



**Informe Final de Proyecto  
No.: 104554 - 001**

**“Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la Cordillera Real de Los Andes Centrales de Bolivia”.**

**Febrero 2012**

**La Paz – Bolivia**

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>2. PREGUNTAS Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>	9
<b>3. ACTIVIDADES DEL PROYECTO Y HALLAZGOS DE INVESTIGACIÓN</b>	24
<b>3.1 OBJETIVO 1</b> Determinar los posibles escenarios climáticos, tendencias y la oferta de agua de origen glaciar actual y futura en el área de estudio	24
<b>3.1.1 Serie de datos hidrometeorológicos validada de las estaciones existentes</b>	24
<b>3.1.1.1 Ubicación y Recolección de datos hidroclimáticos</b>	24
<b>3.1.1.2 Reconstitución de datos históricos de las estaciones de la cuenca</b>	25
<b>3.1.1.3 Análisis de consistencia de la información de estaciones referenciales</b>	25
<b>3.1.1.4 Generación de los datos climatológicos para el periodo 1970 – 2009</b>	27
<b>3.1.2 Reconstrucción de los balances de masa glaciar mediante fotogrametría digital de los vuelos fotogramétricos de: 1956, 1963, 1983, 1997 y el nuevo vuelo fotogramétrico programado.</b>	28
<b>3.1.2.1 Determinación de los cambios morfométricos de la Cuenca Glaciar y Curva Hipsométrica</b>	28
<b>3.1.2.2 Área de cubierta de nieve</b>	30
<b>3.1.2.3 Pérdidas volumétricas</b>	35
<b>3.1.2.4 Determinación del balance de masa para la cuenca de estudio</b>	36
<b>3.1.3 Validación de series climáticas</b>	38
<b>3.1.4 Modelo hidrológico calibrado y validado</b>	44
<b>3.1.4.1 Instalación de la estación meteorológica “Pinaya”</b>	52
<b>3.1.4.2 Aplicación de técnicas hidrogeológicas para determinación de caudales</b>	53
b) Estimación de la recarga	54
c) Ubicación geográfica del bofedal estudiado	54
d) Hidrogeología del bofedal	57
e) Hidroquímica	60
<b>3.2 OBJETIVO 2</b> Identificar las causas de los cambios producidos en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades de la zona del proyecto en los últimos 20 años, estableciendo las características y vulnerabilidad actuales y proyectando los diferentes escenarios futuros en el contexto de cambio de las condiciones climáticas y socioeconómicas externas	63
<b>3.2.1 Monitoreo del cambio de uso de suelo</b>	63

<b>3.2.2</b>	<b>Cambios en la actividad agrícola y agrobiodiversidad</b>	71
<b>3.2.2.1</b>	<b>Descripción del cambio de la Estructura Productiva</b>	72
<b>3.2.2.2</b>	<b>Evolución de la Superficie Cultivada y bajo Riego</b>	77
<b>3.2.2.3</b>	<b>Patrón de Cultivo</b>	78
<b>3.2.2.4</b>	<b>Percepción de la reducción de la Producción Agrícola</b>	81
<b>3.2.3</b>	<b>Entorno institucional</b>	82
<b>3.3</b>	<b>OBJETIVO 3</b> Identificar y evaluar la sostenibilidad de las estrategias de adaptación espontánea implementadas por las comunidades rurales de la zona de estudio en el ámbito del conocimiento tradicional y ancestral frente a fenómenos de variabilidad y cambio climático, resiliencia, constricciones, debilidades y potenciales.	83
<b>3.3.1</b>	<b>Manejo presente de indicadores bio-climáticos tradicionales</b>	83
3.3.1.1.	Uso de los indicadores naturales en la comunidad de Khapi	85
<b>3.3.2</b>	<b>Análisis de las estrategias y respuestas de las comunidades ante el impacto del cambio climático (adaptación autónoma)</b>	87
<b>3.3.3</b>	<b>Uso eficiente del agua, bajo riego deficitario</b>	89
<b>3.4</b>	<b>OBJETIVO 4</b> Estimar el impacto socioeconómico en las principales actividades productivas bajo diferentes escenarios y las demandas financieras bajo distintas estrategias de adaptación	89
<b>3.4.1</b>	<b>Sistematización de información</b>	89
<b>3.4.2</b>	<b>Análisis de la producción de papa</b>	90
<b>3.4.3</b>	<b>Análisis comparativo de la producción de lechuga</b>	91
<b>3.4.4</b>	<b>Análisis comparativo de la producción de maíz</b>	92
<b>3.5</b>	<b>OBJETIVO 5</b> Determinar la variación de la demanda de agua en base a la estructura socioeconómica y productiva pasada, actual y proyectada de los sistemas agropecuarios, y ecosistemas en la zona de proyecto, identificando los derechos del agua, sus formas de uso, gestión, estatus legal, ejercicio del derecho y detentores	94
<b>3.5.1</b>	<b>Evaluación del cambio de los requerimientos de agua para riego</b>	94
<b>3.5.1.1</b>	<b>Realización de un “Mapeo de Derechos” de las comunidades y poblaciones de la zona del proyecto, determinando los derechos de uso de agua dentro y entre comunidades, su historia y su gestión</b>	97
<b>3.5.1.2</b>	<b>Derechos de Agua</b>	97
<b>3.5.1.3</b>	<b>Proyección de la demanda de agua futura para la producción agrícola, en función de la futura estructura productiva</b>	102
<b>3.6</b>	<b>OBJETIVO 6</b> Estudiar los conflictos potenciales entre los usuarios del agua con especial énfasis en las demandas para irrigación vs. Otros usos; zonas altas vs zonas bajas en la cuenca; usuarios locales vs usuarios externos a la cuenca y usos para subsistencia vs usos para producción comercial, la actual gestión de conflictos asociados y el marco legal consuetudinario	106

<b>3.6.1</b>	<b>Estrategia de Género</b>	106
3.6.1.1	Sensibilidad	106
3.6.1.2	Sobre la relación “agua y género”	107
3.6.1.3	Sobre la producción	107
3.6.1.4	Capacidades de adaptación de las mujeres	107
3.6.1.5	Sobre la distribución de derechos	108
3.6.1.6	Institucionalidad	108
3.6.1.7	Propuesta de estrategia	108
<b>3.7</b>	<b>OBJETIVO 7</b> Determinar y evaluar en base a los escenarios climáticos modelos de gestión basados en los efectos del cambio climático y diversas estrategias de adaptación	111
<b>3.8</b>	<b>OBJETIVO 8</b> Debatir y establecer, con la participación de los actores sociales y políticos, un plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas de demanda, de usos de recursos hídricos y de cambio climático a fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas identificados y propender a una gestión sostenible del agua. También establece la implementación de algunas acciones tempranas durante el transcurso del proyecto por parte de las comunidades para mejorar los procesos de adaptación	118
<b>3.</b>	<b>FORMACIÓN DE CAPACIDADES</b>	120
<b>4.</b>	<b>FUTURAS ACCIONES</b>	125
<b>5.</b>	<b>DIFUSION E INCIDENCIA</b>	126
<b>6.</b>	<b>EXPERIENCIAS, DIFICULTADES Y OBSERVACIONES DEL EQUIPO TÉCNICO</b>	129
<b>7.</b>	<b>LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES</b>	132
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	134

## Índice de Anexos

- Anexo 1.** Determinación de balances de masa de los glaciares del Nevado Illimani mediante técnicas geodésicas
- Anexo 2.** Componente Hidrogeológico
- Anexo 3.** Oferta de agua histórica en la Cuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 4.** Acta de transferencia de estaciones meteorológicas Agua Sustentable - SENAMHI
- Anexo 5.** Análisis de tendencias climáticas en la región de la Cuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 6.** Estudio de escenarios de cambio climático en la Cuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 7.** Artículo “Living with glaciers, adapting to change the experience of the Illimani Project in Bolivia”
- Anexo 8.** Cálculo de las demandas de riego desde 1975 hasta 200 en la Cuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 9.** Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en comunidades de la Cuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 10.** Borrador Final del documento de Estrategia de Adaptación
- Anexo 11.** Estudio Socioeconómico
- Anexo 12.** Derechos de agua “Mapeo de Derechos”
- Anexo 13.** Agua y Cambio Climático: Criterios y enfoques sobre el cambio climático en Planes Sectoriales de Agua, Riego y Cuencas, en la Ley de Autonomías y en las Políticas Públicas de Bolivia, en relación a la microcuenca del río Sajhuaya, Municipio de Palca
- Anexo 14.** Estudio de escenarios futuros de demanda de riego en la Cuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 15.** Estrategia de Género: Implicancias del cambio climático en las mujeres de la microcuenca del Río Sajhuaya del Municipio de Palca, poblado de Khapi y comunidades aledañas
- Anexo 16.** Modelación del uso y asignación del agua en la Cuenca del Río Illimani. Modelo de gestión para el escenario histórico, actual y futuro
- Anexo 17.** Memoria de talleres para elaborar la Estrategia de Adaptación en comunidades de la Microcuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 18.** Ficha de Aprendizaje: Elaboración de Estrategia de Adaptación a los efectos del cambio climático y global en comunidades de la Microcuenca del Río Sajhuaya
- Anexo 19.** Presentación y validación de resultados y propuesta para estrategias de adaptación
- Anexo 20.** Fotografías: Mejoramiento de Canal 2 Uyupata y Canal 3 Cantería, comunidad Cebollullo
- Anexo 21.** Obra Piloto: Mejoramiento de dos canales de riego en la comunidad de Cebollullo

- para mejorar la eficiencia de captación y conducción
- Anexo 22.** Cartilla Informativa- Estrategia de Adaptación
- Anexo 23.** Presentación doctorante: Using remote sensing data for monitoring rock glacier distribution in the Bolivian Andes: Implications for future water supply
- Anexo 24.** Paper “Using remote sensing data for monitoring rock glacier distribution in the Bolivian Andes: Implications for future water supply”
- Anexo 25.** Borrador de Tesis: “Efecto del riego deficitario en dos variedades de maíz, como estrategia de adaptación al cambio climático, en la comunidad La Granja, Municipio de Palca, Departamento de La Paz”
- Anexo 26.** Paper “Climate change effects on the livelihoods of Illimani glacier’s communities”
- Anexo 27.** Cartilla Impactos del cambio climático en comunidades andinas bolivianas dependientes de glaciares tropicales
- Anexo 28.** Cartilla “Impact of climate change in andean bolivian communities that depend from tropical glaciers”
- Anexo 29.** Presentación “El derecho al agua para la Vida”

**EQUIPO DE INVESTIGACION**

El equipo de trabajo estuvo compuesto de la siguiente manera:

**IIAREN**

<b>CARGO</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>Coordinadora de Proyecto</b>	Ing.Ph.D. Magali García Cárdenas
<b>Coordinador alterno IIAREN</b>	Ing. Cristal Taboada Belmonte
<b>Investigador Principal</b>	Ing. Richard Mamani Yujra
<b>Investigador Maestrante 1</b>	Ing. Edwin Mayta
<b>Investigador Maestrante 2</b>	Ing. Victor Hugo Monrroy
<b>Investigador Asistente 1</b>	Grover Velazques
<b>Investigador Asistente 2</b>	Roxana Copa Pari
<b>Investigador Asistente 3</b>	Ignacio Portugal
<b>Investigador Asistente 4</b>	Ovidio Mamani
<b>Investigador Asistente 5</b>	Valentina Yucra
<b>Administradora</b>	Aneida Claire
<b>Asistente de administración</b>	José Carlos Viera

**Agua Sustentable**

<b>CARGO</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>Coordinador del Proyecto</b>	Ing. MSc. Paula Pacheco
<b>Investigador Principal</b>	Ing. Edwin Torrez Soria
<b>Investigador en Derechos de Agua</b>	Ing. MSc. Elena Katia Villarroel
<b>Geógrafa Experta en SIG</b>	Ing. Egr. Ana Paola Castel Diez
<b>Asistente de Investigación</b>	Egr. Alan Tellería Zagredo
<b>Asistente de investigación</b>	Lic. Matilde Avejera Udaeta
<b>Consultora Estrategia de Genero</b>	Lic. Fabiola Ríos
<b>Consultor Jurídico</b>	Lic. PhD. René Orellana
<b>Consultor Socioeconómico</b>	Lic. Alvaro Cuiza
<b>Chofer</b>	Victor Hugo Mamani Quisbert

**IHH**

<b>CARGO</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>Coordinador del Proyecto</b>	Ing.Ph.D. Edson Ramirez
<b>Investigador Principal</b>	Ing. Hugo Soliz
<b>Investigador</b>	Tec. Abraham Machaca
<b>Investigador</b>	Ing. Jorge Molina
<b>Investigador</b>	Ing. Daniel Espinoza

## 1. INTRODUCCIÓN

En términos generales, la mayor parte de la actividad agropecuaria boliviana es fuertemente dependiente de las condiciones climáticas y de sus variaciones (sequías, inundaciones, heladas y otros), lo que incide directamente sobre los rendimientos, y éstos a su vez sobre la producción agropecuaria en su conjunto. Así, los años con buenos índices de precipitación y adecuada distribución pluvial, se reflejan en buenas cosechas. Al contrario los años donde se presentan déficits o exceso de lluvias, las cosechas resultan malas, inclusive en las escasas zonas que cuentan con riego, debido a que la mayor parte de ellas dependen como fuente de provisión de agua, de las precipitaciones pluviales que alimentan a los ríos o son fuertemente limitadas por las inundaciones. No obstante estos y otros problemas y obstáculos que no permiten un mejor desempeño de la agricultura boliviana, el sector agropecuario cumple importantes funciones en el desarrollo socio económico del país, que se expresa en las siguientes dimensiones:

1. La contribución a la formación del Producto Interno Bruto, con aproximadamente el 15% en promedio en los últimos años.
2. Es el principal generador de mano de obra y de empleo, ocupando casi a la mitad de la fuerza de trabajo del país y a la casi totalidad de la población rural.
3. Es el principal ofertante de alimentos para el consumo interno, así como de materias primas para la industria y la agroindustria.
4. Es un importante ahorrador y generador de divisas.
5. Es un importante demandante de bienes y servicios tales como el transporte, comercio de productos agropecuarios, agroindustriales, insumos y bienes industriales, finanzas y energía e hidrocarburos.

Los factores climáticos negativos que reducen la producción agrícola en Bolivia, podrían acentuarse bajo un escenario de cambio climático, en el que se espera que la combinación de temperaturas en incremento y precipitación más errática, provoque mayor inestabilidad productiva y competencia por el uso de recursos limitados, especialmente agua.

Entre los impactos de mayor importancia cultural, social y económica del cambio climático en Bolivia, se encuentra la retracción y retroceso de los glaciares. La razón para ello se basa en su simbología cultural para las comunidades asentadas en los alrededores de ellos, en la dependencia para el aporte de agua en épocas de baja precipitación y como futuras fuentes de agua para las comunidades urbanas en crecimiento cerca de ellos. La diversidad de usos del agua que proviene de los sistemas regulados por los glaciares provoca también mayor posibilidad de conflictos por el uso del cada vez más escaso recurso.

Las políticas estatales que respondan a estos posibles conflictos e impactos han demostrado falta de conocimiento e información produciendo en algunos casos mayores conflictos. Esto muestra la necesidad de determinar el impacto real que la dinámica de los glaciares tendrán sobre todos los usos con el fin de plantear medidas adaptativas que minimicen las posibilidades de conflicto.

En respuesta a la sentida falta de información sobre la vulnerabilidad de las comunidades agrícolas dependientes de glaciares en Bolivia, en el presente trabajo la Universidad Mayor de San Andrés a través de sus Institutos de Investigaciones Agronómicas y de Recursos Naturales (IIAREN) y de Hidráulica e Hidrología (IHH) y la ONG Agua Sustentable (AS), han llevado adelante un trabajo integrado para evaluar e identificar la vulnerabilidad social, económica, física y productiva de la cuenca del río Sajwaya, dependiente del deshielo del nevado Illimani y cuenca representativa de las condiciones de otras cuencas montañosas de los Andes. Con los resultados de la investigación, se ha planteado un Plan de Adaptación adecuado a las necesidades de las comunidades parte de la Cuenca y que al mismo tiempo sirva como una experiencia piloto de trabajo para zonas similares y para el país en su conjunto.

## 2. PREGUNTAS Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Dada la problemática previamente planteada, se ha percibido la necesidad de analizar la evolución y proyección de los sistemas productivos agropecuarios ubicados en las zonas intermedias entre las fuentes de agua (glaciares) y los centros poblados actuales y futuros de tal manera de identificar las oportunidades y amenazas en función a la provisión de agua y encontrar alternativas de manejo de los agroecosistemas reinantes a manera de reducir al máximo los conflictos por el uso de agua entre las áreas rurales y urbanas.

Para ello se han realizado estudios que muestran las tendencias actuales del clima a un posible incremento de las temperaturas y a una disminución de las precipitaciones, sin embargo, esta información sola otorga muy pocos elementos de trabajo para la utilización de los recursos hídricos y el manejo de las cuencas dependientes de los glaciares pues las fuentes de agua son combinadas entre el agua pluvial y aquella derivada de los glaciares.

Por todo ello al inicio del proyecto se plantearon las siguientes preguntas de investigación que luego fueron planteadas en trabajos de investigación concretos a ser analizados:

¿Cuál es el estado actual del recurso agua en el sistema hídrico e hidrológico de estudio compuesto por los glaciares, cursos dependientes, etc., que es utilizada por la actividad productiva agropecuaria rural, sistemas de provisión de agua potable y eco-sistémica y cómo varía en función de la zona o de la estación del año?

¿Qué condiciones (climáticas, económicas, demográficas y sociales) definen la estructura de los sistemas productivos agropecuarios que utilizan las aguas de deshielo del glaciar Illimani?

¿Cuál fue, es y será (bajo condiciones de cambio climático) la estructura de los sistemas productivos agropecuarios en las zonas rurales de las cuencas del Illimani y qué impacto tendrán dentro de la competencia por el recurso?

¿Cuál es la demanda de agua en las zonas rurales de las cuencas del Illimani bajo las condiciones actuales, y cuál el previsto bajo escenarios de cambio climático y de las condiciones socioeconómicas y de mercado que definen los sistemas productivos y humanos de la zona?

¿Cuán vulnerables son las comunidades rurales de la zona del Illimani al cambio climático y al retroceso de los glaciares, y cuál es su capacidad de adaptación a estos fenómenos?

¿Cuál es y será el impacto económico generado por el cambio climático (variación en temperaturas) y la retracción de glaciares (reducción de la disponibilidad de agua) en la zona y cuáles son los costos en los que se deben incurrir para paliar estos impactos?

¿Cuáles son los potenciales conflictos entre los distintos usuarios del agua con especial énfasis irrigación vs otros usos; zonas altas vs zonas bajas en la cuenca; usuarios locales vs usuarios externos a la cuenca y usos para subsistencia vs usos para producción comercial, cómo se gestionan actualmente los conflictos asociados, el marco legal y consuetudinario y que estrategias e instrumentos pueden ser utilizados para reducir esta potencialidad?

¿Qué tipo de acciones y políticas de adaptación al cambio climático podrían ser sugeridas para promover la sostenibilidad de la gestión del agua en las zonas rurales donde se encuentran las potenciales fuentes de agua, de tal manera de minimizar los impactos negativos de la retracción de los glaciares, maximizar los impactos positivos del cambio climático en la zona y fundamentalmente reducir al mínimo la posibilidad de conflicto por el uso del agua?

¿Qué tipo de acciones y procedimientos institucionales y comunales podrían utilizarse para promover la conformación y declaración de Palca como un municipio “Modelo” de adaptación al cambio climático en Los Andes Centrales de Bolivia?

¿Qué instrumentos del derecho internacional podrían ser utilizados para establecer demandas sobre los impactos del cambio climático en áreas de los glaciares andinos y qué estrategias podrían ser implementadas en el plano de la incidencia internacional para visibilizar estos impactos?

Para lograr responder a las preguntas de investigación planteadas, se plantearon nueve objetivos específicos como se detalla a continuación:

- O1:** Determinar los posibles escenarios climáticos, tendencias y la oferta de agua de origen glaciar actual y futura en el área de estudio.
- O2:** Identificar las causas de los cambios producidos en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades de la zona del proyecto en los últimos 15 años, establecer sus características actuales y vulnerabilidad y proyectar los diferentes escenarios futuros en el contexto de cambio de las condiciones climáticas y socioeconómicas externas.
- O3:** Identificar y evaluar la sostenibilidad de las estrategias de adaptación espontánea implementadas por las comunidades rurales de la zona de estudio en el ámbito del conocimiento tradicional y ancestral frente a fenómenos de variabilidad y cambio climático, resiliencia, constricciones, debilidades y potenciales.
- O4:** Estimar el impacto socioeconómico en las principales actividades productivas bajo diferentes escenarios y la demandas financieras bajo distintas estrategias de adaptación.
- O5:** Determinar la variación de la demanda de agua en base a la estructura socioeconómica y productiva pasada, actual y proyectada de los sistemas agropecuarios, el consumo humano y ecosistemas en la zona de proyecto, identificando los derechos del agua, sus formas de uso, gestión, estatus legal, ejercicio del derecho y detentores.
- O6:** Estudiar los conflictos potenciales entre los usuarios del agua con especial énfasis en las demandas para irrigación vs otros usos; zonas altas vs zonas bajas en la cuenca; usuarios locales vs usuarios externos a la cuenca y usos para subsistencia vs usos para producción comercial, la actual gestión de conflictos asociados y el marco legal y consuetudinario.
- O7:** Determinar y evaluar en base a un modelo, diferentes escenarios de gestión basados en los efectos del cambio climático y diversas estrategias de adaptación.

- O8:** Debatir y establecer, con la participación de los actores sociales y políticos, un plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas de demanda, de usos de recursos hídricos y de cambio climático a fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas identificados y propender a una gestión sostenible del agua. También establecer la implementación de algunas acciones tempranas durante el transcurso del proyecto por parte de las comunidades para mejorar los procesos de adaptación.
- O9:** Identificar herramientas y espacios del derecho nacional e internacional donde incidir para visibilizar los impactos del cambio climático en Los Andes, fomentando la creación de políticas públicas nacionales e internacionales y alimentando el debate internacional y la conciencia sobre el fenómeno global.

La Tabla 1 muestra la interrelación de las acciones planteadas y la consecución de los objetivos anteriores:

**Tabla 1. Interrelación de Acciones Planteadas y Consecución de Objetivos**

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
<p><b>O1:</b> Determinar los posibles escenarios climáticos, tendencias y la oferta de agua de origen glaciar actual y futura en el área de estudio.</p>	<p>1 Serie de datos hidrometeorológicos validada de las estaciones existentes.</p> <p>1 Serie de datos de balances de masa glaciar, reconstruidos desde los años 50, por fotogrametría</p> <p>1 Curva de tendencia de evolución de superficie y volumen de los glaciares estudiados</p> <p>1 Serie de datos de precipitación y temperatura, en escenarios futuros de cambio climático para los siguientes 30 años, validada en base a datos observados.</p> <p>1 Modelo hidrológico calibrado y validado para la simulación de caudales a la salida de las cuencas estudiadas.</p> <p>2 Estaciones</p>	<p>- Tratamiento de los datos hidrometeorológicos existentes y disponibles del Servicio Meteorológico SENAMHI y otras fuentes posibles</p> <p>- Reconstrucción de los balances de masa glaciar mediante fotogrametría digital de los vuelos fotogramétricos de: 1956, 1963, 1983, 1997 y el nuevo vuelo fotogramétrico programado. Para las restituciones fotogramétricas se realizarán campañas de medición en campo para la determinación de los Puntos de Control de Terreno (GCPs) mediante GPS Diferencial Doble Frecuencia.</p> <p>- Definición de curvas de tendencia de superficies y volúmenes glaciares mediante fotogrametría. El cálculo de volúmenes estará en función de mediciones de espesores glaciares mediante Radar Geológico de Penetración (GPR)</p> <p>- Se validarán series climáticas salidas de Modelos de Circulación Regional bajo escenarios de cambio climático para los próximos 30 años, para lo cual se aplicarán procesos de "Downscaling".</p>	<p>Curva de evolución de superficies y volúmenes de los glaciares de las cuencas estudiadas.</p> <p>Modelo Hidroglaciológico calibrado y validado para la simulación de caudales</p> <p>Serie de caudales mensuales para los próximos 30 años considerando escenarios de cambio climático</p> <p>Red hidrometeorológica operacional en la zona de estudio, integrada a la red hidrometeorológica nacional del SENAMHI</p> <p>Informe de resultados de las tendencias históricas de cambio en las variables climáticas</p> <p>Informe de resultado del análisis de la generación de datos para la cuenca a través del análisis de los resultados de los Modelos de Circulación general y de aplicación de técnicas de downscaling para la cuenca.</p>	<p>Reporte de Balance de Masa (Ing. Edson Ramirez) (Anexo 1)</p> <p>Reporte sobre regulación hidrogeológica (Ing. Hugo Soliz) (Anexo 2)</p> <p>Reporte de Modelo Hidroglaciológico ("Oferta de Agua Histórica en la Cuenca del Río Sajhuaya", Ing. José Luis Montaña/ Ing. Daniel Espinoza) (Anexo 3)</p> <p>Sustento de Agua Sustentable sobre traspaso e integración de las estaciones meteorológicas de Pinaya y La Granja (Ing. Paula Pacheco/Ana Paola Castel) (Anexo 4)</p> <p>Reporte del análisis de tendencias climáticas ("Análisis de Tendencias Climáticas en la Región de la Cuenca del Río Sajhuaya", Ing. José Luis Montaña/Ing.</p>

