se consideraba ya que la mitad del agua dulce del planeta Tierra estaba contaminada (IPCC, 2007).

#### **3.2 Hidrografía de Bolivia**

El panorama hidrográfico de Bolivia está constituido por dos unidades mayores y siete provincias fisiográficas. El occidente del país está conformado por la cordillera de los Andes Centrales (38% del territorio) y el resto del país por las llanuras bajas o planicies aluviales amazónicas y chaqueñas (62% del territorio). El bloque andino se conforma por dos cordilleras: la Cordillera Occidental (o volcánica) y la Cordillera Oriental (Jimenez & Galizia, 2012).

Los mismos autores indican que entre ambas cordilleras se encuentra el Altiplano Boliviano, una planicie con un promedio de 4,000 metros de altura. Al este de la Cordillera Oriental se sitúan las Sierras Subandinas y los Valles. En la zona oriental y nordeste del país se encuentran los llanos aluviales amazónicos sobre el Escudo Brasileiro, y en el sudeste la llanura chaqueña conocida como el Chaco Boliviano.

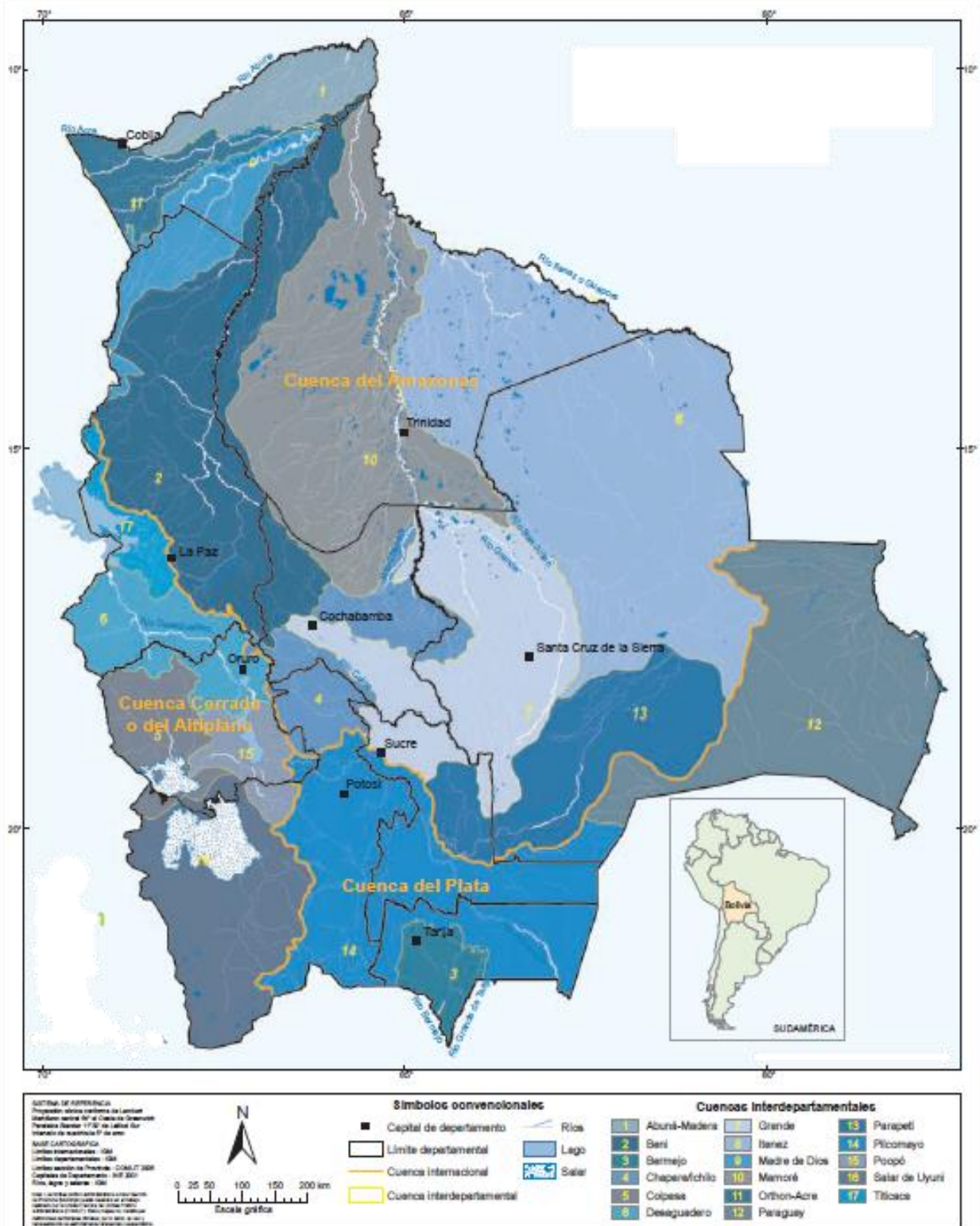


Figura 1. Distribución de cuencas Hidrográficas en Bolivia  
 Fuente: Visión Mundial (2004)

### 3.3 Conceptos Básicos de Cuencas

Visión Mundial (2004), nos indica las siguientes definiciones:

- **Ambiente.-** Se define como todo medio exterior al organismo, elemento o sistema que afecta su desarrollo. Es el entorno vital, el conjunto de elementos físicos, naturales, estéticos, culturales, sociales, económicos e institucionales que interactúan con el individuo y con la comunidad. El ambiente tiene una calidad natural establecida por sus características y cualidades, las que permiten determinados usos y plantean las limitantes y restricciones, con el fin que las comunidades y poblaciones hagan posible su desarrollo y alcancen un bienestar continuo. La intervención humana sobre el ambiente, puede potencializar las capacidades sin alterar la calidad deseable o aceptable.
- **Cuenca Hidrográfica.-** Es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas.

En la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, pen las cuales desarrollan sus

actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no

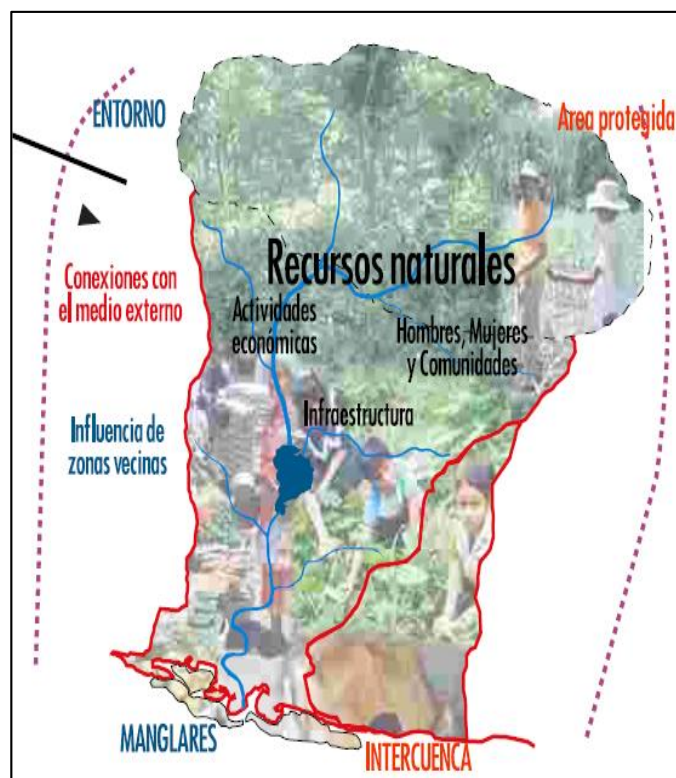


Figura 2. Cuenca Hidrográfica  
Fuente: Visión Mundial (2004)

favorables para el bienestar humano. No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica.

- a) Por su tamaño geográfico: Las cuencas hidrográficas pueden ser grandes, medianas o pequeñas. Por ejemplo para Centroamérica la cuenca del río Lempa (El Salvador), Chixoy (Guatemala), Reventazón (Costa Rica) pueden considerarse cuencas grandes, en el contexto de Centroamérica, sin embargo, éstas en tamaño son pequeñas si se comparan con la cuenca del río Amazonas o la cuenca del Plata en Sudamérica. De allí que en cuanto a tamaño y complejidad, los conceptos de pequeñas cuencas o microcuencas, pueden ser muy relativos cuando se desarrollen acciones, se recomienda entonces utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales manejables desde el punto de vista hidrográfico.
- b) Por su Ecosistema: Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural, así tenemos, las cuencas áridas, cuencas tropicales, cuencas húmedas y cuencas frías.
- c) Por su Objetivo: Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse: hidroenergéticas, para agua poblacional, agua para riego, agua para navegación, ganaderas, hortícolas, municipales y de uso múltiple.

Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuencas pueden denominarse planas, cuencas de alta montaña, cuencas accidentadas o quebradas.

### **3.4 La cuenca hidrográfica como un sistema**

El mismo autor indica que para comprender por qué la cuenca hidrográfica es un sistema, es necesario explicar que:

- a) En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua, por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua.



Figura 3. Ciclo Hidrológico  
Fuente: Visión Mundial (2004)

- b) En la cuenca hidrográfica se producen interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.
- c) En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc.

El sistema de la cuenca hidrográfica, a su vez está integrado por los subsistemas siguientes:

- a) Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- b) Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación entre otros).
- c) Económico, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria, servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades).

- d) Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, y legal.

Los elementos que integran los subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que se ubique la cuenca y al nivel de intervención del factor humano.

### 3.5 El ciclo hidrológico

Si el ciclo del agua es un modelo conceptual que supone una abstracción de la dinámica del agua meteórica, su aplicación a un espacio geográfico concreto y su cuantificación permite obtener un modelo operativo. Todo estudio o actividad relacionada con el agua tiene que enmarcarse en el contexto del ciclo hidrológico, para ello, el primer paso consiste en definir el espacio geográfico. Este puede ser un espacio natural, como una cuenca hidrográfica, o antrópico, como una ciudad, que se puede considerar como un sistema. En segundo lugar es importante comprender las diferencias que se presentan entre los elementos integrantes del ciclo para cada espacio específico (Díaz, Esteller, & López, 2005).

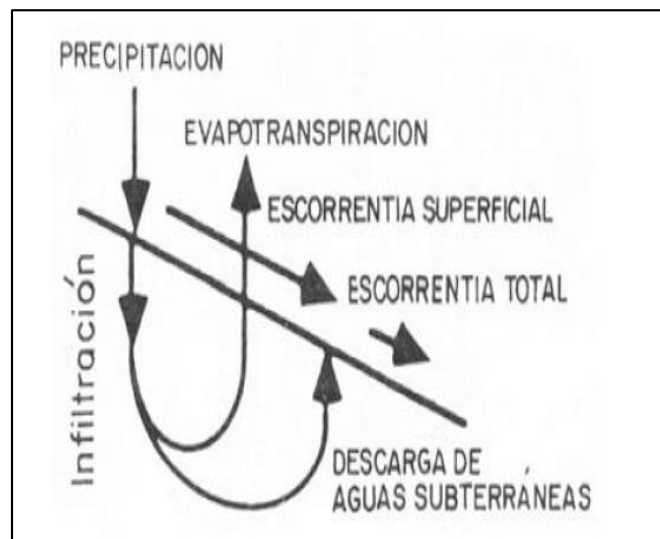


Figura 4. Elementos que integran el ciclo hidrológico  
Fuente: Díaz, Esteller y López (2005)

Los mismos autores indican que en los procesos generadores de precipitación existen notables diferencias en distintas zonas (precipitaciones frontales, convectivas, orográficas, ciclones tropicales, monzones, etc.), lo que da como resultados

intensidades y variaciones de precipitación muy diferentes, así como la variabilidad temporal y espacial de las mismas. La infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo dependerán de la conductividad hidráulica, muy variable entre tipos de suelos y que a su vez depende de su estructura, densidad y configuración de sus macroporos. La profundidad a partir de la cual recibe la vegetación el agua, junto con la geología y las características de la precipitación, condicionan la percolación del agua y recarga de los acuíferos. En las zonas húmedas, los acuíferos se recargan por las regiones altas de las cuencas y se descargan en las depresiones locales o en los cauces de los ríos aguas abajo. Sin embargo, en las zonas áridas, la recarga se produce fundamentalmente a partir del lecho de los cursos fluviales.

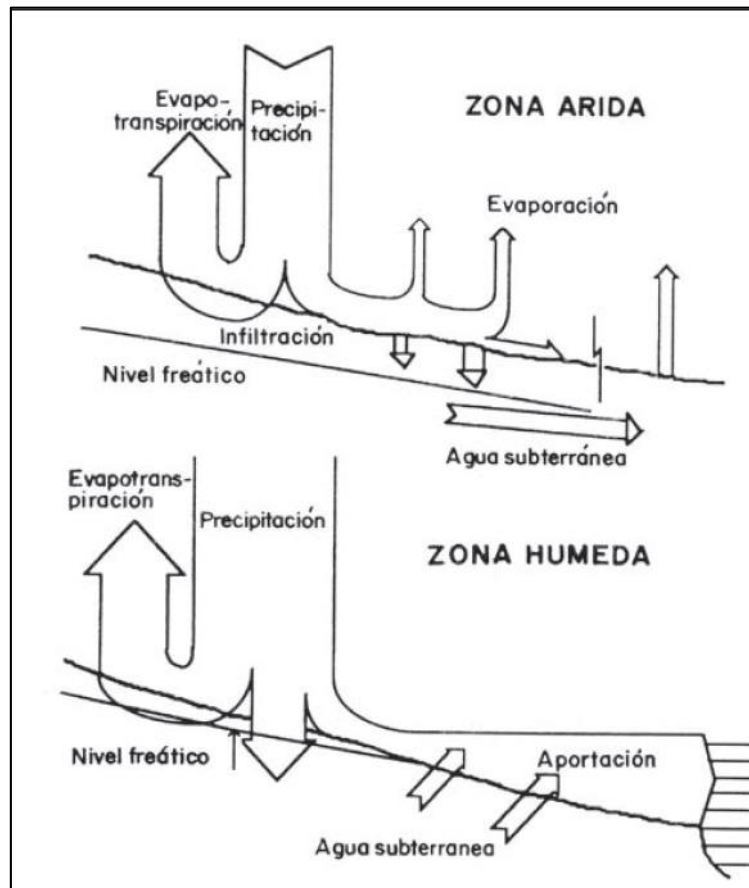


Figura 5. Influencia del clima en el ciclo hidrológico.  
Fuente: Diaz, Esteller y López (2005)

### 3.6 Modelo de balance hídrico

SNET (2005), indica que un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de



los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área. Dado que el Balance Hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad. El modelo de balance hídrico se basa en la ecuación de conservación de masa:

$$\text{ENTRADAS- SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

En el modelo del Balance Hídrico considera las siguientes entradas:

- Precipitación,
- Importaciones superficiales de otra cuenca.
- Retornos de la demanda.

Las salidas consideradas son las siguientes:

- Evapotranspiración real,
- Evaporación de cuerpos de agua,
- Evaporación en áreas urbanas
- Escurrimiento superficial,
- Demanda interna en la cuenca,
- Demanda externa de la cuenca

Como Cambio de almacenamiento:

- Recarga de acuíferos,
- Variación de nivel en cuerpos de agua (lagos, lagunas, embalses)

IDEAM (2006) indica que el balance hídrico es el estudio de las relaciones entre las ganancias y pérdidas de agua (en forma de evaporación, precipitación, escorrentía o almacenamiento superficial y/o subterráneo), bien en una región o en una estación o periodo determinados. Los ingresos de agua se producen a través de las precipitaciones o sistemas de irrigación, y los egresos ocurren debido a los procesos de evapotranspiración, que involucran a la evaporación directa de las superficies de agua y de la humedad del suelo y al agua que transpiran los vegetales.

El balance hídrico es fuertemente influenciado por la temperatura, ya que modifica la evapotranspiración. Los balances hídricos ayudan a determinar el estado actual del recurso hídrico. Uno de los resultados del balance hídrico es conocer el cambio en almacenamiento, el cual se refiere a las fluctuaciones en la cantidad de agua que se almacena en el suelo y los acuíferos. Si todas las salidas son mayores que la entrada, el cambio en almacenamiento será negativo y se perderá agua de la microcuenca y viceversa (Neilson 1995).

Díaz, Esteller, & López (2005) indican que el balance hídrico no es más que aplicar el principio de conservación de masas con respecto al flujo de agua, en un sistema determinado, es decir, en un espacio geográfico en el cual se examina el ciclo hidrológico. Dado que el agua no puede ser creada ni destruida en dicho espacio, este balance puede ser expresado en términos de:

Flujo de entrada – Flujo de salida = Relación en el cambio de agua almacenada

Las unidades de cada término de esta ecuación son iguales a la descarga (L<sup>3</sup>/T). Este es un balance de volúmenes, pero como el agua es incompresible, es también un balance de masas. Así pues, para establecer un balance hídrico es imprescindible establecer las condiciones de contorno (entradas y salidas mediante flujos superficiales o subterráneos), las características del medio (almacenamiento, volumen) y el tiempo, este factor es de singular importancia pues influye sobre la exactitud con que tienen que ser valorados los parámetros anteriores.

Asimismo, los autores indican que un balance normalmente no de cero es debido a que para su realización es necesaria la medida independiente de cada uno de los términos de la ecuación del balance, en la que inevitablemente se tendrán errores.

El error de cierre está en función de los errores de los diferentes términos. Por ejemplo, el balance anual de agua en un lago cuyas entradas se producen por precipitaciones (P), un río afluente (Q1) y la descarga de un acuífero (Q2), mientras que sus salidas se deben a la evaporación (EV) y un río emisario (Q3), se formularía:

$$P + Q1 + Q2 - EV - Q3 \pm \Delta = \epsilon$$

Donde  $\pm \Delta$  es el incremento de almacenamiento o nivel de agua en el lago y  $\epsilon$  es el error de cierre.

### **3.7 Parámetros del balance hídrico**

#### **3.7.1 Precipitación, variación espacial y temporal**

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca. Su medición se realiza a través de instrumentos llamados pluviómetros. La información recolectada debe ser evaluada, para lo cual pueden ser utilizados una serie de métodos, como por ejemplo las Curvas de Doble Masa, que son gráficas de valores acumulados de lluvia en dos estaciones o entre una estación y un grupo de ellas tomado como parámetro de comparación. Posteriormente la variación espacial de la lluvia se analiza a través del trazado de líneas de igual precipitación (isolíneas de precipitación, las cuales son llamadas isoyetas. El trazo de mapas de isoyetas mensuales muestra la variación de la lluvia a nivel temporal. La información de los mapas de isoyetas mensuales y anuales, permite calcular la precipitación media real de las cuencas, con lo que se inicia el cálculo de los parámetros del Balance Hídrico (SNET, 2005).

Precipitación es el agua que proviene de la humedad atmosférica y que cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (lluvia) o sólido (granizo y nieve). La precipitación constituye la principal fuente de agua para escurrimiento, almacenamiento, infiltración en una cuenca por lo que su evaluación espacial y temporal es fundamental para estudios de hidrología (SNET, 2005).

#### **3.7.2 Importaciones superficiales de otra cuenca y Retornos de la demanda**

El mismo autor piensa que dentro del modelo de Balance Hídrico, se considerará el aporte de las aguas superficiales que son llevadas como trasvase desde otro sitio (cuenca, lago, embalse, etc.) hacia la cuenca de análisis.

El retorno de la demanda constituye el porcentaje de agua que es devuelta al área de análisis (cuenca) debido a que no representa un uso agotador por parte de alguno de los sectores de usuarios, tales como la hidroelectricidad, las pérdidas de agua de los sistemas de abastecimiento de agua (tuberías), la devolución que se hace al final de

un sistema de riego, entre otros. Estos retornos representan una entrada al modelo del Balance Hídrico dentro de la etapa de cuantificación de la Demanda Hídrica, este valor será considerado (SNET, 2005).

### **3.7.3 Evaporación y Evapotranspiración**

La mayor pérdida de agua en una cuenca, es generalmente debida a la evapotranspiración, la cual es la combinación de pérdida de agua por evaporación en el suelo y la transpiración de las plantas. Otra pérdida importante de agua en la cuenca es debida a la evaporación en cuerpos de agua y evaporación que se produce en áreas urbanas. El término evapotranspiración involucra los conceptos de Evapotranspiración de Referencia, Evapotranspiración de Cultivo y Evapotranspiración Real (SNET, 2005).

La evapotranspiración incluye dos procesos distintos por el cual se pierde agua; una de carácter físico y otra de carácter fisiológico, que son la evaporación de agua del suelo y la transpiración de la plantas (Allen, 2006). La transpiración, o pérdida de agua en estado de vapor por la planta, es un fenómeno común en todas las plantas (Taboada, 2001).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir estos dos procesos. En la primera etapa del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierten al proceso principal (Allen, 2006). El mismo autor indica que el concepto general de evapotranspiración, se puede distinguir dos conceptos: la evapotranspiración de cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) y la evapotranspiración del cultivo ET<sub>c</sub>.

#### **3.7.3.1 Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>)**

La evapotranspiración de referencia es la pérdida de agua por evaporación y transpiración de un cultivo tomado como referencia (gramíneas o pastos), debido a condiciones climáticas. Es definida como la evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de 8 - 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activo, que asombran totalmente el suelo y que no escasean de agua. Generalmente es

simbolizada en los textos como  $ETo$ . Su determinación se realiza a partir de datos climáticos, empleando diferentes fórmulas empíricas, cuya elección para el cálculo depende básicamente del tipo de datos climáticos disponibles en la zona. Las fórmulas más utilizadas en diferentes regiones son las de Penman, Penman-Montheith, Hargraves, Blaney-Criddle, entre otras, las cuales han sido calibradas localmente en algunos sitios (SNET, 2005).

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración de referencia y se denomina  $ETo$ . La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0.12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0.23 (Allen, 2006).

El mismo autor indica que la evapotranspiración del cultivo puede ser calculada a partir de datos climáticos e integrando directamente los factores de resistencia del cultivo, el albedo y la resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Debido a que todavía existe una considerable falta de información para los diferentes cultivos, el método Penman-monteith se utiliza solo para la estimación de la tasa de evaporación del cultivo de referencia ( $ETo$ ).

### **3.7.3.2 Evapotranspiración del cultivo ( $ETc$ )**

Allen (2006), señala que las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua pérdida a través de la evapotranspiración.

SNET (2005), indica que la evapotranspiración de cultivo es aquella que se produce cuando no existe ninguna restricción de agua en el suelo y depende de las condiciones de los cultivos tales como sus características, el ritmo de desarrollo de las plantas (periodo vegetativo) y las condiciones climáticas de temperatura, viento y humedad relativa. Para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre las necesidades de agua, se han desarrollado unos Coeficientes de Cultivo  $Kc$ , los cuales relacionan la evapotranspiración de referencia  $ETo$  con la evapotranspiración de

cultivo  $ET_c$ , y representan la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas, que produzca rendimientos óptimos.

La evapotranspiración de cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Donde:

- $ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo en mm/día
- $ET_0$  = Evapotranspiración de referencia en mm/día
- $K_c$  = Coeficiente de cultivo (adimensional)

### 3.7.3.3 Coeficiente de cultivo $K_c$

Estudios realizados por García (2003), indican que la relación  $ET_c/ET_0$  puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), y se utiliza para relacionar  $ET_c$  y  $ET_0$  de manera que  $ET_c = K_c \times ET_0$ .