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
	limnigráficas instaladas. 3 Estaciones meteorológicas instaladas	- Se conceptualizarán, calibrarán y validarán en base a datos existentes y de las nuevas estaciones instaladas, modelos hidrogaciológicos de las cuencas estudiadas para la simulación de caudales. En base a estos modelos y utilizando las series de datos de los escenarios futuros se simularán caudales para los próximos 30 años	Artículo científico publicado	Daniel Espinoza) (Anexo 5)  Reporte del análisis de Modelos de Circulación general y downscaling (“Estudio de Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca del Río Sajhuaya”, Ing. José Luis Montaña/ Ing. Daniel Espinoza) (Anexo 6)  Artículo presentado, aprobado y a ser publicado en las Memorias de Congreso Mundial del Agua (Ing. Paula Pacheco Anexo 7)  Compendio de artículos producidos en el marco del Proyecto Illimani (en elaboración)
O2: Identificar las causas de los cambios producidos en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades de la zona del proyecto en los últimos 20 años, establecer sus características	- Se conocen los cambios en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades del proyecto, identificados	- Determinación participativa de la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades del proyecto de hace 15 años - Determinación participativa de la estructura socioeconómica productiva actual de las comunidades del proyecto - Identificación de los cambios más relevantes en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades del proyecto - Identificación de las causas de los	Documento de estructura socioeconómica y productiva de los últimos 15 años con la identificación de las causas de los cambios en la estructura socioeconómica y productiva.	Reporte de dinámica de estructura productiva y requerimientos de riego (Ing. Magali Garcia) (Anexo 8)  Reporte sobre vulnerabilidad y acciones de adaptación autónoma llevadas por los agricultores (Ing. Magali Garcia y Cristal Taboada) (Anexo 9)

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
actuales y vulnerabilidad y proyectar los diferentes escenarios futuros en el contexto de cambio de las condiciones climáticas y socioeconómicas externas.		cambios producidos en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades del proyecto		
	- Se ha determinado la vulnerabilidad de las comunidades del proyecto.	- Desarrollo de indicadores para estimar la vulnerabilidad de las comunidades del proyecto. Determinación de la vulnerabilidad de las comunidades del Proyecto	Documento de desarrollo de indicadores de vulnerabilidad y descripción de la vulnerabilidad de las comunidades	Reporte sobre vulnerabilidad y acciones de adaptación autónoma llevadas por los agricultores (Ing. Magali García y Cristal Taboada) (Anexo 9)
	- Se han identificado los potenciales escenarios futuros de la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades del proyecto.	- Desarrollo de potenciales escenarios de cambio en las condiciones climáticas y del contexto socioeconómico Identificación de los potenciales efectos del cambio climático y del contexto socioeconómico en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades del proyecto	Documento que muestre los potenciales escenarios de estructura socioeconómica y productiva.	Estrategia de Adaptación (Agua Sustentable) (Anexo 10)
O3: Identificar y evaluar la sostenibilidad de las estrategias de adaptación	- Se han evaluado las estrategias de adaptación espontánea de las comunidades del	- Identificación de las estrategias de adaptación espontánea implementadas por las comunidades de la zona de estudio - Categorización de las medidas de	Documento de identificación y evaluación de medidas de adaptación espontánea	Reporte sobre vulnerabilidad y acciones de adaptación autónoma llevadas por los agricultores (Ing. Magali García y Cristal Taboada) (Anexo 9)

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
espontánea implementadas por las comunidades rurales de la zona de estudio en el ámbito del conocimiento tradicional y ancestral frente a fenómenos de variabilidad y cambio climático, resiliencia, constricciones, debilidades y potenciales.	proyecto, identificadas y evaluadas	adaptación espontánea de las comunidades de estudio - Evaluación de las medidas de adaptación espontánea implementadas por las comunidades de la zona de estudio		
	- Se tiene identificado y sistematizado el conocimiento local y ancestral utilizado para predecir cambios en el clima y las decisiones en los sistemas productivos.	- Identificación de actores claves para la sistematización del conocimiento local y ancestral. - Evaluación del comportamiento de los bioindicadores naturales ante los efectos del cambio climático.	Documento de sistematización del comportamiento anterior y actual de los bioindicadores naturales.	Reporte sobre vulnerabilidad y acciones de adaptación autónoma llevadas por los agricultores (Ing. Magali Garcia y Cristal Taboada) (Anexo 9)
	- Se ha valorado la sostenibilidad de las estrategias de adaptación espontánea de las comunidades de la	- Desarrollo de un sistema de valoración de la sostenibilidad de las medidas de adaptación espontánea. - Valoración de la sostenibilidad de las medidas de adaptación espontánea implementada por las comunidades	Documento sobre los efectos del Cambio Climático en los componentes del ecosistema.	Reporte sobre vulnerabilidad y acciones de adaptación autónoma llevadas por los agricultores (Ing. Magali Garcia y Cristal Taboada) (Anexo 9)

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
	zonas de estudio	del área de estudio - Socialización de la información relacionada con la sostenibilidad de las medidas de adaptación espontánea		
O4: Estimar el impacto socioeconómico en las principales actividades productivas bajo diferentes escenarios y la demandas financieras bajo distintas estrategias de adaptación.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculo de los costos de producción adicionales que son incurridos para mitigar los impactos ocasionados por el cambio climático en la zona.</li> <li>- Establecimiento de un escenario base, el mismo que evalúe la situación actual y el desarrollo de las actividades productivas durante los últimos años.</li> <li>- Construcción de modelos econométricos que permitan estimar las relaciones existentes entre variables: climáticas, de disponibilidad de recursos hídricos, y otras socioeconómicas, de mercado, entre otras y los rendimientos de producción agropecuaria.</li> <li>- Identificación de variables que mejor explican el desarrollo de las actividades productivas.</li> <li>- Evaluación de los modelos econométricos para determinar el modelo que mejor se ajuste y mejor establezca las relaciones entre las variables antes mencionadas.</li> <li>- Estimación de los costos de inversión adicionales o “adicionalidad” que involucraría la sostenibilidad del</li> </ul>	Documento impacto socioeconómico en las principales actividades productivas bajo diferentes escenarios Documento de demandas financieras bajo distintas estrategias de adaptación	Reporte sobre el impacto económico del cambio climático y proyección de demandas financieras bajo distintas estrategias de adaptación (Lic. Alvaro Cuiza) (Anexo 11)  Estrategia de Adaptación (Agua Sustentable) (Anexo 10)

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
		<p>servicio de dotación de agua potable para la zona de estudio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Valoración económica de los servicios ambientales provenientes de la zona en un escenario base</li> <li>- Valoración económica de los servicios ambientales provenientes de la zona ante diferentes escenarios de cambio climático.</li> <li>- Comparación entre ambas valoraciones económicas.</li> <li>- Estimación de los costos de inversión adicionales que deben ser incurridos para mitigar los impactos ocasionados por el cambio climático en la zona.</li> </ul>		
<p>O5: Determinar la variación de la demanda de agua en base a la estructura socioeconómica y productiva pasada, actual y proyectada de los sistemas agropecuarios, el consumo humano rural y urbano y ecosistemas en la zona de</p>	<p>Se entiende la demanda de agua en la cuenca de estudio por sistema productivo, las dinámicas culturales y legales que la influye, las necesidades y aportes de los ecosistemas en que se encuentra, y las implicaciones de las patrones actuales de demanda sobre la demanda del futuro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculo de la demanda presente y pasada de agua por actividad económica/sistema productivo, basado en área cultivada regada, productos agrícolas, y usos domésticos del agua (o los de antes).</li> <li>- Calculo de la demanda de agua de la vegetación de los ecosistemas de la zona de estudio, tomando en cuenta también la fauna que depende de esta agua y flora.</li> <li>- Realización de un “mapeo de derechos” de las comunidades y poblaciones de la zona de proyecto, determinando los derechos de uso de agua dentro y entre comunidades,</li> </ul>	<p>Documento describiendo la demanda de agua presente por sistema productivo y estimaciones del pasado.</p> <p>Documento de “mapeo de derechos” detallando los derechos al agua de las comunidades y hogares, sus formas de uso, y la gestión del agua.</p> <p>Documento de análisis jurídico de las aguas de la cuenca.</p> <p>Documento que incluye el cálculo proyectado de la demanda futura</p>	<p>Reporte de dinámica de estructura productiva y requerimientos de riego (Ing. Magali Garcia) (Anexo 8)</p> <p>Reporte sobre el mapeo de derechos de agua en la cuenca (Ing. Kattia Villarroel) (Anexo 12)</p> <p>Reporte de análisis jurídico (Rene Orellana) (Anexo 13)</p> <p>Reporte del cálculo de la demanda de agua futura (Ing.</p>

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
proyecto, identificando los derechos del agua, sus formas de uso, gestión, estatus legal, ejercicio del derecho y detentores.		<p>su historia, y su gestión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis la situación jurídica de las aguas de la zona de proyecto, tomando en cuenta legislación relevante, registros de riego y agua potable, la personalidad jurídica de las organizaciones y autoridades relevantes, concesiones, licencias, derecho consuetudinario u otros derechos al agua de la zona.</li> <li>- Proyección de la demanda futura agua basada en los cambios observados en los sistemas productivos, la gestión del agua, el clima, y la población humana de la zona.</li> </ul>	del agua en la cuenca.	Danitza Salazar) (Anexo 14)
O6: Estudiar los conflictos potenciales entre los usuarios del agua con especial énfasis en las demandas para irrigación vs otros usos; zonas altas vs zonas bajas en la cuenca; usuarios locales vs usuarios externos a la cuenca y usos para	Se entiende las fuentes, historias, y actores de conflictos anteriores sobre el uso y acceso al agua, y se ha identificado y analizado potenciales fuentes para conflictos hacia el futuro, sugiriendo maneras de evitar los mismos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documentar conflictos pasados y presentes entre las comunidades y poblaciones de la zona de estudio.</li> <li>- Identificar las autoridades relacionadas a la gestión y uso de agua y las relaciones entre ellos.</li> <li>- Identificar y analizar la competencia entre usos de agua primarios, usos secundarios y usos paralelos dentro de la cuenca.</li> <li>- Analizar los intereses, poder, legitimidad e intereses atrás de cada grupo de usuarios o usuarios potenciales y sus posibilidades de acceder y influir el acceso al agua.</li> <li>- Mapear los conflictos existentes y potenciales dentro de la cuenca para</li> </ul>	<p>Reporte con la historia de conflictos sobre el agua en la zona de estudio, los actores principales, y las fuentes de conflicto.</p> <p>Reporte indicando los potenciales de conflicto sobre el acceso y uso de agua en la cuenca, actores/usuarios relevantes, y sugerencias para maneras de evitar dichos conflictos.</p>	<p>Reporte sobre el mapeo de derechos de agua en la cuenca (Ing. Kattia Villarroel) (Anexo 12)</p> <p>Reporte sobre implicancias del cambio Climático en las mujeres de la microcuenca del Río Sajhuaya (Lic. Fabiola Ríos) (Anexo 15)</p> <p>Estrategia de Adaptación (Agua Sustentable) (Anexo 10)</p>

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
subsistencia vs usos para producción comercial, la actual gestión de conflictos asociados y el marco legal y consuetudinario.		<p>entender su interrelación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar de técnicas SAS y establecimiento de plataformas de diálogo para promover acuerdos entre las comunidades.</li> </ul>		
O7: Determinar y evaluar en base a los escenarios climáticos, modelos de gestión basados en los efectos del cambio climático y diversas estrategias de adaptación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escenarios de gestión representando escenarios de cambio climático para planes y condiciones previstas por la empresa de aguas y los regantes, que incluyen la construcción y entrada en funcionamiento de nueva infraestructura hidráulica.</li> <li>- Escenarios planteados del análisis y discusión dentro del equipo de trabajo, tomando en cuenta tanto los resultados de los escenarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición del nivel de esquematización del sistema hídrico, adecuado a las características del proyecto.</li> <li>- Montaje de la base de datos geográficos en MIKE BASIN</li> <li>- Implementación del modelo del sistema hídrico para el escenario base (probablemente el actual).</li> <li>- Ajuste y validación del modelo.</li> <li>- Definición de escenarios</li> <li>- Análisis y simulación de escenarios</li> <li>- Priorización de alternativas en base a criterios bien definidos</li> </ul>	<p>Documento que muestre la implementación de la plataforma MIKE BASIN para el escenario base, con resultados de la simulación de escenarios y la estrategia preliminar de gestión del agua definida en base a la simulación de escenarios.</p>	<p>Reporte sobre el modelo de gestión para el escenario histórico, actual y futuro (Ing. Jorge Molina) (Anexo 16)</p> <p>Estrategia de Adaptación (Agua Sustentable) (Anexo 10)</p>

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
	precedentes, así como las posibles alternativas que pueden incluir otros factores como: conflictos, acuerdos, infraestructura hidráulica adicional y otros.			
O8: Debatir y establecer, con la participación de los actores sociales y políticos, un plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas de demanda, de usos de recursos hídricos y de cambio climático a fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas identificados y propender a una gestión sostenible del agua. También establecer la implementación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se ha desarrollado un plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas de demanda de usos de recursos hídricos y al cambio climático que ha permitido reducir la vulnerabilidad de las comunidades de la zona de estudio.</li> <li>- Se han implementado medidas de adaptación tempranas con la amplia participación de las comunidades de la zona de estudio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Socialización de los resultados de la evaluación de los escenarios de oferta y demanda de agua</li> <li>- Socialización de los escenarios de las estructuras socioeconómicas productivas de las comunidades de la zona de estudio</li> <li>- Desarrollo de un plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas y de cambio climático</li> <li>- Socialización del plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas y de cambio climático</li> <li>- Ajuste del plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas y de cambio climático</li> <li>- Identificación de las medidas de adaptación</li> <li>- Elaboración del perfil del proyecto de adaptación de las medidas identificadas</li> <li>- Implementación de las medidas de adaptación tempranas</li> <li>- Evaluación y ajuste de las medidas</li> </ul>	<p>Documento de la Estrategia de Adaptación a las nuevas condiciones antrópicas y de cambio climático.</p> <p>Informe de los eventos de presentación del documento</p> <p>Medidas de adaptación implementadas a nivel de las comunidades de la zona de estudio.</p>	<p>Estrategia de Adaptación (Agua Sustentable) (Anexo 10)</p> <p>Informe final</p> <p>Informe final</p>

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
de algunas acciones tempranas durante el transcurso del proyecto por parte de las comunidades para mejorar los procesos de adaptación.		de adaptación implementadas		
O9: Identificar, conjuntamente las comunidades, herramientas y espacios del derecho nacional e internacional donde incidir para visibilizar los impactos del cambio climático en Los Andes, fomentando la creación de políticas públicas nacionales e internacionales y alimentando el debate internacional y la conciencia sobre	<p>Se han identificado los espacios y herramientas nacionales e internacionales para la incidencia y visibilización de los impactos locales y regionales del cambio climático y se ha orientado las comunidades de la cuenca de estudio acerca del ejercicio de estas herramientas.</p> <p>Las comunidades son empoderadas y visibilizadas por el contexto nacional e internacional relevante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis jurídico y de jurisprudencia sobre experiencias, herramientas y espacios de derecho aplicables a los impactos del cambio climático en Los Andes</li> <li>- Recopilación de información de casos ambientales entre comunidades y entidades transnacionales o gobiernos, y su ámbito de jurisdicción.</li> <li>- Participación conjuntamente las comunidades de estudio en espacios de debate internacional para visibilizar los impactos de cambio climático.</li> </ul>	<p>Documento sobre el marco jurídico nacional e internacional relevante sobre los impactos del cambio climático en el manejo del agua.</p> <p>Propuestas de reformas en políticas públicas para abordar la problemática del cambio climático y el manejo del agua</p> <p>Informes de la participación en talleres nacionales e internacionales</p>	<p>Reporte de análisis jurídico (René Orellana) (Anexo 13)</p> <p>Informe final</p>

Objetivos	Resultados	Acciones	Productos	Incluido en el Reporte
el fenómeno global.	Se ha visibilizado a nivel nacional e internacional acerca de los impactos del cambio climático en comunidades de Los Andes Centrales			

El flujograma presenta la información generada en función de los objetivos deseados del proyecto:

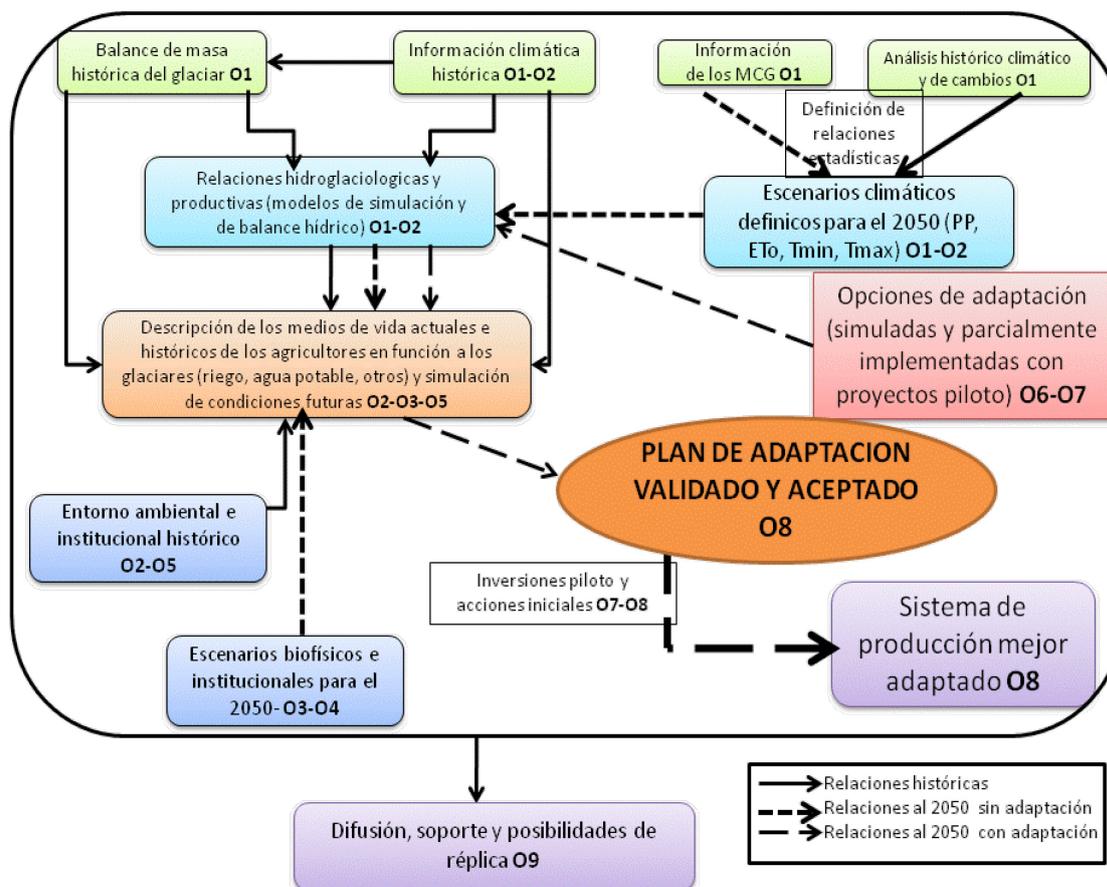


Figura 1. Flujograma del proyecto

### 3. ACTIVIDADES DEL PROYECTO Y HALLAZGOS DE INVESTIGACIÓN

En función de la estructura del proyecto, se delinearón diferentes actividades que serán descritas a continuación de acuerdo a los objetivos con un resumen de los productos obtenidos hasta el presente:

**3.1 OBJETIVO 1** Determinar los posibles escenarios climáticos, tendencias y la oferta de agua de origen glaciar actual y futura en el área de estudio

#### 3.1.1 Serie de datos hidrometeorológicos validada de las estaciones existentes

##### 3.1.1.1 Ubicación y Recolección de datos hidroclimáticos

Uno de los factores más importantes en el estudio hidrológico y climático lo constituye la recopilación y evaluación de la información.

La baja densidad de la red termo-pluviométrica, la baja disponibilidad de datos históricos continuos y extensos, de precipitación, temperatura en la región, limitan la evaluación climática en la cuenca de estudio. Por ello fue necesario recurrir a estaciones regionales de apoyo.

En la Tabla 2., se muestran los datos recopilados y las características de las estaciones que fueron seleccionadas para el análisis de reconstrucción de información (luego de analizar la solidez de su información), tanto para apoyo como dentro de la misma cuenca. En la Figura 2 se puede observar las estaciones climáticas más cercanas al glaciar del Illimani.

**Tabla 2. Información de las estaciones meteorológicas incluidas en el estudio**

	Estación	Tipo de estación	Provincia	Administrador	Latitud [°]	Longitud [°]	Altitud [m.s.n.m.]	Inicio Actividad	Cierre	Años registro	Temp.	Precip.	Evap.	%HR	V.V.	Insol.	ETP
En la Cuenca	Cebollullo	T (DAVIS)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.694	-67.860	2771	2009		1	TODO						
	Jalancha	T (HOBO)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.660	-67.827	4015	2009		1	•	•					
	Khapi	T (HOBO)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.680	-67.850	3326	2009		1	•	•					
	Khapi	T (DAVIS)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.685	—	3548	2009		1	TODO						
	Pinaya	TP	Murillo	AS-IHH	—	—	3800	2009		1	•	•			•		
	Plaza	TP (HOBO)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.709	-67.870	2631	2009		1	•	•					
	Tahuapalca	T (HOBO)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.700	—	2419	2009		1	•						
	Tahuapalca	T (DAVIS)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.719	-67.870	2410	2009		1	TODO						
	La Granja	T (HOBO)	Murillo	AS	—	—	—	2010		1	•	•	•	•	•	•	•
Uyupata	T (HOBO)	Murillo	IIAREN-UMSA	-16.698	-67.870	2924	2009		1	•	•						
APOYO	Achumani	P	Murillo	SENAMI	-16.533	-68.067	3339	1991		18	•	•	•		•		•
	Bolsa Negra (Mina)	P	Sud Yungas	SENAMI	-16.550	-67.800	4800	1975	2002	28	•	•					
	Chacaltaya	TP	Murillo	SENAMI	-16.350	-68.133	5220	1943		17	•	•					
	El Alto (Aasana)	Syn	Murillo	SENAMI	-16.517	-68.167	4058	1943		66	•	•	•	•	•	•	•
	La Paz (central)	Ord	Murillo	SENAMI	-16.533	-68.133	3632	1945		64	•	•	•	•	•	•	•
	Lambate	P	Sud Yungas	SENAMI	-16.603	-67.700	3400	1987	2003	36	•	•					
	Mecapaca	CO	Murillo	SENAMI	-16.667	-68.017	2850	1973		36	•	•	•		•		•
	Palca	TP	Murillo	SENAMI	-16.557	-67.953	3540	1988		41	•	•	•	•	•	•	•
	Viacha	CO	Ingavi	SENAMI	-16.650	-68.300	3844	1959		50	•	•	•	•	•	•	•
	Pinaya	TP	Murillo	SENAMI	-16.642	-67.867	3800	2009		1	•	•			•	•	•
San Calixto	CO	Murillo	Observatorio	-16.495	-68.133	3658	1891			•							

*Nota: Temp= Temperatura media ambiente, Precip= Precipitación, Evap.= Evaporación en tanque, %HR= Humedad relativa, V.V.= Velocidad del viento, Insol.= Horas de sol, ETP= Evapotranspiración potencial*

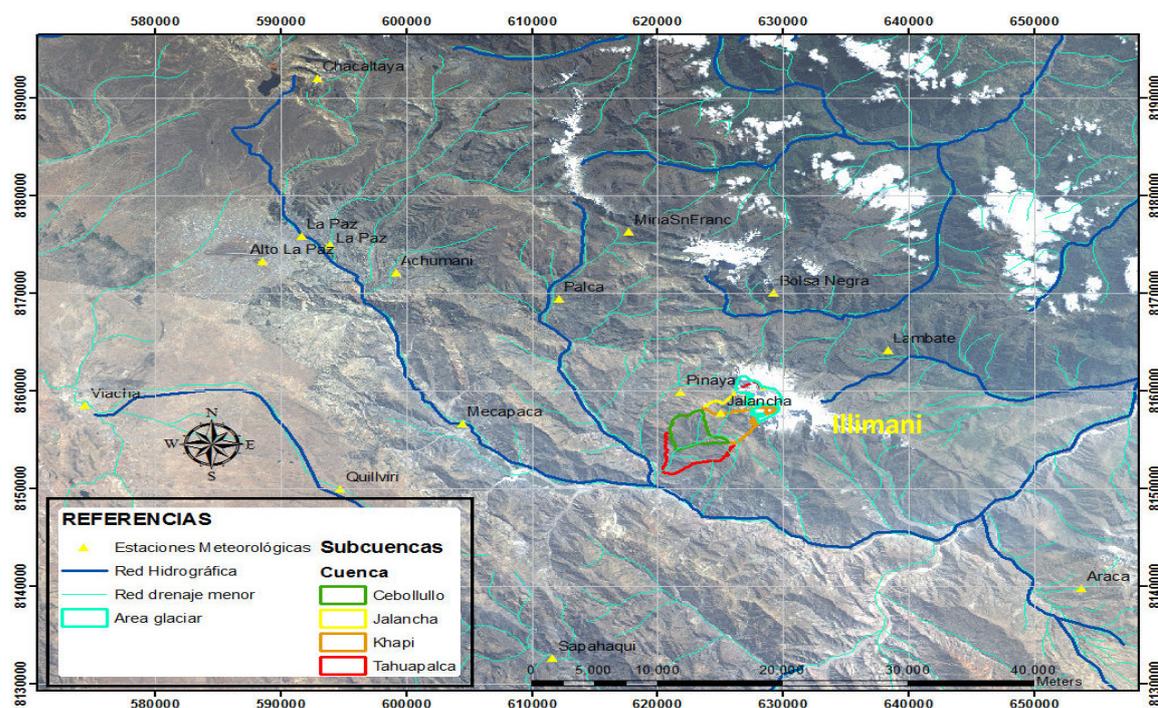


Figura 2. Ubicación de las estaciones más cercanas al glaciar del Illimani

### 3.1.1.2 Reconstitución de datos históricos de las estaciones de la cuenca

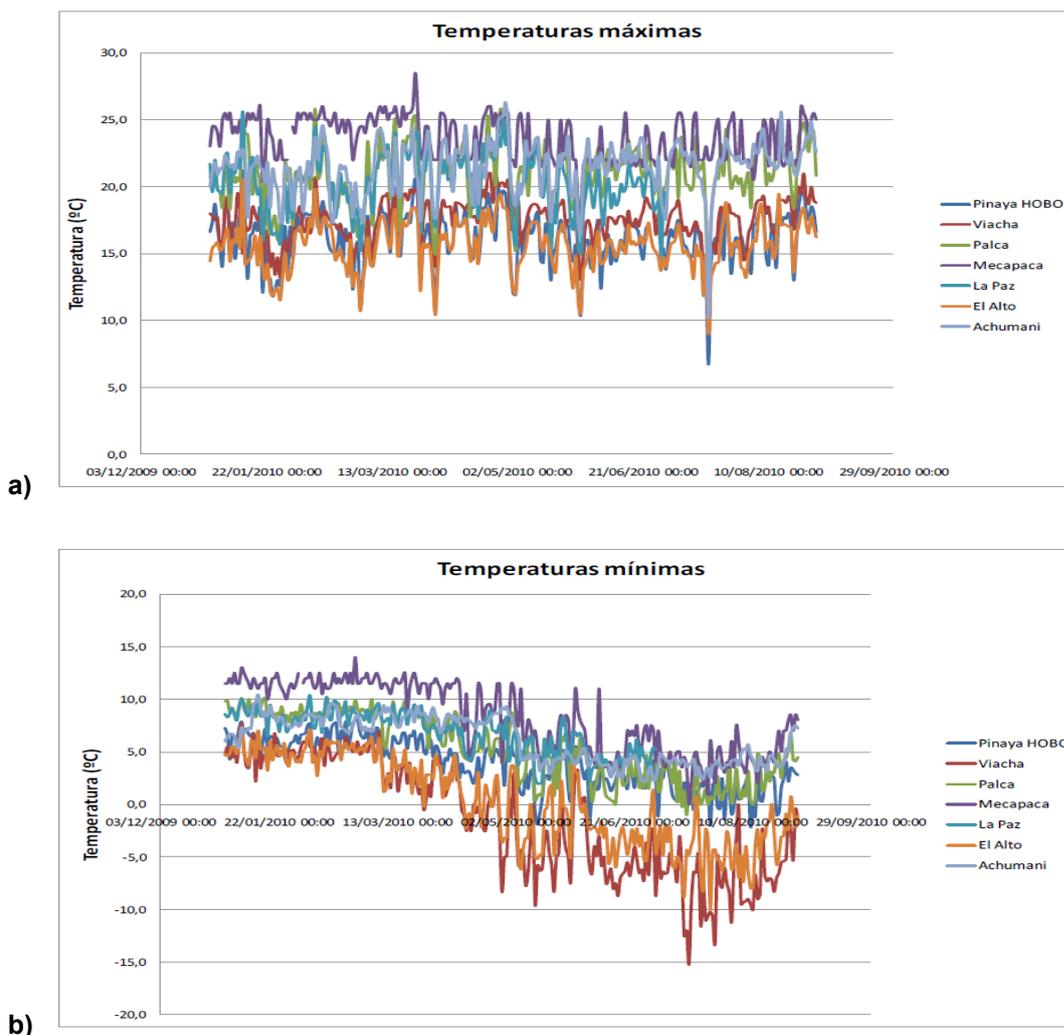
La información de las estaciones de las cuales se tenía el registro (Tabla 2) fue correlacionada con los datos recolectados dentro de la cuenca en las estaciones operacionales de Pinaya, Khapi, Cebollullo y Tahuapalca. A pesar de que el periodo de mediciones en estas estaciones es corto (Tabla 3), su información sirvió como buen referente para seleccionar las estaciones más correlacionadas con ellas

Tabla 3. Periodo de mediciones meteorológicas de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca de estudio

Estación	Altura [msnm]	Fecha Inicio	Fecha Final
Khapi HOBO	3326	21/09/2009	23/08/2010
Uyupata	2924	23/09/2009	23/08/2010
Cebollullo	2771	23/09/2009	23/08/2010
Plaza	2631	23/09/2009	23/08/2010
Tahuapalca HOBO	2410	23/09/2009	23/08/2010
Pinaya HOBO	3800	30/12/2009	29/08/2010

### 3.1.1.3 Análisis de consistencia de la información de estaciones referenciales

El análisis de consistencia de la información termométrica se efectúa a través del análisis de correlación basado en la suposición de que dos variables se relacionan en forma lineal. Las Figuras 3 a) y b) muestran las series temporales de temperatura máxima y mínima de las estaciones consideradas en el análisis durante el periodo 2009 – 2010, relacionadas a las estaciones de Mécapaca, La Paz, El Alto y Achumani, que son las estaciones de mejor comportamiento y relación estadística con la información generada dentro de la cuenca.



**Figura 3. Comportamiento de los valores diarios de a)Tmax y b)Tmin para estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca y estaciones seleccionadas de la Tabla 2**

En los anteriores gráficos se observa que existe correspondencia entre las temperaturas registradas en las diferentes estaciones durante el periodo considerado. Suponiendo que estas variables se correlacionan linealmente, se puede plantear un modelo de regresión múltiple para analizar la consistencia de la estación Pinaya HOBO y efectuar el relleno de datos. Los coeficientes de determinación que comparan los valores calculados y reales en el análisis de regresión múltiple para diferentes juegos de estaciones se muestran en la tabla 4:

**Tabla 4. Coeficientes de determinación de regresión múltiple de diversas estaciones y Pinaya**

Resumen Tmax		
Estaciones	r <sup>2</sup>	r
Pinaya HOBO vs Todos	0,823	0,907
Pinaya HOBO vs Viacha - La Paz - El Alto	0,793	0,890
Pinaya HOBO vs La Paz - El Alto	0,791	0,889
Pinaya HOBO vs Viacha - La Paz	0,770	0,877
Pinaya HOBO vs Viacha - El Alto	0,687	0,829

Resumen Tmin		
Estaciones	r <sup>2</sup>	r
Pinaya HOBO vs Todos	0,861	0,928
Pinaya HOBO vs Viacha - La Paz - El Alto	0,860	0,927
Pinaya HOBO vs La Paz - El Alto	0,860	0,927
Pinaya HOBO vs Viacha - La Paz	0,844	0,919
Pinaya HOBO vs Viacha - El Alto	0,799	0,894

Se observa que la estación analizada es consistente y que existe una buena correlación entre ésta y las estaciones de referencia. Se decidió entonces trabajar con las estaciones de La Paz y el Alto para efectuar el relleno por ser las estaciones con el registro más largo de información.

#### **3.1.1.4 Generación de los datos climatológicos para el periodo 1970 – 2009**

Con la información evaluada, homogenizada y valorada de las estaciones de La Paz y El Alto, se procedió a la reconstitución de la información meteorológica de las estaciones de Pinaya, Khapi, Cebollullo y Tahuapalca.

En forma previa se procedió a evaluar la presencia o ausencia de tendencias en la información termo pluviométrica de estas estaciones.

Luego del análisis estadístico y de consistencia, se pudo concluir que en la estación de La Paz se observa en todos los meses y anualmente una tendencia al incremento de las temperaturas media, máxima y mínima, muy probablemente por efecto de isla de calor que produce la ciudad. En El Alto solamente se tienen incrementos evidentes en diciembre, enero, febrero, marzo, octubre y anualmente y solo en la temperatura máxima y media y no así en las temperaturas mínimas que más bien presentan tendencia al descenso.

En el caso de la precipitación no se pudo observar cambios estadísticamente significativos de los valores anuales con una leve tendencia a la concentración entre Enero y Marzo, en los últimos cinco años pero que no demuestra un proceso de significancia todavía.

Una vez evaluada la consistencia y las tendencias de los registros de apoyo y en correlación con las estaciones de la cuenca, se procedió a reconstruir la serie climática, la cual fue utilizada para la generación de los datos de demanda histórica de agua de la cuenca. La descripción completa de la información obtenida se encuentra en el Anexo 5.

### 3.1.2 Reconstrucción de los balances de masa glaciar mediante fotogrametría digital de los vuelos fotogramétricos de: 1956, 1963, 1983, 1997 y el nuevo vuelo fotogramétrico programado.

Las principales actividades de este acápite incluyeron la habilitación de la estación de restitución de imágenes, análisis de los resultados del vuelo fotogramétrico en coordinación con el Servicio Nacional de Aerofotogrametría y análisis de la información generada. A continuación se describen los resultados encontrados.

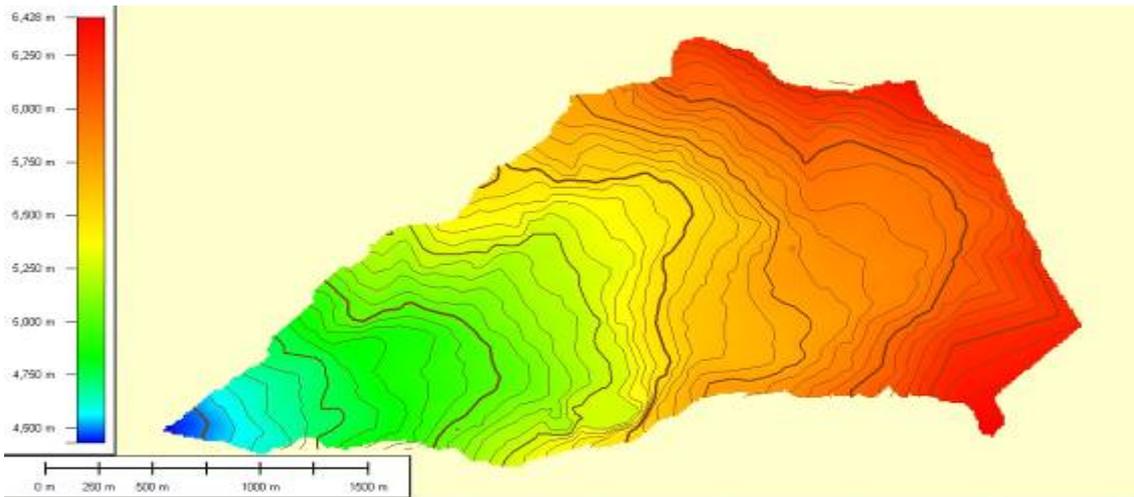
#### 3.1.2.1 Determinación de los cambios morfométricos de la Cuenca Glaciar y Curva Hipsométrica

En base al vuelo fotogramétrico realizado el año 2009, se han construido tanto el Modelo Digital de Superficie, así como un fotomosaico y ortofotografía rectificadas en base a los puntos de control de campo (GCP) obtenidos mediante mediciones de DGPS. La Figura 4 muestra el fotomosaico con curvas de nivel cada 20m en base al Modelo Digital de Superficie (MDS). De igual manera en la misma imagen se muestra el límite de la cuenca glaciar cuyo exutorio o punto de salida corresponde a la posición donde se instaló la estación hidrométrica denominada “Estación Puente Roto”, situada próxima al llamado “Campo Base” (Sitio de donde inician los andinistas el ascenso al Nevado Illimani).

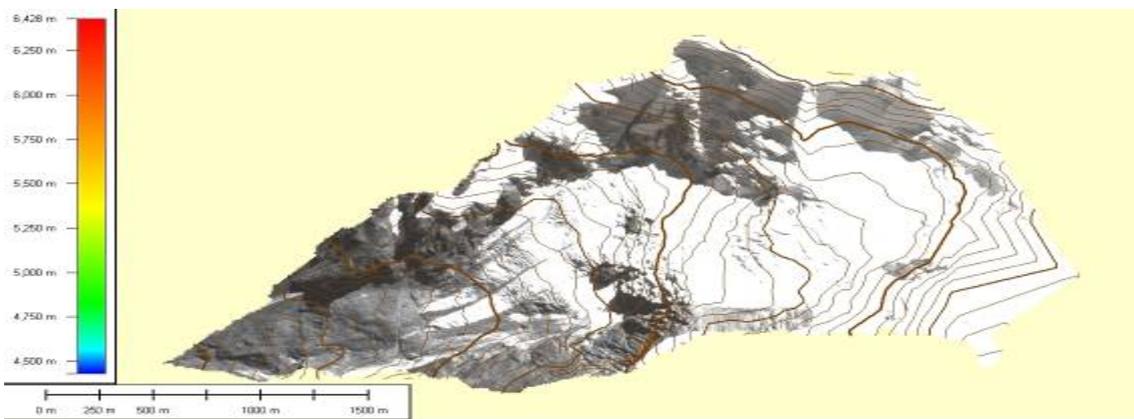


**Figura 4. Límite de la Cuenca del Glaciar Illimani (Fuente: Elaboración propia).**

La imagen siguiente muestra la extracción del área de la cuenca de estudio sobre el Modelo Digital de Superficie y sobre el fotomosaico restituído. Esta operación fue realizada utilizando Sistemas de Información Geográfica que permiten realizar un tratamiento preciso y de forma matemática, evitando de esta manera ambigüedades que podrían producirse de realizarse el procedimiento de forma manual.



a)

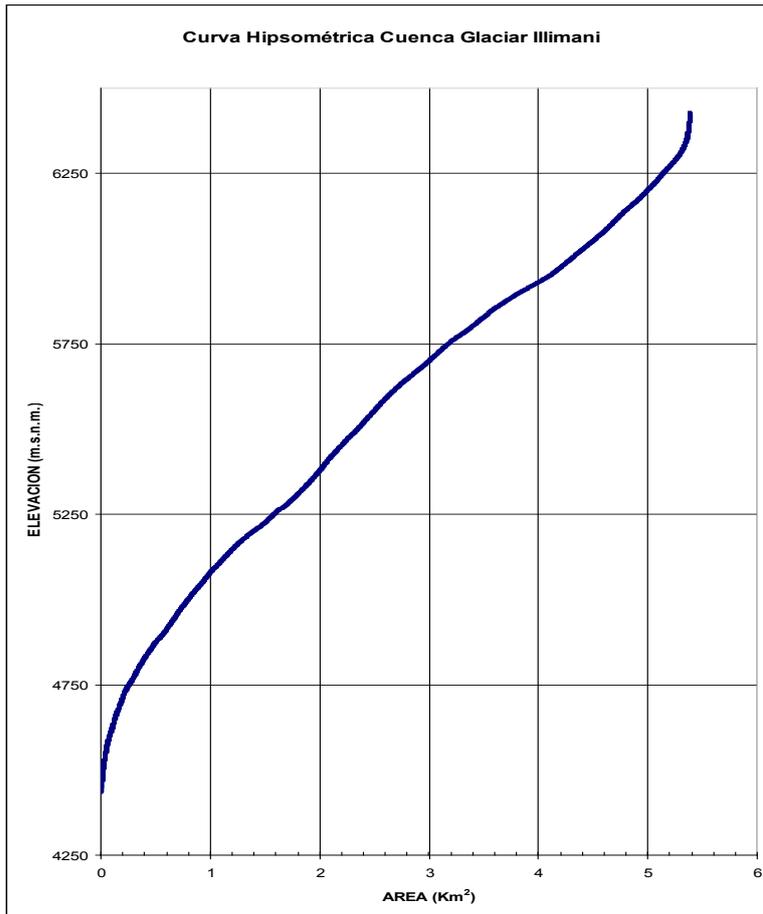


b)

**Figura 5. Distribución altitudinal de la Cuenca Glaciar de estudio a) proyección, b) proyección nival**

Utilizando las fronteras de la cuenca de estudio seleccionada y empleando el Modelo Digital de Superficie, obtenido mediante restitución fotogramétrica, es posible determinar el área comprendida en cotas inferiores a una curva de nivel dada. Representando esa relación (área frente a altura) se obtiene la denominada curva hipsométrica área-altura, tal como se ilustra en la figura 6.

Esta curva fue determinada mediante algoritmos de procesamientos de imágenes que fueron incorporados en módulos especializados ArcGIS. Esta información es de gran ayuda para la parametrización del Modelo SRM (Martínez-Rango) el cual requiere el valor de altura media de rangos altitudinales establecidos a partir de los cuales se requieren extrapolar los datos de temperatura desde la estación de referencia para calcular los grados-día de cada zona.



**Figura 6. Curva hipsométrica para la Cuenca del Glaciar Illimani**

### 3.1.2.2 Área de cubierta de nieve

De acuerdo a recomendaciones de los desarrolladores del modelo SRM, es importante realizar una división de la cuenca por rangos altitudinales que permitan la aplicación de las ecuaciones del modelo grado-día. Para ello si el rango de alturas de la cuenca es mayor de 500 m., se recomienda subdividir la cuenca en zonas de elevación de unos 500m. cada una.

Para el caso de la cuenca del glaciar Illimani los límites altitudinales encontrados son:

- Altitud máxima: 6428 msnm.
- Altitud mínima: 4433 msnm.
- Rango altitudinal: 1995 m.

Se ha separado por lo tanto la cuenca en 4 rangos altitudinales de aproximadamente 500m, cuyas características se muestran en la figura 7, la cual fue obtenida de un análisis de frecuencias en base al MDS.

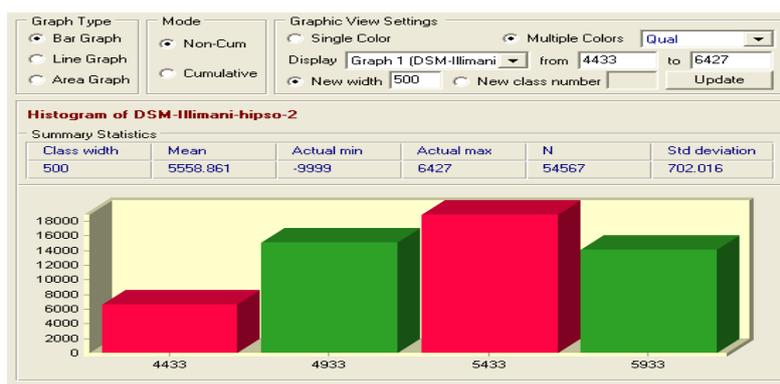


Figura 7. Rangos altitudinales adoptados para la aplicación del modelo SRM.

Tabla 5: Distribución de zonas de elevación

Zona	Cota inferior (msnm)	Cota superior (msnm)	Area Km <sup>2</sup>
A	4433	4932	0.641
B	4932	5431	1.495
C	5431	5930	1.858
D	5930	6428	1.390
TOTAL			5.384

La figura 8 muestra la distribución de las 4 zonas de elevación representados en la tabla 5.

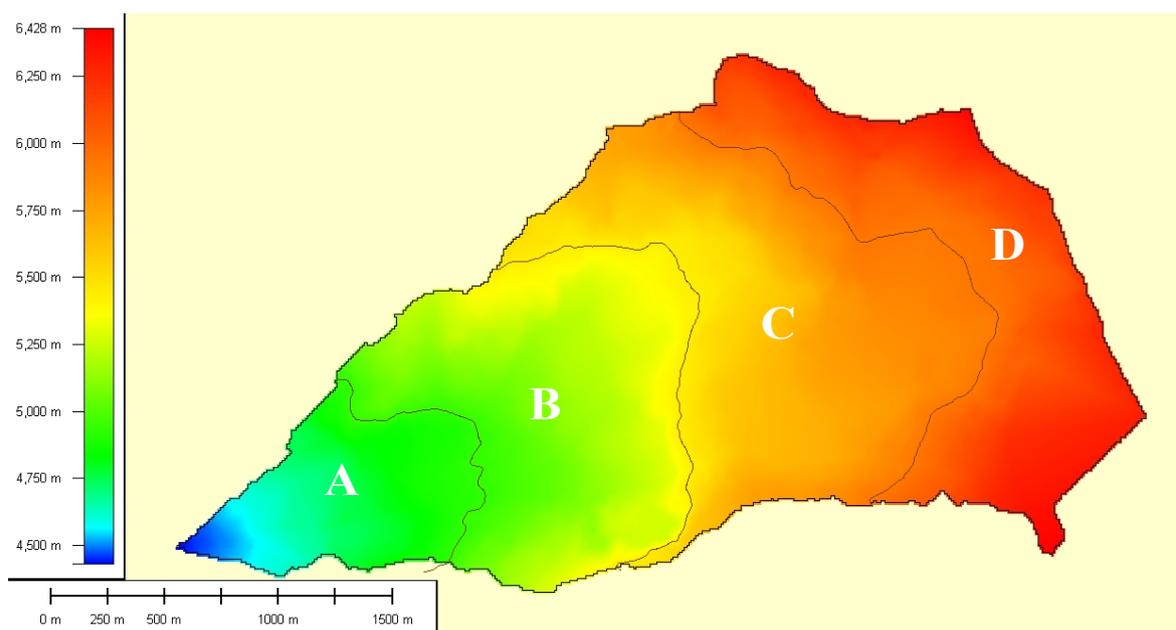


Figura 8. Distribución de las 4 zonas de elevación para el modelo SRM.

En cuencas de montaña es característico que la cobertura de nieve disminuya durante el período de fusión. En el caso de los glaciares tropicales, como es el caso del glaciar Illimani, esta cobertura glaciaria ha venido disminuyendo de forma sostenida desde la denominada “Pequeña Edad de Hielo” que se produjo en esta región entre los siglos XVI y XVII.

Para la aplicación del modelo SRM es importante proporcionar la información correspondiente a ésta pérdida de superficie en el tiempo. Estos datos son introducidos a través de la

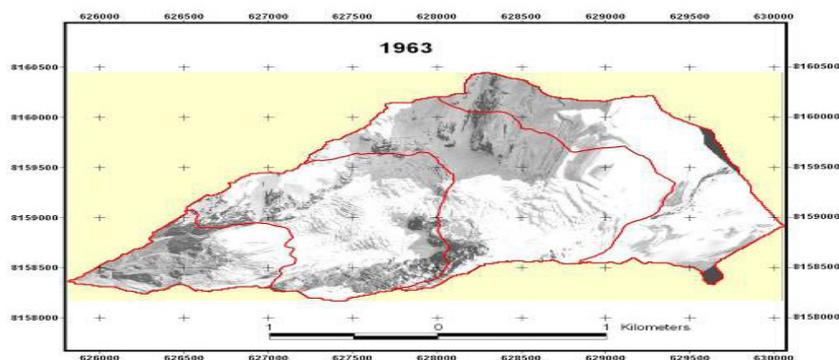
denominada “Curva de agotamiento”, la cual debe ser determinada para cada uno de los rangos altitudinales definidos.

Estas curvas de agotamiento pueden ser interpoladas a partir de medidas periódicas, de modo que los valores diarios pueden ser introducidos en SRM como variable de entrada. Los mapas de cobertura de nieve pueden obtenerse con observaciones desde el suelo (en cuencas muy pequeñas), mediante fotografía aérea (especialmente cuando hay riesgo de riada) y, del modo más eficiente, mediante satélites. Para obtener una adecuada precisión de los mapas de nieve, el área mínima de la cuenca depende de la resolución espacial del satélite.

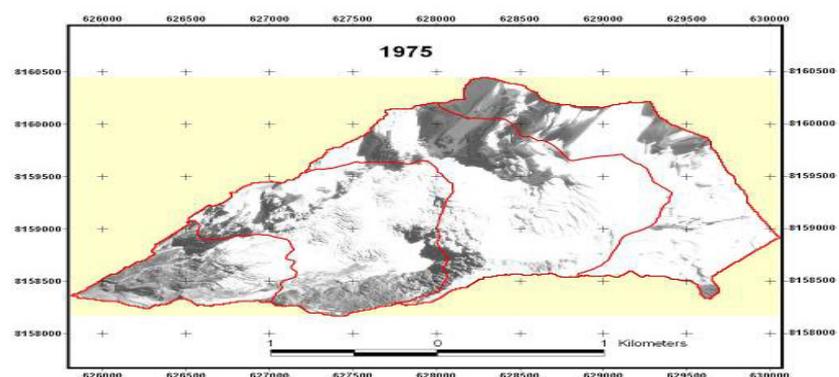
Las figuras 9 a 12 muestran las coberturas glaciares de la cuenca del glaciar Illimani determinadas utilizando fotografías aéreas históricas obtenidas por el Servicio Nacional de Aerofotogrametría de la Fuerza Aérea Boliviana (FAB) desde el año 1963.

Las figuras 13-16 muestran a su vez las superficies en formato digital (SIG) que sirvieron para la cuantificación de superficies glaciares para los rangos altitudinales seleccionados.

Por medio de tabulaciones cruzadas y operaciones de álgebra de mapas, dentro del Sistema de Información Geográfica, se obtuvieron las áreas cubiertas de nieve para toda la cuenca (Tabla 6).



**Figura 9. Cobertura del glaciar Illimani para el año 1963.**



**Figura 10. Cobertura del glaciar Illimani para el año 1975.**

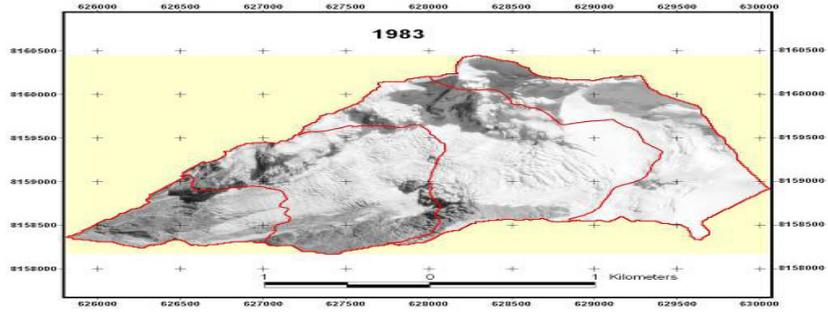


Figura 11. Cobertura del glaciar Illimani para el año 1983.

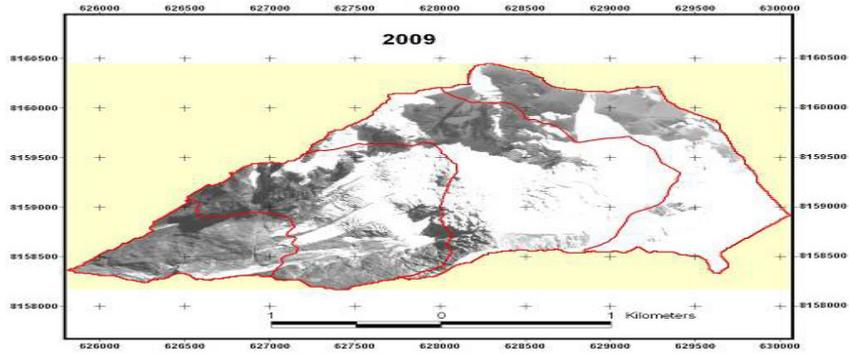


Figura 12. Cobertura del glaciar Illimani para el año 2009.