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se integran en el coeficiente de cultivo. El coeficiente  $K_c$  incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósito de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivos son apropiados y más convenientes que los valores de  $K_c$  calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo (Allen, 2006).

### 3.7.3.4 Evapotranspiración Real - Capacidad de Agua Disponible en los Suelos

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real (SNET, 2005).

El mismo autor indica que la humedad del suelo está relacionada con la capacidad de agua disponible en el suelo (llamada también Agua Útil), la cual es función de la textura

y estructura del suelo. La propiedad física que incide en la capacidad de agua disponible es la porosidad (cantidad, forma, tamaño y distribución de poros). Dentro del suelo existen diferentes tamaños de poros, los hay macroporos, mesoporos y microporos. La función de los macroporos es de infiltración, conductividad y aireación; la de los mesoporos es de conducción lenta de agua y la de microporos es de almacenamiento.

La velocidad lenta de circulación del agua ocurre cuando el potencial matricial esta alrededor de 33 KPa (1/3 de atmósfera). En esta etapa se dice que el suelo está en Capacidad de Campo. La pérdida de agua del suelo continúa por evaporación y por succión de las plantas hasta que el potencial matricial del suelo llega a 1500 KPa (15 atmósferas). Esta etapa se llama Punto de Marchitez. Al llegar al Punto de Marchitez la planta no puede absorber más agua, y si no hay un suministro se produce la muerte (Punto de Marchitez Temporal). Al llegar el Potencial Matricial a 1600 KPa se produce el Punto de Marchitez Permanente en el que la planta muere (SNET, 2005).

A la diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente se llama Agua Útil (Agua Disponible), la cual es la que puede ser aprovechada por las plantas y la cual puede ser evapotranspirada. El contenido total de esta agua útil constituye la Reserva de Agua del suelo.

Textura	Punto de Marchitez (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Campo (agua por pie de profundidad)			Capacidad de Agua Disponible (agua por pie de profundidad)		
	(%)	(pulg)	(mm)	(%)	(pulg)	(mm)	(%)	(pulg)	(mm)
<b>Arena Media</b>	1.7	0.3	7.62	6.8	1.2	30.48	5.1	0.9	22.86
<b>Arena Fina</b>	2.3	0.4	10.16	8.5	1.5	38.1	6.2	1.1	27.94
<b>Franco Arenoso</b>	3.4	0.6	15.24	11.3	2	50.8	7.9	1.4	35.56
<b>Franco Arenoso Fino</b>	4.5	0.8	20.32	14.7	2.6	66.04	10.2	1.8	45.72
<b>Franco</b>	6.8	1.2	30.48	18.1	3.2	81.28	11.3	2	50.8
<b>Franco Limoso</b>	7.9	1.4	35.56	19.8	3.5	88.9	11.9	2.1	53.34
<b>Franco Arcilloso</b>	10.2	1.8	45.72	21.5	3.8	96.52	11.3	2	50.8
<b>Arcilloso</b>	14.7	2.6	66.04	22.6	4	101.6	7.9	1.4	35.56

Tabla 1. Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y Capacidad de Agua Disponible para suelos de varias Texturas.

### **3.8 Requerimientos de agua en los cultivos**

Investigaciones realizadas por García (2003), indican que para calcular los requerimientos de riego de cualquier cultivo bajo las condiciones prevalentes de lluvia de una localidad dada, se debe determinar: la cantidad del agua, evapotranspiración de referencia ( $E_{to}$ ), usar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para calcular la evapotranspiración máxima de cultivo ( $E_{tc}$ ) y relacionar la  $E_{tc}$  con la precipitación para obtener los requerimientos netos de riego; la inexactitud del cálculo de estos pasos hace que los valores determinados de los requerimientos de riego sean deficientes, resultando en un sub-dimensionamiento de los sistemas de riego (García, 2003).

#### **3.8.1 Calidad de agua**

La calidad del agua está referida a la composición del agua, en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas (Garay, 1999).

Según López (2002), la evaluación de la calidad de aguas se basa en parámetros físicos, químicos y biológicos, y sus respectivos indicadores, capaces de determinar el estado de los cuerpos de agua y las modificaciones o alteraciones que estos hayan sufrido.

### **3.9 Eficiencia en el uso del agua**

Estudios realizados por Camacho (2004), reportan que la eficiencia en el uso, es la cantidad en volumen de agua aportada o consumida para sintetizar un kilogramo de materia seca, esta relación expresa las pérdidas que ocurren desde la fuente de agua hasta las plantas, generalmente se expresa en porcentaje. Este concepto incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua. Así mismo está relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos. De los cuales el más arraigado es el de la conservación del agua. El uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. La definición de conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben



tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad. Por último, el uso eficiente del agua es básico para el desarrollo sostenible y para asegurar que haya suficientes recursos para generaciones futuras.

La comprensión de los procesos fisiológicos que determinan los flujos de agua en las plantas permite plantear la cuestión de la eficiencia en el uso del agua como un problema de control de gastos (agua), respecto de los ingresos en que, en primer lugar hay que tener en cuenta las variaciones de la disponibilidad y de la necesidad de agua. La disponibilidad de agua en el suelo depende de los ingresos (lluvia, nieve, corrientes subterráneas, riego), de la capacidad de almacenamiento del suelo (proporción de elementos grueso, potencia, y porosidad del suelo) y de la densidad y profundidad del sistema radicular de la planta, que determina el volumen de suelo utilizado respecto del total. Así, la extensión del sistema radicular es un factor determinante de la disponibilidad real de agua, es decir el depósito de reserva (Medrano, 2007).

La importancia del uso eficiente del agua obviamente varía de región en región, y de época en época. Geográficamente, por ejemplo, la disponibilidad del agua condiciona la manera en que evolucionan los patrones de uso. En igualdad de condiciones, las regiones áridas y semiáridas requieren una mayor cantidad de agua que las regiones húmedas. Las condiciones económicas muchas veces aumentan o reducen la eficiencia en el uso del recurso (Aranda, 2000)

### **3.9.1 Infiltración**

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos. Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo (López, 2002).

El mismo autor indica que los principales factores que afectan la capacidad de infiltración son:

- Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo.
- Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.
- Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.
- Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo; arenoso arcilloso, la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

Por otra parte, la velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. En casi todos los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar (FAO, 2007).

### **3.9.2 Eficiencia de conducción**

Es la relación entre el volumen de agua que se entrega a las parcelas para riego y el volumen que se deriva de la fuente de abastecimiento. Es un parámetro de mucha importancia pues nos permite evaluar la cantidad efectiva de agua al ingreso de la parcela en estudio. No obstante, debe tener en cuenta que no toda el agua se desperdicia en el trayecto de conducción, ya que parte se infiltra a los acuíferos subterráneos y posteriormente puede ser nuevamente aprovechada. Las pérdidas en

conducción pueden subdividirse de acuerdo a su origen en infiltración, evaporación, y manejo del agua en la red de distribución.

### **3.9.3 Pérdidas por infiltración**

Se producen principalmente en los cauces naturales de las corrientes y en los canales no revestidos; sin embargo, en algunos casos de revestimientos agrietados o con mampostería en mal estado, también pueden ser de mucha importancia. El monto de estas pérdidas es variable, destacando el caso de los canales no revestidos, construidos en suelos permeables, donde pueden ser de mucha consideración (Chipana, 2002).

### **3.9.4 Pérdidas por evaporación**

Según López (2002), estas pérdidas son relativamente menores que las de infiltración; sin embargo, en muchos distritos de riego el área expuesta a la evaporación en los cauces naturales o canales con diques, puede ser grande y en consecuencia las respectivas pérdidas son de mucha importancia.

### **3.9.5 Pérdidas por manejo del agua en la red de distribución**

Las pérdidas por manejo se producen durante la distribución del agua, por causas atribuibles a errores del manejo del sistema. Como en la mayoría de los distritos de riego el agua se distribuye de acuerdo a la demanda, es necesario hacer un programa para solicitar el agua de las fuentes de abastecimiento; en estos programas se consideran factores de pérdida que varían de acuerdo al estado de la red de distribución, sin embargo, lo más común es que se consideren constantes y mayores que los reales, lo que propicia desperdicios, ya que se solicitan volúmenes mayores que los necesarios. Otros factores que inciden en estas pérdidas, son el aprovechamiento deficiente de los volúmenes almacenados en los vasos de los canales de riego, y las variaciones en carga sobre las compuertas que también propician desperdicios de agua en la red (FAO, 2007).

### **3.10 Situación de la Agricultura y el Área Rural**

Durante los últimos 15 años la participación del sector agrícola en el Producto Interno Bruto (PIB) del país estuvo entre el 13 y 17% de promedio anual, por encima del aporte de las actividades mineras y petroleras. La participación del sector agropecuario en el PIB nacional, durante el quinquenio 2000-2004 en promedio alcanzó el 14 %, y absorbe el 40% de la Población Económicamente Activa (PEA) a nivel nacional. El 80 % de la PEA rural está dedicada a actividades agropecuarias (SENARI, 2007).

### **3.11 Zonas Agroecológicas con Demanda de Riego**

SENARI (2007) también indica que el 78% de la población boliviana se concentra en el 40% del territorio nacional, principalmente en la región del Altiplano con 52% de población y 27% del territorio, y en los Valles con 26% de población y 13% del territorio, evidenciando una gran presión al desarrollo y a los recursos naturales. La primera región con adversas condiciones meteorológicas para el desarrollo de una agricultura permanente y la segunda con condiciones fisiográficas y topográficas limitadas, ambas regiones son áridas y semiáridas respectivamente. No obstante de dichas limitaciones, en estas regiones se concentra cerca del 45% de la fuerza laboral del país y es la que posee la mayor experiencia en la gestión del riego.

El mismo autor dice que como área de prioridad para el riego, se define a este conjunto de regiones, que por sus características climáticas, presentan un mínimo de 6 meses de déficit hídrico al año, periodo en que la escasez de agua representa un obstáculo mayor para el desarrollo de las actividades agrícolas. Estas regiones abarcan aproximadamente 448.700 Km<sup>2</sup>, que representa alrededor del 40% del territorio nacional, área prioritaria en el cual se identifican 8 zonas agroecológicas de interés para promover el riego, donde se puede apreciar que en todos los casos existe un marcado déficit hídrico, con períodos secos que van desde 7 meses en los Valles, hasta el caso extremo de 10 meses en el Chaco. En estas zonas agroecológicas la sequía y la helada se presentan como los factores más adversos a la producción agrícola, siendo la sequía el factor que tiene mayor incidencia negativa e intensidad en los Valles y en los Llanos del Chaco, y ambos factores en el Altiplano.

Las características principales de las zonas agroecológicas mencionadas son las siguientes:

- a) Zonas de los Valles: Importante potencial para desarrollar una agricultura bajo riego por la disponibilidad de suelos aptos, con recursos hídricos no bien aprovechados, mercados, con relativamente buena infraestructura caminera y alto grado de organización de las comunidades campesinas. Como factor limitante, se presenta el minifundio o la excesiva parcelación de la tierra.
- b) Zonas del Altiplano: Presenta menores potencialidades para una agricultura bajo riego debido a las restricciones climáticas (heladas y granizadas). Sin embargo, el agua de riego en el Altiplano brinda seguridad productiva en la época de lluvias y permite el riego de bofedales para la producción de forraje no solo para camélidos (llamas y alpacas) sino también para la creciente crianza de vacunos y cultivos de quinua y hortalizas a pequeña escala. En cambio en la zona este del altiplano, se evidencian importantes potencialidades para la producción de cultivos alto andinos como quinua, hortalizas, cereales, tubérculos y forrajes.
- c) Zona de los Llanos del Chaco: Poca tradición de riego y su expansión estaría restringida al subandino, donde existen escasas fuentes de agua y suelos con poca aptitud agrícola. En esta región conviven guaraníes, migrantes quechuas y latifundistas (instalados después de la reforma agraria).
- d) Zona de los Llanos de Santa Cruz: Potencial hídrico no aprovechado, presenta extensas llanuras con aptitud agrícola y ganadera orientada al mercado local y a la exportación. Los productores de esta zona, que practican agricultura extensiva han manifestado su interés en realizar inversiones privadas en riego que podrían ser apoyadas y reguladas por el Estado.

Zonas Agro ecológicas	Región	Superficie Km <sup>2</sup>	Pp. ml	Eto mm	Déficit mm	Meses Secos
010 Altiplano Norte	ALTIPLANO	13.600	550	958	444	9
020 Altiplano Central		91.100	357	719	362	9
030 Altiplano Sud		73.900	306	665	359	9
040 Valles Cerrados	VALLES	21.950	666	999	333	7
050 Valles del Norte		46.350	483	935	452	8
060 Valles Centrales		35.300	651	985	334	7
070 Valles del Sud	CHACO	44.000	614	982	368	7
110 Llanos del Chaco		122.500	751	1.655	904	10
Total		448.700				

Tabla 2. Zonas agroecológicas con déficit hídrico

### 3.12 Gestión de Riego

Gerbrandy & Hoogendam (1998) observan que mucha gente tiene problemas con el concepto gestión, debido al hecho de que es un concepto abstracto, con un contenido multifacético. La gestión de sistemas de riego puede confundirse con el período de mando de una directiva, pero ésta no es la acepción que se emplea aquí. En nuestra terminología, la gestión de un sistema de riego abarca todas las actividades necesarias para el funcionamiento de ese sistema y, por tanto, es el concepto aglutinador para entender su funcionamiento.

Así mismo indican que la gestión viene de gestionar. Según el diccionario VOX, "gestionar" significa: "hacer diligencias para el logro de un negocio o de un deseo cualquiera"; por ende, gestión es: "acción y efecto de gestionar" y "acción y efecto de administrar". Lo principal de esta definición es su énfasis en lo que uno quiere lograr, en que las diligencias tienen un objetivo determinado. Si buscamos el verbo diligenciar encontramos: "poner los medios necesarios para un logro", de lo que podemos concluir que la gestión no sólo comprende las actividades sino también los medios que se necesitan para lograr el objetivo planteado. Gestión, por lo tanto, es un concepto global o globalizador, que se utiliza para denominar un conjunto de actividades más los medios necesarios para lograr un objetivo determinado.

Se puede aplicar este concepto de gestión a muchos procesos en la sociedad y, por lo tanto, también al riego. Cuando hablamos entonces de la gestión de agua, nos

referimos al “conjunto de actividades y los medios necesarios para lograr los objetivos formulados para la distribución y el uso del agua” (Gerbrandy, G.; Hoogendam, P., 1998).

Los mismos autores indican que la Gestión de agua es una forma de interacción social de diferentes actores, empleando diferentes métodos, recursos y estrategias, alrededor de actividades de uso y distribución de agua tomando lugar en un determinado sistema socio técnico, que consiste de un conjunto de espacios de interacción, los que tienen una dimensión espacial en forma de niveles sociales hidráulicos del sistema de riego (sistema, grupo de familias, familia), y una dimensión de tiempo, vinculada al ciclo agroecológico y al ritmo de la entrega de agua y que está arraigada en la cultura, en la estructura agraria, en la infraestructura institucional de entidades públicas y privadas y en la infraestructura material (ecología y tecnología), las que son reproducidas continuamente y transformadas a través de la interacción.

### **3.12.1 Gestión campesina**

En el mundo andino, el principal entorno en el que se inserta la gestión de agua de riego y donde se cruzan o mezclan las estructuras arriba mencionadas, es la comunidad campesina o, en términos más amplios, el mundo comunitario. Dentro de ese mundo, los comunarios conviven y se organizan para lograr los objetivos de su producción y vida, se expresan y reproducen las expresiones locales de los elementos culturales y se mezclan y coordinan los diferentes ámbitos de gestión: la producción agrícola y pecuaria, el territorio, la biodiversidad, el agua, la forestación, la seguridad social, etc. Este conjunto de ámbitos de gestión, se resume en lo que puede llamarse la “gestión comunitaria” ( Gerbrandy & Hoogendam, 1994).

### **3.12.2 Gestión familiar**

Los ejes centrales de la gestión campesina son la gestión familiar y la gestión comunitaria. La gestión familiar comprende todas las actividades de una familia, añadiendo que nos interesan sobre todo las que están relacionadas con la producción. La gestión familiar incluye las formas en que la familia organiza la producción, los

medios que necesita y los objetivos que debe satisfacer (Gerbrandy & Hoogendam, 1994).

### **3.12.3 Gestión Comunitaria**

La articulación de las familias que viven juntas se manifiesta a nivel de la comunidad, que es tanto la relación social de las familias coexistentes, como la delimitación de un espacio físico. La gestión de la comunidad está en manos de sus miembros y consiste en una serie de actividades relacionadas con la distribución del uso y acceso de recursos, la organización interna, su representación y relacionamiento hacia afuera y sus ritos y rituales. En la gestión comunitaria, suelen existir mecanismos para garantizar la participación de todos sus miembros y mantener un equilibrio de equidad entre ellos (Gerbrandy & Hoogendam, 1994).

#### **3.12.3.1 Propiedad privada y propiedad colectiva en la comunidad**

Con el transcurso de la historia, bajo influencia de la dominación española primero y luego por la presión demográfica cada vez mayor, el territorio de los antiguos ayllus se ha ido subdividiendo paulatinamente cada vez más, bajo el carácter de propiedad privada. Sin embargo, muchas comunidades siguen manteniendo grandes extensiones de tierra comunitaria. Estas tierras son utilizadas por los miembros de la comunidad y administradas por la comunidad entera o, a veces, por un grupo de comunidades (Gerbrandy & Hoogendam, 1994).

#### **3.12.3.2 Organización comunitaria**

Una característica de cada comunidad es que tiene su propia organización. En algunas zonas del altiplano, donde la colonización tuvo poco efecto sobre la organización, las comunidades siguen llamándose ayllus. Ahí es donde también seguimos encontrando los cargos tradicionales rotativos de jilacatas, kamayojs, etc. La manera en que se eligen las personas para estos cargos, está enteramente imbricada en los eventos culturales. A menudo, estos ayllus también tienen autoridades políticas como los corregidores, los cuales responden a sus necesidades de interlocución con el mundo exterior (Gerbrandy & Hoogendam, 1994).



### **3.12.3.3 Participación y equidad en la comunidad**

Los mismos autores nos dicen que la gestión comunitaria puede tener diferentes expresiones organizativas, según las actividades o problemas más importantes del momento, pero siempre se trata de las mismas personas, los comunarios, que en distintos períodos ocupan diferentes roles. No existe una especialización de gente en ciertas tareas; de principio, cada uno es capaz de desempeñar cualquier rol. Desde luego, siempre hay personas con mayor capacidad para negociar con agentes externos o para opinar, por ejemplo, sobre el trazo correcto de un canal, pero, en principio, cada uno debe participar en todas las actividades y negociaciones. Un comunario decía al respecto: 'Yo soy para el pasto, no soy para los cultivos, esto siempre me va mal'. Ello no quiere decir que él no cultive sino que sabe de sí mismo que con el ganado y el pastizal le va mucho mejor.

Podemos entonces hablar de un principio de equidad entre todos los miembros de la comunidad, pues cada uno tiene que aprender a ocupar los diferentes roles y cargos que existen. En algunas comunidades, el cargo de kamayoj, por ejemplo, es un cargo para los jóvenes, quienes aprenden a ser responsables de las chacras; evitando que el ganado y los animales silvestres dañen los cultivos. El puesto de jarreador, en cambio, como encargado de valorar el requerimiento de riego de las chacras, recién se puede ocupar cuando uno es mayor. Después, uno puede ser juez de agua y, para la función de jilacata, se precisa de mayor experiencia aún.

### **3.13 Gestión campesina de agua**

En este punto, Gerbrandy & Hoogendam (1998), nos indican que la gestión campesina de agua, es un componente específico de la gestión campesina, dentro de la comunidad y/o entre comunidades. En general, concluyen que la gestión campesina de agua responde a la lógica de la organización socio territorial de las comunidades, en sus distintos niveles y ambientes. El caso más obvio es que las comunidades suelen reclamar el usufructo de las aguas de una fuente cuando estas se ubican dentro de su territorio, porque, según la lógica andina, es la comunidad en cuyo territorio nace la fuente, la que tiene mayor derecho a su usufructo.

Asimismo, indican que en la gestión de sistemas de riego, se puede observar la socioterritorialidad a diferentes niveles: un primer nivel es el de los sistemas mayores, donde el grupo de comunidades involucradas suele reclamar conjuntamente el uso de agua de una fuente que pertenece a su socio territorio mayor. Un segundo nivel se da en la distribución de las aguas mismas, lo cual, en estos sistemas, suele delegarse a las comunidades, las que internamente deben organizarse para la distribución individual entre sus miembros. Tal delegación también se da en casos en los que no todos los miembros de la comunidad tienen derecho al agua en cuestión.

Dentro de la comunidad, la distribución del agua, la división de los derechos y el control sobre el cumplimiento de las obligaciones, dependen de la gestión comunitaria en general. Estas comunidades pueden crear organizaciones específicas para el riego o asumir el tema del agua como parte de la organización comunitaria. En sistemas mayores, que aglutinan a un número considerable de comunidades, los arreglos organizativos y las reglas de juego suelen definirse en organizaciones específicas, en las que participan representantes de todas las comunidades involucradas. En esas organizaciones se establecen acuerdos entre las comunidades, dejando los del espacio comunitario a la comunidad pertinente (Gerbrandy, G.; Hoogendam, P., 1998).

### **3.13.1 La gestión comunitaria de agua**

Como indicaron los anteriores autores, la gestión comunitaria de agua es una de las tantas actividades de la comunidad, que responde a las características de la gestión comunitaria en general. Ella abarca la socioterritorialidad, la relación con los ciclos de producción agrícola, la participación amplia de los comunarios, una estructura de equidad entre sus miembros y una gran flexibilidad en la aplicación de reglas y normas relacionada con la circunstancialidad de la gestión comunitaria.

A nivel de la comunidad, la gestión de agua incluye todas las actividades a realizarse como ser: la distribución de agua, el mantenimiento de la infraestructura, la definición de los derechos, la organización de los usuarios, etc. Queda claro que cuando se trata de un sistema comunitario, de una sola comunidad, ella cuenta con una autonomía total en su forma de cumplir con todas estas exigencias. En sistemas compuestos por

varias comunidades, a nivel de cada comunidad, se necesita ajustar sus arreglos internos a las reglas y normas fijadas para el sistema total.

### **3.13.2 La gestión intercomunitaria de los sistemas de riego mayores**

Muchos de los sistemas de riego en la zona andina consisten de más de una comunidad, lo que hace que, para la gestión del agua, se necesite una coordinación intercomunitaria. De igual forma, se precisa esta misma coordinación en casos de sistemas de riego interdependientes, por ejemplo, aquellos que se ubican a lo largo de un mismo río o en la misma cuenca y cuya sustracción de agua influye en las posibilidades de uso de otras.

Para todos esos casos, se necesita de una coordinación y organización a un nivel mayor de la comunidad individual. Por lo general, a lo largo del tiempo, las comunidades fueron capaces de generar organizaciones mayores, sobre todo en situaciones en las que la organización intercomunitaria era una condición para crear el mismo sistema de riego.

En el transcurso de la construcción, estas organizaciones intercomunitarias suelen definir las reglas entre las comunidades, las que regulan la gestión del sistema mayor, en la mayoría de los casos, dejando suficiente flexibilidad de funcionamiento a cada comunidad. También se dan casos en los que la organización intercomunitaria es el resultado de la herencia de la coordinación entre haciendas y comunidades de piqueros, anteriores a la Reforma Agraria. En otras situaciones, los arreglos entre las comunidades suelen ser adecuaciones de los arreglos anteriormente existentes, modificados en lo mínimo necesario, pero imbricados en una organización matriz, que es responsable del cumplimiento de las actividades imprescindibles para el mantenimiento del sistema (Gerbrandy, G.; Hoogendam, P., 1998).