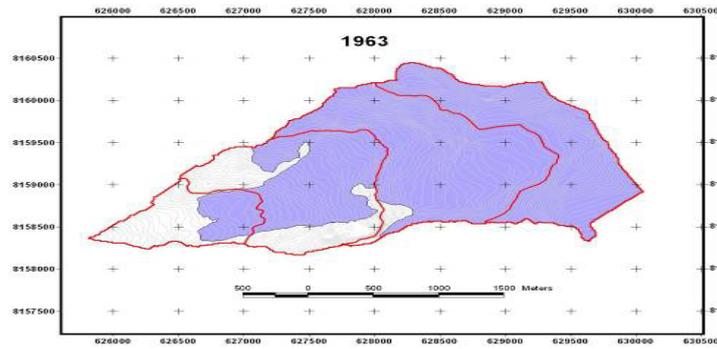


Figura 13. Cobertura del glaciar Illimani para el año 1963.

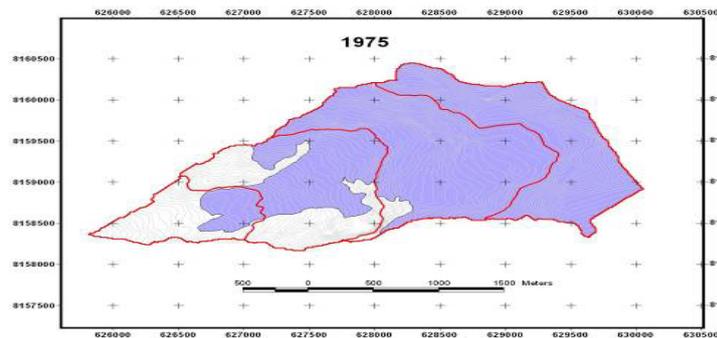


Figura 14. Cobertura del glaciar Illimani para el año 1975.

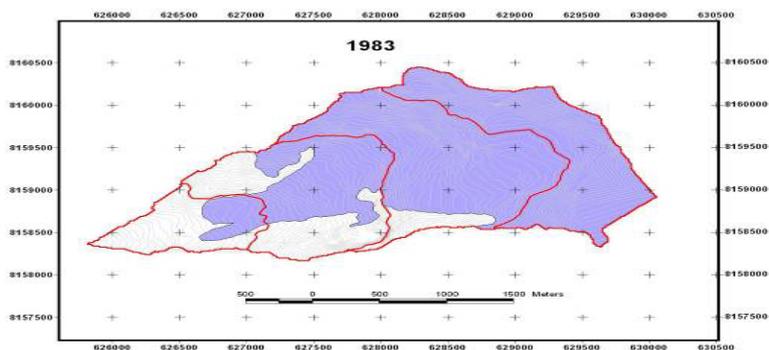


Figura 15. Cobertura del glaciar Illimani para el año 1983.

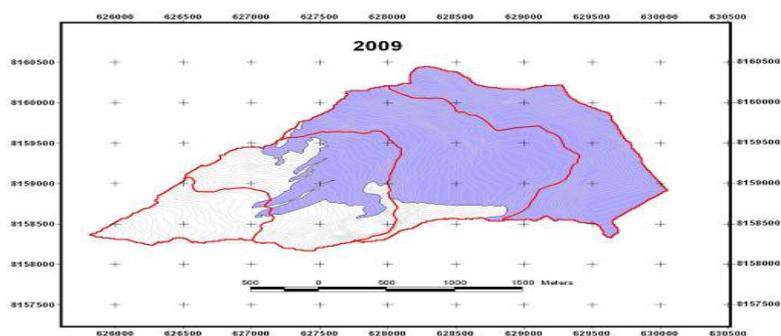


Figura 16. Cobertura del glaciar Illimani para el año 2009.

Tabla 6: Tabulación cruzada entre cuenca y áreas cubiertas de nieve

Fecha	Área con nieve		Área sin nieve	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)
1963	4,34	80,70	1,04	19,30
1975	4,18	77,72	1,20	22,28
1983	4,05	75,31	1,33	24,69
2009	3,71	68,92	1,67	31,08

En la Figura 17 se observa el decaimiento espacio-temporal de la cobertura nival.

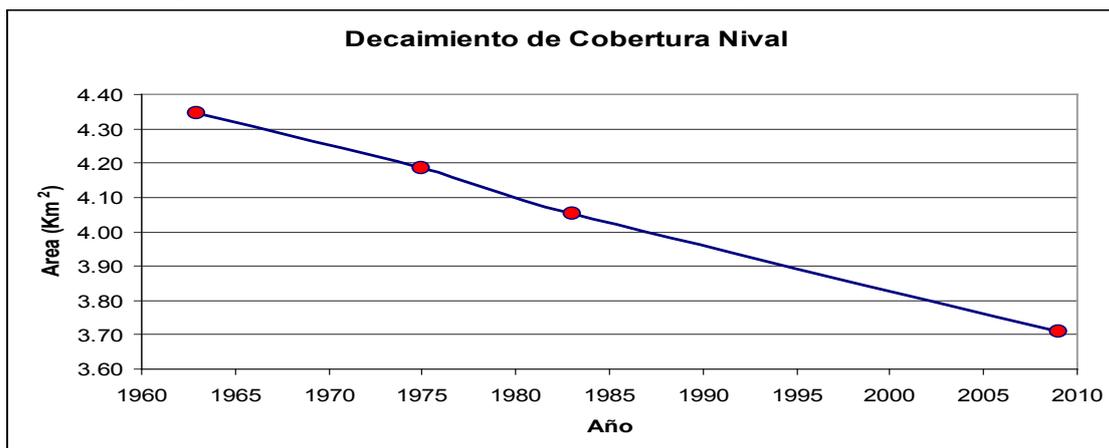


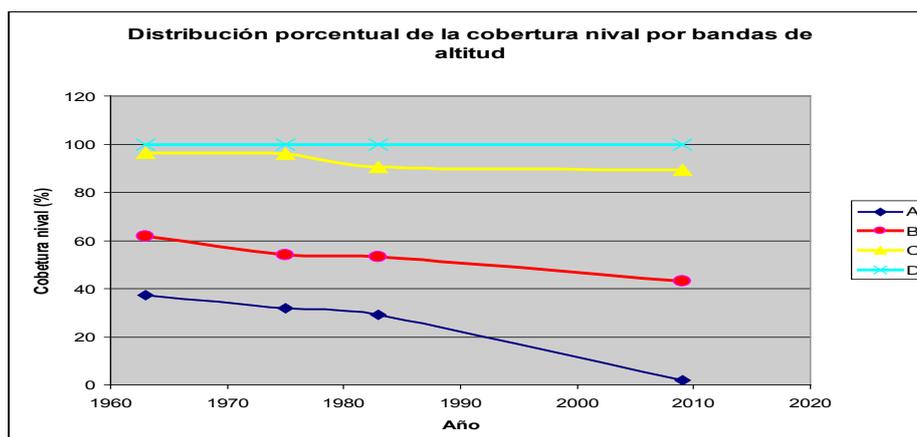
Figura 17: Variación espacial y temporal del área cubierta de nieve

Los Modelos Digitales de Superficie (MDS) obtenidos en formato raster con aproximadamente 10 m de resolución espacial, fueron procesados en función de las 4 zonas por bandas de altitud.

Realizando tabulaciones cruzadas entre los mapas de Cobertura glaciar y el mapa de bandas de altitud se obtuvieron los resultados que se visualizan en la Tabla 7 y la Figura 18.

**Tabla 7. Porcentajes de cobertura nival para cada zona**

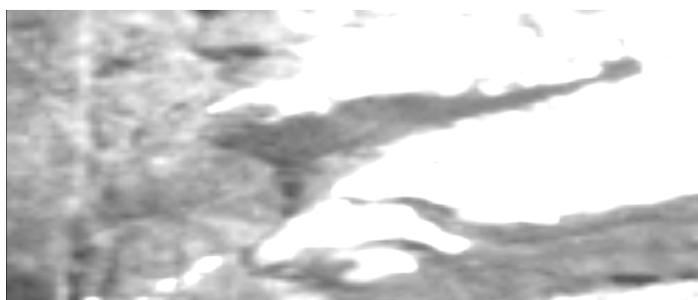
Zona	Rango de Cotas (m)	Altura media (m)	Area Total (Km <sup>2</sup> )	% de Cobertura glaciar por Rango			
				1963	1975	1983	2009
A	4433-4932	4682.5	0.641	37.20	31.68	29.20	1.97
B	4932-5431	5181.5	1.495	61.84	53.90	53.30	43.20
C	5431-5930	5680.5	1.858	96.43	96.10	90.45	89.46
D	5930-6428	6179.0	1.390	100.00	100.00	100.00	100.00



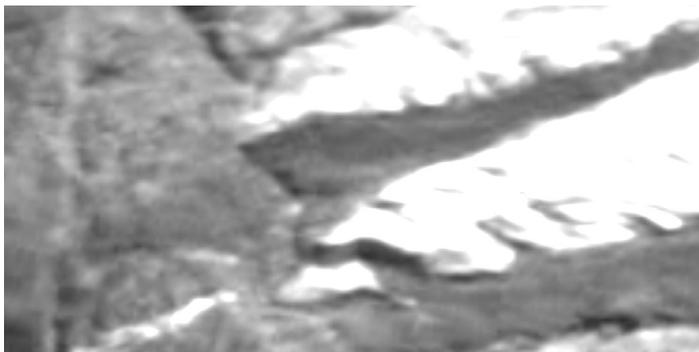
**Figura 18. Variación espacial y temporal de la cobertura nival en cada zona**

### 3.1.2.3 Pérdidas volumétricas

En base al análisis de los modelos stereo-fotogramétricos se ha realizado una cuantificación de las pérdidas volumétricas del glaciar. Para ello se tomaron como referencia dos modelos correspondientes a los años 2007 y 2009. Las figuras 16 y 17 muestran los frentes glaciares para el periodo seleccionado. Los modelos muestran que en el último periodo la proporción de retroceso del frente glaciar es de 10 a 12m por año. Así mismo, la pérdida en espesor sobre la zona de ablación o pérdida es de 2 a 3m por año. Las figuras 19 a 21 muestran la proporción de pérdida más significativa en los frentes glaciares donde se puede apreciar la posición del glaciar en el 2007 y en el 2009.



**Figura 19. Frente del glaciar Illimani en 2007**



**Figura 20. Frente del glaciar Illimani en 2009**



**Figura 21. Posiciones del glaciar entre 2007 y 2009**

Los análisis hipsométricos y volumétricos comprueban indiscutiblemente la rápida retracción del glaciar estudiado que afectará de manera contundente a la actividad dependiente de él.

#### **3.1.2.4 Determinación del balance de masa para la cuenca de estudio**

El aspecto importante en el análisis del comportamiento glaciológico es la determinación de la tasa de pérdida de masa expresada en términos de lámina de agua. Esta proporción es más comúnmente denominada balance de masa.

Al no poderse determinar el balance de masa a través de los métodos convencionales: hidrológico y glaciológico; el método más adaptado es el geodésico. Este método se constituye en una herramienta precisa que ha demostrado su eficiencia en estudios glaciológicos realizados en otros glaciares.

El método geodésico funciona de forma análoga al método glaciológico en el cual se deben medir variaciones de espesor entre dos fechas utilizando estacas o balizas de observación. La gran ventaja de método geodésico es que se pueden reconstruir estas variaciones de espesor para periodos de décadas atrás, gracias a la información proporcionada por fotografías aéreas históricas. A diferencia de la utilización de imágenes satelitales convencionales, las fotografías aéreas al tener un traslape entre sí de fotografía a fotografía, éstas permiten obtener modelos digitales de superficie a partir de los cuales se pueden calcular diferencias volumétricas y lo que es más importante en glaciología las variaciones de espesor.

Las restitutiones fotogramétricas han permitido la reconstrucción de límites de los glaciares considerados. Los contornos de las extensiones glaciares para los años 1963, 1975, 1983 y 2009 se muestran en la Figura 22 sobrepuestos al mosaico fotográfico restituído del vuelo de 2009. En la misma figura se muestran los ejes de los perfiles longitudinales (A, B, C, D, E y F) utilizados para la medición de las pérdidas de espesor entre los diferentes años para las lenguas glaciares representativas de la cuenca. Del análisis realizado se observa que la pérdida de superficie glaciar para el periodo analizado no es uniforme, siendo que en algunos casos los frentes glaciares han mantenido una conformación similar entre 1963 a 1983 (A, B, D y E), mientras que otros glaciares (C y F) han sufrido pérdidas notables en el mismo periodo (20 años). Sin embargo es en el periodo 1983 a 2009 (26 años) en que el derretimiento fue más acentuado para todos los glaciares analizados.

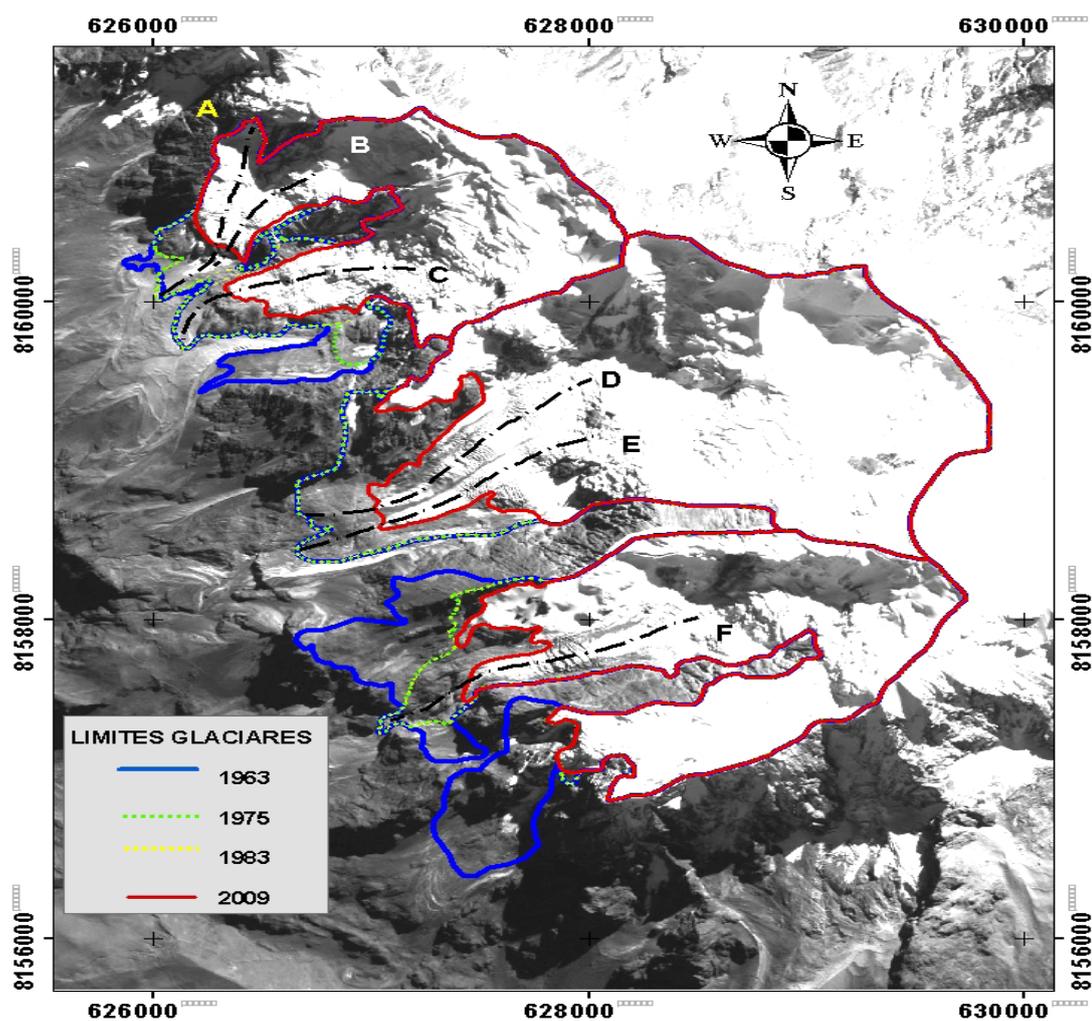


Figura 22: Límites de los glaciares de la cuenca Illimani para los años: 1963, 1975, 1983 y 2009. Los ejes de los perfiles longitudinales se muestran en trazo discontinuo (línea negra).

**Tabla 8. Pérdidas de espesor de los glaciares de la cuenca de estudio**

PERIODO	Pérdidas de espesor por perfil (m)					
	A	B	C	D	E	F
1963-1975	0.37	0.18	3.19	14.00	8.06	13.71
1975-1983	1.14	1.58	3.67	1.09	9.77	3.93
1983-2009	2.04	11.26	17.61	9.70	11.15	17.96
<b>TOTAL</b>	<b>3.55</b>	<b>13.01</b>	<b>24.47</b>	<b>24.79</b>	<b>28.98</b>	<b>35.61</b>

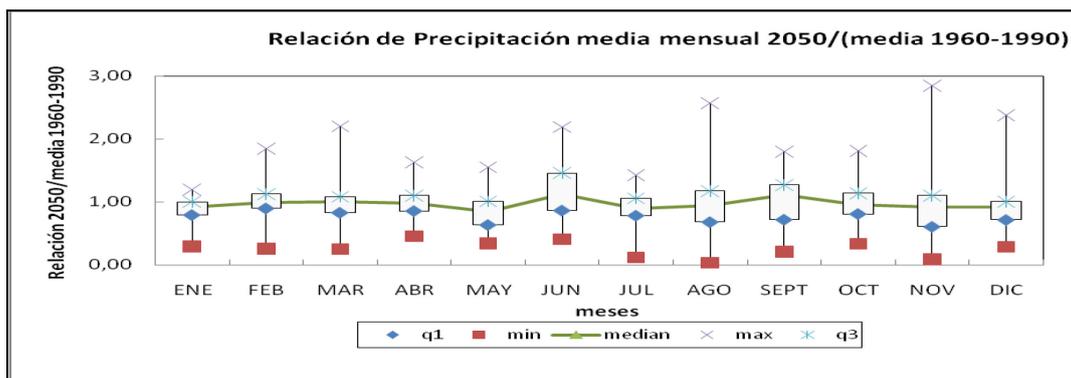
En base a los perfiles seleccionados se percibe que las pérdidas de espesor (1963 -2009) fluctúan desde 3.5m hasta 35.6 m lo que muestra, al igual que en el caso las superficies, que estos valores pueden estar fuertemente influenciados por las características morfométricas de cada uno de los glaciares. Uno de los factores que afecta notablemente es la orientación y el nivel de sombra que puede recibir el glaciar, lo cual afectará las tasas de derretimiento de forma significativa.

A diferencia de otros glaciares tropicales en los que se observa un notable quiebre en las tendencias de derretimiento desde mediados de los años 70 e inicios de los 80, los glaciares del Nevado Illimani mas bien presentan una tendencia homogénea. Este efecto puede deberse posiblemente a la altitud del mismo nevado (6300 msnm) y a la todavía representativa área de recarga con la que cuentan los glaciares. Los glaciares del nevado se encuentran en un relativo equilibrio, sin embargo se advierte una fuerte posibilidad de que esto cambie debido al rápido incremento que se vienen observando en las temperaturas y en el cambio de los patrones de precipitación actuales.

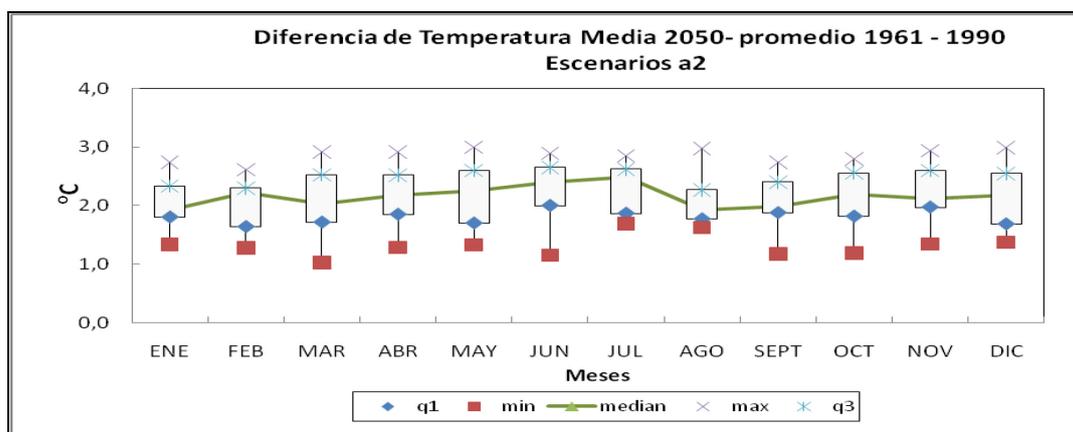
El reporte completo de esta actividad se encuentra en Anexo 1.

### 3.1.3 Validación de series climáticas

Al presente se ha obtenido la información generada por 22 Modelos de Circulación General para la zona donde se encuentra la cuenca de estudio. Se obtuvo el ensamble de los 22 MCG's para la zona de estudio, el cual registró los cambios en la temperatura y precipitación para 2050. Dicho ensamble permitió identificar las tendencias regionales de temperatura y precipitación. Los ensambles de modelos MCG permiten distinguir, mediante un diagrama de dispersión, los cambios esperados en temperatura y precipitación entre diversos modelos y con ello se facilita la identificación de los valores de cambio en el clima con mayor probabilidad de ocurrencia. Los resultados para el escenario A2 (pesimista) se presentan en las Figuras 23 y 24.



**Figura 23. Ensamblaje de 22 Modelos de Circulación General para la relación de precipitación promedio mensual esperada para el 2050 y el promedio 1960-1990**



**Figura 24. Ensamblaje de 22 Modelos de Circulación General para la diferencia de temperatura promedio mensual esperada para el 2050 menos el promedio 1960-1990**

Las Figuras 23 y 24 permiten apreciar que aunque algunos MCG presentan valores extremos, la variabilidad entre Modelos es poca en relación a la dispersión, o sea que la mayor parte de los MCG's coinciden en sus proyecciones. También se aprecia mayor dispersión entre modelos para la precipitación esperada que para el incremento de temperatura. En relación a la precipitación se percibía una cierta tendencia a recibir menor precipitación en el 2050 durante los meses de primavera e inicio de verano pero sin una clara significancia. En el caso de la temperatura, las proyecciones para la zona coinciden en incrementos del orden de 2°C con mayores incrementos en invierno que en verano. Dado que los MCG's presentan un nivel de resolución muy grueso, en la última fase del proyecto se concluyó con el trabajo de downscaling, cuyo reporte se presenta en anexo 6.

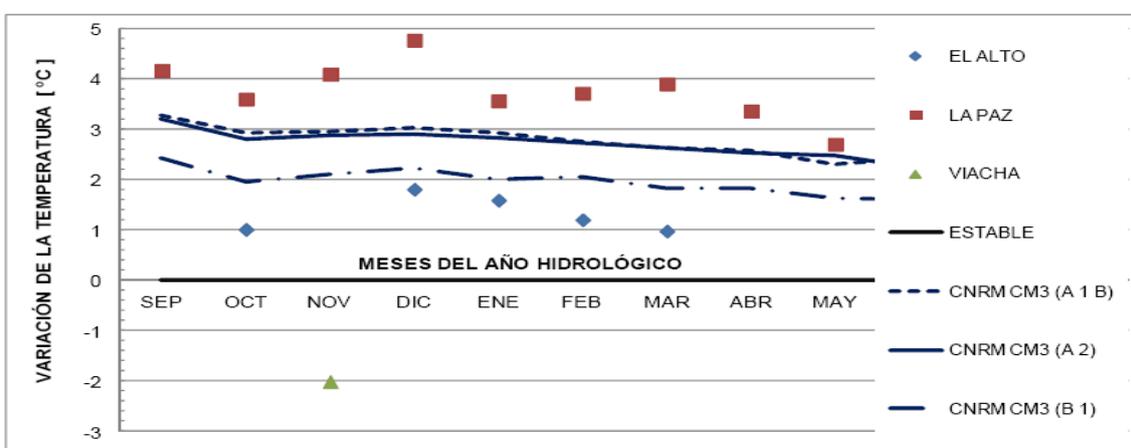
En el mismo se han evaluado los siguientes escenarios proyectados por las simulaciones de modelos de circulación general (GCMs), disponibles en la página web del IPCC, para las precipitaciones y temperaturas medias a nivel mensual y anual:

- INGV ECHAM4, CNRM CM3 y NIES MIROC 32m (Resolución: 10 minutos = 16.66 km. Downscaling estadístico: CRU CL 2.0. Escenarios: A1B, A2, B1)
- CNRM CM3.1 (Resolución: 0.50 grados = 50 km. Downscaling estadístico: WCRP CMIP3. Escenarios: A1B, A2, B1)

- ECHAM4 (Resolución: 0.25 grados = 25 Km. Downscaling estadístico: WCRP CMIP3. Escenario A2)

### Temperatura media mensual

La figura 25 muestra el análisis combinado de escenarios de cambio climático para temperatura media a nivel mensual de los GCM's contra las proyecciones de las tendencias regionales en estaciones representativas. Se puede ver claramente el efecto isla de calor en la estación de La Paz que para todos los meses las tendencias muestran incremento o aumento de la temperatura fuerte en varios meses. En la estación de El Alto las tendencias significativas positivas son más leves que para el caso de La Paz. Si bien en magnitud los valores que se muestran son diferentes entre GCM CNRM CM3 y proyección de tendencias, varios de los meses coinciden en cuanto al signo de variación de temperatura media y la forma de la curva media mensual.