### **3.14 El sistema de riego**

Un sistema de riego puede ser considerado como un sistema particular de explotación del medio, a menudo históricamente constituido, que permite satisfacer las necesidades sociales de una población en un momento determinado, y cuya

artificialización posibilita disminuir considerablemente los riesgos climáticos (Apollin F. & Eberhart, 1998).

Si bien un sistema de riego se caracteriza por una infraestructura que permite captar, transportar y repartir el recurso agua, no se puede considerar únicamente como una construcción de ingeniería civil. Como lo destaca Gerbrandy & Hoogendam (1994): "se necesitan más elementos que la única infraestructura de riego para que el agua llegue hasta los cultivos" y, en particular, deben existir acuerdos y reglas para la distribución del agua entre los diferentes usuarios.

### **3.14.1 Caracterización de los elementos del sistema**

Apollin F. & Eberhart (1998), indican que hay que realizar el análisis y diagnóstico de un sistema de riego campesino, con la finalidad de adecuar las estrategias y actividades de apoyo a las Juntas de Regantes y Usuarios, y tomar en cuenta los distintos elementos constitutivos del sistema de riego:

- El sistema normativo y los derechos del agua
- La geografía de la red de riego
- Los sistemas de producción y las estrategias familiares de producción
- La organización de regantes

La gestión del sistema de riego depende de las características de cada uno de estos elementos, pero también de las interrelaciones entre ellos. En efecto, la gestión del riego forma un sistema coherente en el que los elementos son interdependientes: la transformación de uno de ellos interfiere sobre las características de los otros y, en consecuencia, sobre el funcionamiento de todo el sistema.

De la misma forma los mismos autores indican que entre estos elementos, el sistema normativo y, en particular, los derechos del agua representan elementos centrales puesto que organizan el funcionamiento global del sistema. Por esta razón se ubican al centro del esquema que representa el sistema de riego.

Finalmente, estos elementos son una consecuencia de las relaciones sociales y de la historia local. Por lo tanto, la interpretación del funcionamiento del sistema de riego

pasará por un análisis histórico del contexto social que influyó e influye sobre la gestión del riego.

#### **3.14.1.1 El sistema normativo**

Apollin F. & Eberhart (1998), nos dicen que para entender el funcionamiento de un sistema de riego, un eje central de análisis es el estudio del sistema normativo, es decir: el conjunto de normas y reglas establecidas por la sociedad local y socialmente aceptadas, a veces modificadas en el transcurso de la historia, que organizan el funcionamiento del sistema de riego y posibilitan una gestión colectiva del recurso. El sistema normativo se refiere, principalmente, a las reglas de:

- Operación de la fuente
- Distribución de las aguas entre sectores y usuarios
- Mantenimiento de la red
- Resolución de los conflictos
- Gestión económica del sistema (tarifas)

#### **3.14.1.2 Los derechos del agua y las obligaciones**

Asimismo los mismos autores indican que el conjunto de estas normas están supeditadas a los derechos y obligaciones de los usuarios, que se convierten así en los fundamentos de todos los sistemas de riego andino. Cabe mencionar, entre los prioritarios, los siguientes derechos:

- Al agua en una cantidad y frecuencia determinada
- A votar en las asambleas
- A participar en las decisiones colectivas
- A participar en las reuniones
- A tomar decisiones con respecto al manejo del agua

También la ley riego vigente de nuestro país establece que las servidumbres existentes sobre fuentes de agua y en los sistemas de riego establecidos por usos y costumbres en comunidades y organizaciones de campesinos e indígenas

relacionadas con las actividades de riego están garantizadas y serán respetadas por las personas naturales y jurídicas (Ley de Riego, 2004)

### **3.14.1.3 La infraestructura y la geografía de la red de riego**

Si bien el estudio de la infraestructura de riego tiene como uno de sus objetivos evaluar la eficiencia técnica en la movilización, el transporte y la distribución del recurso agua, así como detectar los problemas eventuales hidráulicos de las diferentes obras de la red en su construcción o mantenimiento (pérdidas y filtraciones en los canales, obras o tramos de canales inadecuados o en mal estado), el estudio de la red física de riego tiene también como objetivos fundamentales:

- **Entender de mejor forma la lógica de la distribución.-** Por medio de la ubicación geográfica y cartográfica de los diferentes elementos de la red (captación, canales de transporte, obras de reparto, red secundaria y terciaria, otros)

El análisis de las relaciones entre los socio territorios (comunidades, barrios, grupos familiares) y los bloques (o sectores) hidráulicos es un elemento básico de la interpretación social de la distribución de las aguas. Por lo general, el trazado de red de riego traduce una organización de los regantes y acuerdos históricos relativos a las reglas y modalidades de distribución del agua. La intervención de un proyecto, mediante la construcción o rehabilitación de obras o el arreglo de canales, deben entonces considerar las modalidades actuales y los usos y costumbres en la distribución del agua, reflejadas en la infraestructura existente.

- **Evaluar la funcionalidad social de las diferentes obras.-** Dada la adecuación entre la infraestructura de riego y el modelo organizativo, el análisis de la red de riego y de las infraestructuras no puede limitarse a evaluar la eficiencia técnica de las obras, sino también la eficiencia social. La construcción o la rehabilitación de una obra de riego nunca es neutral a nivel social: una obra puede arreglar un conflicto de reparto o crearlo. Por lo tanto, al evaluar una infraestructura de riego, es importante detectar las obras que son fuentes de

conflictos y explicar el porqué, o las que son objeto de un consenso a nivel de la organización de regantes y de los usuarios (Apollin F. & Eberhart, 1998).

#### **3.14.1.4 Los sistemas de producción y las estrategias familiares**

Apollin F. & Eberhart (1998), dicen que los sistemas de producción de las familias campesinas dependen de múltiples factores de diferenciación: acceso a la tierra, al capital, manejo de la mano de obra familiar, características del medio agroecológico y socioeconómico.

Específicamente, interesa entender cómo el acceso al agua de riego influencia, entre otros factores, las estrategias productivas familiares. También, cómo las lógicas de los sistemas de producción y sus dinámicas de evolución explican el funcionamiento de los sistemas de riego y sus transformaciones.

Además de entender el funcionamiento técnico y económico de los distintos sistemas de producción, el análisis debe enfocar:

- **Las prácticas de aplicación del agua en las parcelas.-** El análisis de las prácticas de riego permite entender cómo el productor combina sus objetivos productivos con los derechos del agua que dispone. No se debe limitar el análisis al grado de eficiencia técnica de la aplicación del agua, sino entender estas prácticas como parte de una lógica agro técnica desarrollada por las familias, tomando en cuenta sus derechos al agua, sus recursos económicos, el grado de feminización de la agricultura familiar, la disponibilidad de la mano de obra familiar, etc., y como expresión de las decisiones estratégicas de los productores.
- **La evolución de los sistemas de producción en función del agua de riego.-** ¿Las formas de distribución actuales limitan o no el desarrollo y evolución de los sistemas de producción?, es una de las inquietudes que interesa responder. También, evaluar si los cambios eventuales en el sistema de riego a nivel de la infraestructura, de las reglas de distribución y de las organizaciones pueden provocar efectos en el mejoramiento de los sistemas de producción.

### 3.14.1.5 La organización de regantes

Por último los mismos autores indican que la evaluación del funcionamiento de la organización de regantes se centra principalmente en el análisis de los siguientes elementos:

- las normas, reglas y modalidades de funcionamiento interno de la organización,
- las reglas existentes y funciones de los diferentes actores para la operación y el mantenimiento del sistema, • el manejo y la gestión económica.

También es importante evaluar la organización de regantes según los siguientes criterios:

- Representatividad.- Rotaciones de cargo, modalidades de elección.
- Operacionalidad.- Resolución de conflictos, capacidad de ejercer la autoridad.
- Normatividad.- Reglamentos, estatutos.

### 3.15 Introducción al GIRH (Gestión Integral de Recursos Hídricos)

GWP (2009) dice que la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) surgió durante la penúltima década como respuesta a la "crisis del agua", la preocupación generalizada de que los recursos de agua dulce están bajo amenaza causada por el crecimiento poblacional y la mayor demanda de agua, así como la contaminación creciente. Las decisiones acerca de cómo se protegen, gestionan, utilizan, asignan y conservan los recursos hídricos son decisiones de gobernabilidad. En general, se cree que la "crisis del agua" es, en realidad, "una crisis de gobernabilidad".

También define la GIRH como un proceso que "promueve el desarrollo coordinado y la gestión del agua, la tierra y los recursos relacionados con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales". Existen muchas definiciones diferentes pero todas contienen los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad medioambiental.

### 3.16 Conceptos Clave de GIRH

GWP (2009) indican que se ha realizado mucho trabajo académico en otros ámbitos para examinar diferentes conceptos relacionados tanto con GIRH como con la gestión



de cuencas. Sin embargo, para ayudar a entender lo que es un GIRH delinearemos algunos conceptos clave en la gestión de cuencas y GIRH, que siguen a continuación.

### 3.16.1 Cuenca

Los recursos renovables y utilizables de agua dulce del mundo se hallan en lagos, humedales, ríos y acuíferos. Una cuenca hidrográfica o lacustre es el área delimitada por las divisorias de aguas de un sistema de arroyos y ríos que convergen en la misma desembocadura. En el caso de los ríos, esta desembocadura es generalmente el mar, pero puede ser un cuerpo de agua interior, como un lago o bañado. Una cuenca subterránea o un acuífero es un cuerpo discreto de agua subterránea. Se ha reconocido que la cuenca es una unidad hidrológica práctica para la gestión de recursos hídricos. Diferentes disciplinas, y diferentes países, utilizan diferentes términos, tales como cuenca, cuenca de captación o cuenca hidrográfica. En todo el mundo, existen 263 grandes cuencas hidrográficas transfronterizas y cientos de acuíferos transfronterizos (GWP, 2009).

Macrocuencas importantes de Bolivia	Área en Km <sup>2</sup>
Macrocuenca del Amazonas	716021.19
Macrocuenca del Plata	221852.43
Macrocuenca Cerrada o Endorreica	132077.90

Tabla 3. Superficie de las tres Macrocuencas de Bolivia

### 3.16.2 El enfoque de la gestión integrada de recursos hídricos

El enfoque de GIRH ayuda a administrar y desarrollar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales. Reconoce los diferentes grupos de interés que compiten entre sí, los sectores que usan y abusan del agua, y las necesidades del medio ambiente. El enfoque integrado coordina la gestión de recursos hídricos en todos los sectores y grupos de interés, y a diferentes escalas, desde la local a la internacional. Pone énfasis en la participación en los procesos nacionales de formulación de leyes y políticas, estableciendo una buena gobernabilidad y creando acuerdos normativos e institucionales efectivos que permitan tomar decisiones más equitativas y sostenibles. Toda una gama de herramientas, tales como evaluaciones sociales y ambientales,

instrumentos económicos, y sistemas de información y monitoreo, respaldan este proceso (GWP, 2009).

### **3.16.3 Gestión de cuencas**

Los mismos autores dicen que los gobiernos nacionales establecen las políticas para el uso y protección de los recursos hídricos en un país. Si bien la implementación de dichas políticas es eficaz en muchas escalas, allí donde se implementan políticas a escala de cuenca, existe la oportunidad de generar soluciones para "toda la cuenca" y resolver controversias aguas arriba, aguas abajo (para un río) y de región a región (para un lago o el agua subterránea). El enfoque de "toda la cuenca" permite la evaluación de un impacto a nivel de sistema. En otras palabras, las políticas nacionales, así como también los acuerdos internacionales y los convenios regionales para aguas transfronterizas, se aplican en cuencas naturales. La relación que existe entre la gestión de los recursos hídricos dentro de un país y la gestión del agua en cuencas se vuelve, de esta manera, dinámica y más sensible a las circunstancias cambiantes, sean estas ambientales, sociales o económicas.

### **3.16.4 Organismo de cuenca**

Se utiliza el término genérico "organismo de cuenca" para referirnos a todos los tipos de instituciones que administran cuencas. Estas pueden ser organismos formales grandes o pequeños, o simplemente grupos informales de personas. Los organismos de cuenca varían en función y propósito, según los mandatos y acuerdos legales utilizados para su creación (GWP, 2009).

## 4 MATERIALES Y METODOS

### 4.1 Área de estudio

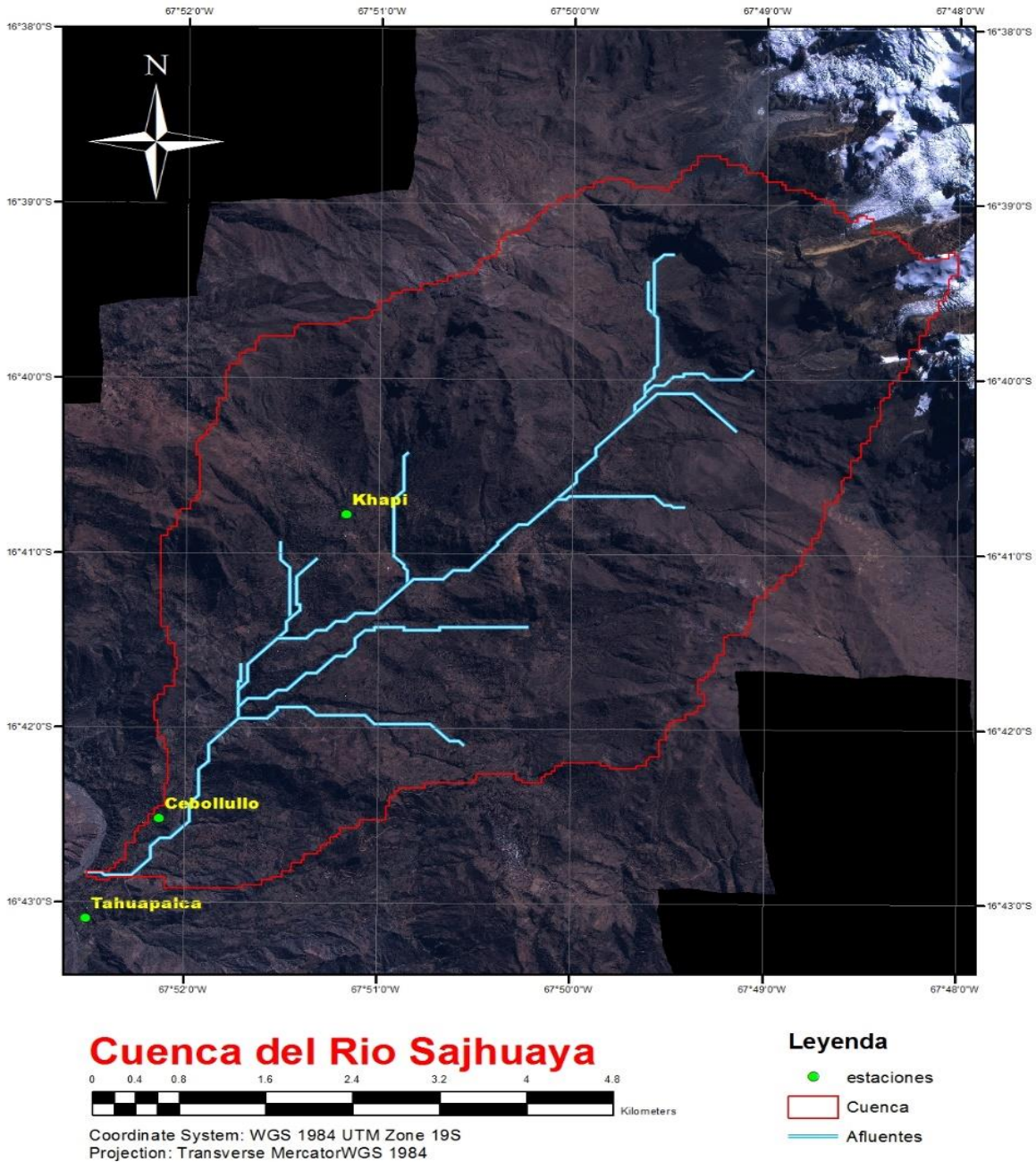
El área de estudio abarca la cuenca del río Sajhuaya, que está ubicada al suroeste del Nevado Illimani, ubicada en la Cordillera Oriental. La cuenca de estudio ha sido dividida en tres regiones para su análisis, las mismas que se han nombrado como las comunidades a las que benefician: Khapi, Cebollullo y Tahuapalca. En orden altitudinal descendente, Khapi es la que se encuentra a mayor altitud (3548 msnm), seguida por Cebollullo (2641 msnm) y por último Tahuapalca (2428 msnm) (ver Mapa 1). La ubicación geográfica de la cuenca esta entre los 16° 43" - 16° 38" Latitud Sur y 67° 53" – 67° 48" Longitud Oeste.

Aproximadamente la cuenca tiene una superficie total de 34.641 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 33.12 Km.

Características de la cuenca del río Sajhuaya	
Coordenadas de la cuenca (WGS84)	16°40 S / 67°50'E
Rango altitudinal [m]	6300 – 2500
Superficie [ km <sup>2</sup> ]	34.641
Exposición general	Sur y Oeste
Pendiente media [ % ]	35%
Longitud del curso principal [ km ]	11.19
Precipitación media anual [ mm ]	621.2
Temperatura media anual [ °C ]	19.7

Tabla 4. Características de la cuenca del río Sajhuaya

Fuente: Proyecto Illimani



Mapa 1. Distribución de la cuenca del rio Sajhuaya  
Fuente: Proyecto Illimani

#### 4.1.1 Características generales de la zona de estudio (Fisiografía y clima)

Las zonas de cordillera que superan los 4500 m.s.n.m. presentan condiciones alpinas, subalpinas y nivales con pendientes predominantes entre 70 a 35%

aproximadamente. Las condiciones climáticas en la zona no superan los 6 °C de temperatura media y las precipitaciones son sólidas (generalmente en forma de nieve). La precipitación pluvial de la cuenca está en un rango de 619 a 485 mm.

Estas condiciones limitan el crecimiento de la vegetación, que mayormente presenta características singulares, al adaptarse al rigor del clima, por ejemplo, su crecimiento es más lento.

Las zonas bajo los 4500 m.s.n.m. presentan nieves temporales en caso de precipitación sólida, la cual se fusiona y escurre de manera instantánea o presenta un retardo menor al de una cuenca glacial. En general las condiciones de escurrimiento en esta zona responden directamente a la precipitación. Las pendientes predominantes en esta zona están entre 35 y 5% aproximadamente. Los suelos presentan depósitos aluviales y en las partes bajas los suelos son aptos para cultivos, por esa razón la existencia de pequeños sistemas de riego.

## **4.2 Materiales**

### **4.2.1 Equipos de campo.**

- Estaciones meteorológicas completas
- GPS

### **4.2.2 Materiales de gabinete.**

- Imágenes satelitales
- Datos climáticos de estaciones meteorológicas completas
- Computador
- Software de GIS's (ERDAS v. 2011, ArcGIS v. 10.1)
- Base de datos generada por otros proyectos (Proyecto Illimani y Agua sustentable)
- Información secundaria generada por otros proyectos (Proyecto Illimani y Agua sustentable)

## **4.3 Metodología.**

### **4.3.1 Recopilación de información**

#### **4.3.1.1 Imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales brindaron información básica como la localización geográfica (latitud, longitud) de la zona de estudio y curvas de nivel. Dicha imagen fue brindada

por los proyectos que trabajaron en la cuenca de estudio (Proyecto Illimani, Agua sustentable).

Con ésta información se elaboró un plano base, el cual se utilizó para delimitar la cuenca de estudio para mostrar los principales ríos que aportan escurrimiento natural; así como el uso de suelo que existe en la zona. Para dicha delimitación se utilizó el software ArcGIS 10.1, con su módulo de análisis de Cuencas ArcSWAT.

#### **4.3.1.2 Información climatológica**

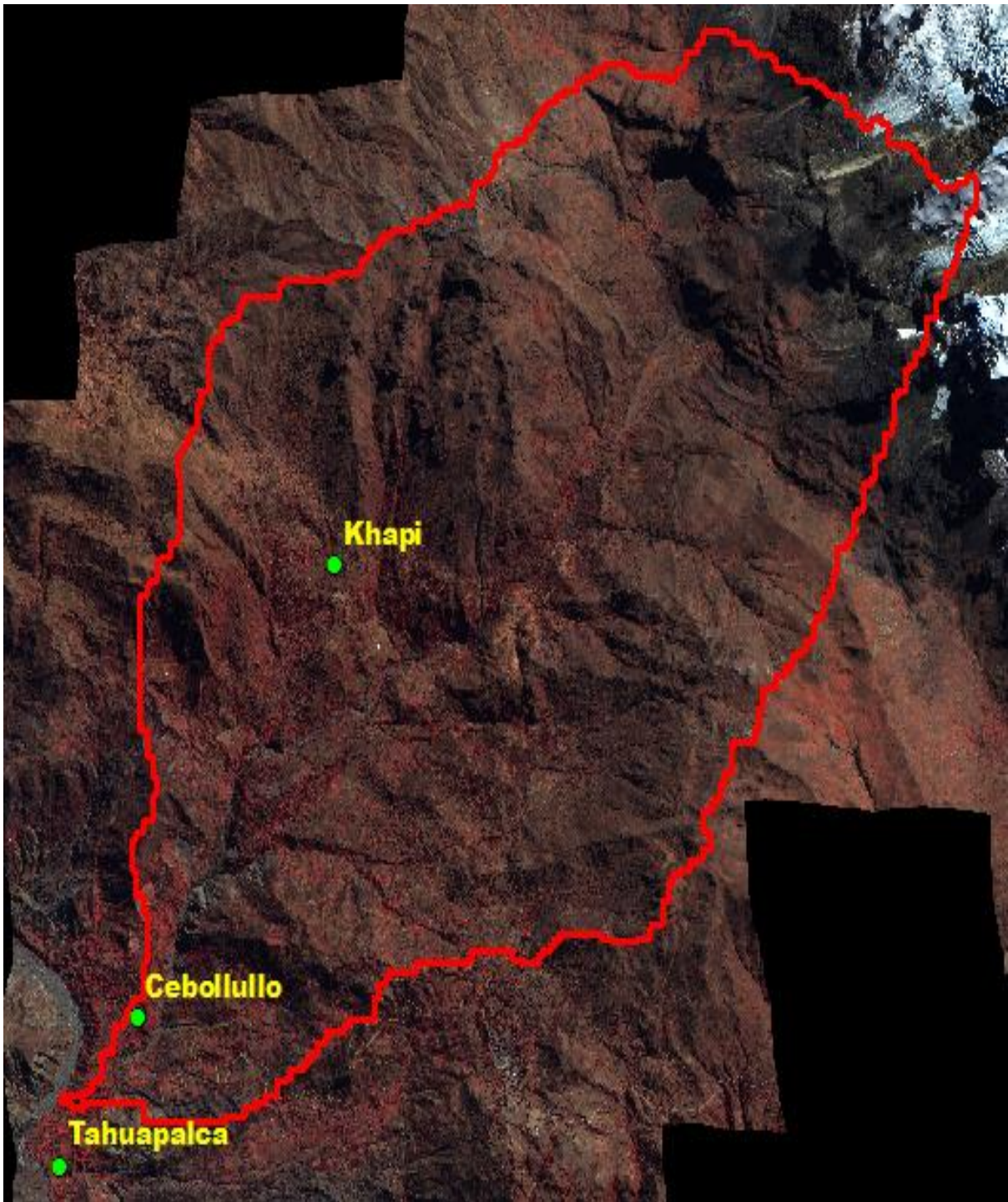
La información climatológica en una cuenca requiere del conocimiento inicial de las condiciones físico-geográficas, datos puntuales medidos - observados, procesamiento, tratamiento y análisis de variables hidrometeorológicas (Precipitación, evapotranspiración y temperaturas).

Dichos datos fueron recopilados de la base climática del proyecto Illimani y en su última fase fueron colectados en campo, cabe mencionar que estos datos en algunas zonas estaban incompletos por lo que se promedió el valor faltante para poder realizar el cálculo del balance hídrico.

La elaboración del estudio de balance hídrico superficial se efectuó cuando se tuvo una base de datos consistente y completa de las variables hidrometeorológicas de interés para el balance.

Se elaboró una base de datos por estación con sus respectivas variables climatológicas diarias, como precipitación, evaporación, temperatura y con esta se estimó los valores mensuales.

Dicho valores climáticos fueron obtenidos a partir de las estaciones climáticas de la zona. Estas zonas climáticas se ubican en tres localidades de la cuenca: Tahuapalca, Cebollullo y Khapi. El siguiente mapa muestra la ubicación exacta de las estaciones climáticas.



Mapa 2. Ubicación de las estaciones climáticas

#### 4.3.1.3 Cálculo del balance hídrico de agua superficial

La ecuación básica para realizar un balance hídrico es:

$$\frac{dV}{dt} = E - S$$

La cuál expresa que la variación del volumen V es igual a las entradas (E) menos las salidas (S) de agua para un intervalo de tiempo t específico.

Para el balance hídrico superficial se usó la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{Alm} = \text{PP} - \text{Q} - \text{ETr} - \text{D}$$

Dónde:

- $\Delta\text{Alm}$ =Cambio en almacenamiento
- Pp= Precipitación
- Q= Caudal
- ETr= Evapotranspiración Real
- D= Demanda

El cálculo de la demanda de agua o balance hídrico de la cuenca se basó en el uso del software oficial que se utiliza para realizar proyectos de riego mayor y menor en nuestro país. Dicho software es el ABRO (Área Bajo Riego Optimo) Versión 3.1 que bastante accesible a su manejo y es de distribución gratuita. Se lo puede descargar mediante la página del Servicio Nacional de Riego (SENARI) (Disponible en: <http://www.riegobolivia.org/softwareabro.html>).

#### 4.3.1.4 Inventario de sistemas de riego y otros usos de agua

La realización de un inventario de los sistemas de riego y otros usos de agua en la zona de estudio, se llevaron a cabo mediante el análisis de información secundaria existente y en base a esto se realizó la sistematización de datos para obtener resultados y ver los cambios del sistema, tanto en su infraestructura, uso y gestión de agua de la cuenca.

Para esto se utilizó toda la información disponible de los proyectos mencionados. Esta información fueron informes técnicos, informes científicos, base de datos de SIG, entre otros.



#### **4.3.1.5 Análisis de información secundaria para el desarrollo del trabajo.**

Mediante la recopilación de información secundaria, brindado por instituciones que han trabajado en la cuenca, se realizó un análisis histórico de esta información y se plasmó en un el desarrollo de resultados para poder determinar el uso, gestión y demanda del recurso hídrico en dicha cuenca.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 BALANCE HIDRICO.

#### 5.1.1 Determinación de ETo y Precipitación

Para el balance hídrico se tomó en cuenta el análisis de datos climáticos para el cálculo de la evapotranspiración de la cuenca. Los datos climáticos que fueron analizados fueron las temperaturas mínimas y máximas, ya que la base de datos climática con la que se contaba solo tenía datos completos de temperaturas para el periodo 2010-2013. Se obtuvo los siguientes climatogramas para ver la tendencia de temperaturas y precipitación.

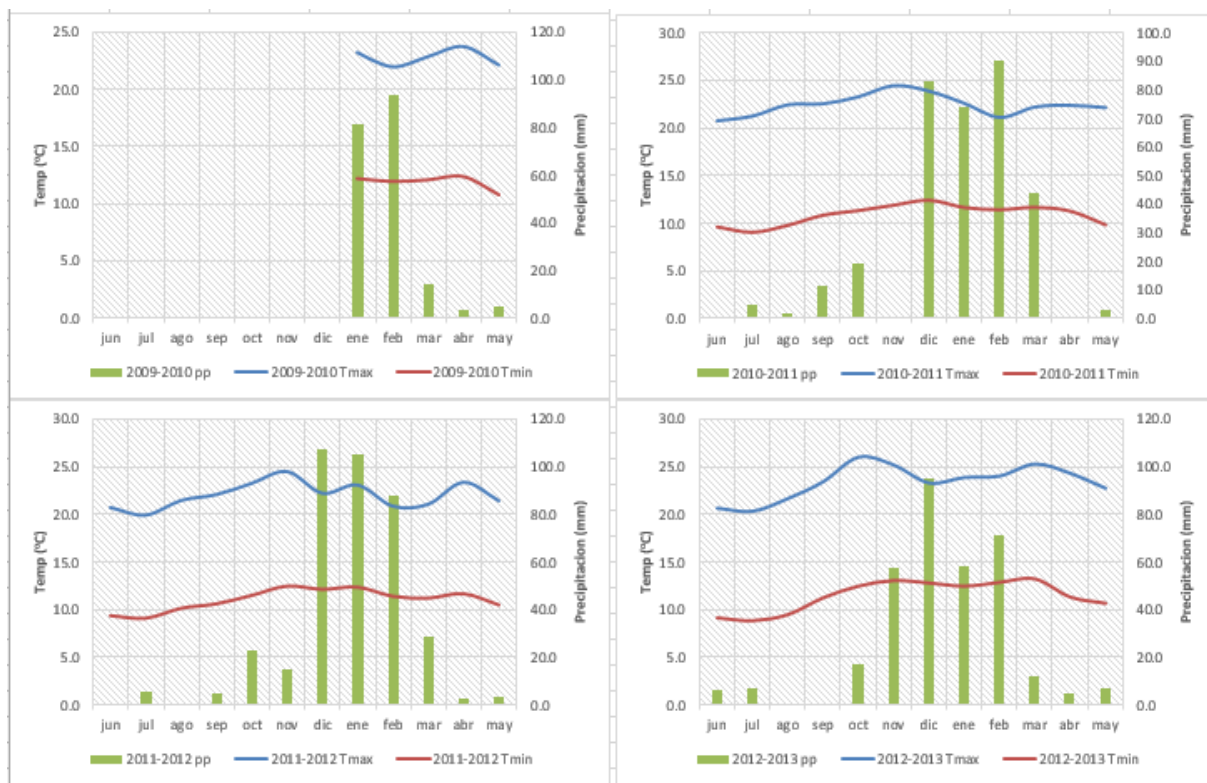


Grafico No. 1. Climatogramas Periodos 2010- 2013

Con dichos climatogramas del periodo analizado, se pudo promediar los valores de precipitación, temperaturas mínimas y temperaturas máximas lo que nos será útil para el posterior balance hídrico. Los valores obtenidos se observan en la siguiente tabla:

Promedio			
Mes	Tmax (°C)	Tmin (°C)	PP (mm)
Jul	20.8	9	5.7
Ago	21.9	9.8	0.7
Sep	22.7	10.9	5.3
Oct	24.2	11.8	19.7
Nov	24.7	12.5	24.3
Dic	23.2	12.4	94.9
Ene	23.2	12.1	79.8
Feb	22	11.9	85.8
Mar	22.8	12	24.7
Abr	23.4	11.6	2.7
May	22.1	10.4	4.6
Jun	20.8	9.3	4.9

Tabla 5. Valores de temp. Máxima, temp. Mínima y Precipitación

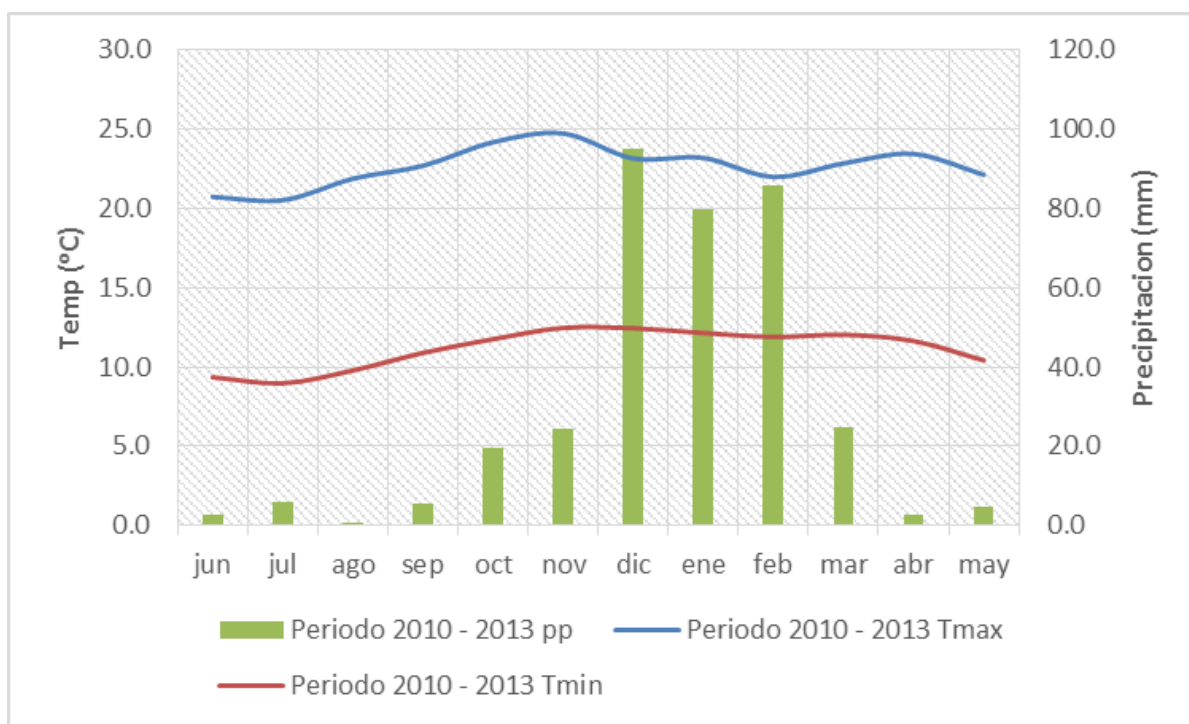


Grafico No. 2. Climatograma Promedio

Con los datos obtenidos, también se pudo calcular la evapotranspiración (ETo) de la cuenca en estudio, que también será un parámetro importante para el cálculo del balance hídrico. Los valores de Eto se muestran a continuación en el siguiente gráfico:

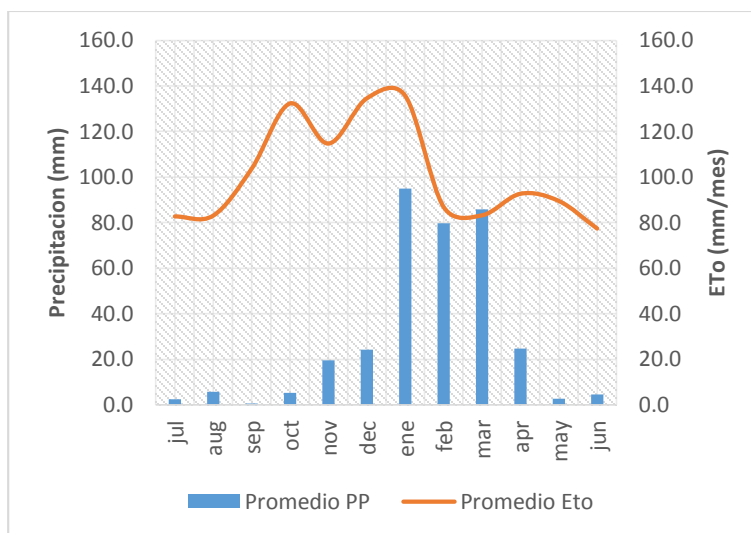


Gráfico No. 3. Valores de Eto para balance hídrico.

En este gráfico se puede ver la tendencia que tiene la precipitación (pp) con relación a la evapotranspiración de referencia (Eto) y se puede observar que la zona presenta un gran déficit de agua disponible para realizar agricultura, por lo cual los comunarios recurren al riego para poder tener producción agrícola.

Con los datos de precipitación y evapotranspiración se determinó el balance hídrico y se vio en que meses se tiene más requerimiento de agua en la cuenca.

### 5.1.2 Determinación de cultivos y las áreas de cultivo de la Cuenca.

#### a) Cultivos dentro de la cuenca

Otro factor determinante para realizar el balance hídrico de la zona es el cálculo de la demanda de agua que esta tiene y este factor depende mucho del uso del suelo, los cultivos y las actividades agrícolas que se tiene en la misma.

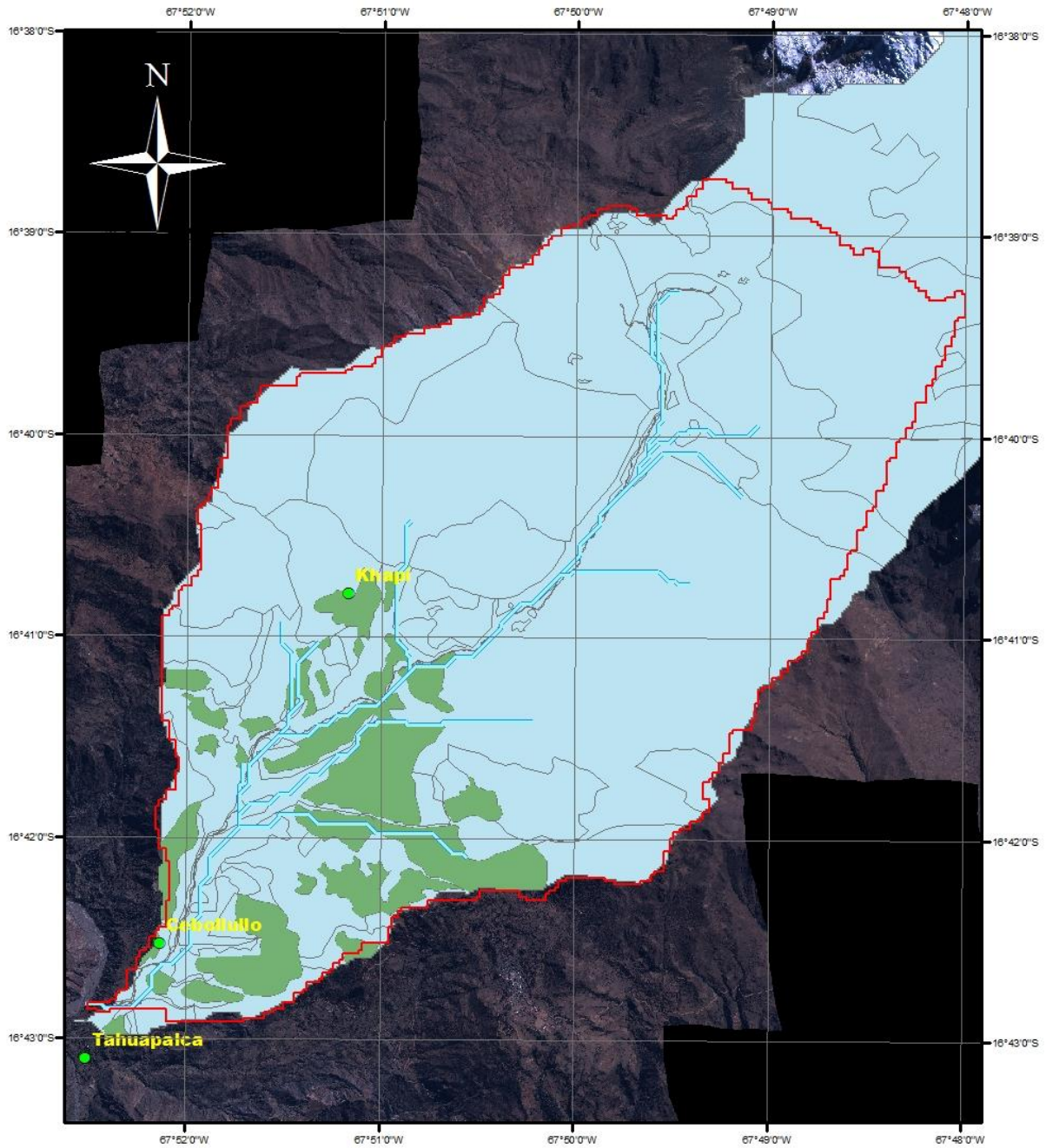
Con la información obtenida de varios trabajos y tesis realizados en la cuenca del río Sahuaya se logró determinar que cultivos eran los más importantes para realizar el balance hídrico, de los cuales se obtuvieron los siguientes datos:

	Khapi (Ha)	Cebollullo (Ha)	Tahuapalca (Ha)	Sumatoria
<b>papa</b>	20.0		4.0	24
<b>maíz</b>	14	24	8.6	46.6
<b>lechuga</b>		48	18.0	66
			<b>TOTAL</b>	<b>136.6</b>

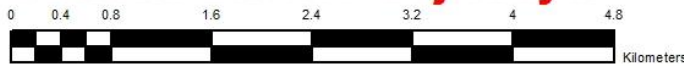
Tabla 6. Área Cultivada de los productos más importantes de la Cuenca

**b) Área de los cultivos más importantes dentro de la cuenca**

Dentro de la cuenca de estudio, se logró determinar el área de suelos que son de uso agrícola, esto se logró con la ayuda de la imagen satelital IKONOS y del mapa de uso de suelos. La discriminación de los suelos agrícolas se hizo mediante el uso de ArcGis, con la herramienta ArcMAP.



### Cuenca del Rio Sajhuaya



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S  
 Projection: Transverse Mercator WGS 1984

#### Legenda

- estaciones
- Cuenca
- Afluentes
- Areas\_de\_cultivo
- uso\_final

Mapa 3. Mapa de suelos agrícolas Vs. Mapa de uso de suelos

Cuando se determinó el mapa de uso agrícola logramos obtener la superficie total que está destinada al uso agrícola que es de 365 hectáreas; de las cuales solo se tiene 215 hectáreas como datos tabulados y de estos se utilizó 136.6 hectáreas para los cultivos más importantes (papa, lechuga y maíz). El siguiente grafico muestra la relación de la superficie total de suelo usado para uso agrícola con la superficie de los cultivos más importantes de la cuenca.

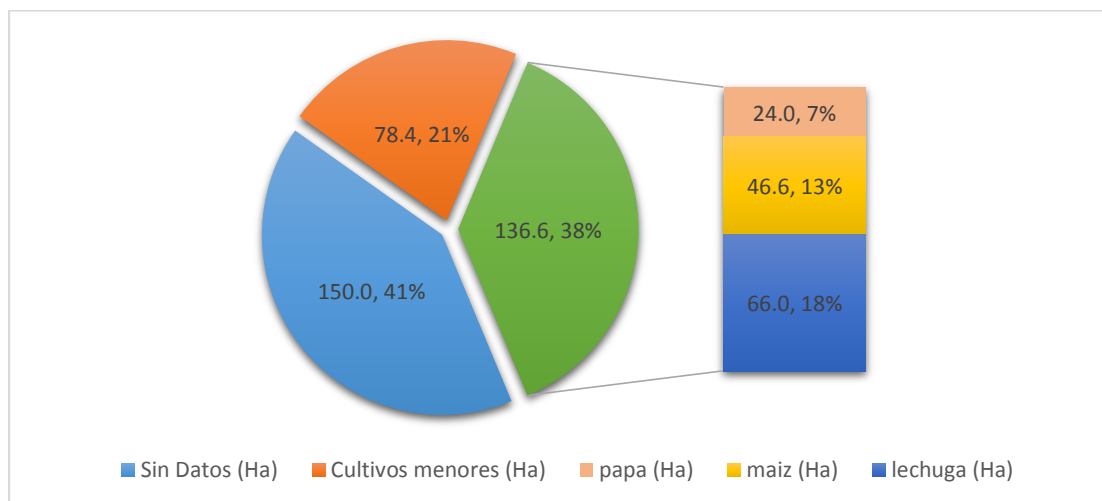


Gráfico No. 4. Relación de áreas de cultivos con área total agrícola

### 5.1.3 Determinación de Caudales

Los caudales fueron determinados mediante el análisis de información generada por las investigaciones realizadas por distintos proyectos en la zona de estudio. Con dicha información se pudo generar la siguiente tabla de datos que nos ayudara en el cálculo del balance hídrico.

época	mes	Caudales max (lt/seg)
e. húmeda	ene	12215
	feb	3243
e. transición	mar	1013
	apr	186
e. seca	may	84
	jun	62
	jul	54
	aug	52
e. transición	sep	38
	oct	25
e. húmeda	nov	30
	dec	4808

Tabla 7. Caudales de acuerdo a la época.

### 5.1.4 Determinación del balance hídrico de la cuenca.

Con los datos anteriormente analizados y obtenidos, se procedió a la introducción de estos datos al software ABRO 02 v.3.1 para poder calcular el balance hídrico de la zona. El primer paso es la introducción de las precipitaciones de la zona, como se puede observar en la figura No. 7.

Precipitaciones (mm)											
Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
4.90	5.70	0.70	5.30	19.70	24.30	94.90	82.30	73.60	21.40	1.90	4.30

Grafico No. 5. Introducción de precipitaciones y Áreas regables, capacidad de canal e eficiencias

Los datos de capacidad máxima y eficiencias fueron determinadas por trabajos realizados en investigaciones previas.

También se hizo la introducción de los datos de caudal de agua de la zona y las superficies de cultivo con sus diferentes épocas de siembra para determinar la demanda de agua en la cuenca.

Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
62.00	54.00	52.00	38.00	25.00	30.00	4,808.00	12,215.00	3,243.00	1,013.00	186.00	84.00

Cultivos			
	Cultivos	Mes siembra	Area (ha)
	Lechuga y hortalizas me	Noviembre	66.00
	Papa (intermedia)	Julio	24.00
▶	Maíz (choclo)	Septiembre	46.00

Grafico No. 6. Caudales y superficies de cultivos

Como la cuenca se encuentra en una zona relativamente cálida, para el criterio de selección de los diferentes Kc's se tomó la cuenca de estudio como una zona de valle. Obteniéndose los siguientes resultados:



<b>Demanda</b>													
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Anual
Req. Bruto Total(mm)	0.00	341.10	1,257.89	944.17	1,114.36	1,124.50	1,315.15	1,313.73	0.00	0.00	0.00	0.00	7,410.89
DEMANDA TOTAL (l/s)	0.00	30.56	112.71	254.98	291.24	590.02	549.94	549.35	0.00	0.00	0.00	0.00	2,378.81
DEMANDA TOTAL (m3)	0.00	81,864.26	301,894.20	660,915.88	780,049.62	1,529,318.91	1,472,968.1	1,471,373.	0.00	0.00	0.00	0.00	6,298,384.36
Caudal Unitario Bruto(l/s/ha)	0.00	1.27	4.70	3.64	4.16	4.34	4.91	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	27.93

<b>Oferta</b>													
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Anual
rio sajuwaya (m3)	160,704.00	144,633.60	139,276.80	98,496.00	66,960.00	77,760.00	12,877,747.	32,716,656	7,845,465.	2,713,219.	482,112.00	224,985.60	57,548,016.00
fuelle3 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fuelle4 (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OFERTA TOTAL (m3)	160,704.00	144,633.60	139,276.80	98,496.00	66,960.00	77,760.00	12,877,747.	32,716,656	7,845,465.	2,713,219.	482,112.00	224,985.60	57,548,016.00
OFERTA REAL (l/s)	62.00	54.00	52.00	38.00	25.00	30.00	4,808.00	12,215.00	3,243.00	1,013.00	186.00	84.00	21,810.00

Grafico No. 7. Balance hídrico de la cuenca, tomando en cuenta todos los datos disponibles

## **5.2 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA**

Para el análisis de estos datos, se recurrió a la información generada por los proyectos de investigación que trabajaron en la zona de estudio. En los siguientes subtítulos se presenta los resultados obtenidos del análisis la información generada.