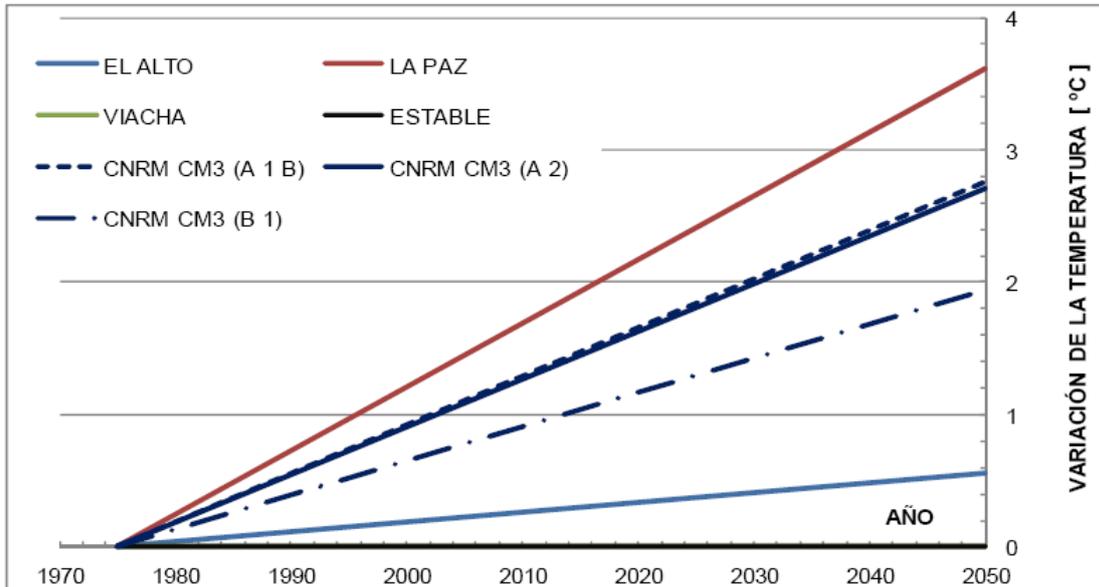


Variación de temperatura media mensual [°C] (2040-2060) respecto a (1960-1990), datos del Downscaling estadístico WCRP CMIP3 (0.5° ó 50 km) del CNRM CM 3 y de tendencias de temperatura media mensual con significancia leve, media y/o fuerte (1975-2009)

**Figura 25. (Fuente: Espinoza, D., 2011, elaboración en base a salidas de simulaciones de los GCM's y análisis de tendencias regionales)**

### Temperatura media anual

La figura 26 muestra el análisis combinado de escenarios de cambio climático para temperatura media a nivel anual de GCM's contra las proyecciones de las tendencias regionales en estaciones representativas o con significancia, en este caso contra la tendencia en La Paz y El Alto. Se puede ver que para el caso de La Paz la temperatura esperada está muy por encima de los escenarios simulados por el CNRM CM3 y ECHAM4, mientras que la temperatura en El Alto esperada a 2050 está muy por debajo de los escenarios simulados por los GCM's.

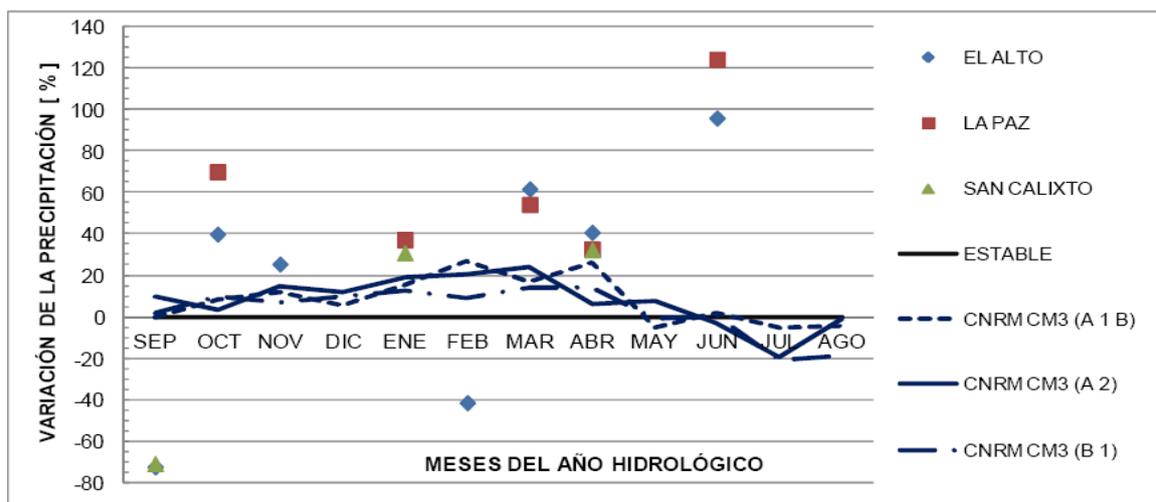


Variación de temperatura media anual [°C] (2040-2060) respecto a (1960-1990), datos del Downscaling estadístico **WCRP CMIP3** (0.5° ó 50 km) del **CNRM CM3** y proyección de tendencias de temperatura media mensual con significancia leve, media y/o fuerte (1975-2009)

**Figura 26. (Fuente: Espinoza, D., 2011, elaboración en base a salidas de simulaciones de los GCM's y análisis de tendencias regionales)**

#### *Precipitación mensual*

La figura 27 muestra el análisis combinado de escenarios de cambio climático para *precipitaciones a nivel mensual* de GCM's contra las proyecciones de las tendencias regionales en estaciones representativas. Se puede ver que en varios meses hay por lo menos 2 estaciones con tendencias positivas (aumento de lluvia en octubre, enero, marzo, abril, junio). Para otros meses las estaciones no detectan cambios significativos o solamente una estación capta una tendencia significativa. Si bien en magnitud los valores que se muestran son diferentes entre GCM CNRM CM3 y proyección de tendencias, varios de los meses coinciden en cuanto al signo de variación de lluvia, es decir, presentan ambos un incremento de lluvias.

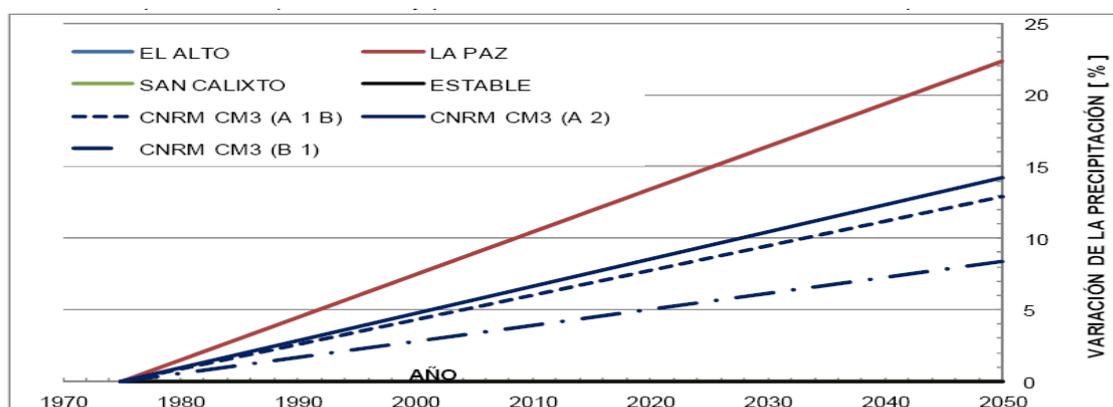


Variación de precipitación mensual [°C] (2040-2060) respecto a (1960-1990), datos del Downscaling estadístico WCRP CMIP3 (0.5° ó 50 km) del CNRM CM3 y proyección de tendencias de temperatura media mensual con significancia leve, media y/o fuerte (1946-2009)

**Figura 27. (Fuente: Espinoza, D., 2011, elaboración en base a salidas de simulaciones de los GCM's y análisis de tendencias regionales)**

#### Precipitación anual

La figura 28 muestra el análisis combinado de escenarios de cambio climático para precipitaciones a nivel anual de GCM's contra las proyecciones de las tendencias regionales en estaciones representativas o con significancia, en este caso solamente contra la tendencia en La Paz. Se puede ver que está muy por encima de los escenarios simulados por el CNRM CM3.



Variación de precipitación anual [°C] (2040-2060) respecto a (1960-1990), datos del Downscaling estadístico WCRP CMIP3 (0.5° ó 50 km) del CNRM CM3 y proyección de tendencias de temperatura media mensual con significancia leve, media y/o fuerte (1946-2009)

**Figura 28. (Fuente: Espinoza, D., 2011, elaboración en base a salidas de simulaciones de los GCM's y análisis de tendencias regionales)**

En base al análisis combinado de escenarios de cambio climático y análisis de tendencias climáticas, se ha establecido que el modelo francés CNRM CM3 con downscaling estadístico WCRP CMIP3 con resolución de 50 km x 50 km presenta proyecciones consistentes y factibles respecto a las tendencias en estaciones meteorológicas de la región.

Cabe mencionar que las salidas de temperatura media del modelo **CNRM CM3** (WCRP CMIP3), presenta algunas diferencias en algunos meses entre los diferentes escenarios de hasta 1.0°C entre uno y otro escenario. Las diferencias pueden deberse a varios factores internos del modelo GCM o a las técnicas de downscaling estadístico. Es relevante rescatar la similitud en el comportamiento de las tendencias de temperatura media anual de la estación La Paz (central) y las proyecciones del **CNRM CM3** (WCRP CMIP3) para el escenario (A1B) a pesar de que el valor anual esperado está 0.8°C por encima de las simulaciones de los GCM's.

El escenario **B1** para el IPCC (2007) supone una convergencia entre un incremento sostenido de la población llegando a un pico a mediados de siglo que luego va descendiendo, donde se aplican soluciones a escala global para un desarrollo económico y social sostenible, empleando tecnologías limpias y eficientes en el manejo de recursos. Si bien este escenario ante el estado actual de las negociaciones internacionales parece no muy probable, para fines de investigación y generación de estrategias de adaptación, el proyecto toma este escenario del modelo **CNRM CM3** (WCRP CMIP3) como el escenario con las variaciones de precipitación anual más consistentes al análisis de tendencias en estaciones regionales.

Por otro lado, el escenario **A1B**, para el IPCC (2007) supone el mismo crecimiento poblacional que el B1 pero está orientado hacia el mercado, donde la tecnología empleada se encuentra en equilibrio entre el uso de energía fósil y no fósil. Como en el caso del escenario B1, si bien éste no es muy probable en el marco de las negociaciones, se ha definido el escenario **A1B** del modelo **CNRM CM3** (WCRP CMIP3) como el escenario probable más húmedo entre los demás escenarios, tanto para precipitación como para temperaturas.

No existen evidencias sustentables tanto en los GCM como en tendencias para plantear un escenario muy seco, por lo que se lo ha descartado. Sin embargo, podría considerarse la probabilidad de que se presente un escenario altamente seco, al reducir la cobertura del glacial.

La tabla 8 resume los escenarios adoptados para la zona de estudio.

**Tabla 8. Escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura media para la zona de estudio en base a las salidas de los GCM's CNRM**

	ESCENARIOS DE MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL	
	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA MEDIA
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	CNRM CM3 (B1) (WCRP CMIP3)	CNRM CM3 (B1) (WCRP CMIP3)
	CNRM CM3 (A 1 B) (WCRP CMIP3)	CNRM CM3 (A 1 B) (WCRP CMIP3)

(Fuente: Espinoza D., 2011c)

Se ha calculado la variación mensual y anual de las proyecciones de las variables precipitación y temperatura media sobre 75 años del GCM CNRM3 (WCRP CM3), es decir 1975 a 2050 (2040-2060 respecto a 1960-1990), para los diferentes escenarios adoptados (tablas x y x), usando una interpolación lineal, debido a que no se conoce la evolución temporal de estas variaciones. Las tablas 9 y 10 muestran las variaciones intermensuales de temperatura media y precipitación para los escenarios de cambio climático, proyectadas al 2050 respecto a 1975 (1960-1990).

Tablas 9 y 10 respectivamente.

Variación mensual y anual de la precipitación [%] para 2050 respecto a (1960-1990) según las salidas de los GCM's para los escenarios de cambio climático

ESCEANRIO DEL GCM IPCC	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	AÑO HIDRO
CNRM CM3 (B 1)	2.1	9.9	6.9	10.0	12.3	8.7	13.6	14.1	-1.1	0.7	-21.1	-18.9	8.4
CNRM CM3 (A 1 B)	-0.4	7.9	11.7	5.4	15.2	26.6	16.7	26.0	-5.5	1.7	-5.2	-4.7	12.9

(Fuente: Espinoza D., 2011c)

Variación mensual y anual de la temperatura media [°C] para 2050 respecto a (1960-1990) según las salidas de los GCM's para los escenarios de cambio climático

ESCEANRIO DEL GCM IPCC	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	AÑO HIDRO
CNRM CM3 (B 1)	2.4	2.0	2.1	2.2	2.0	2.1	1.8	1.8	1.6	1.6	1.7	2.0	1.9
CNRM CM3 (A 1 B)	3.3	2.9	2.9	3.0	2.9	2.8	2.6	2.6	2.3	2.4	2.4	3.0	2.8

(Fuente: Espinoza D., 2011c)

Como se explicó anteriormente, el escenario probable con las variaciones de precipitación anual más consistentes al análisis de tendencias en estaciones regionales es el **B1**. A nivel anual se proyecta un incremento hasta **1.9 °C** y un incremento de lluvias a nivel anual hasta del 16% para el año 2050 respecto al periodo 1960-1990. A nivel mensual proyecta los incrementos en temperatura más bajos: para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, abril los incrementos están entre **1.5** y **2.0 °C**; para septiembre se tiene incrementos hasta **2.9 °C**; para marzo, junio y julio los incrementos son de **1.3 °C**. Además, proyecta incrementos de lluvia a nivel mensual, para los meses entre octubre y junio varían entre 10 y 25%, y para los meses de julio, agosto y septiembre se tienen decrementos entre 10% y 30%.

Para los escenarios A1B y A2 se proyectan incrementos en temperatura de hasta 2.5 °C a nivel anual, también un incremento en las lluvias del 15% en el escenario A2 y hasta 21% en el escenario A1B. A nivel mensual, los incrementos para escenarios **A1B** y **A2** para el año **2050** varían entre **2.0** y **3.5°C**, con incrementos máximos en los meses de septiembre y agosto, y los más bajos en marzo, mayo, junio y julio.

### 3.1.4 Modelo hidrológico calibrado y validado

En el marco del Proyecto Illimani se ha considerado la implementación de una red de observación hidrometeorológica a fin de cuantificar los aportes glaciares mediante el método de Balance Hidrológico. Si bien el método de Balance Glaciológico resulta ser un método más discreto, gracias a la medición del balance por rangos altitudinales del glaciar, la gran dificultad en la accesibilidad del glaciar vuelve al método muy costoso, riesgoso y prácticamente inaplicable.

Considerando que se cuenta con una valiosa información proveniente de la interpretación de los testigos de hielo extraídos de la cumbre del Nevado Illimani (Ramirez 2003), se ha considerado pertinente estudiar la misma cuenca glaciar de influencia del sitio de perforación.

---

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*

Para tal efecto se ha realizado la instalación de dos estaciones meteorológicas completas y automáticas una en la parte alta de la cuenca (cercana al nevado) y la segunda en la parte baja del glaciar. Este tipo de configuración ha permitido analizar principalmente los gradientes tanto de temperatura como de precipitación. Los sitios elegidos para la instalación de dichas estaciones fueron las comunidades de “Pinaya” y “La Granja”. Estas estaciones complementaron su información micrometeorológica y topoclimática con las estaciones meteorológicas instaladas en las comunidades de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca que han sido usadas primeramente para la evaluación agrícola pero que proporcionaron información importante para la caracterización de la cuenca. Por otra parte a fin de poder cuantificar el “Balance Hidrológico” y determinar los reales aportes del glaciar por el proceso de fusión, se consideró la instalación de una estación hidrométrica en la parte alta de la cuenca en un sitio lo más próximo al glaciar de estudio. Para tal efecto, en base a un primer reconocimiento de campo, se identificó que el sitio más idóneo era aquel situado en el punto denominado “Puente Roto”, sitio cercano al área utilizada como campamento base para los Andinistas que inician el ascenso al nevado Illimani. Sin embargo, por problemas sociales no se continuó con el funcionamiento de la mencionada estación sino que se realizaron mediciones de los caudales en un tramo inferior, en la comunidad conocida como Jlancha.

### Oferta Histórica de Agua

Conociendo la importancia que tiene el recurso hídrico para el desarrollo de las comunidades de estudio, se pretendió conocer de forma retrospectiva las condiciones en la oferta de agua dentro de la microcuenca. A continuación se detallan los resultados del estudio realizado por Espinoza D. y Fuchs, P. (2011a):

Dentro de la cuenca del río Sajhuaya, se definieron subcuencas hidrológicas estableciendo una diferencia entre las que tienen cobertura nival y las que no. En la figura 29 se muestra la red de drenaje, puntos de aforo y los límites de las subcuencas determinadas.

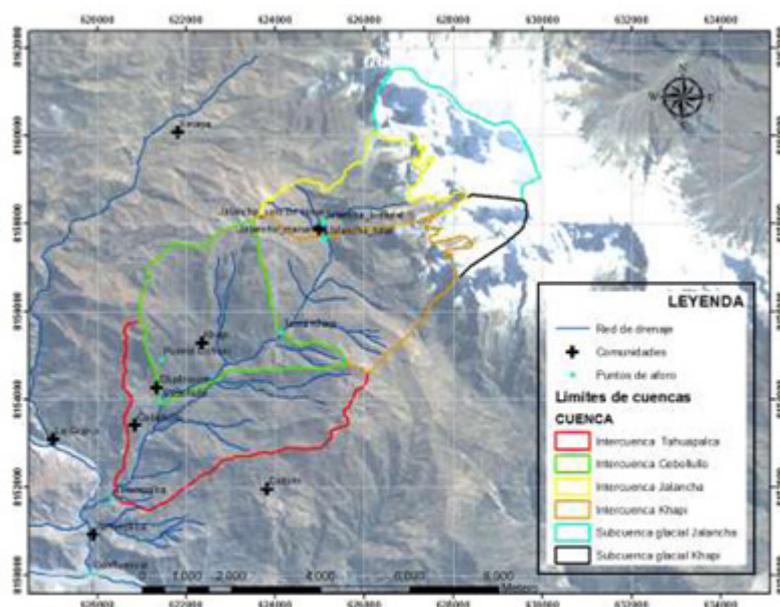


Figura 29. Limite de subcuencas, red de drenaje y estaciones de aforo

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

El estudio se basa en dos modelos: uno glacio-hidrológico (SRM: Snowmelt Runoff Model) y otro hidrológico de precipitación-escorrentía (CHAC-SIMULA), que simulan la variación experimentada por el caudal de las subcuencas en función de los cambios climáticos estacionales.

Estos modelos requieren de datos hidro-meteorológicos como ser: temperatura media, precipitación (lluvia), humedad relativa, insolación, velocidad del viento, evaporación en tanque y aforos o caudales.

Se ha estimado la meteorología recreando series sintéticas a nivel mensual para el periodo 1975- 2009 de temperaturas y precipitación considerando la variación altitudinal, debido a la importancia del gradiente altitudinal de la cuenca entre los 6300 y 2500 m.s.n.m. Para esto se utilizaron datos meteorológicos de estaciones regionales con series observadas sobre periodos largos, que han pasado un filtro de consistencia regional y se han rellenado y corregido algunos meses.

Los resultados han estimado que para el periodo 1975-2009, la temperatura media anual varía desde 17.4°C (a 2724 m.s.n.m.) hasta -7.7°C (a 6120 m.s.n.m.); mientras que la lluvia anual varía entre 402 mm (a 2724 m.s.n.m) y 823 mm (a 6120 m.s.n.m.).

Debido a problemas de tipo técnico-sociales (ver segundo cuadro del punto 7. *Experiencias, dificultades y observaciones del equipo técnico*), la estación hidrométrica instalada en la comunidad de Jalancha no pudo ser utilizada para obtener los datos hidrológicos necesarios para estimar la variación de caudal en la cuenca. Sin embargo, los técnicos del proyecto tomaron observaciones puntuales de caudal o de registros de aforos en ocho puntos de la cuenca, Figura 29) que sirvieron de referencia para su comparación con caudales simulados.

Para poder calibrar los modelos, a falta de mediciones hidrométricas en la cuenca de estudio, se utilizaron 3 cuencas de apoyo con estudios previos y que tienen mediciones de caudales. Para las subcuencas con cobertura glaciar (Jalancha y Khapi), se utilizaron las cuencas del Huayna Potosí y Zongo. Para las subcuencas intermedias sin cobertura glacial, se utilizó la cuenca del río Palca.

Para la modelación hidro-glaciológica, debido al amplio gradiente altitudinal entre el punto más alto y el punto de salida de la cuenca, aprox. 4000 metros, se ha discretizado la cuenca de estudio en subcuencas e intercuencas que tengan un gradiente altitudinal de aprox. 500 metros de elevación, estableciendo zonas altitudinales (Figura 30 y 31); solo las zonas E, F G y H presentan cobertura glacial o nival.

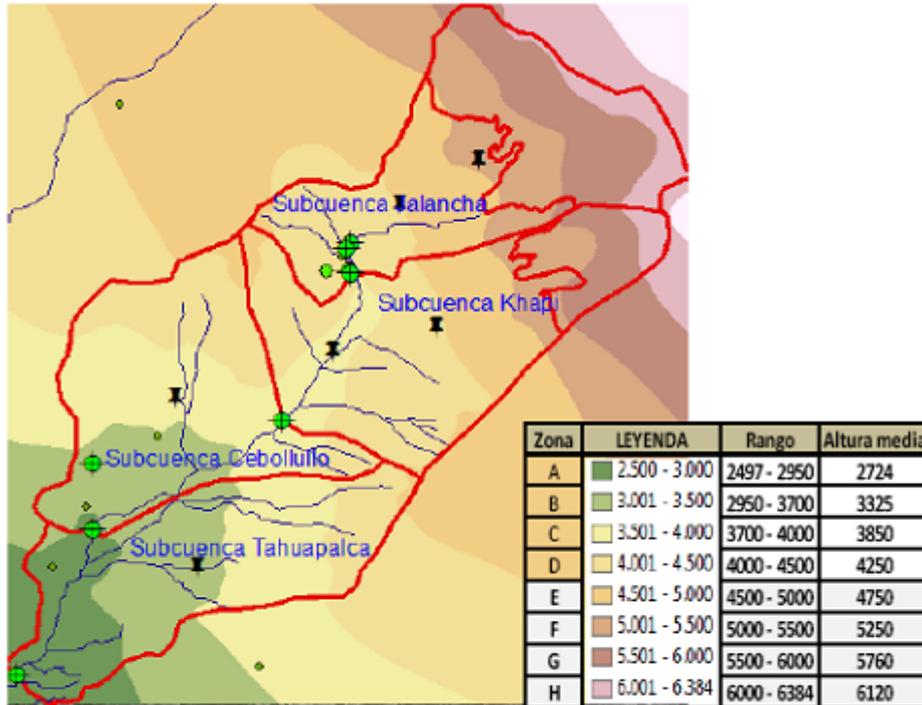


Figura 30. Rangos altitudinales o zonas de elevación en la cuenca del Río Sajhuaya

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

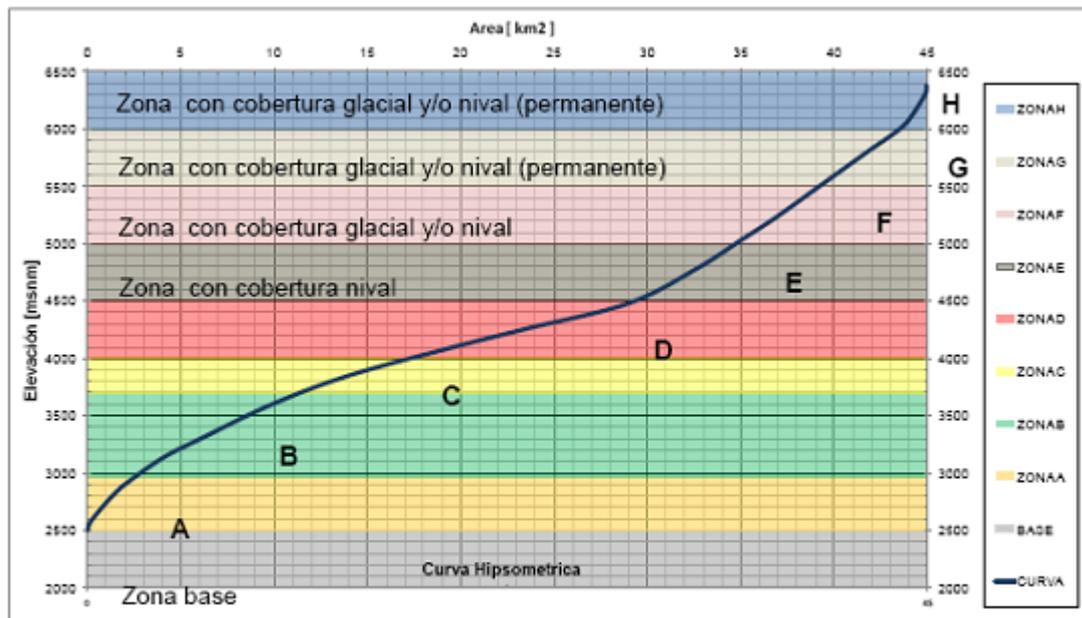
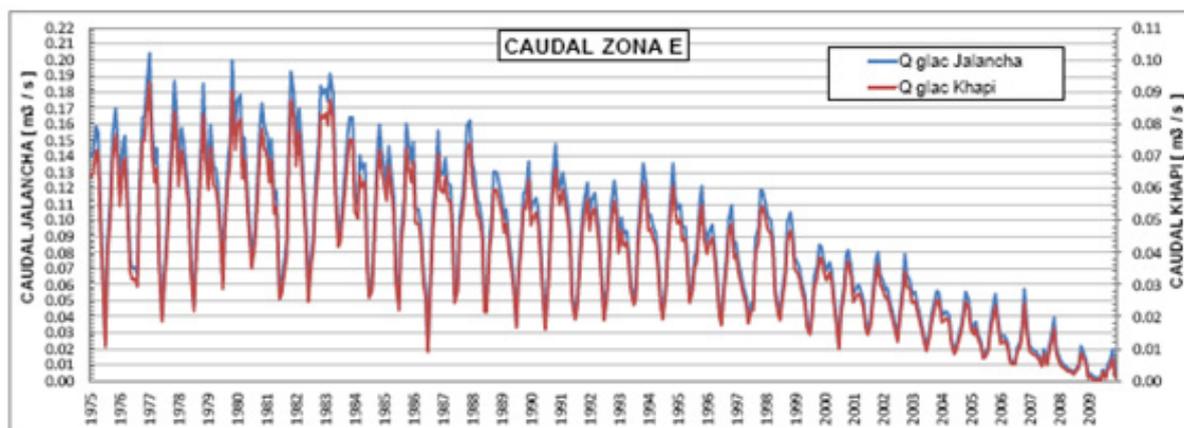


Figura 31. Curva hipsométrica de la cuenca del río Sajhuaya

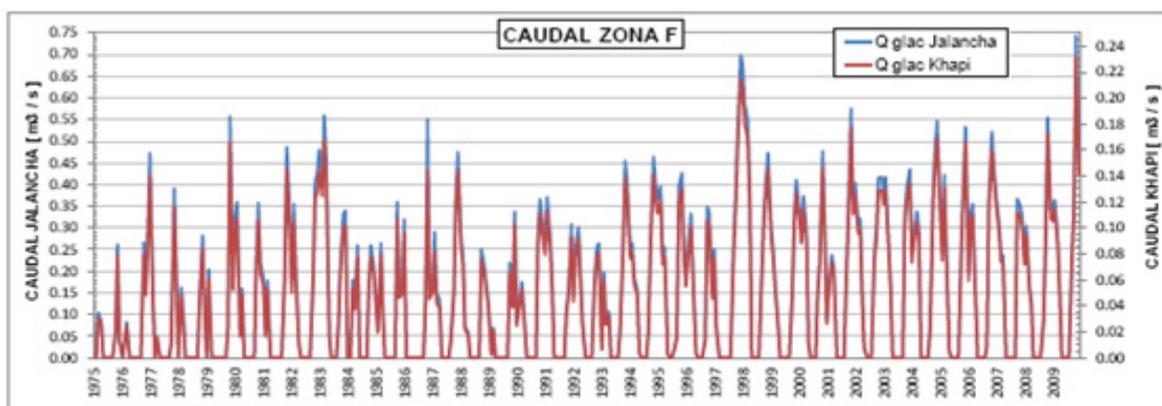
(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

Los resultados de la simulación hidro-glaciológica muestran que la zona más baja con presencia de nieve, la zona E (5250 m.s.n.m.) presenta una reducción importante en su aporte al caudal en las últimas décadas, como consecuencia de una menor superficie de nieve (Figura

32). En la zona F (5250 m.s.n.m.) se tienen temperaturas sobre y bajo el umbral de la temperatura crítica que define si se tiene lluvia o nieve, y si la nieve se acumula o se derrite; se observa un ligero aumento del escurrimiento en esta zona durante las últimas décadas como consecuencia de un incremento en las temperaturas (Figura 33).



**Figura 32.** Caudal simulado en las Zona E (4750 m.s.n.m) en las subcuencas Jalancha y Khapi  
(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

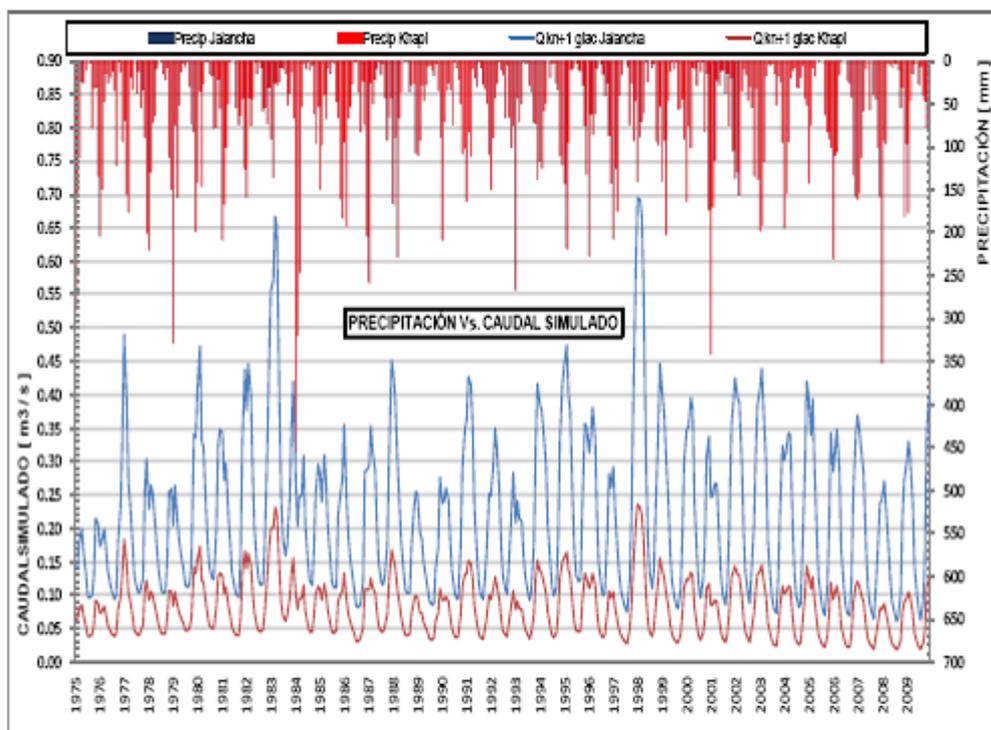


**Figura 33.** Caudal simulado en las Zona F (5250 m.s.n.m) en las subcuencas Jalancha y Khapi  
(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

En las Zonas G (5760 m.s.n.m.) y H (6120 m.s.n.m.) las temperaturas inter-mensuales están por debajo de la temperatura crítica por lo que a nivel mensual solo se tiene acumulación de nieve (ocurre fusión de hielo o nieve para temperaturas superiores a la temperatura crítica).

La figura 34 permite apreciar la variación intermensual y la variabilidad interanual en el periodo 1975-2009 de las cuencas glaciares de Jalancha y Khapi y comparar el comportamiento de caudales simulados contra el de la precipitación de entrada. La respuesta a la fusión y escurrimiento directo es mayor en Jalancha respecto a Khapi. Además, puede apreciarse que el comportamiento de las cuencas glaciares respecto al de una cuenca hidrológica natural sin cobertura glacial o nival es diferente, los picos en caudales no corresponden a los picos de precipitación, porque la temperatura crítica hace que se produzca nieve, favoreciendo la recarga del glacial (almacenamiento) y no así al escurrimiento. Por el contrario los mayores

escurrimientos por aporte del glaciar, se producen en años relativamente secos 82-83 y 96-97 debido a las condiciones meteorológicas, influenciadas y favorecidas probablemente por la baja nubosidad y por la alta radiación que se produce en la cuenca glacial.



**Figura 34**  
Evaluación del comportamiento de cuencas glaciares simuladas, precipitación vs. caudales (1975-2009)

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

Se puede observar también que en general el pico del caudal por aporte del glaciar tiene un adelantamiento de un mes (desplazamiento). Los meses de estiaje (junio, julio y agosto) en las subcuencas glaciares de Jalancha y Khapi reciben aportes de la fusión del glaciar (ablación), vertientes y manantiales. Esto implica que los caudales mínimos tienen un retardo produciéndose estos entre los meses de julio y agosto o septiembre dependiendo el año.

La figura 35 muestra los resultados de la simulación hidrológica en las subcuencas intermedias de Jalancha, Khapi, Cebollullo y Tahuapalca.. Estos hidrogramas permiten mostrar la variación intermensual, y la variabilidad interanual (1975-2009). Las series del periodo 1975-2009 incluyen años muy secos, que en algunos casos (1982-83, 1988-89, 1993-94, 1997-98 y 2004-2005) coinciden con episodios ENSO (El Niño Oscilación Sur), mientras que se presentan años muy húmedos los años 1978-79, 1983-84, 2000-01 y 2007-2008. Todos los hidrogramas muestran correspondencia con la distribución temporal de los hietogramas, lo que implica que el escurrimiento responde directamente a la precipitación.

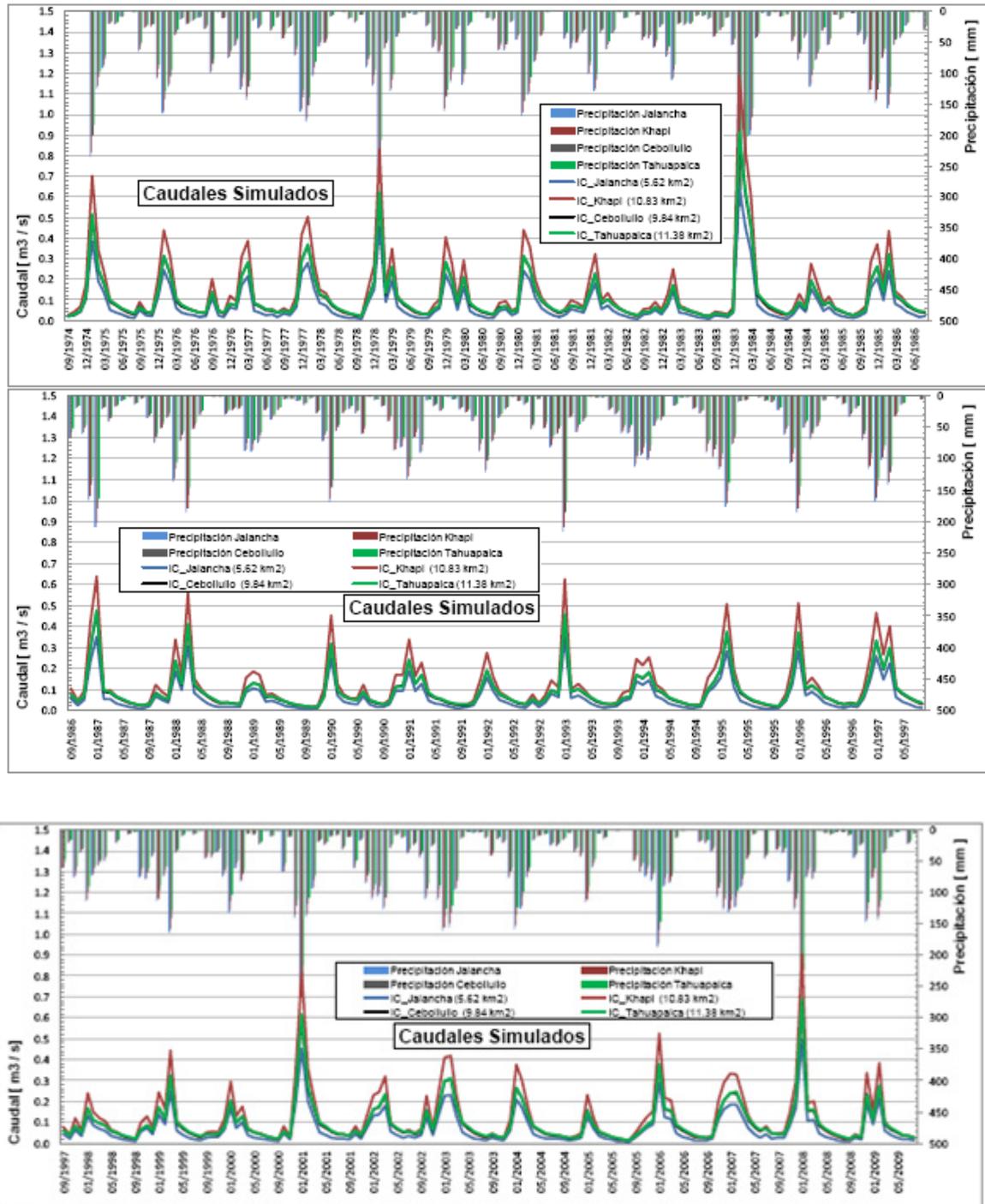


Figura 35. Hidrograma y hietogramas mensuales por subcuencas intermedias del río Sajhuaya (1975-2009)

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

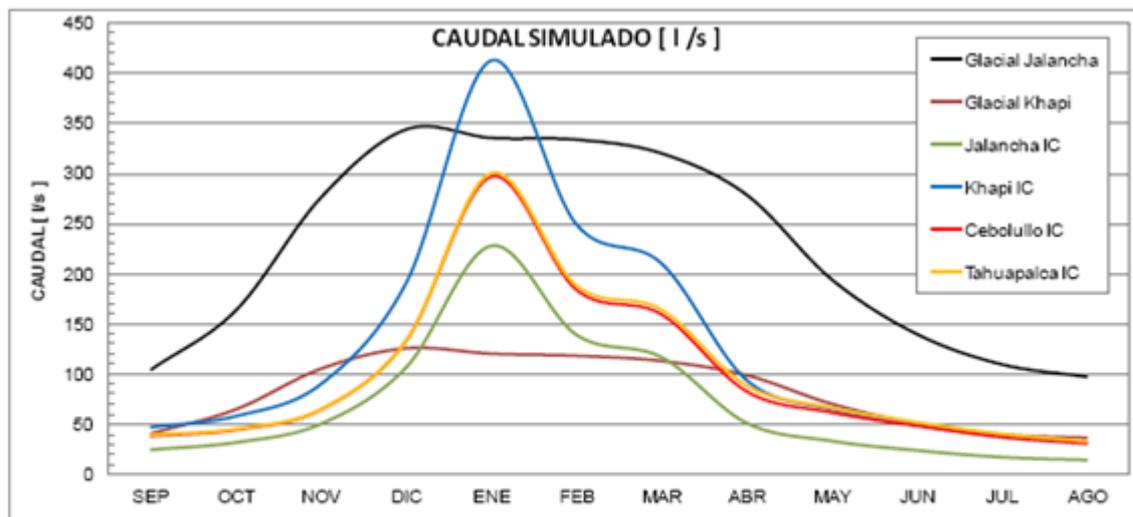
Los valores medios mensuales de caudales simulados para el periodo 1975-2009, en las subcuencas glaciales y no glaciales intermedias, se resumen en la tabla 11 y la figura 36.

**Tabla 11. Caudales medios mensuales simulados [l/s] (1975-2009) (subcuencas de estudio)**

Subcuenca	TIPO	AREA [Km <sup>2</sup> ]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Glacial Jalancha	SC-C	6.32	335	334	320	279	194	140	109	97	104	164	276	344	225
Glacial Khapi	SC-C	2.24	121	118	113	99	70	50	39	36	40	65	105	126	82
Jalancha IC	IC	5.62	228	139	117	51	33	23	17	14	24	31	50	106	69
Jalancha SC	SC	11.94	563	473	437	330	227	163	126	111	128	195	326	450	294
Khapi IC	IC	10.83	412	249	210	94	65	49	37	31	47	58	90	191	128
Khapi SC	SC	25.01	1096	840	760	522	362	263	202	177	215	317	522	767	504
Cebollullo IC	IC	9.84	296	184	159	83	62	48	37	31	38	44	65	133	98
Cebollullo SC	SC	34.85	1393	1024	919	605	423	311	240	208	253	362	586	900	602
Tahuapalca IC	IC	11.38	300	188	164	88	66	51	40	32	39	45	64	133	101
Tahuapalca SC	SC	46.23	1693	1212	1083	693	489	362	279	240	292	406	651	1033	703

Nota: SCC=subcuenca Cabecera, IC=subcuenca intermedia y SC=subcuenca total

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)



Nota: Subcuencas glaciares = Cabecera y IC=subcuenca intermedia

**Figura 36. Hidrograma medio mensual simulado (1975-2009) [l/s] (subcuencas de estudio)**

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

Es evidente la diferencia entre los hidrogramas de cuencas hidrológicas y las cuencas con cobertura glacial. El glacial amortigua el pico y la recesión del escurrimiento. El pico de los hidrogramas se produce en enero salvo en las cuencas glaciares de Jalancha y Khapi, que se produce en diciembre. Los caudales mínimos se producen en agosto. Los hidrogramas de las subcuencas Jalancha y Khapi, cubiertas por glaciares y a altitudes medias de 5680 m.s.n.m. son más achatados (amortiguados) que los hidrogramas de las intercuenas de estudio sin cobertura glacial ni nival, que se encuentran a altitudes medias entre 4662 m.s.n.m. (Jalancha), 4384 m.s.n.m. (Khapi), 3827 m.s.n.m. (Cebollullo) y 3412 m.s.n.m. (Tahuapalca).

Se tiene una oferta anual de agua por subcuencas del río Sajhuaya resumidas en la siguiente tabla:

**Tabla 12. Resumen de oferta de agua anual en las subcuencas del Río Sajhuaya (1975-2009)**

Subcuenca	TIPO	AREA	CAUDAL		Lamina Escurrimiento	Caudal Especifico	Precipitación	Coefficiente de escurrimiento	Potencial Hídrico
		[ Km2 ]	[ m3/s ]	[ l/s ]	[ mm ]	[ l/s-km2 ]	[ mm ]	[ mm/mm ]	[ hm3 ]
Glacial Jalancha	SC-C	6.32	0.22	225	1118	35.56	741	1.51	7.1
Glacial Khapi	SC-C	2.24	0.08	82	1149	36.54	729	1.58	2.6
Jalancha IC	IC	5.62	0.07	69	388	15.45	619	0.63	2.2
Jalancha SC	SC	11.94	0.29	294	775	24.64	684	1.13	9.2
Khapi IC	IC	10.83	0.13	128	371	14.47	599	0.62	4.0
Khapi SC	SC	25.01	0.50	504	633	20.14	651	0.97	15.8
Cebollullo IC	IC	9.84	0.10	98	314	12.08	530	0.59	3.1
Cebollullo SC	SC	34.85	0.60	602	543	17.28	617	0.88	18.9
Tahuapalca IC	IC	11.38	0.10	101	278	10.68	485	0.57	3.2
Tahuapalca SC	SC	46.23	0.70	703	478	15.20	584	0.82	22.1

Nota: SCC=subcuenca Cabecera, IC=subcuenca intermedia y SC=subcuenca total

Cobertura glacial en Jalancha y Khapi de 92 y 91% respectivamente

(Fuente: Espinoza, D. y Fuchs, P.; 2011a)

Se observa que la oferta de agua aumenta en las comunidades, a medida que éstas se encuentran en altitudes más bajas.

El reporte completo sobre esta actividad se encuentra en el Anexo 3.

#### 3.1.4.1 Instalación de la estación meteorológica “Pinaya”

En base a un acuerdo realizado con los representantes de la Comunidad “Pinaya” y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), se ha establecido la instalación de la Estación Meteorológica “Pinaya” la cual pasa a formar parte de la Red Nacional. La estación meteorológica pertenece a la marca HOBO ([http://www.onsetcomp.com/products/weather\\_stations](http://www.onsetcomp.com/products/weather_stations)). La configuración estándar permite obtener la medición de las siguientes variables de Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa, Radiación solar y Dirección y velocidad de viento

La Figura 37 muestra la Estación Pinaya, la cual opera desde Diciembre del 2009 hasta la fecha.



**Figura 37. Estación meteorológica instalada en Pinaya**

La segunda estación situada en la parte baja de la cuenca fue instalada en la Comunidad La Granja. Esta estación comprende la misma configuración Standard de la estación Pinaya, que opera desde junio de 2010. Las estaciones de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca funcionan desde septiembre de 2009, completando la información requerida para caracterizar la cuenca y continuarán durante los próximos dos años con el fin de contar con información sólida a futuro.

Al presente, las estaciones de Pinaya y La Granja están siendo administradas en forma conjunta con SENAMHI bajo un convenio de transferencia que ha sido adecuadamente formalizado (Anexo 4).

#### **3.1.4.2 Aplicación de técnicas hidrogeológicas para determinación de caudales**

Ante la necesidad de conocer los aportes del glaciar sobre el sistema de escurrimiento en la cuenca, se han buscado métodos alternativos para poder realizar esta estimación. Es así que se ha considerado además incorporar un componente hidrogeológico, que a pesar de no haber sido propuesto originalmente, se ha tomado en cuenta para el presente estudio debido a una importante presencia de humedales de altura (bofedales) identificados en el área de estudio.

Para la elaboración de este componente se ha trabajado en el marco de un acuerdo de cooperación entre el Instituto de Hidráulica e Hidrología (Bolivia), la Universidad de Calgary (Canadá) y la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca (Bolivia). Este estudio fue realizado además en el marco de la tesis de Maestría del Ing. Hugo Soliz Flores quien forma parte del personal del Proyecto Illimani y cuya sustentación se ha llevado adelante en 2011.

Para el caso específico de los bofedales y la hidroglaciología, este componente de estudio pretende responder a los siguientes cuestionamientos: ¿Cuánta agua se almacena en los bofedales del Illimani?, ¿Cuál es el tiempo de residencia?, ¿Cuál es el aporte de este caudal al ciclo hidrológico?, ¿Se puede predecir la sostenibilidad del bofedal?, ¿Cuánto volumen de esta agua proviene del deshielo?, ¿Es el bofedal quien regula el caudal, o todo proviene del deshielo? ¿Es posible su explotación?, ¿Cuánto de este volumen necesitan ahora las comunidades glaciales para su abastecimiento, y por cuánto tiempo? ¿Se podrá predecir la recarga?

Aunque el enfoque de este estudio está orientado a la hidrogeología de bofedales, la relación que guardan éstos con los glaciares y su comportamiento debido al cambio climático son tópicos de mucho interés por la comunidad científica que busca otras soluciones/recursos y estrategias para hacer frente a los fenómenos climáticos y que pueden ayudar a validar relaciones hidrológicas para describir la dinámica del glaciar. Dado que este estudio cuenta con información desde 2009, su procesamiento permitirá extrapolar los resultados hacia la estimación del caudal superficial de la cuenca, generado por el glaciar.

##### **a) Bases teóricas para el estudio hidrogeológico**

El trabajo consiste en evaluar el movimiento de agua en los bofedales de altura de la cuenca. El término de “humedales de altura” ó bofedales se refiere a una amplia variedad de hábitats interiores, identificados como áreas que se inundan temporariamente, donde la napa freática aflora en la superficie o en suelos de baja permeabilidad cubiertos por agua poco profunda. Todos los humedales comparten una propiedad primordial: el agua juega un rol fundamental en el ecosistema, en la determinación de la estructura y las funciones ecológicas del humedal, y dependen casi exclusivamente del aporte del glaciar. Es así que se pretende cuantificar la

capacidad de almacenamiento y caudal aportante al bofedal del nevado Illimani y de éste al sistema hidrológico de la cuenca.

Para llevar adelante el estudio se llevaron adelante las siguientes acciones:

1. Delimitación y delineación del sistema subterráneo: ítem que comprende a la geometría del bofedal litológica mediante perfilaje de pozos, mapeo geológico y levantamientos geofísicos, etc.
2. Caracterización de materiales geológicos; como porosidad, permeabilidad, conductividad hidráulica, también caracterización de elementos, minerales, todo esto mediante ensayos de pozos y laboratorio de suelos.
3. Evaluación de las entradas y salidas al sistema; caudal, precipitación, evapotranspiración, infiltración, etc. Todo esto mediante estaciones hidrometeorológicas, piezométricas. Con esto se ha logrado evaluar (cuantificar y cualificar) el recurso hídrico subterráneo y su interrelación con el sistema hidrológico.
4. Estimación del tiempo de residencia, mediante física (flujo darciano).
5. Estimación de la equivalencia en relación a los flujos superficiales en función a las características intrínsecas de la cuenca.

Adicionalmente y como datos de importancia para estudios adicionales, con el análisis y procesamiento de los datos se podría llegar a realizar y generar otros resultados de importancia relevante como ser:

- Aporte al conocimiento sobre Balance hídrico de bofedales, a partir de modelos conceptuales.
- Evaluación de la recarga y descripción de zonas de recarga y descarga.
- Con los modelos conceptuales, se pueden incorporar modelos numéricos, simulación y análisis de comportamientos futuros.

#### **b) Estimación de la recarga**

Recarga es la adición ó ingreso de agua a la zona saturada (Figura 38); su medición directa es sumamente complicada. De los numerosos métodos de estimación, los más populares son:

- Método del Flujo Base
- Método del Balance Hídrico
- Método del Hidrograma de Pozo

#### **c) Ubicación geográfica del bofedal estudiado**

El bofedal de estudio se encuentra al Este de la ciudad de La Paz, aproximadamente 5 horas de viaje y una distancia estimada de 45 km; el bofedal se encuentra a una altura promedio de 4500 msnm en la cabecera de la cuenca de estudio del Proyecto Illimani (Figura 38).



Texture	Average specific yield	Coefficient of variation (%)	Minimum specific yield	Maximum specific yield	Number of determinations
Clay	0.02	59	0.0	0.05	15
Silt	0.08	60	0.03	0.19	16
Sandy clay	0.07	44	0.03	0.12	12
Fine sand	0.21	32	0.10	0.28	17
Medium sand	0.26	18	0.15	0.32	17
Coarse sand	0.27	18	0.20	0.35	17
Gravelly sand	0.25	21	0.20	0.35	15
Fine gravel	0.25	18	0.21	0.35	17
Medium gravel	0.23	14	0.13	0.26	14
Coarse gravel	0.22	20	0.12	0.26	13

Las limitaciones de este método tienen que ver con las siguientes interrogantes:

- ¿Son las fluctuaciones del nivel freático debido a la recarga?  
Puesto que puede existir aire encapsulado dentro de los piezómetros, evaporación debida a cambios en la presión barométrica y otros.
- ¿Es confiable la estimación de  $S_y$ ?  
Este valor es representativo de los piezómetros, es decir, los valores del laboratorio son mayores a los del campo.
- ¿Es la tasa de llegada de recarga mayor a la tasa de salida?

Sin embargo cuidando de cumplir estas limitaciones, es posible usar este método por su simplicidad, además que es ampliamente utilizado. Otra ventaja es que esta recarga “puntual” se puede extrapolar y finalmente el método no está restringido por los padrones de flujo.