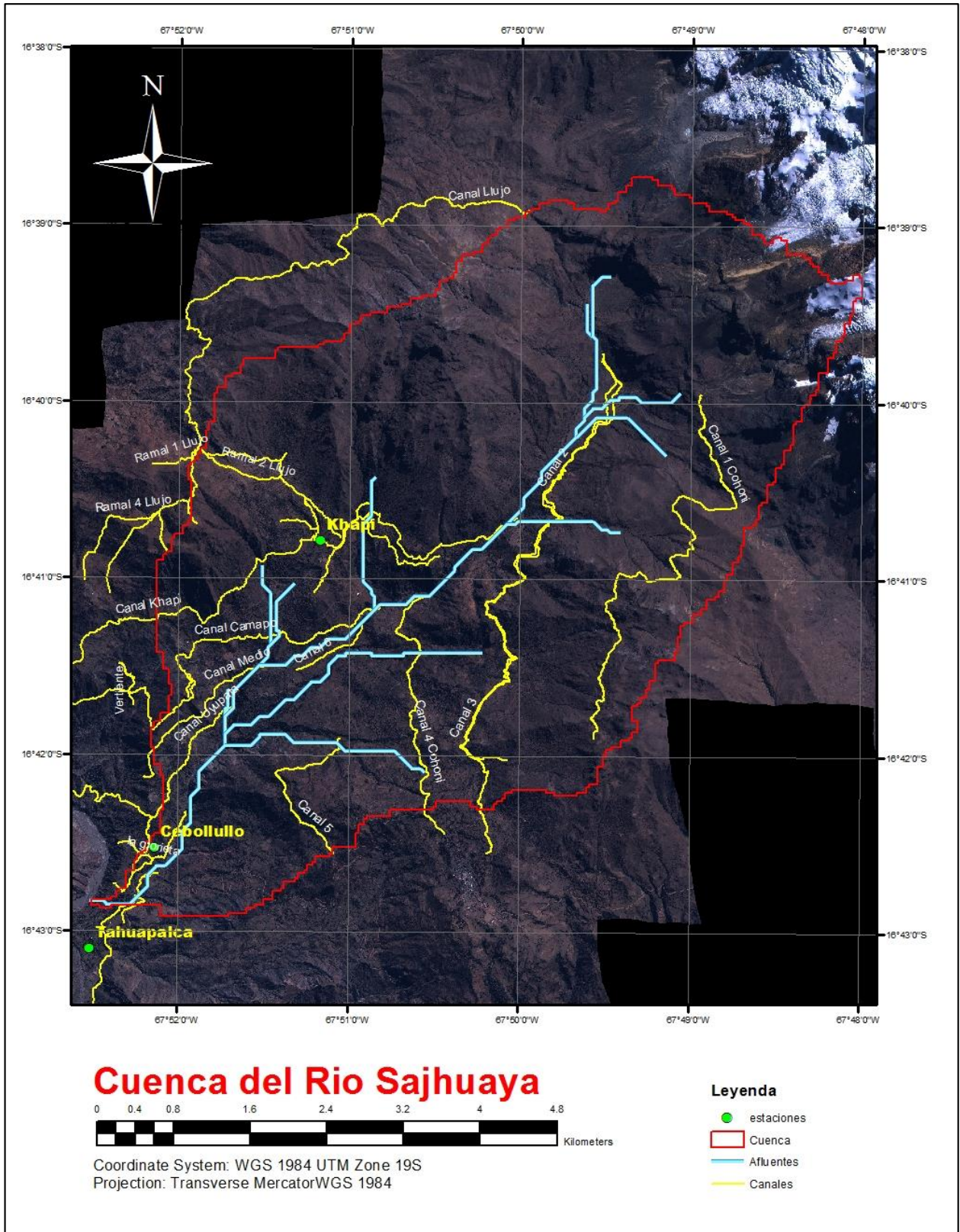
### **5.2.1 Origen y usos del recurso hídrico en la cuenca del rio Sajhuaya**

Las aguas de la cuenca en su mayoría son de origen glaciar, por la presencia del nevado Illimani. Por los estudios realizados en la zona, no se pudo evidenciar la presencia de pozos y las vertientes presentes vierten sus aguas en los cauces de los afluentes para ser aprovechadas posteriormente.

El uso principal que tienen sobre el recurso hídrico es básicamente riego, al cual le dan mucha importancia para poder explotar la actividad agrícola y tener rendimientos económicos.

Dentro del análisis del uso del recurso hídrico de la cuenca se observó las distribución de los canales de riego en la misma, la cual nos da un panorama de cómo es la distribución de agua para la producción.

En el mapa 4 se puede observar la cantidad de afluentes que contiene la cuenca y los canales que aprovechan los mismos para ser distribuidos en las zonas de producción agrícola.



Mapa 4. Afluentes y Canales de la Cuenca

### 5.2.2 Análisis del sistema de riego en la cuenca del río Sajhuaya.

Por el análisis realizado, se pudo observar que en los Sistemas de riego que hay en la cuenca, existe cierta cantidad de usuarios y superficies regadas por los sistemas, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Nombre del Sistema	Comunidades que riegan	No. de usuarios del sistema	Superficie por comunidad (ha)
Sistema Canal Khapi	Khapi	152	64.71
Sistema Canal Llujo			48.86
Sistema Canal Camapo		7	2.47
Sistema Canal del Medio	Cebollullo		7.91
Sistema Canal Uyupata		38	22.86
Sistema Canal Cantería		39	10.41
Sistema Canal Tahuapalca 1	Tahuapalca	65	15.32
Sistema Canal Tahuapalca 2			4.1

Tabla 8. Cantidad de usuarios y superficies regadas por los sistemas (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010)

Los cultivos en la zona varían de acuerdo a la altura del ecosistema. En las zonas más altas se cultiva: papa, haba, maíz. En esta altura también se producen otros cultivos andinos, pero los tres mencionados son los que se producen bajo riego. En las zonas medias se cultiva una mezcla de los cultivos de altura y los de las zonas bajas: papa, maíz, y algunas frutas y verduras. En las zonas bajas solo frutas y verduras. Las frutas más comunes son durazno, manzana, ciruelo, pera. Las verduras más comunes son tomate, pepino, locoto, lechuga, vainita, espinaca. En las zonas más bajas que cuentan con riego se tiene una tendencia a cultivar mayores extensiones de lechuga debido a los precios favorables del mercado.

A continuación se presenta las diferentes épocas de riego por sistemas.

Nombre del sistema	Comunidades	Meses												
		J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	
Sistema canal khapi	Khapi			X	X	X							X	
Sistema canal llujo				X	X	X								
Sistema canal camapo		X	X	X	X	X							X	X
Sistema canal del medio	Cebollullo	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Sistema canal uyupata		X	X	X	X	X						X	X	X
Sistema canal cantera		X	X	X	X	X							X	X
Sistema canal tahuapalca 1	Tahuapalca	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X
Sistema canal tahuapalca 2		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X

**X= aplicación de tumos de riego**

Tabla 9. Diferentes épocas de riego por sistemas (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010)

Se puede observar que la mayoría del año los turnos de riego están ocupados en los distintos meses, lo cual solo deja 2 meses (enero y febrero) sin que ninguno de los sistemas ocupen los turnos de riego.

En la siguiente tabla se observa los Días de riego por comunidad y según sistemas y acuerdos.

NOMBRE DEL SISTEMA	COMUNIDADES	DIAS						
		L	M	M	J	V	S	D
Sistema Canal Khapi	Khapi					X	X	X
Sistema Canal Llujo					X			
Sistema Canal Camapo		O	O	O	O	O	O	O
Sistema Canal del Medio	Cebollullo	O	O	O	O	O	O	O
Sistema Canal Uyupata		X	X	X	X	X	X	X
Sistema Canal Cantería		X	X	X	X	X	X	X
Sistema Canal Tahuapalca 1	Tahuapalca	X	X	X	X	X	X	X
Sistema Canal Tahuapalca 2		X	X	X	X	X	X	X
<b>X = Días de riego según convenios</b>								
<b>O = Días de riego sin acuerdos claros y sin días de riego definidos por comunidad</b>								

Tabla 10. Días de riego por comunidad y según sistemas y acuerdos (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010)

Esta tabla nos ayuda a determinar los días que deben regar las comunidades en los diferentes sistemas de riego de la cuenca y así poder acordar en cuáles de ellos existen un convenio sobre el uso del canal y en cuales aún existe conflictos o días de riego sin definir. Esto ayudara para poder realizar una mejor programación en sus actividades de riego y una mejor gestión de los sistemas involucrados.

### 5.2.3 Análisis económico de la cuenca del Rio Sajhuaya.

La producción agrícola es la principal actividad económica de la cuenca y es uno de los sectores que más se ven afectados por el cambio climático que ocurre actualmente.

Para la evaluación económica del impacto del cambio climático, es necesario hacer un análisis del sistema productivo de las comunidades que se encuentran en la cuenca. Para ello se hizo el análisis de documentación sobre trabajos realizados en la zona.

#### 5.2.3.1 Aspectos demográficos

La cuenca del Rio Sajhuaya posee una cantidad considerable de habitantes y de acuerdo al Plan de Desarrollo del municipio de Palca, las comunidades de estudio

poseen 688 habitantes, de los cuales 370 son hombres y 318 corresponden al sexo femenino. El número de familias que viven en las diferentes comunidades de la zona de estudio, de acuerdo a los datos presentados en las listas de afiliados a las diferentes comunidades, son alrededor de 196 familias o viviendas. El detalle por comunidad se encuentra en la tabla siguiente:

COMUNIDAD	No. de habitantes	Hombres	Mujeres	No. de viviendas
Khapi	196	103	93	48
Cebollullo	297	167	130	84
Tahuapalca	195	100	95	64
<b>TOTAL</b>	<b>688</b>	<b>370</b>	<b>318</b>	<b>196</b>

Tabla 11. Población por comunidad de la zona de estudio (Cuiza Bejarano, 2011)

También cabe señalar que las comunidades estudiadas en la cuenca existen 203 familias distribuidas de la siguiente manera:

COMUNIDAD	No. de Familias
Khapi	35
Cebollullo	92
Tahuapalca	76
<b>TOTAL</b>	<b>203</b>

Tabla 12. No. de familias de la cuenca del río Sajhuaya (Cuiza Bejarano, 2011)

### 5.2.3.2 Situación económica de las comunidades en estudio.

A continuación se realizará un análisis de la situación económica de las comunidades de la zona de estudio:

#### 5.2.3.2.1 Comunidad de Khapi

El tipo de producción es rotacional, es decir, un año producen papa (variedad charimilla), el segundo año producen papa nuevamente (variedad huaycha), el tercer año entre maíz, haba y uno cuarto año dejan el terreno para descanso o producen alfalfa, u otro cultivo similar en pequeña escala. Este periodo de descanso es de aproximadamente 2 a 3 años.

Dentro del cultivo de la papa, las dos principales variedades que se producen en la zona son: charimilla (papa negra) y la huaycha (papa roja). La primera es la que mayor rendimiento económico brinda ya que tiene un mayor precio en el mercado, pero es exigente en cuanto refiere a características del suelo y su tiempo de producción es más largo comparado con la segunda variedad; por lo que los agricultores tienden a

reducir la producción de papa negra porque indican que esta es una variedad que degrada el suelo.

Es importante mencionar que la estructura productiva entre los periodos de 1975 – 1987, en la comunidad de Khapi, era muy marcada entre la segunda quincena de octubre y la primera quincena de noviembre y el mes de marzo, época en la cual las precipitaciones eran normales en magnitud y tiempo de acuerdo a la percepción de los agricultores, pues durante el resto de los meses, la presencia de heladas nocturnas casi permanente impedía la producción de cualquier cultivo.

En el periodo posterior a 1987 hasta el 2009 se evidencia la existencia de un cambio en la época productiva, puesto que la producción de la papa ya no solo se efectúa entre los meses detallados anteriormente, sino que va de julio hasta enero debido al cambio de temperaturas según indican los productores. De esta manera el sistema productivo fue moviéndose en el tiempo.

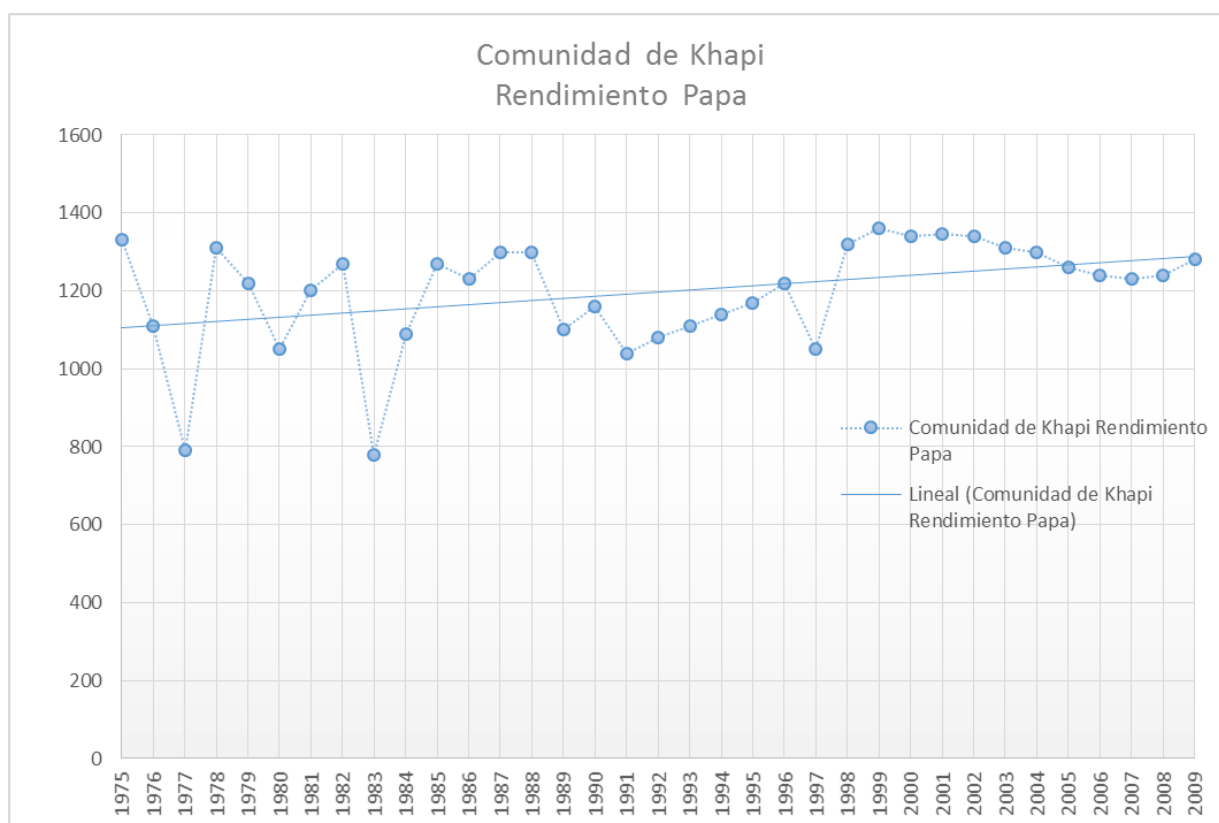


Grafico No. 8. Rendimiento (kg) de papa en la comunidad de Khapi 1975 – 2009

### **5.2.3.2.2 Comunidad de Cebollullo**

En la comunidad de Cebollullo, los sistemas de producción son muy similares a los desarrollados en la comunidad de Tahuapalca (que se observara más adelante), considerándose cultivos intensivos con una fuerte tendencia al monocultivo de lechuga, respondiendo de esta manera a una ardua y creciente demanda. En este sentido, los dos principales cultivos de la comunidad de Cebollullo son la lechuga y el maíz, por lo tanto, el análisis que se realizará a continuación se concentrará en ambos cultivos.

En el análisis del maíz, cabe mencionar que las condiciones climáticas favorables de valle otorgan la posibilidad que su actividad productiva sea intensiva, esto produce que los ingresos percibidos por la producción de lechuga y maíz sean las principales actividades económicas de la comunidad de Cebollullo. Sin embargo, también producen en la zona vainita, camote.

De acuerdo a las percepciones de los agricultores de la zona, la producción de vainita permite recuperar las propiedades de los suelos principalmente en la época de verano. En las zonas más bajas de la comunidad de Cebollullo se producen también tomate, sin embargo, este cultivo representa costos muy altos de inversión lo cual ocasiona que este no sea muy rentable.



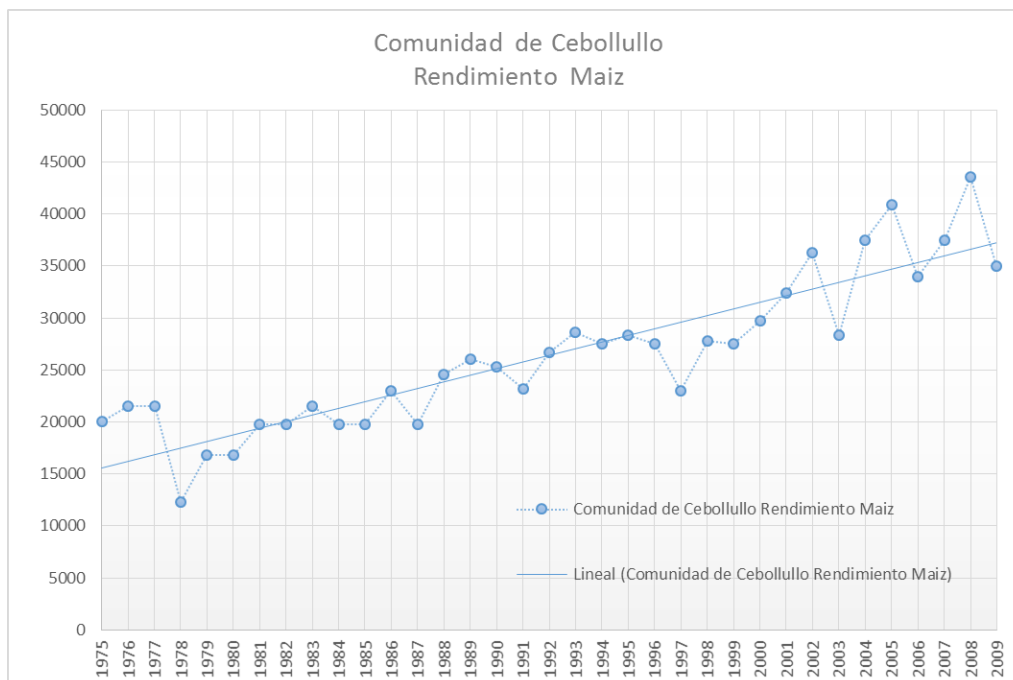


Grafico No. 9. Rendimiento de maíz en Cebollullo 1975 – 2009 (unidad)

### 5.2.3.2.3 Comunidad de Tahuapalca

La producción agrícola es la principal actividad económica de esta comunidad, en tal sentido sus condiciones climáticas favorables de valle otorgan la posibilidad que su actividad productiva sea intensiva, siendo el cultivo de lechuga el principal producto que rinde ganancias económicas. Sin embargo, también producen en la zona maíz, papa, tomate, brócoli, pepino vainita, haba y arveja.

La comunidad de Tahuapalca es la más afectada con respecto a la cantidad y calidad de agua disponible para las diferentes actividades humanas, su ubicación es privilegiada entorno a la diversidad de cultivos que se pueden encontrar en la zona debido a las condiciones climáticas que presenta en distintas épocas, como ser:

- Época seca en invierno (las temperaturas son tan bajas que el glaciario no permite el descenso del agua en la cuenca), el riego es reducido y hay mucha competencia por el agua.
- Época intermedia en los meses de transición (temperaturas mayores, más descarga del agua del glaciario con lluvias intempestivas de alta intensidad pero corta duración).

- Época húmeda en verano (temperaturas altas, que permiten el descenso del agua en la cuenca, además de las lluvias típicas de la temporada)

En la comunidad de Tahuapalca se evidencia que el rendimiento del cultivo es sustancialmente mayor al obtenido en la comunidad de Cebollullo, específicamente las unidades que son obtenidas en esta comunidad son comparativamente más del doble de las comunidad de Cebollullo, situación que ha provocado que el cultivo de la lechuga sea prácticamente un monocultivo en esta zona.

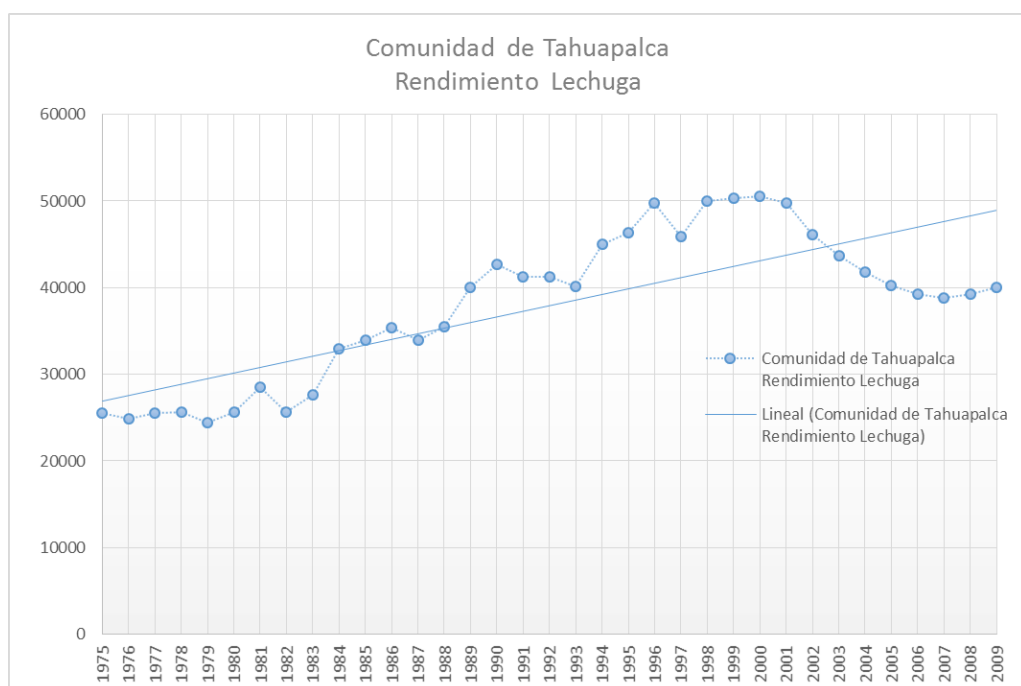
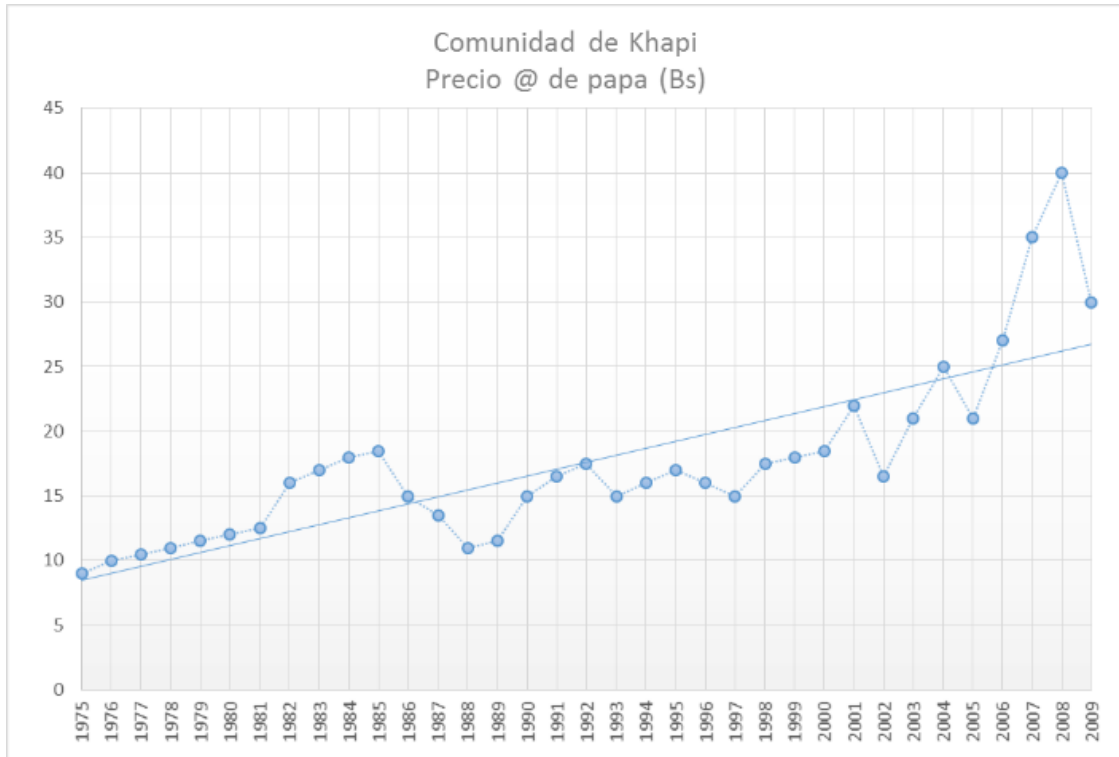


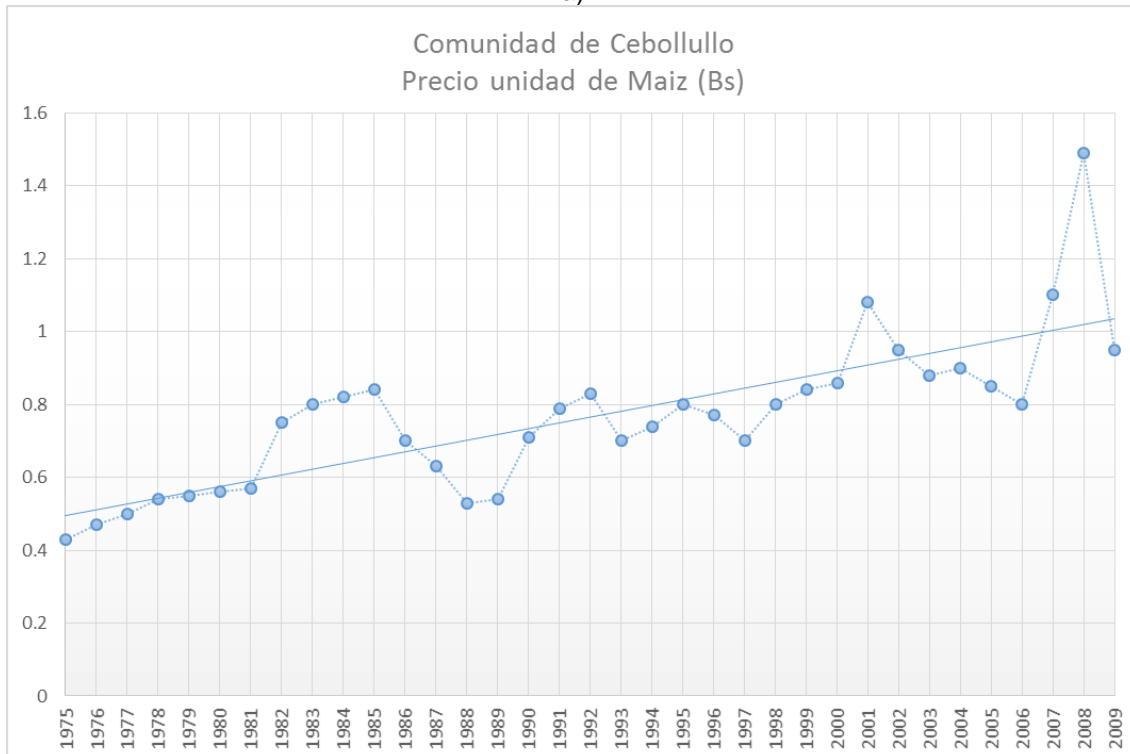
Gráfico No. 10. Rendimiento de Lechuga en la comunidad de Tahuapalca 1975 – 2009 (unidad)

### 5.2.3.3 Evolución de los precios de los principales productos de la cuenca.

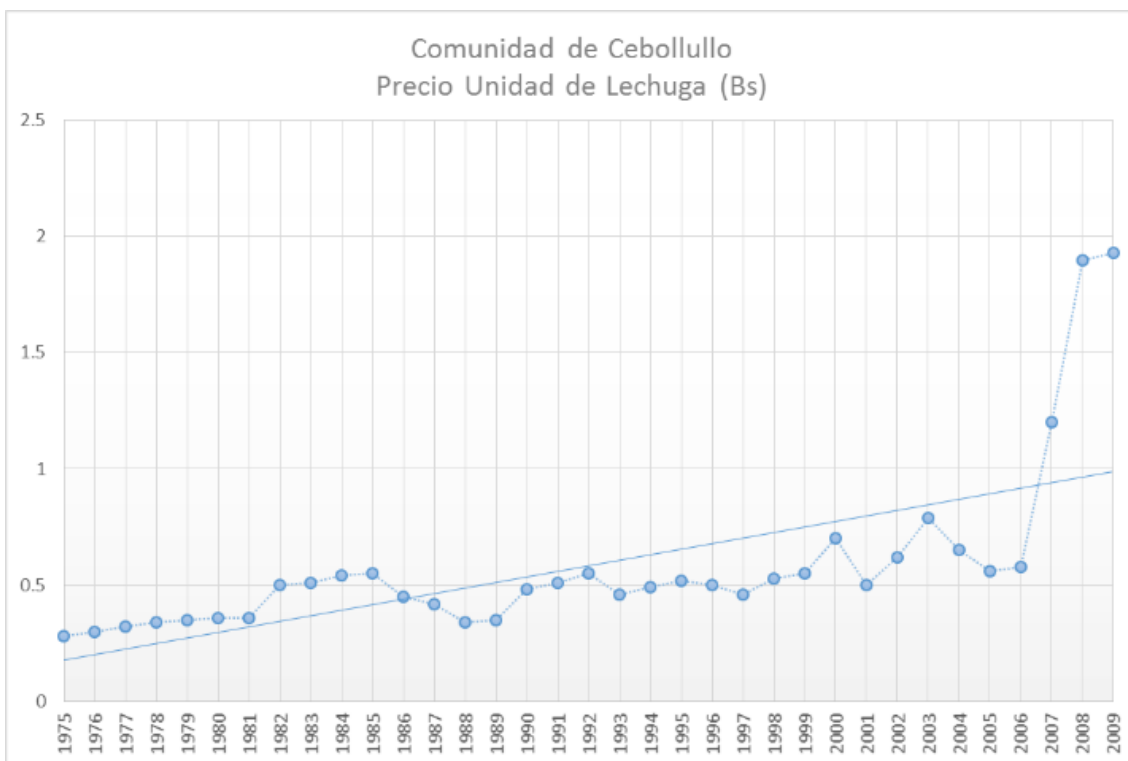
A continuación se observa cómo ha evolucionado el precio de los distintos productos de la cuenca en estudio y se puede observar para todos los casos que tiene una tendencia a subir con el tiempo, debido a la demanda de los mismos, por lo que también se incrementa su superficie de producción.



a)



b)



c)

Grafico No. 11. Evolución del precio de la a) papa, b) maíz y c) cebolla para los periodos 1975-2009

Como se puede ver en los gráficos anteriores, el precio de los productos en la cuenca del río Sajhuaya ha fluctuado bastante en los últimos 35 años pero se ve una tendencia a subir en los precios de venta. Esto se debe a la demanda por la población paceña y al incremento de superficies de cultivo de estos productos. También se debe a la introducción de sistemas de riego, ya que la cuenca cuenta con estos sistemas desde el año 1988 por lo que se puede evidenciar que a partir de ese mismo año el incremento en el precio de venta de estos productos también empieza debido a que ya se cuenta con agua para regar e incrementar sus volúmenes de producción.

	1975	2000	2008	2013	Incremento
Papa	9 Bs.	15 Bs	40 Bs.	40 Bs.	444 %
Maíz	0.43 Bs.		1.49Bs		347 %
Lechuga	0.28	0,50 Bs.	1.93		679 %

Tabla 13. Incremento de precio en los productos de la cuenca (Cuiza Bejarano, 2011)

Podemos indicar que durante los 35 años el incremento del precio de los productos fue bastante alto, debido a la demanda, al incremento de superficies y al acceso a agua para riego; ya que en casos como la lechuga en la comunidad de Tahuapalca se incrementó la cosecha de producción al doble en los últimos años.

### 5.2.3.4 Cambios en los requerimientos de riego

El seguimiento detallado de las prácticas agrícolas que hicieron los proyectos, muestran como resultado una evaluación climática que ha permitido mostrar los requerimientos de riego y el uso de agua de riego en la cuenca.

Aunque todas las comunidades han incrementado mucho sus requerimientos de riego desde 1975, pero la comunidad de Tahuapalca y Cebollullo presentan un mayor incremento respecto a Khapi debido a que en estas dos comunidades el cultivo de lechuga es mayor y los requerimientos hídricos ocasionan este incremento. También se debe a que en se realiza la cosecha de la lechuga dos veces al año.

A continuación se muestra el cambio y crecimiento de las necesidades de riego promedio anuales de las tres comunidades evaluadas.

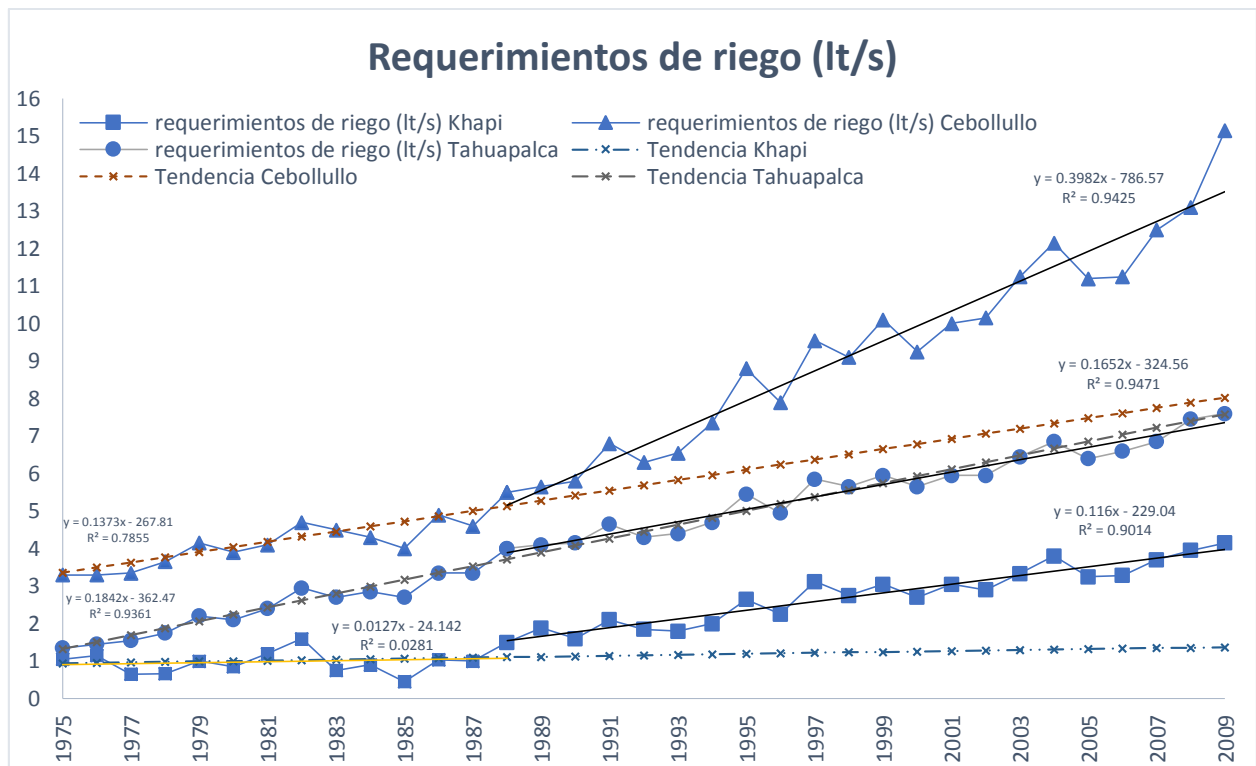


Grafico No. 12. Requerimiento y tendencias de riego en las comunidades de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca

### 5.2.3.5 Precipitaciones de las comunidades en estudio (Gestión 2010-2012)

Para ver como la precipitación es un factor determinante a la hora de utilizar los sistemas de riego, es conveniente mostrar como es el comportamiento de esta en las tres comunidades de la cuenca. Esto nos ayudara a ver con más detalle el

aprovechamiento del agua de los canales de riego, lo que nos ayudara a entender mejor el manejo y el aprovechamiento de los sistemas de riego implementados en la zona.

Para ambos casos se hizo una separación en dos gestiones agrícolas (2010-2011, 2011-2012) para observar en que comunidades la precipitación es más alta y baja.

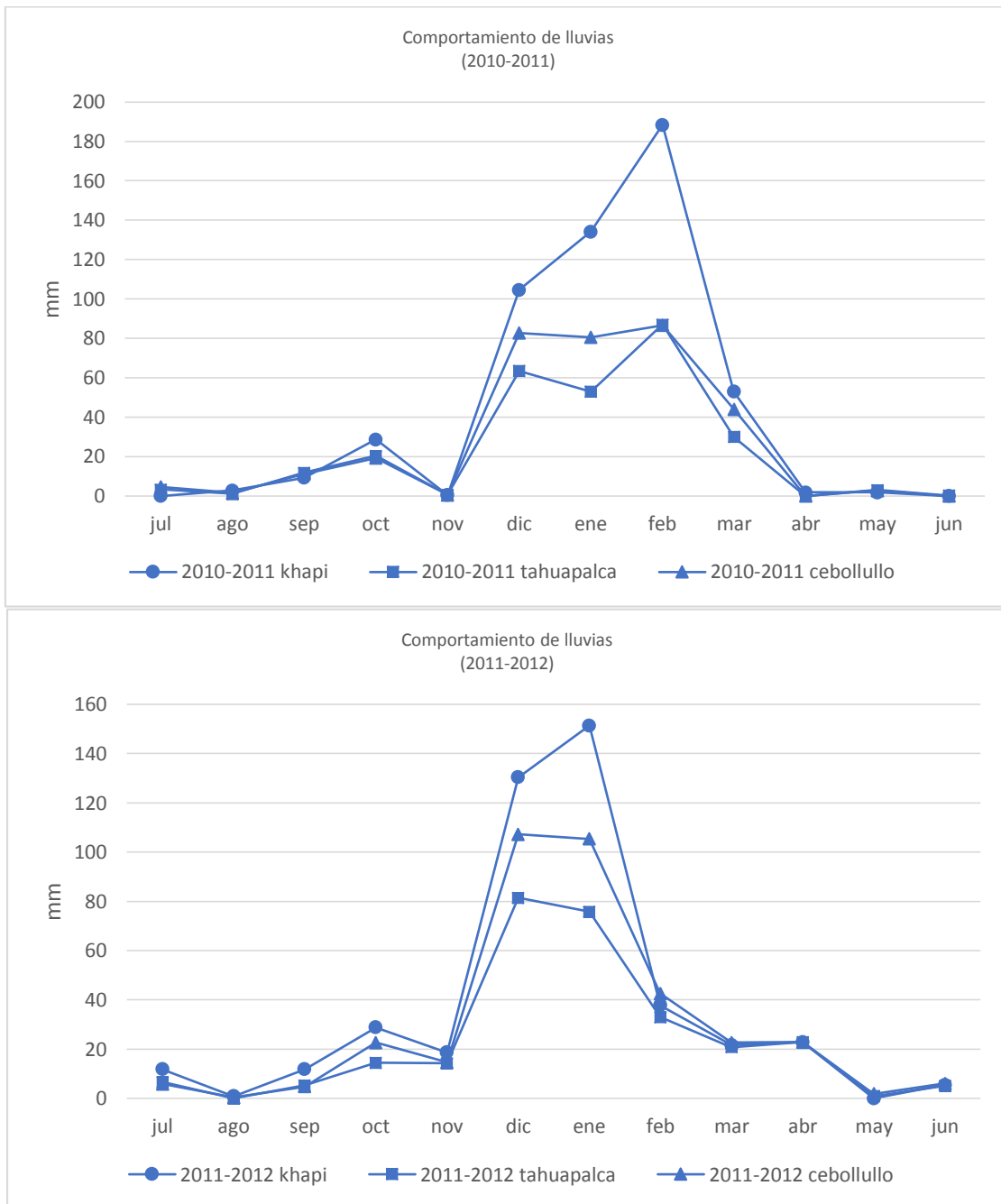


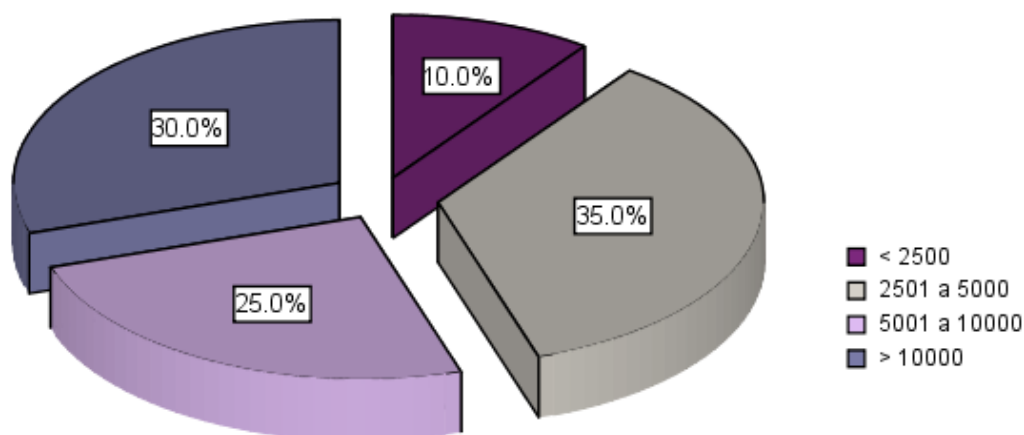
Grafico No. 13. Comportamiento de lluvias en las tres comunidades de la Cuenca del rio Sajhuaya Gestión 2010-2011 - Gestión 2011-2012

### 5.2.3.6 Porcentaje del terreno cultivado en las comunidades de la cuenca del río Sajhuaya.

En las siguientes graficas se puede observar que porcentaje de áreas de terreno cultivan los comunarios de las distintas comunidades en estudio. Por lo que se puede observar la existe una variabilidad de terreno cultivado en todas ellas.

En la comunidad de Khapi se puede ver que la mayoría de la gente siembra más de una hectárea, pero la distribución de superficie cultivada es más homogénea. Esto varia en las otra comunidades aguas abajo, ya que en la comunidad de Cebollullo se observa que un 60% siembra menos de media hectárea al igual que la comunidad de Tahuapalca.

SUPERFICIE CULTIVADA KHAPI (m2)



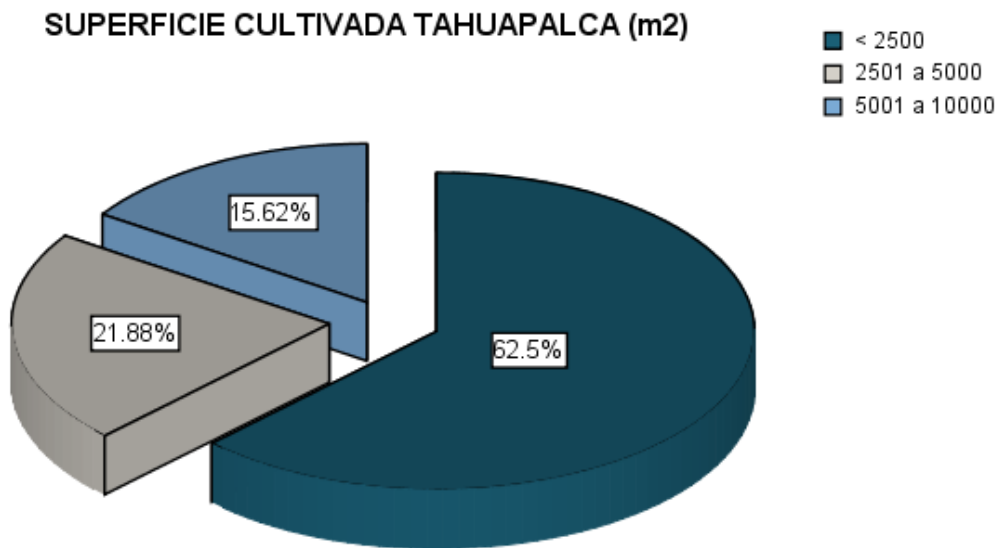
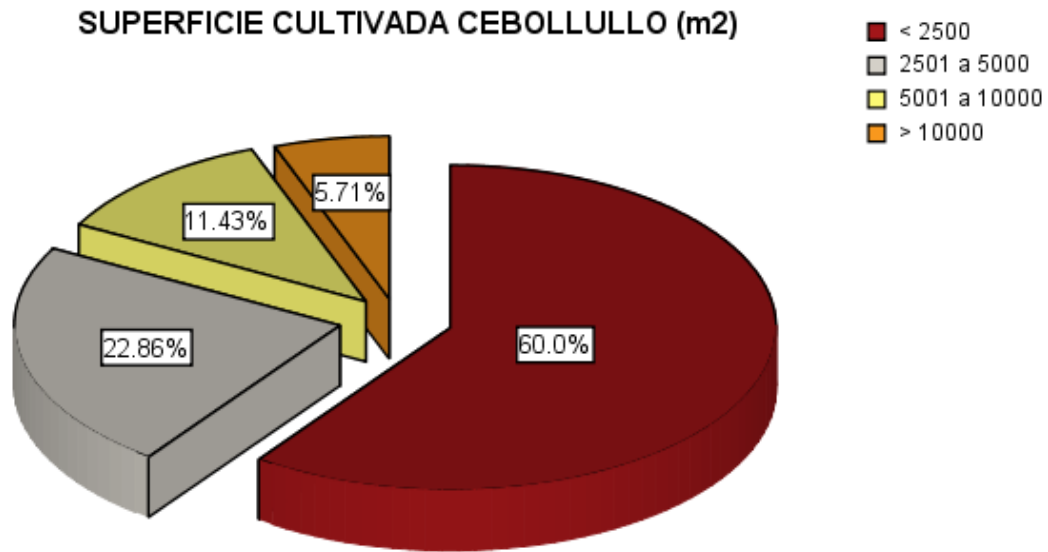


Grafico No. 14. Superficies Cultivadas en las tres comunidades de la cuenca del Rio Sajhuaya (Taboada & Garcia, 2010)



### **5.3 ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIEGO DENTRO DE LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA**

#### **5.3.1 Organización sindical en la cuenca del río Sajhuaya**

La organización en las comunidades estudiadas se centra en el Sindicato, ya que en la cuenca existió una fuerte presencia de Haciendas. Por la información obtenida, se infiere que las tres comunidades: Khapi, Cebollullo y Tahuapalca probablemente pertenecían a diferentes Haciendas antes de la Reforma Agraria, ya que solo unos años después de la misma los comunarios compraron las tierras a los patronos y obtuvieron los títulos de propiedad común y títulos individuales, dando así origen a la organización sindical que tiene actualmente.