La metodología sigue el siguiente proceso:

- Selección de pozo(s) , que sean representativos de la zona de estudio
- Uso de “diver” o sondas, o cualquier equipo para la medición del nivel freático, preferiblemente valores diarios.
- Procesamiento y obtención del hidrograma de pozos
- Estimación de  $S_y$ .
- Calculo de la recarga

En el presente caso, se cuenta con los datos de los piezómetros presentados en la tabla 14, de los cuales se utilizaron los piezómetros Pza, Pze, Pzh, Pzi y Pzo, que son los más representativos y que están mejor distribuidos espacialmente.

Tabla 14. Datos obtenidos de piezómetros instalados en el bofedal de estudio

LEYENDA	ISOTOPOS		N ORIGINAL	PERFORACION									
	QMC			16/08/2009	26/08/2009	29-08-09	28-09-09	27-10-09	02-12-09	09-12-09	22-01-10	24-02-10	23-03-10
P01	625280.37	8158820.13	4450.00	1.00	1.00	0.10	0.15	0.00	0.55	0.06	0.05	0.09	0.07
P02	625291.62	8158957.74	4460.50	1.00	1.00	0.10	0.13	0.00	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01
P03	625419.69	8158886.31	4466.50	2.00	2.00	0.20	0.00	0.08	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
P04	625451.64	8158896.47	4468.70	1.40	1.29	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P05	625449.70	8158899.03	4469.20	1.50	1.38	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P06	625410.60	8158852.89	4462.80	5.21	4.66	1.16	0.73	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
P07	625364.93	8158911.59	4464.00	4.95	4.95	0.49	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P08	625359.49	8158923.99	4464.90	2.81	0.28	0.21	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P09	625354.57	8158925.03	4464.00	4.35	4.35	0.00	-0.06	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pza	625477.92	8158731.42	4457.00	5.50	3.09	0.19	0.13	0.00	0.16	0.02	0.10	0.18	0.14
Pzb	625418.28	8158741.80	4457.81	8.81	8.81	4.81	0.09	0.00	0.00	0.00	0.23	0.41	0.30
Pzc	625368.63	8158674.06	4453.75	5.95	5.30	0.58	0.21	0.00	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00
Pzd	625345.26	8158788.57	4457.88	3.83	2.70	0.80	0.16	0.00	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00
Pze	625425.01	8158820.09	4460.60	5.60	5.14	0.32	0.01	-0.07	-0.02	-0.05	0.02	0.04	0.03
Pzf	625347.33	8158876.92	4461.00	4.01	3.27	0.20	0.10	-0.03	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.01
Pzg	625311.07	8158885.26	4459.25	2.90	2.90	0.29	0.01	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Pzh	625208.74	8158888.48	4451.50	3.16	2.82	0.70	0.44	0.17	0.39	0.04	0.39	0.70	0.53
Pzi	625205.12	8158889.07	4451.25	2.93	2.79	0.36	0.27	0.19	0.28	0.03	0.22	0.40	0.30
Pzj	625203.57	8158885.97	4450.00	2.66	1.83	0.49	0.38	0.29	0.37	0.04	0.31	0.56	0.42
Pzk	625281.01	8158824.30	4455.20	5.93	5.93	3.24	0.03	-0.04	-0.01	-0.03	-0.04	-0.07	-0.05
Pzl	625295.73	8158919.66	4459.50	4.79	4.79	0.00	-0.07	0.27	0.24	0.02	0.00	0.00	0.00
Pzm	625244.27	8159098.84	4468.40	1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pzn	625242.55	8159097.47	4468.30	1.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pzo	625156.66	8159101.31	4451.70	3.95	0.15	0.20	0.08	0.61	0.61	0.06	0.19	0.34	0.26
Pzp	625244.92	8159095.74	4468.40	1.00	0.06	0.08	0.12	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Pzq	625244.32	8159095.44	4468.30	1.00	0.10	0.10	0.04	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00
Pzr	625239.47	8159096.39	4468.10	1.00	0.10	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pzs	625135.51	8158886.67	4447.00	1.00	1.00	0.70	0.45	0.35	0.30	0.03	0.00	0.00	0.00
Pzt	625127.38	8158891.42	4446.50	1.00	1.00	0.70	0.44	0.32	0.44	0.04	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia.

Estos datos fueron procesados en función de la Precipitación para obtener la fluctuación diaria mediante métodos estadísticos y se calibraron con los dos meses de datos que han sido medidos con el driver instalado en el bofedal.

Los datos así obtenidos reflejan la fluctuación de la presión ejercida por el agua sobre el data logger; esta presión está influenciada a la vez por la presión atmosférica local. La presión atmosférica local tiene variabilidad tanto horaria como diaria, por lo que se debe realizar un ajuste con datos de presión atmosférica regional, para obtener datos diarios de la fluctuación del nivel freático en metros.

#### d) Hidrogeología del bofedal

A continuación se muestra la fluctuación del nivel freático en función del tiempo, en los primeros 4 meses y en todos los piezómetros y boreholes construidos. Los datos completos (16 meses) de la piezometría se encuentran graficados en las figuras 39 y 40. Esta información es valiosa para cuantificar la dirección y magnitud del flujo subterráneo mediante el cálculo del flujo darciano y así poder cuantificar el caudal, volumen almacenado y otros.

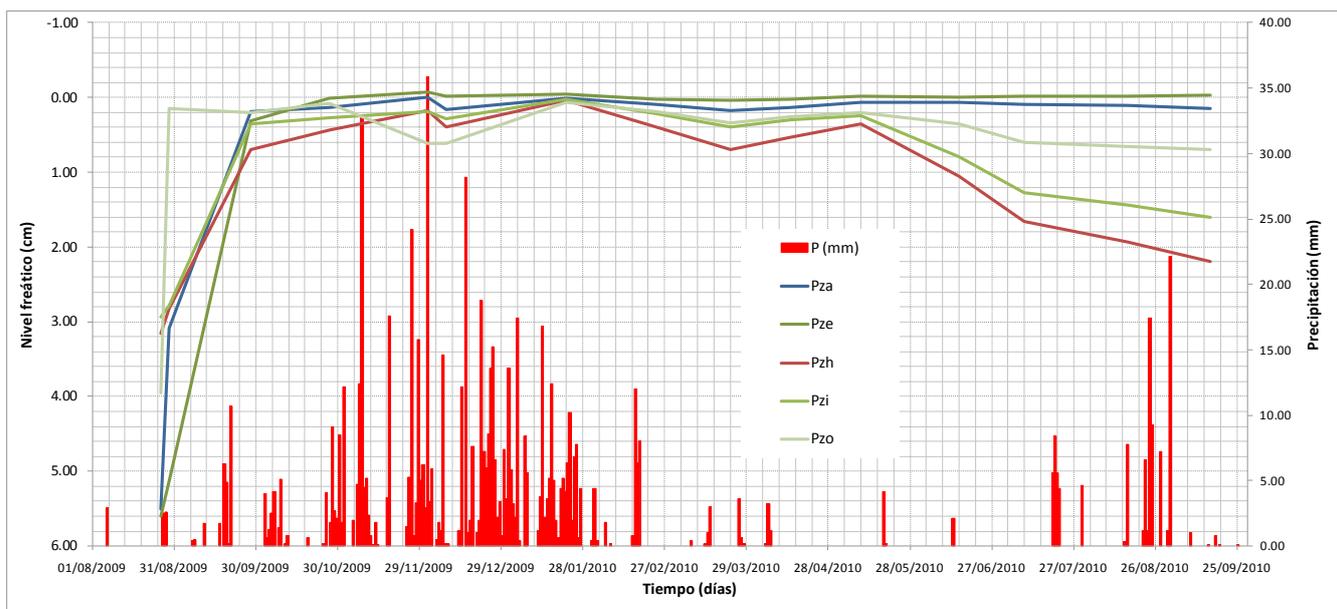


Figura 39. Serie de tiempo de precipitaciones a nivel diario y fluctuaciones del nivel freático a nivel mensual del bofedal del nevado Illimani Fuente: Elaboración propia.

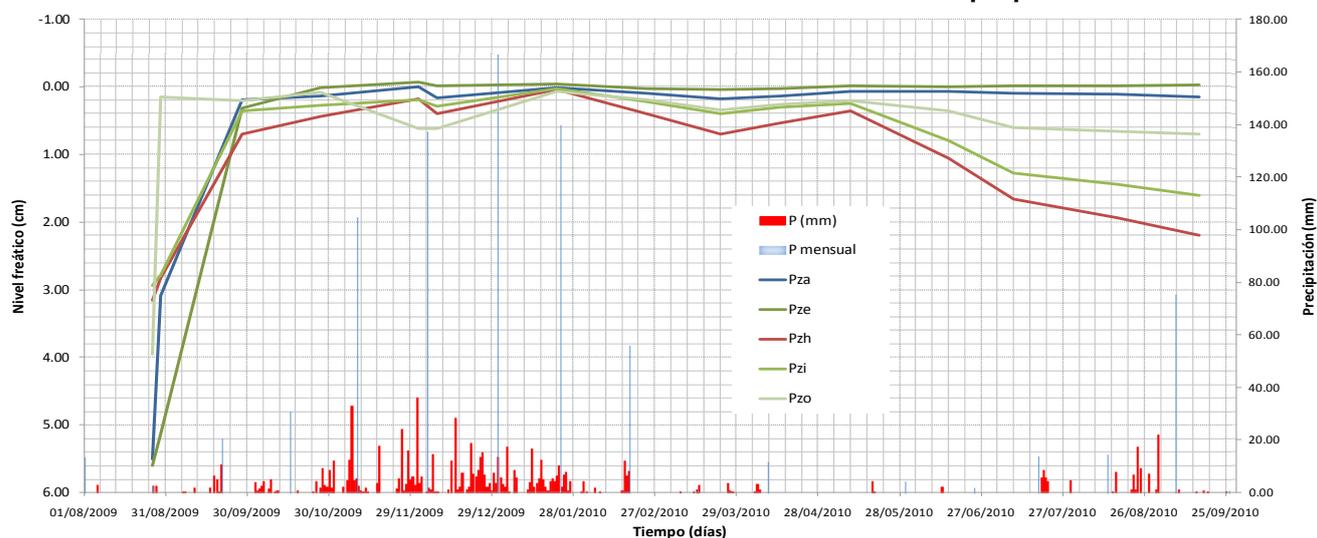
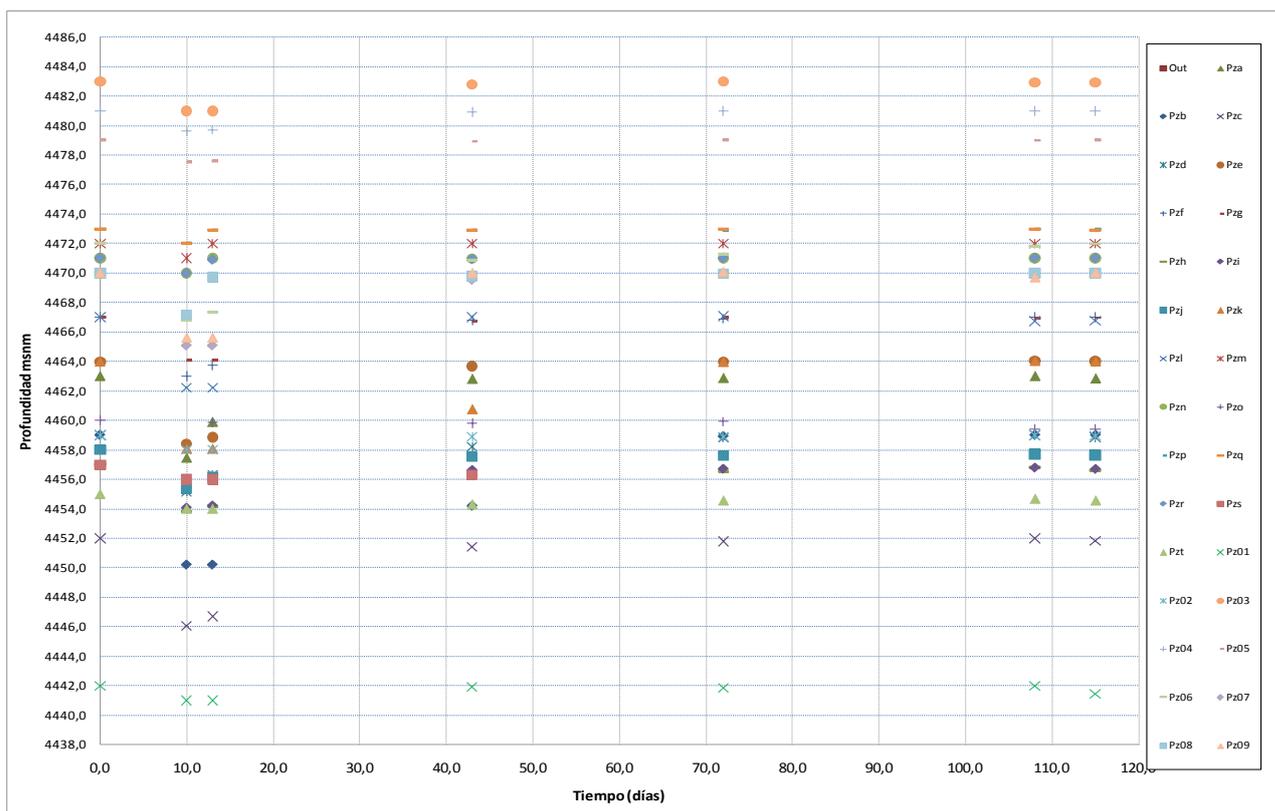


Figura 40. Serie de tiempo de precipitaciones a nivel diario y a total mensual (barras azules) y fluctuaciones del nivel freático a nivel mensual del bofedal del nevado Illimani Fuente: Elaboración propia.



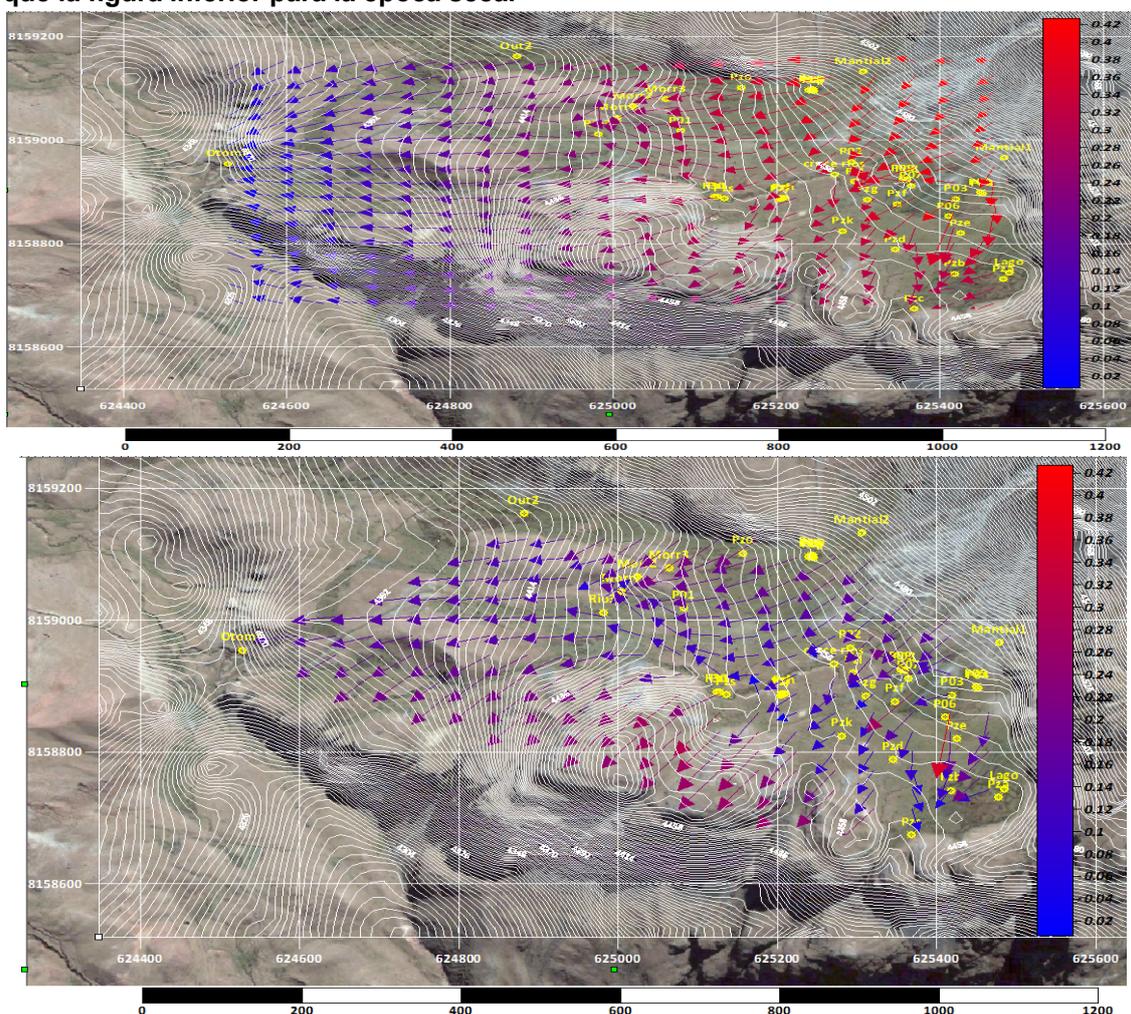
**Figura 41. Fluctuación del nivel freático; el primer punto es la profundidad total del borehole, fuente: elaboración propia.**

Si existe gradiente hidráulico es decir, valor piezométrico mayor a uno menor entonces existe flujo. Llevando esta interpretación a un mapa, se puede reconstruir las líneas de flujo del bofedal como se indican en las figuras 42 y 43 (mapas sin procesar). Las líneas de flujo de estos mapas demuestran que las líneas equipotenciales (mismo potencial hidráulico) del agua subterránea sigue la topografía del terreno; el flujo es paralelo a los ríos en dirección Suroeste y de no ser por la barrera de roca terminarían traspasando hacia la depresión. Con este dato se pueden realizar cortes transversales para calcular el área de influencia y poder calcular el caudal del bofedal según las ecuaciones:

$$Q = A \cdot q ; \quad q = -K \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Donde: **Q**, es el Caudal del bofedal que atraviesa un área transversal **A** con un flujo darciano ("velocidad") **q**. este valor de **q** (ecuación de Darcy) depende de la conductividad hidráulica **K**, y del gradiente hidráulico  $\frac{\Delta h}{\Delta l}$ .

Figuras 42 y 43. Disposición de las líneas de flujo, junto con la escala y magnitud. La figura superior muestra el diagrama de líneas de flujo para la época de lluvias, mientras que la figura inferior para la época seca.



Fuente: elaboración propia

### e) Hidroquímica

El monitoreo de niveles piezométricos se ve complementado con el muestreo hidrogeoquímico realizado al bofedal, para lo cual se levantaron datos de piezómetros escogidos y en manantiales y ríos para observar la influencia o no del escurrimiento superficial al agua subterránea.

En las figuras 44 a 48 se encuentran graficados los parámetros fisicoquímicos (pH, Conductividad eléctrica, CE, temperatura, Oxígeno disuelto en % OD). Los datos de pH y OD obtenidos muestran valores mayores en ríos y menores en pozos aún cuando estos están cercanos al río. Anticipamos valores mucho menores de oxígeno disuelto en pozos al no tener contacto con el medio ambiente exterior, pero son valores que sufren modificación en su magnitud debido a errores de muestreo que posibilitaron ingreso de oxígeno.

Sin embargo en la figura 48 se han descartado los datos de oxígeno obtenido de ríos y manantiales generando el mapa de OD que muestra el bajo contenido de oxígeno disuelto del

bofedal en general. Los datos de temperatura y conductividad eléctrica CE, muestran gráficos similares que muestran valores máximos en la zona este del bofedal, donde debido a la baja pendiente topográfica se forma un lago con mayores temperaturas (piezómetro pza) y conductividades eléctricas.

Por lo mencionado se percibe que la influencia del río, manantiales y cuerpos de agua superficiales al tener valores altos de velocidad de flujo, es baja sobre la formación de los bofedales.

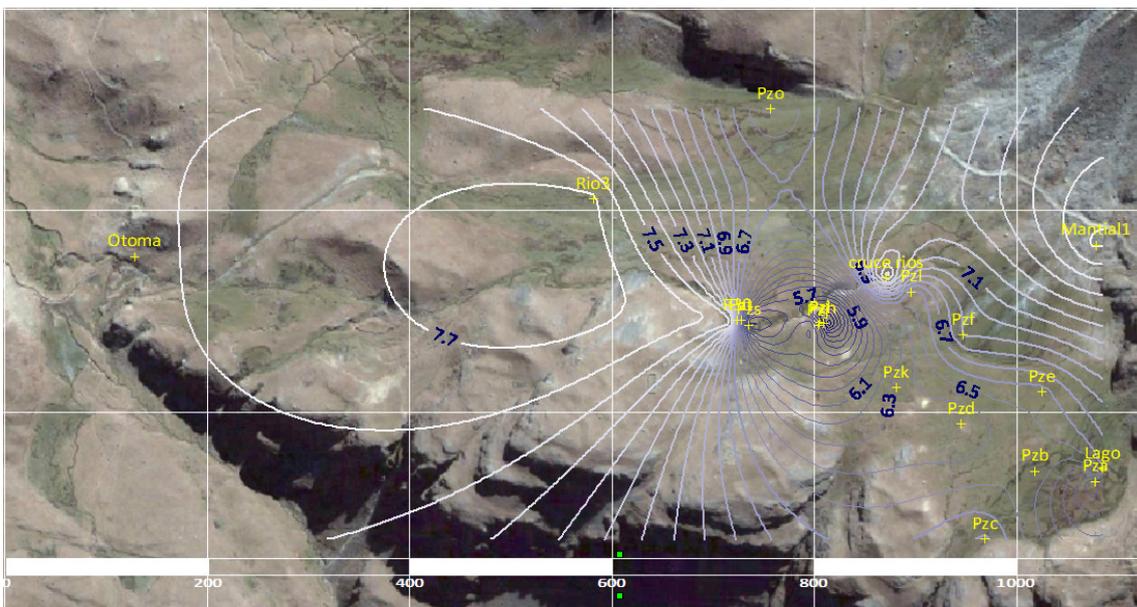


Figura 44. Mapa de isoconcentraciones de pH, la magnitud también se observa en el cambio de color de líneas.