En la actualidad cada comunidad cuenta con su organización sindical propia pero debido a que los sistemas de riego que fueron adoptados desde la época de la hacienda, hace que varias comunidades se unan en una sola para formar una sola organización que gestiona el uso de agua para riego dentro de los sistemas.

Como cada comunidad tiene su propio sindicato, esta organización formada es el resultado de unión de varias autoridades responsables de la gestión de agua para uso agrícola que cada una posee, los cuales se reúnen para coordinar las distintas actividades que tienen que ver con la gestión de todo el sistema involucrado.

No se cuenta con una sola autoridad o un directorio unificado por sistema. Al interior de las comunidades hay una cierta autonomía y normas específicas a condición de que no contravengan las normas generales del sistema.

En las comunidades de Khapi y Tahuapalca, las autoridades encargadas de la gestión de agua para riego son el Secretario General y Secretario de Agricultura. En el caso de Cebollullo tiene 3 presidentes de acequias, quienes son los encargados de cada una de los 3 canales que componen el sistema de riego de dicha comunidad.

Los cargos destinados a la gestión de agua son rotativos en cada comunidad y cada uno de los comunarios tiene la obligación de tomar el cargo cuando es su turno. Esto hace que cada persona en la comunidad sepa en qué estado se encuentran los

sistemas de riego, haciendo que el trabajo de gestión del mismo sea más integral entre todos los involucrados en el sistema de riego.

En la siguiente tabla se presenta los distintos cargos de las personas responsables de los sistemas de riego en cada comunidad, dentro de la cuenca del Rio Sajhuaya.

Comunidad	Cargos	Sistema de riego
Khapi	Secretario General Secretario de Agricultura	Canal Khapi Canal Llujo Canal Camapo
Cebollullo	Presidentes de acequia	Canal del medio Canal Uyupata Canal Canteria
Tahuapalca	Secretario General Secretario de Agricultura	Canal Tahuapalca 1 Canal Tahuapalca 2

Tabla 14. Cargos de responsables del sistema de riego (Villarroel, Perez, Castel, & Torrez, 2010)

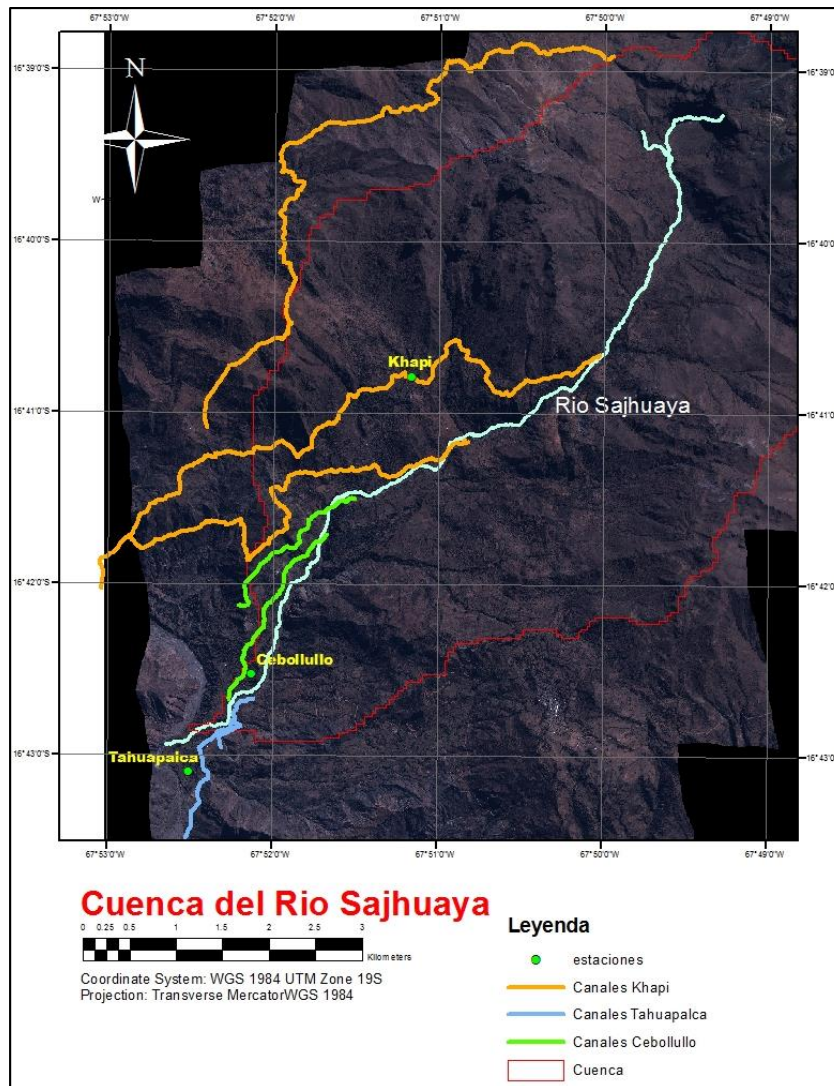


Grafico No. 15. Principales Canales de riego de la cuenca del Rio Sajhuaya

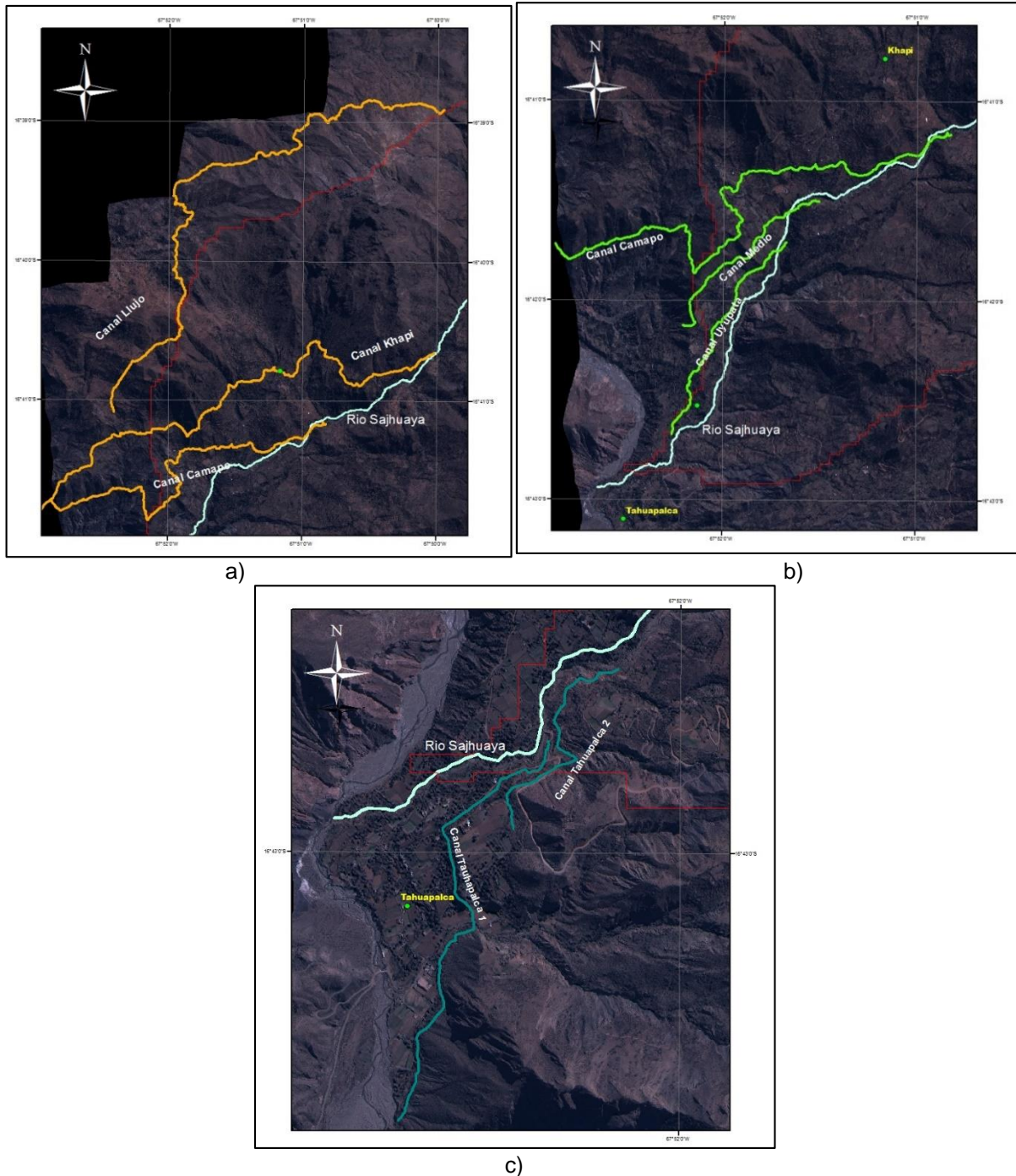


Grafico No. 16. Sistemas de Canales de las comunidades de a) Khapi, b) Cebollullo y c) Tahuapalca  
 Como se puede observar en los gráficos anteriores, el sistema de canales más grande es el de la comunidad de Khapi que está integrado por tres canales y son los más extensos de la Zona; luego está el sistema de canales de Cebollullo que también está conformado por tres canales de distribución y por último está el sistema más pequeño que es el de la comunidad de Tahuapalca.

Todos los sistemas tienen a su vez varios ramales que distribuyen el agua para riego en toda la cuenca, pero para fines explicativos se muestra solo los principales canales.

### **5.3.2 Derecho colectivo sobre el acceso y uso de agua para riego**

Uno de los aspectos fundamentales sobre la gestión del uso hídrico en la cuenca es el derecho al mismo, por lo cual los sindicatos que manejan el agua para riego en la zona tienen ya definidos como el usuario se gana este derecho.

Los derechos sobre el agua en la comunidad son de dos tipos: el derecho colectivo y el derecho familiar. Dentro de los derechos colectivos existe dos niveles: el que está relacionado con el acceso a la fuente, que involucra a todas las comunidades y el derecho colectivo propio de cada comunidad.

Dentro del derecho colectivo, el punto más importante es el caudal que puede desviar la toma del agua que escurre naturalmente por el río. No hay reglas ni convenios que limiten el caudal de desvío para las comunidades aguas arriba ni aguas abajo.

Por lo mencionado anteriormente, se infiere que los derechos de acceso a la fuente de agua son colectivos por lo que ninguna familia construye de manera individual tomas para su propio uso y en la mayoría de los sistemas principales observados el derecho de acceso a la fuente es para toda la comunidad o el conjunto de comunidades que lo compone.

La gestión de dichos sistemas la realizan las autoridades del Directorio de los sindicatos comunales que son responsables del riego, los cuales en la mayoría de los casos son los Secretarios Generales y/o de Agricultura quienes coordinan las distintas actividades que implica el mantenimiento de los canales.

#### **5.3.2.1 Origen de los derechos colectivos**

El análisis realizado de la información de los proyectos realizados en la zona, nos pudo mostrar que los sistemas de riego en la zona ya existían antes de la época de la Hacienda, por lo cual algunos derechos pudieron ser heredados desde esa época.

La estructura actual de los derechos colectivos nos permite hacer algunas suposiciones y relacionar el origen con la antigua estructura de la época de las

Haciendas por lo que podemos indicar que el sistema de riego de Khapi pertenecía a sola gran Hacienda llamada “La Granja”, y por otro lado los sistemas de Cebollullo y Tahuapalca eran de dos haciendas totalmente diferentes e independientes.

No se conoce a ciencia cierta cuál es el origen de los derechos, pero podemos estos fueron se originaron desde una época mucho más anterior al de las Haciendas, ya que los comunarios indican que algunos sistemas de riego existían mucho más antes que este periodo y que fue durante este que los derechos sobre el agua se modificó.

Actualmente los derechos sobre el uso de agua para riego en la zona son parecidos a los sistemas de riego de regiones andinas, donde la comunidad debe de participar en las actividades de construcción de la obra de toma y los canales de conducción del sistema, así también deben asumir la gestión del mismo para tener acceso al derecho de uso de agua.

#### **5.3.2.2 Acuerdos sobre el uso de los sistemas de riego en la zona.**

Dentro los acuerdos establecidos entre las comunidades, se tiene que se debe destinar ciertos días para el riego de las distintas comunidades cuando no hay suficiente agua (época seca). En época lluviosa no hay reglas.

Estos acuerdos se dan básicamente porque en la zona existía el “robo de agua” de una comunidad a otra, ya sea dentro o fuera del sistema por lo que conlleva a conflictos entre las comunidades. Generalmente este tipo de conflictos se daba durante la época donde el agua era escasa y cuando llegaba a un punto crítico, es que se llegaba a un convenio o en el peor de los casos a un proceso judicial.

#### **5.3.2.3 Ingreso, Transferencia, Obligaciones y Gestión para mantener el derecho colectivo**

No existe el caso en que nuevas comunidades tengan que ingresar a un sistema de riego ya que a lo largo del recorrido del canal todas tienen el derecho de uso colectivo. Tampoco se puede hablar de una transferencia del derecho colectivo pues esto implicaría un abandono de todo el territorio comunal para cederlo a otro fin. En cambio las obligaciones para mantener el derecho colectivo son claras, la comunidad, de manera orgánica y colectiva debe participar en los trabajos de mantenimiento de la

toma y el canal. Esto se organiza a través de las autoridades de agua de cada comunidad que accede a un determinado canal, quienes coordinan y organizan el trabajo al interior de sus comunidades.

La gestión del derecho colectivo se realiza mediante las autoridades sindicales responsables de la gestión del agua de riego (Secretario General y/o de Agricultura). En los sistemas que abastecen a una sola comunidad, ellos son los únicos responsables. En los sistemas múltiples, deben coordinar con las autoridades equivalentes de las otras comunidades. En ambos casos, las decisiones importantes deben consultarse con todos los usuarios familiares. En los sistemas múltiples las consultas se realizan en cada comunidad y luego son comunicadas a través de los representantes.

La gestión a nivel colectivo consiste en la toma de decisiones respecto a:

- **Apertura o reconstrucción de tomas.** Que se refiere a las decisiones sobre las fechas de trabajos de mantenimiento o reconstrucción en casos de derrumbe, nuevas ubicaciones de las tomas por cambios en el curso o nivel del río.
- **Mantenimiento de canales.** Indica que fechas son de limpieza de canales y la distribución de este trabajo entre las comunidades del sistema. Esto varía entre los distintos sistemas de acuerdo al largo del canal. Hay una fecha fija anual para una limpieza general, y luego durante el año dependiendo de los derrumbes o deterioro de los canales, deben organizar limpiezas ocasionales en sus comunidades.
- **Ingreso de nuevos usuarios.** En vista de que la autoridad del agua es parte de la organización comunal, el derecho de acceso al agua no es independiente de las otras actividades comunales en la mayoría de los casos. La comunidad es quien decide el ingreso de un nuevo usuario y por lo tanto este debe participar de las distintas actividades que tiene la comunidad. En varios casos se ha establecido un monto de ingreso, e incluso se pide un monto para ingresar al sindicato y otro monto para el sistema de riego, en otros casos el ingreso es gratuito solo con el compromiso de cumplir las obligaciones.

### **5.3.3 Derecho familiar sobre el acceso y uso de agua para riego**

En el trabajo de Villarroel, Perez, Castel, & Torrez (2010), muestran que dentro de los derechos familiares, que son los derechos que los usuarios tienen dentro de sus comunidades, el caudal que llega a la parcela familiar es una fracción del caudal que llega por el canal y este se divide entre los usuarios que riegan simultáneamente.

Los derechos familiares se definen al interior de las comunidades y el tiempo de acceso o caudal varía entre comunidades y entre épocas del año. Estos se refieren a los derechos que tiene cada usuario a acceder a una cierta cantidad de volumen de agua al interior de la comunidad perteneciente a un sistema de riego en la cuenca de estudio. Este volumen está determinado por la capacidad de transporte de los canales del sistema y por la disponibilidad de agua en las distintas épocas del año.

En época húmeda los usuarios individuales pueden acceder al agua en cualquier momento y por el tiempo que deseen. En época seca entran en un sistema de turnos que varía de una comunidad a otra. La flexibilidad o rigidez de las normas para los turnos están en directa relación con la cantidad de agua disponible.

#### **5.3.3.1 Origen de los derechos Familiares**

Los derechos familiares se originan de manera simultánea a los derechos colectivos, por tanto tampoco se conoce si datan desde antes o durante la época de la Hacienda. Por lo que se logró inferir, suponemos que los comunarios de esa época tenían sus viviendas dispersas en las actuales comunidades aunque eran tierras del hacendado y regaban de manera similar a la actual con la diferencia de que solo una parte de la producción era para uso propio y el resto para la Hacienda. Con la Reforma Agraria, se consolidan tanto los derechos a la tierra como los derechos de agua colectivos y familiares.

#### **5.3.3.2 Ingreso, Transferencia, Obligaciones y Gestión para mantener el derecho familiar**

La condición básica para que un nuevo usuario ingrese en el derecho familiar es que dicho usuario tenga terreno dentro del área de riego, por lo cual este llega a ser parte integral de la comunidad comprometiéndose a participar de las actividades comunales además de las obligaciones con el sistema de riego (limpieza y mantenimiento del

canal). En algunos sistemas se exige además un pago inicial tanto para ingresar al sistema como a la comunidad.

Tanto la transferencia por herencia como la transferencia de una familia a otra solo existe en relación al terreno. El derecho al agua en esta zona no está separado del acceso a la tierra.

El grado control de las actividades y obligaciones con el sistema de riego está determinado por la disponibilidad de agua en la zona. Mediante el análisis se observó que la pérdida de derecho al acceso familiar generalmente se da por el incumplimiento de las actividades y obligaciones con el sistema; y esto se da más en la población joven debido a que tienen otra clase de actividades ajenas al de la comunidad y no disponen de tiempo para el trabajo en el mantenimiento del sistema.

Una vez que se habilitan las tomas y se limpian los canales de manera colectiva (lo que hace que la fecha del inicio del riego sea una decisión colectiva y no familiar), cada familia gestiona su derecho de agua como mejor le conviene. Es decir que puede decidir que parcelas regar, cuando, cuanto tiempo, etc. Esta gestión familiar del derecho tiene algunas limitantes:

- En la época seca, el usuario debe anotarse en la lista diaria para poder regar en el día o estar en la lista en el caso de turnos fijos para todos los años
- En la mayor parte de las comunidades el riego se organiza por zonas en determinados días, por tanto solo pueden regar el terreno que está en la zona que le toca el turno ese día.

#### **5.3.4 Construcción de obras piloto para la mejora del uso del recurso hídrico en la Cuenca del Rio Sajhuaya.**

Como se ha podido observar dentro del análisis de la información brindada por Agua Sustentable, las construcciones de obras piloto en la zona no solo ha ayudado a una mejora en su distribución sino que también ha hecho que las comunidades intervenidas se organicen de mejor manera para poder repartir y gestionar el recurso hídrico para riego.



Es de esta forma que se puede ver que, para el caso de Khapi, la construcción de un atajado es de vital importancia ya que con esta se logró regar cerca de 0.5 ha/día a diferentes cultivos, especialmente el de la papa por lo que hace que su producción aumente dando un rédito económico mayor y se vea la necesidad de construir esta clase de obras para hacer frente a la falta de agua en varios lugares de la comunidad. Esta obra ha beneficiado a 29 familias

Para el caso de Cebollullo, la mejora de los canales de riego de tierra que tenían con politubos, hizo que la gente ya no tenga que realizar los riegos nocturnos ni tampoco ocasionar peleas por la rebaja del caudal de riego, ahora ellos se encuentran satisfechos por el incremento de su producción gracias a las mejoras de los canales. Esta obra ha beneficiado a cerca de 70 familias

Por ultimo en la zona de Tahuapalca, la construcción de sistemas de distribución de agua para riego a nivel parcela ha beneficiado cerca de 70 familias las cuales ahora cuentan con un sistema de distribución que no solo ayuda al incremento de su producción, sino que también ha evitado peleas entre los interesados por el llamado “Robo de aguas”.

Estos beneficiosos resultados de la construcción de obras pilotos fueron plasmados por distintos testimonios que se encuentran descritos en los informes realizados por Agua Sustentable (Torrez, 2013).

## 6 DISCUSIONES

Como se puede ver en los resultados, el balance hídrico es importante cuando se realiza un análisis de integral de la cuenca, ya que dicho análisis muestra las necesidades de agua para riego y así gestionar con los interesados un uso eficiente de agua tomando en cuenta los antecedentes de organización que existe en la misma.

Cabe mencionar que el análisis realizado, tanto de temperaturas como de precipitación, muestran un comportamiento característico de la zona lo cual se puede contrastar con estudios realizados por Espinoza & Fuchs (2009). Dichos autores demuestran que a lo largo de 30 años de estudio con estaciones climatológicas en varios lugares, el comportamiento de la precipitaciones que analizaron es muy parecida a la cuenca del Rio Sajhuaya.

Una de las cosas interesantes que se pudo observar es que la evapotranspiración en la zona de estudio es alta, siendo el pico más alto en enero y el más bajo en los meses de Julio y Junio. Como se observa en el Grafico No. 3 de los resultados obtenidos, la evapotranspiración es bastante alta en la zona por lo que se justifica que exista un sistema de riego para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos y así poder aprovechar con efectividad el uso de agua para producción agrícola.

Otro de los factores importantes para determinar el uso efectivo de agua para riego mediante un balance hídrico a nivel cuenca, es la determinación y el análisis de las superficies de cultivo que la misma cuenta. Mediante el análisis de la imagen Satelital de alta resolución, un software de SIG (Sistema de Información Geográfica) y el uso adecuado de un GPS, se pudo ver que áreas son las que se utilizan para realizar agricultura en la zona. Esta clase de herramientas son importantes ya que nos ayudan a determinar con facilidad el uso de suelos que se tiene en una zona y poder calcular las áreas destinadas a distintas actividades o a realizar un Plan de uso de suelos.

Hoy en día la detección remota y SIG se utilizan ampliamente en una variedad de estudios espaciales, incluyendo el análisis de la vegetación, y han demostrado su eficacia en la evaluación de características de superficie del suelo y sus variaciones en el tiempo. La información satelital es utilizada habitualmente como una herramienta

que permite realizar cartografías que, como para el caso, nos permiten determinar canales de riego y su distribución en una cuenca tal como lo ratifica Jayatissa, Guero, Hettiarachchi, & Koedam (2012).

La determinación de caudales es importante ya que estos datos ayudan a estimar la cantidad de agua que se va a disponer para la gestión de agua para riego y como se va a distribuir en los canales para este fin.

La información de las precipitaciones mensuales, temperaturas mínimas y temperaturas máximas permiten tener datos con el cual se da inicio el cálculo de los parámetros del Balance Hídrico tal como lo ratifica SNET (2005).

Un factor importante y casi nunca mencionado, es la determinación del  $K_c$  o coeficiente del cultivo el cual nos ayuda al cálculo del  $E_{To}$  (Evapotranspiración). El ABRO ya tiene determinado estos valores dentro del programa por lo cual este software es de gran ayuda para el cálculo del balance hídrico y no ayudara a tomar decisiones en lo que se refiere a la gestión del recurso hídrico de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

Otro factor para el cálculo del balance hídrico es determinar las eficiencias de captación, conducción, distribución y aplicación. Por los valores obtenidos e introducidos en el software ABRO se estimó un valor total de 0.06192. Estos valores son importantes porque nos ayudan a determinar con que eficiencia nuestro sistema de riego va a distribuir el agua para riego. Ahora bien estas eficiencias están tomadas con un criterio técnico los cuales deben ser vistos en la zona para evitar que dichas eficiencias afecten al cálculo del balance hídrico. En muchos casos se observa que el sistema está muy bien implementado, pero a hora de aplicar aun se la hace de manera poco eficiente (riego por gravedad) dando un mal uso del agua es por eso que estas eficiencias deben ir a la par en todo el sistema para tener un buen resultado.

Así lo ratifica Chipana (2002), quien dice que las pérdidas por eficiencias se producen principalmente en los cauces naturales de las corrientes y en los canales no revestidos; sin embargo, en algunos casos de revestimientos agrietados o con mampostería en mal estado, también pueden ser de mucha importancia. El monto de

estas pérdidas es variable, destacando el caso de los canales no revestidos, construidos en suelos permeables, donde pueden ser de mucha consideración.

En teoría, por lo calculado, la oferta hídrica de la zona no llegaría cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, y esto se da de manera real porque la distribución de agua en la zona es muy variable y no equitativa; ya que los productores de aguas abajo (Tahuapalca) se ven con menos cantidad de agua que los de aguas arriba (Khapi) y la zona intermedia (Cebollullo).

Las diferencias de precipitación en las tres zonas estudiadas hace que también pase este efecto, ya que la zona que mayor precipitación tiene es la zona de Khapi, por lo que llega a administrar mejor el agua de lluvia, seguido por cebollullo y tahuapalca. Esta diferencia de precipitación se da por el comportamiento y las características climatológicas propias de las zonas de montaña, en la cual se encuentra la comunidad de Khapi, haciendo que la precipitación sea mayor en esta parte que en las zonas bajas.

Esta diferencia del uso de agua en las tres zonas también se observa en la cantidad de familias que se benefician con los sistemas de riego siendo las más beneficiadas Khapi y cebollullo, por tener mayor cantidad de usuarios y superficie de riego.

Esto se puede corroborar observando los canales de riego de las tres zonas, siendo la más pequeña la de Tahuapalca limitando su producción agrícola. Sin embargo los canales de cebollullo y Khapi tienen los canales principales más largos, abarcando mayor superficie de producción. Es por eso que se debe tomar en cuenta el diseño de los canales dentro de una zona que es potencialmente productiva como tahuapalca, ya que las condiciones climáticas dan una variabilidad de producción muy amplia.

El diseño de sistemas de riego afecta sustancialmente la eficiencia de aplicación e implica numerosas variables y restricciones, cuyos objetivos principales son maximizar los beneficios y minimizar los costos. El diseño de sistemas de riego es un tema muy importante para mejorar la aplicación del riego, la eficiencia y rendimiento económico en el proceso de producción, tal como lo ratifica Holzapfel, Pannunzio, Lorite, Silva de Oliveira, & Farkas (2009).

Ahora bien si observamos el porcentaje de superficie que las comunidades disponen para el cultivo vemos que las tres comunidades siembran  $\frac{1}{4}$  hectárea como mínimo, pero se debe considerar que la comunidad de Tahuapalca tiene una menor cantidad de superficie cultivada, al contrario de las comunidades que esta aguas arriba de esta. Esto hace que su requerimiento de riego varíe y muestren tendencias diferentes.

Como se puede ver en la gráfica No. 15 de Requerimiento y tendencias de riego en las comunidades de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca, se ve como el sistema de riego ha afectado a los requerimientos de riego en la cuenca, observando que en Cebollullo, aproximadamente, la necesidad de riego se triplico y en Khapi se duplico. Se observa también que la producción en Tahuapalca se mantuvo.

Esto se debe a que en las comunidades que aumentaron su necesidad de riego hubo un cambio en el sistema productivo durante los 30 últimos años. La producción de maíz y papa aumentaron debido al alza de precios de los productos en la zona y a la disponibilidad de terreno para su cultivo. En cambio la necesidad de riego en la zona de Tahuapalca se mantuvo. Por otro lado se observa que durante el análisis de los años anteriores a 1988, los requerimientos eran menores. Pero esto no deja de mostrar que tan útil puede ser un sistema de riego. Para el caso de Tahuapalca, se observa que el sistema de riego no fue de mucho impacto ya que su tendencia histórica muestra que no hubo diferencia en el requerimiento de riego a lo largo del periodo analizado, cosa que se diferencia en las zonas de Khapi y Tahuapalca en las cuales el sistema de riego si fue beneficioso, debido a que sus requerimientos de riego subieron considerablemente.

A partir del año 1988, que es cuando se empezaron a implementar los sistemas de riego en la zona, se evidencia el aumento de los requerimientos de riego lo que justifica que la introducción de un sistema de riego es bueno para la producción, siempre y cuando se dé un manejo adecuado del mismo y una distribución equitativa.

Tal como indica Pacheco (2008), la comunicación entre usuarios y el manejo de conflictos es donde se manifiesta el “control del agua”, que no es más que la cooperación necesaria para que el sistema funcione y “las relaciones de poder” que

se producen en el sistema, no se traduzcan en disputas de distinto orden, haciendo que las comunidades entren en conflicto.

Otra manera de administrar bien el agua para riego dentro de una cuenca es mediante la organización y gestión del sistema de riego como tal. Dentro del análisis, se pudo ver que en la cuenca existe un manejo del recurso hídrico por meses e incluso por días.

La región que más demanda de agua tiene a lo largo del año es la comunidad de Tahuapalca. Esto se debe a que en esta comunidad el cultivo de lechuga es el producto de mayor demanda y es el que más riego requiere. Debido a esto es que solo los meses de Enero y Febrero dejan de usar el sistema de riego. En cambio las comunidades de Khapi y Cebollullo son comunidades que usan en menor cantidad a lo largo del año sus sistemas de riego correspondientes. Esto se debe a que cuando necesitan agua y debido a que tiene mayor cantidad de precipitaciones que Tahuapalca, aprovechan mejor el uso de agua para riego.

También se observó que todas las comunidades analizadas tienen convenios diarios para el uso de agua en los sistemas de riego correspondiente, habiendo algunas falencias en los canales de Camapo (Khapi) y del Canal medio (Cebollullo).

Estas diferencias se deben a que existen conflictos que giran en torno al “robo” de agua, ya sea por comunidades que no pertenecen al sistema o al interior de los mismos. Estos conflictos ocurren durante la época donde el agua escasea y cuando realmente llega a un punto en que la distribución del agua para riego es mala y crítica, se llega a establecer convenios que favorezcan a las comunidades en discusión.

Esta clase de convenios o acuerdos para el uso de agua de riego, también lo menciona Gerbrandy & Hoogendam (1994), quienes dicen que en la gestión comunitaria, suelen existir mecanismos para garantizar la participación de todos sus miembros y mantener un equilibrio de equidad entre ellos.

También es importante recalcar que gracias a estos acuerdos, las comunidades tienen una manera de organizarse la cual varía de acuerdo a los sistemas de riego que cada

una posee. Se ha observado que las comunidades tienen dos maneras de organizarse el colectivo y el familiar.

Con el colectivo las decisiones sobre el uso, derecho y gestión de riego son tomadas por las autoridades encargadas del sistema de riego, los cuales coordinan todas las actividades que involucran a la comunidad beneficiada por el canal de riego.

Luego está la organización familiar la cual se organiza de manera interna para regar las superficies cultivadas de cada usuario dentro de la comunidad, llegando a veces de consensuar el uso del canal de riego entre usuarios de manera interna. Esta organización se da más a nivel intracomunidad, lo que no pasa con el colectivo que es más intercomunidades.

Ahora dentro de cada comunidad las autoridades encargadas no tienen siempre el mismo cargo de manera general en la cuenca. Por ejemplo en la comunidad de Cebollullo se tiene a tres presidentes de cada acequia los cuales son encargados de la gestión de cada uno de sus canales. Esto no sucede así en las comunidades de Khapi y Tahuapalca, quienes tienen un secretario General y un Secretario de Agricultura los cuales se hacen cargo de toda la gestión de los canales de cada sistema incluyendo sus respectivos ramales.

Esto también lo ratifica Gerbrandy & Hoogendam (1998), quienes dicen que la gestión de sistemas de riego puede confundirse con el período de mando de una directiva, pero ésta no es la acepción que sea correcta. Lo correcto es decir que la gestión de un sistema de riego abarca todas las actividades necesarias para el funcionamiento de ese sistema, las cuales están a cargo de la coordinación de las autoridades de riego de la comunidad con los comunarios de la misma.

La implementación de obras que ayuden a la mejora del uso del recurso hídrico es de gran beneficio para el incremento económico de las familias productoras, ya que se ha podido evidenciar que gracias a estas, muchas familias han logrado llegar a un acuerdo en la gestión de sus canales de riego y uso de agua para la producción evitando conflictos que lleven a un mal entendimiento entre los interesados.

Así lo indica también MMAyA (2010) quien dice que la promoción del uso productivo del agua a través del riego con la construcción de obras y las condiciones institucionales y legales adecuadas, hacen que los beneficios del riego incidan de manera positiva en el mejoramiento de condiciones de vida de hombres y mujeres, campesinos, indígenas, originarios, productores agropecuarios y otros actores involucrados en las actividades del riego, respetando y haciendo efectiva la realización y el respeto de los derechos económicos, sociales y culturales de la poblaciones y comunidades sobre las fuentes de agua y los beneficios derivados del uso y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos respetando sus autoridades, reconociendo sus usos, costumbres, servidumbres y conocimientos culturales sobre el uso del agua.



## 7 CONCLUSIONES

Podemos concluir que para realizar un balance hídrico mucho más preciso, es necesario diferenciar este balance por zonas o comunidades y no de manera global en la cuenca; ya que al ser la misma una superficie grande para el análisis, esta puede no mostrar realmente el comportamiento del balance hídrico en una zona o comunidad, que necesita o tiene riego.

Como se pudo observar en el análisis realizado en el presente trabajo, se ha tratado de determinar el balance hídrico con los pocos datos que se lograron obtener, sin embargo se pudo evidenciar que en cuanto al requerimiento hídrico de la zona esta puede variar.

En zonas altas las precipitaciones son mayores que en zonas intermedias y bajas por lo que el agua que obtienen del río y de la precipitación es lo suficiente como para mantener una producción estable. Sin embargo en zonas bajas al tener menor precipitación y contar con poca agua por los canales de riego la producción es menor como se pudo observar a lo largo de 30 años de análisis de requerimientos de riego en tres zonas.

La zona más baja de la cuenca no muestra ningún tipo de tendencia a subir su producción, ya que cuenta con poca cantidad de agua para riego y le da lo mismo producir a secano o con un sistema de riego implementado como ser canales. En todo caso el sistema de riego de la zona de Tahuapalca no tuvo tanto impacto como se esperaba

Sin embargo las zonas que mayor beneficio obtuvieron con el sistema de riego fueron las comunidades de Khapi y Cebollullo, debido a que las precipitaciones y los volúmenes de agua que están en un principio a lo largo de los canales, hacen que los requerimientos de riego sean mayores habiendo casos donde este requerimiento se duplico.

Entonces podemos decir que el impacto del sistema de riego en todos estos años fue beneficioso para casi toda la cuenca, pero se debe tomar en cuenta que hay que realizar una mejor gestión y manejo del recurso hídrico de manera intra e intercomunal

para que todas las comunidades que tiene acceso a canales de riego sean beneficiadas

Como alternativa para que la distribución de agua sea equitativa, es la de implementar un embalse de regulación para poder brindar una mejor distribución de agua en las tres comunidades de la zona, generando así nuevos calendarios de uso diario y mensual del agua para riego. Con este embalse de regulación también se tendrá que realizar una nueva gestión del recurso hídrico, ya que se manejaría nuevos volúmenes de agua para que en épocas secas el agua alcance para todos.

Otra conclusión que se puede llegar es que el cambio de los sistemas de producción a lo largo de los años han hecho que la cuenca destine el uso de agua de manera no equitativa, ya que en comunidades altas se incrementó el uso de suelo para fines agrícolas aprovechando la mayor cantidad de agua para regar y no así en poblaciones aguas abajo quienes no tiene mucho que hacer con el agua que les llega a sobrar después de que todas las comunidades arriba han terminado su turno de riego.

Como una alternativa para el uso de efectivo del recurso hídrico, está la de implementar sistemas de riego localizado a bajo costo para que los productores que cuentan con bajos rendimientos o poca superficie de cultivo incrementen sus ingresos y así no desperdiciar la poca cantidad de agua que reciben poblaciones aguas abajo.

Aprovechando el constante cambio climático y la subida de la temperatura en todas las regiones; para que el sistema de riego sea aprovechado de mejor manera en la parte baja de la cuenca, una alternativa de producción podría ser la implantación de carpas solares para el cultivo de lechuga ya que se ha visto en trabajos realizados en otras regiones que estas pueden tener hasta tres cosechas al año en lugar de dos como generalmente se da en los valles interandinos.

Por último podemos concluir que tanto el aspecto socioeconómico, disponibilidad de agua y cambio en las temperaturas hacen que se tenga que pensar en nuevas alternativas de producción, ya sea con la implementación de tecnología a lo que se refiere el riego como tal o a diseñar y mejorar la gestión de la cuenca si es que se pensara en la implementación de un embalse de regulación.

Para poder realizar este trabajo se debe tomar en cuenta aspectos tanto económicos como sociales; ya que en la zona existe muchos intereses de otras comunidades de la cuenca por lo que se debe primero llegar a un consenso social, para luego poder llevar a cabo cualquier proyecto de impacto socioeconómico.

Como conclusión final indicamos que la implementación de sistemas de riego y/u obras que beneficien al uso adecuado de agua para riego existentes en la zona, han sido de gran beneficio para la misma; pero se debe tomar en cuenta muchas otras alternativas para poder mejorar el uso de agua para riego como ser el uso de tecnologías como riego presurizado o el fortalecimiento del riego parcelario, para que así todas las comunidades involucradas en lo que es la actividad agrícola con riego, tengan una mejor e igual distribución de este recurso que es tan importante para el desarrollo de una comunidad, enmarcándose en las políticas que el estado promueve dentro del uso adecuado del recurso hídrico para el Vivir Bien.

## 8 RECOMENDACIONES

Recomendamos realizar un análisis por separado de las comunidades que componen la cuenca para poder determinar las nuevas necesidades e implementar nuevas alternativas al sistema tradicional de riego que tienen.

Realizar una análisis de la factibilidad de realizar un embalse de regulación en la cuenca para poder distribuir mejor el agua durante todo el ciclo agrícola para que así los productores con menor superficie y acceso al agua puedan incrementar sus volúmenes de producción y los productores bien establecidos puedan diversificar su producción para tener mayor ganancia económica. Es decir que los que tiene poca producción incrementen sus ganancias y los que tiene una producción estable estén preparados para cualquier evento extremos que generalmente se presentan a nivel climático durante los años Niño y Niña.

También recomendamos tener un registro histórico climático más grande, ya que en cuanto más datos se tenga de la zona; el análisis de precipitaciones, tendencias, diseños de embalses, programación de riego y otros serán mucho más precisos y concretos para poder realizar futuras investigaciones o proyectos de desarrollo regional.

Un aspecto poco manejado en la cuenca es la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, debido a los usos y costumbres sobre el agua. Es por eso que una recomendación importante es que se haga este tipo de gestión, tomando en cuenta las necesidades de la zona en estudio y dando alternativas de un buen manejo integral en la parte alta para garantizar el recurso hídrico en la parte media y baja de la cuenca del río Sajhuaya.

Por otro lado, para realizar un mejor seguimiento climático de la zona, se recomienda la implementación de estaciones climáticas cercanas para garantizar un mejor análisis de la situación agroclimática y tener datos suficientes para realizar un mejor balance hídrico de la cuenca.

También se recomienda realizar un análisis del Requerimiento de Agua Vs. Época de riego dentro de la cuenca, ya que existe una variabilidad climática en la misma

haciendo que los requerimientos de agua no sean los mismos a lo largo del año y más aun con la variación de temperaturas que se tiene en la misma debido al cambio climático.

## 9 BIBLIOGRAFIA.

- Allen, F. (2006). Eficiencia en el uso del agua. Módulo de capacitación y organización sobre políticas del agua y desarrollo sostenible. Bogotá, Colombia.
- Apollin F. & Eberhart, C. (1998). Metodologías de análisis y diagnóstico de sistemas de riego campesino. Quito, Ecuador: CAMAREN.
- Aranda, C. J. (2000). Usos eficientes del agua. Instruments for Sustainable Development of Water Resources.
- Camacho, F. (2004). Factores limitantes del Altiplano para la agricultura y degradación de propiedades físicas del suelo. La Paz, Bolivia.
- Chipana, R. (2002). Principios de Riego y Drenaje. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Agronomía.
- Cuiza Bejarano, A. (2011). Estudio de Impactos Socioeconómicos en la Cuenca del Illimani. La Paz: Agua Sustentable.
- Díaz, C., Esteller, M., & López, F. (2005). Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Montevideo, Uruguay: Piriguazú.
- Espinoza, D., & Fuchs, P. (2011). OFERTA DE AGUA HISTÓRICA EN LA CUENCA DEL RÍO SAJHUAYA. La Paz, Bolivia: Proyecto Illimani.
- Espinoza, D., & Fuchs, P. (2011). Proyecto Illimani - Oferta de agua histórica en la cuenca del Río Sajhuaya". La Paz, Bolivia.
- FAO. (2007). Aquaculture development. FAO Technical Guidelines for responsible Fisheries. Roma: FAO.
- Garay, R. (1999). Manual "Primera aproximación para la identificación de tipos de suelos agrícola del valle del río Mantaro. IGP.
- García, M. (2003). Agrodinamic study and drought resistance anaJysis of quinoa for an irrigation strategy In the Bolivian Altiplano. Doctoral Thesis. (K. U. Leuven, Ed.)

- Gerbrandy, G., & Hoogendam, P. (1994). La materialización de los derechos de agua: la propiedad hidráulica en la extensión y rehabilitación de los sistemas de riego en Bolivia. Bolivia: CESU-PRIV-PEIRAV.
- Gerbrandy, G.; Hoogendam, P. (1998). AGUAS Y ACEQUIAS. Los derechos del agua y la gestión campesina de riego en los Andes Bolivianos. Cochabamba, Bolivia: Plural.
- GWP. (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Stockholm, SWEDEN: Mosca.
- Holzapfel, E., Pannunzio, A., Lorite, I., Silva de Oliveira, A., & Farkas, I. (2009). Design and Management of Irrigation Systems. Chilean journal of agricultural research, 69. Chillan, Chile. Recuperado el 10 de 2013, de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-58392009000500003&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392009000500003&lng=es&tlng=en). 10.4067/S0718-58392009000500003
- IDEAM. (2006). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Cálculo del índice de escasez.
- IIAREN. (2011). Proyecto - Illimani Cálculo de las Demandas de Riego desde 1975 hasta 2009 en la Cuenca del Río Sajhuaya. La Paz.
- IPCC. (2007). Panel intergubernamental del cambio climático. Memorias del inminente cambio en el clima. Medidas de adaptación para el desarrollo. DF, México.
- Iriarte, J. (2005). Proyecto de grado "Balance hídrico microregional Cuencas mauri, bajo desaguadero y lagos Poopo y Uru uru". UMSA. La Paz: Carrera de Ing. Civil.
- JAYATISSA, L., GUERO, C., HETTIARACHCHI, S., & KOEDAM, N. (2012). CHANGES IN VEGETATION COVER AND SOCIO-ECONOMIC TRANSITIONS IN A COASTAL LAGOON (KALAMETIYA, SRI LANKA), AS OBSERVED BY TELEDETECTION AND GROUND TRUTHING, CAN BE

ATTRIBUTED TO AN UPSTREAM IRRIGATION SCHEME. Brussel, Belgium: Vrije Universiteit Brussel.

- Jimenez, B. J., & Galizia. (2012). Diagnóstico del agua en las américas. IANAS (Interamerican Network of Academies of Science). Mexico.
- Ley de Riego. (2004). Ley de Riego No. 2878.
- Medrano, J. (2007). Grup de Biología de les plantes en condicions mediterrànies. Departament de Biología Universitat de les Illes Balears-IMEDEA.
- MMayA. (2010). Plan Nacional del Desarrollo del Riego....para el Vivir Bien. La Paz: Ministerio de Medio Ambiente y Agua - Viceministerio de Riego.
- Mundial, V. (2004). Manual de manejo de cuencas (2da ed.). San Salvador.
- Neilson, R. (1995). A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. Department of Botany and Plant Pathology. Oregon: Oregon State University.
- Pacheco, R. (2008). Conflictos en torno al Manejo de Agua para Riego en la Microcuenca del Río Payac. Lima, Peru: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- SENARI. (2007). Plan Nacional de Desarrollo del Riego... “para vivir bien” 2007-2011 (1ra ed.). La Paz, Bolivia.
- SNET. (2005). Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador: Componente evaluación de recursos hídricos. Obtenido de <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00005/doc00005-contenido.pdf>
- Taboada, C., & Garcia, M. (2010). VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO EN COMUNIDADES DE LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA. La Paz: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y DE RECURSOS NATURALES - Proyecto ILLIMANI.



- Taboada, J. (2001). La cabeza que sólo tiene dientes. Primer encuentro sobre agricultura urbana y su impacto.
- Torrez, E. (2013). FICHAS DE ANÁLISIS PARTICIPATIVA DE LAS OBRAS PILOTO - ILLIMANI. La Paz: Agua Sustentable.
- UNESCO. (2006). Evaluación de los Recursos Hídricos. Elaboración del balance hídrico integral por cuencas hidrográficas. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°4. Montevideo, Uruguay.
- Vega, D. (2009). Concepción local y ejercicio de los derechos colectivos de agua en Sistemas de riego del sur de Bolivia. Cochabamba, Bolivia: Centro Agua.
- Villarroel, E., Perez, J., Castel, P., & Torrez, E. (2010). Mapeo de Derechos de Agua en la Subcuenca del Illimani. La Paz: Agua Sustentable.