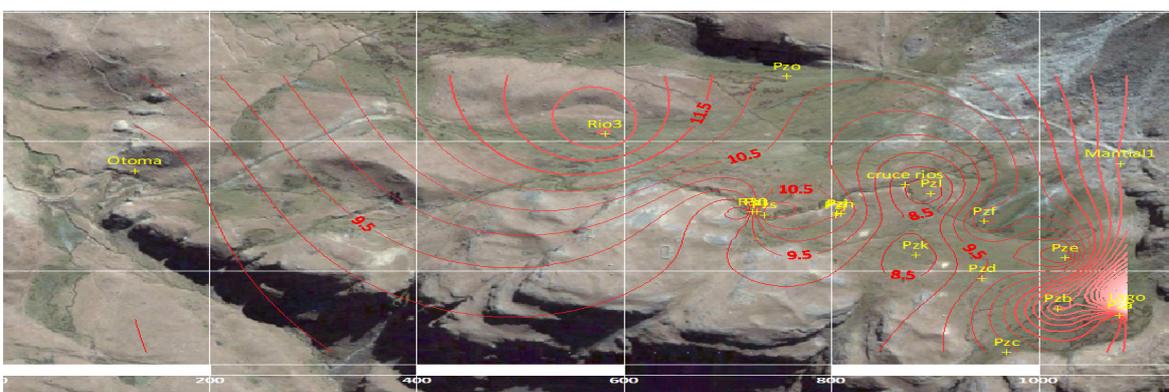
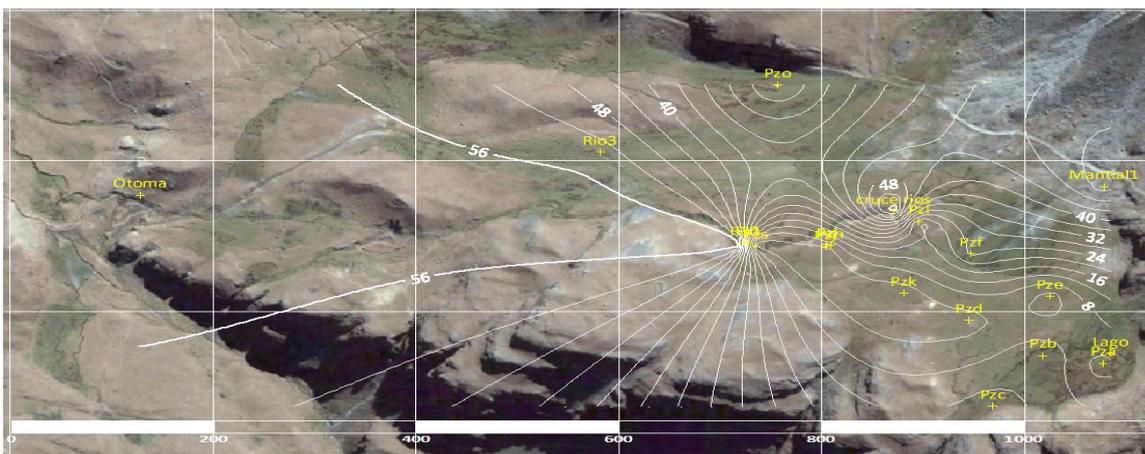
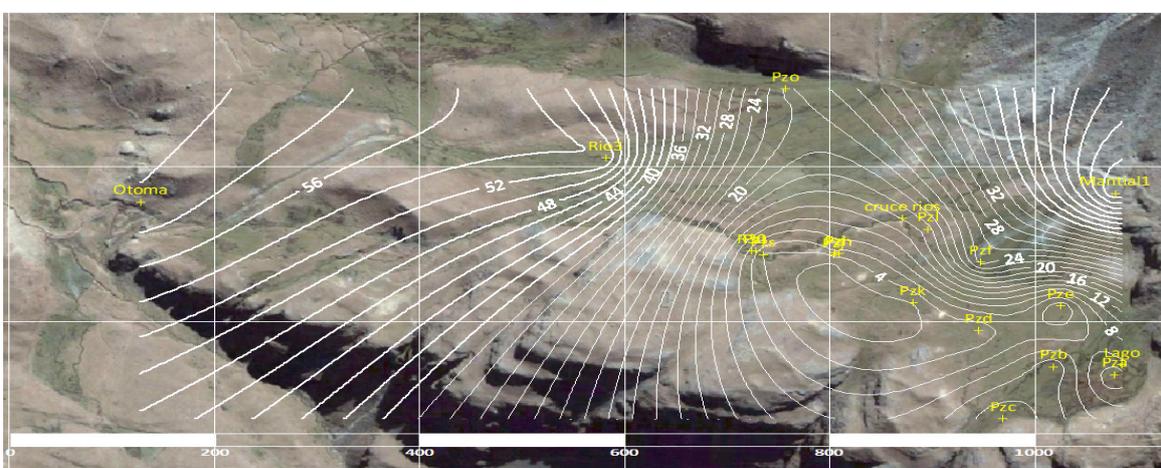


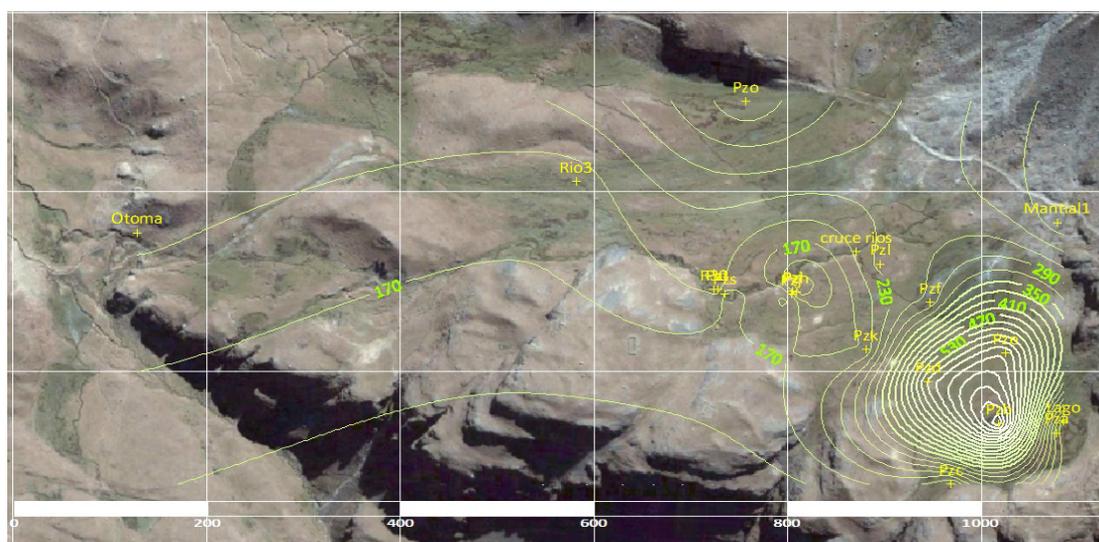
Figura 45. Mapa de isoconcentraciones de temperatura, la magnitud también se observa en el cambio de color de líneas. Fuente: elaboración propia



**Figura 46. Mapa de isoconcentraciones de Oxígeno Disuelto en porcentaje, la magnitud también se observa en el cambio de color de líneas. Fuente: elaboración propia**



**Figura 47. Mapa de isoconcentraciones de Oxígeno Disuelto en porcentaje pero sin los valores registrados en los ríos. Fuente: elaboración propia**



**Figura 48. Mapa de isoconcentraciones de CE, la magnitud también se observa en el cambio de color de líneas. Fuente: elaboración propia.**

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*

El estudio hidrogeológico realizado señala que la recarga promedio del bofedal es de 78.2 mm/año lo que equivale al 11% de la precipitación total (700.8 mm) registrada durante el año de estudio. Además se ha podido cuantificar que la cantidad de agua almacenada por el bofedal llega a un volumen de 2'649.251,61 m<sup>3</sup> para el mismo periodo.

Basado en una comparación de imágenes clasificadas se pudo observar un aumento en la superficie del bofedal de 33.7 ha en 1989 a 107.6 el año 2009, lo que podría estar relacionado con un aumento en la cantidad de agua proveniente del deshielo del glaciar. Un indicio de la relación glaciar-bofedal son las observaciones del estudio hidrogeológico señalando que “en plena época seca se produce un incremento del nivel de las aguas superficiales (en Mayo – Junio) debido al ingreso de agua proveniente de infiltraciones en la morrena y manantiales (deshielo del glaciar”. Sin embargo esta relación no ha podido ser claramente establecida.

Como recomendaciones, se considera fundamental la integración de estudios que guardan estrecha relación con hidrogeología (efectos de fenómenos climáticos por ejemplo). Asimismo se resalta la importancia de “ampliar el estudio con un análisis isotópico a detalle con muestras de deshielo, en cuerpos de agua, en alturas mayores a la del bofedal, en lugares donde se tengan evidencias de evaporación, deshielo, fusión y otros”, así como realizar un análisis más detallado del suelo debajo del bofedal (para determinar porcentaje de carbono).

El informe completo que describe las relaciones hidrogeológicas de los bofedales de la cuenca se encuentra en Anexo 2.

**3.2.OBJETIVO 2** Identificar las causas de los cambios producidos en la estructura socioeconómica y productiva de las comunidades de la zona del proyecto en los últimos 20 años, estableciendo las características y vulnerabilidad actuales y proyectando los diferentes escenarios futuros en el contexto de cambio de las condiciones climáticas y socioeconómicas externas

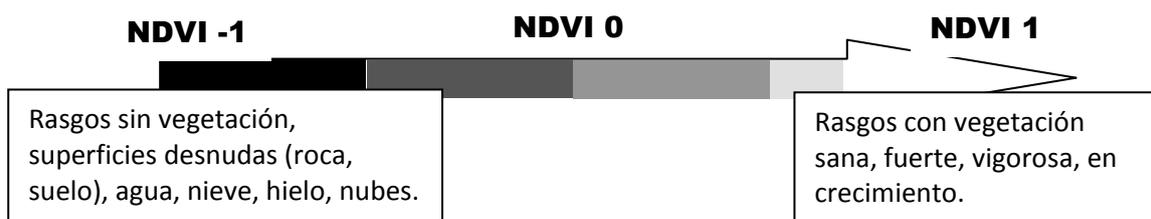
### **3.2.1 Monitoreo del cambio de uso de suelo**

En la primera parte del proyecto, se construyó una base de datos, geográfica, social y económica que posteriormente permitiría evaluar cambios importantes en la cuenca dando luces sobre la vulnerabilidad y adaptación de las comunidades.

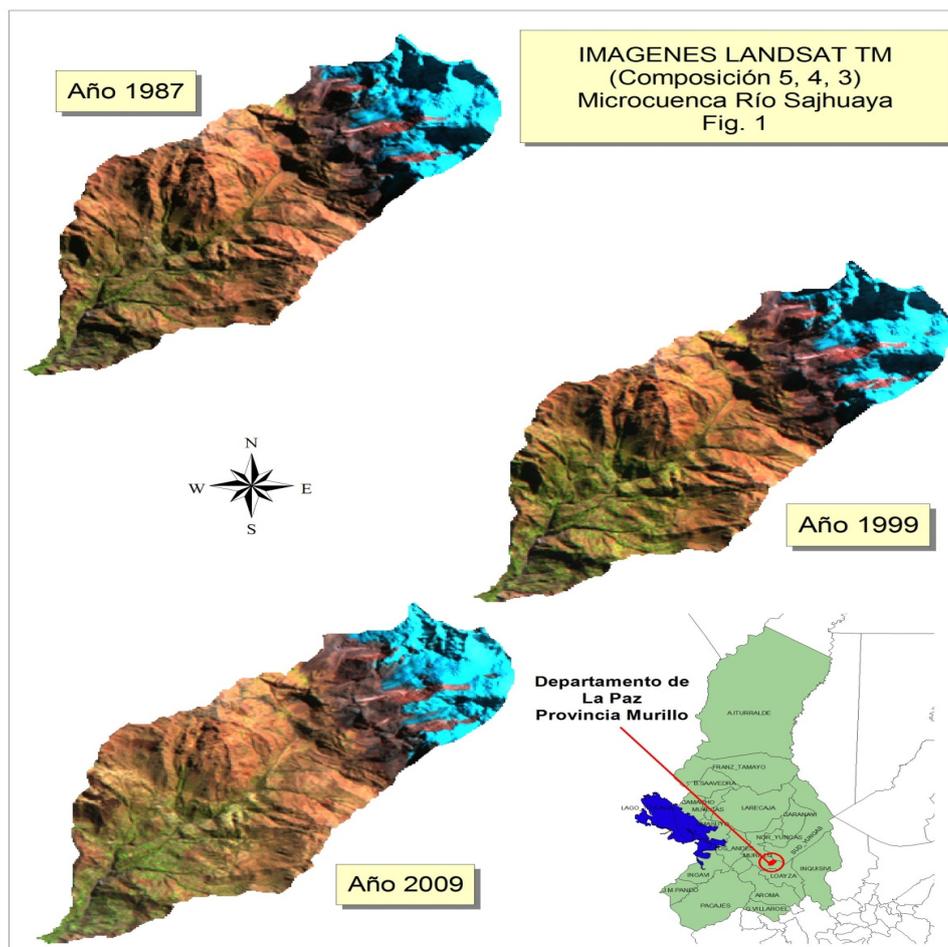
Con esta información y mediante el uso de la teledetección se realizó el análisis de cambios en la cobertura y vegetación de la microcuenca (análisis multitemporal). Se recolectaron puntos de control de terreno correspondientes a los diferentes usos del suelo (“verdades de campo”) llevado a cabo con apoyo de GPS navegadores.

El trabajo se desarrolló en dos fases: la primera a través del uso del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), mediante el cual se realizó una comparación general de la zona de estudio, en base a los cambios producidos entre los años 1996 y 2006 el incremento o decremento de la vegetación (Figura 49); para este fin se utilizaron 3 imágenes Landsat TM de los años 1987, 1999 y 2009 de meses entre junio y agosto (Figura. 50).

A través del análisis, con apoyo de software de SIG, se puede estimar la separabilidad entre coberturas (firmas espectrales, dispersión espectral y diagramas de dispersión) de vegetación y suelo.



**Figura 49. Bases del trabajo con NDVI**

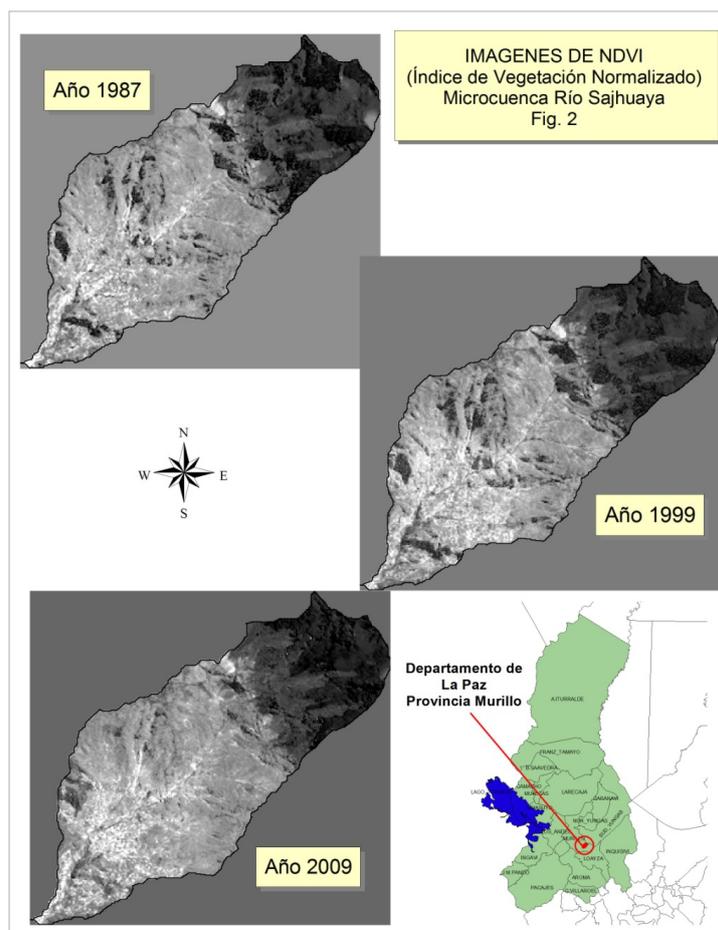


**Figura 50. Imágenes utilizadas para el monitoreo de cambio de uso del suelo**

Para el presente caso, se utilizaron imágenes Landsat TM5, correspondientes a los años señalados, entre los meses de junio y agosto. Del análisis (Figura 51 y 52), se deduce que en general, en un lapso aproximado de 30 años, hubo un comportamiento más o menos homogéneo con un aumento relativo de vegetación del 5%; este incremento podría explicarse primero por la expansión de la actividad agrícola y cultivos bajo riego en la zona y segundo por un resurgimiento natural de praderas en algunas zonas debido al aumento de temperaturas (especialmente en la zona alta de la cuenca).



**Figura 51. Superficies de vegetación en los años estudiados (NDVI)**



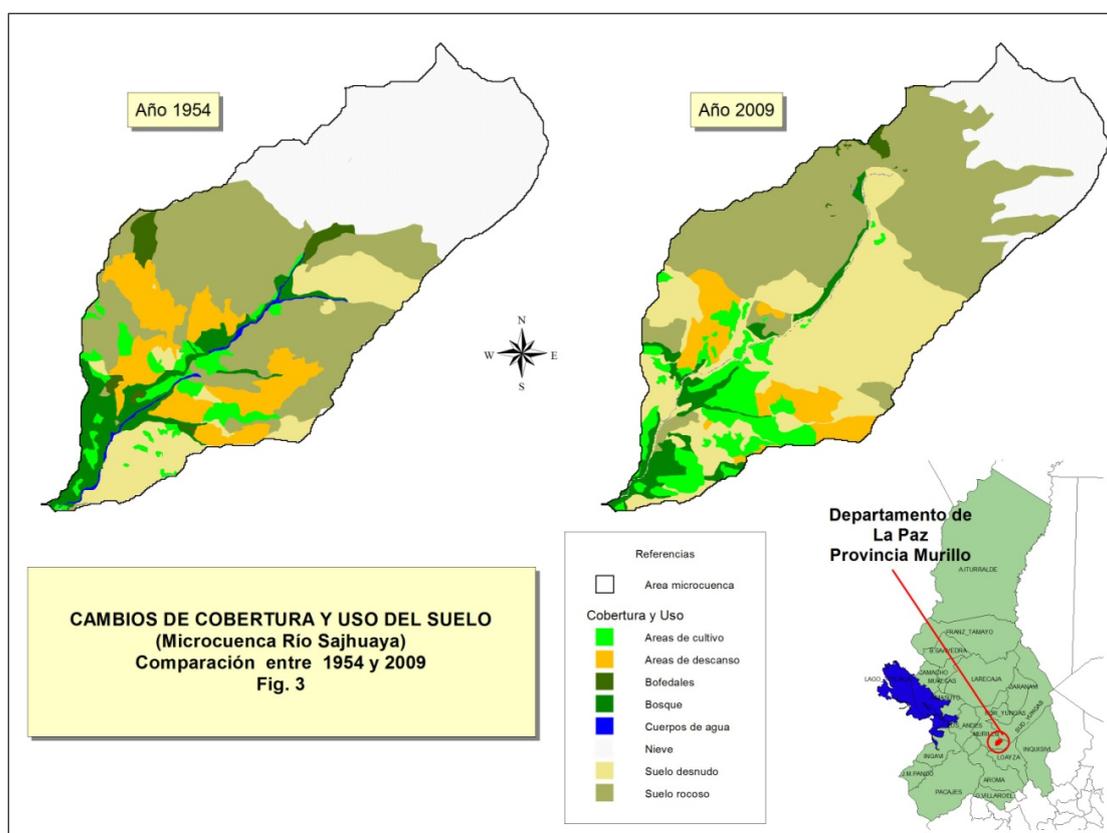
**Figura 52. Variación del NDVI en 3 años de análisis.**

Los datos ofrecen una idea muy aproximada de los cambios producidos en la vegetación en la zona en el lapso de tiempo comprendido en el estudio. Cabe resaltar que dadas las características de la zona de estudio, la vegetación se refleja principalmente en pastizales y cultivos. Se tienen índices de vegetación calculados, en las imágenes de un valor aproximado entre 0.4 a 0.5, aspecto que revela una importante presencia de vegetación verde y en buenas condiciones para la época “seca”, en la zona; que en gran parte puede deberse principalmente a la creciente actividad agrícola bajo riego.

Finalmente un aspecto muy importante del análisis de NDVI para la cuenca, es que se puede apreciar una clara tendencia del “crecimiento” de vegetación en una dirección que va del sur de la cuenca hacia el noreste.

La segunda fase consistió en un monitoreo del cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca; para este fin se utilizaron fotos aéreas (mosaico) del año 1954 (junio) y una imagen IKONOS de alta resolución del año 2004, apoyados en la interpretación y análisis también de imágenes del servidor Google Earth y fotos aéreas del año 2009, finalmente el uso de puntos de control de terreno.

El criterio de definición de las unidades clasificadas de cobertura y uso fue el siguiente: 1) Áreas de cultivo (papa, hortalizas, etc.), 2) Áreas de parcelas en descanso (zonas de parcelamiento comunitario o aynocas), 3) Bofedales, 4) Bosque (zonas de árboles, matorrales y arbustos), 5) Cuerpos de agua (principalmente ríos principales), 6) Nieve (nevado Illimani), 7) Suelo desnudo (zonas de serranías, laderas, etc. sin vegetación) y 8) Suelo rocoso (zonas de serranía con afloramiento rocoso y morrenas de deshielo). (Figura 53)



**Figura 53. Cambio y expansión del uso del suelo en la cuenca del río Sajhuaya.**

El estudio de monitoreo de cambio de cobertura y uso entre 1954 y 2009, en la microcuenca del Río Sajhuaya refleja que los resultados y el análisis de las tasas de cambio (Tablas 15 y 16 y Figura 54) muestran que el uso del suelo en la microcuenca ha experimentado cambios sustanciales. Entre 1954 y 2009 se ampliaron las zonas de cultivo en aproximadamente 200 ha y suelo desnudo en casi 800 ha, en contraposición a la pérdida sustancial de nieve (aprox. 900 ha) y áreas de descanso (aynocas) por ejemplo. Por otro lado es importante tener en cuenta que la clasificación de las fotos y la imagen se rigen por la escala de trabajo y la superficie total de la micro cuenca, escala a la cual si bien se puede discriminar las parcelas de cultivo con las parcelas en descanso o barbecho cercanas, debido al excesivo parcelamiento existente en la zona y el minifundio (parcelas muy pequeñas), típico de las zonas altiplánicas de Bolivia,

producen un efecto de enmascaramiento en algunos cambios, como por ejemplo el hecho de que exista un leve “aumento” de cuerpos de agua.

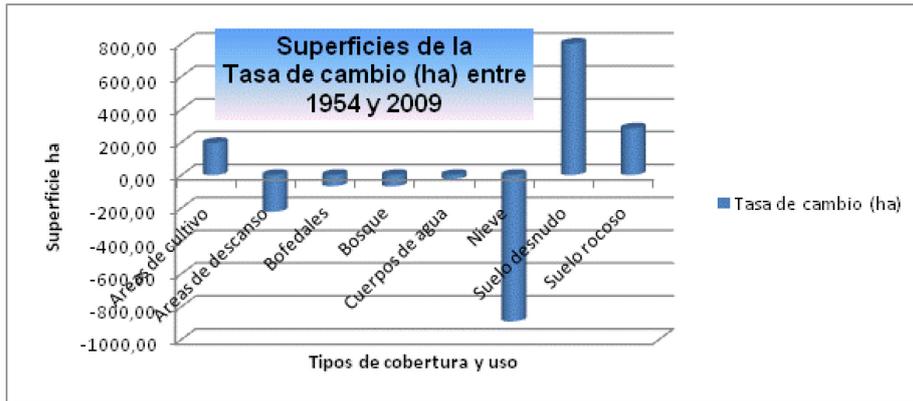
En general se puede ver una tendencia de aumento de cultivos que sigue una dirección de sur-este a nor-oeste (según el análisis integrado con NDVI), en sentido de la gradiente altitudinal de la cuenca, coincidiendo precisamente al aumento de temperaturas dado en los últimos años en esa dirección.

**Tabla 15. Superficies de cobertura y uso de suelo años 1954 y 2009**

Uso del Suelo	1954		2009	
	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Areas de cultivo	191,23	3,43	385,10	8,10
Areas de descanso	500,31	8,96	276,95	9,10
Bofedales	88,21	1,58	20,83	0,37
Bosque	271,30	4,86	202,65	5,69
Cuerpos de agua	29,36	0,53	4,40	0,08
Nieve	1.949,95	33,97	1.059,22	11,81
Suelo desnudo	464,85	8,33	1.263,63	25,12
Suelo rocoso	2.140,58	38,35	2.423,02	39,73
<b>Total</b>	<b>5635,80</b>	<b>100,00</b>	<b>5635,80</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 16. Tasa de cambio de uso del suelo 1954-2009**

Uso de Suelo	Tasa de cambio (ha)	Tasa de cambio (%)
Areas de cultivo	193,87	4,68
Areas de descanso	-223,36	0,13
Bofedales	-67,38	-1,21
Bosque	-68,65	0,82
Cuerpos de agua	-24,96	-0,45
Nieve	-890,73	-22,16
Suelo desnudo	798,78	16,79
Suelo rocoso	282,44	1,38



**Figura 54. Tasa de cambio, en superficie, entre 1954 y 2009**

Por otro lado se puede analizar (Tabla 17), la magnitud y dirección de los cambios ocurridos en el período de estudio; se puede observar el incremento de áreas de cultivo (por ej.) de 191 ha a 385 y que el principal aporte a este cambio se debe a la habilitación de suelos en descanso, suelo desnudo y bosques. También se aprecia la pérdida importante de nieve (glaciar) en casi 900 ha. que principalmente parecen haber conformado el tipo suelo rocoso.

También aparecen como datos importantes las pérdidas sustanciales de bosque y bofedales, que en gran parte pasaron a formar parte de suelo desnudo y rocoso en el primer caso y a cultivos y suelo desnudo en el siguiente.

Finalmente, en base a este análisis, basado en la metodología de Procesos de Markov, se procedió a configurar la matriz de probabilidades de transición de cambio de uso entre los años estudiados (Tabla 18).

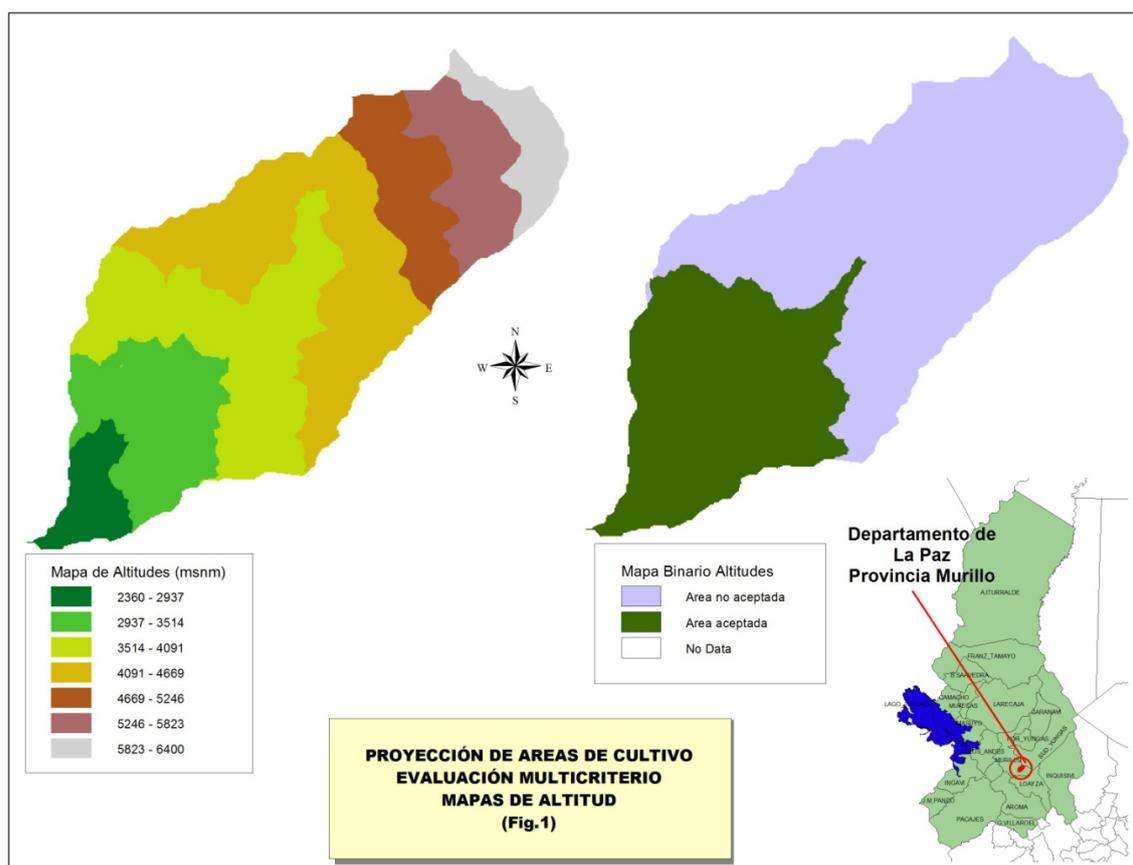
**Tabla 17. Matriz de superficies de transición del cambio de uso de suelo entre 1954 y 2009**

Clases de Uso Año 1954	Clases de Uso Año 2009								Total 1954
	Areas de cultivo	Areas de descanso	Bofedales	Bosque	Cuerpos de agua	Nieve	Suelo desnudo	Suelo rocoso	
Areas de cultivo	57,41	23,74	-	21,66	0,67	-	80,30	7,45	<b>191,23</b>
Areas de descanso	120,78	163,72	-	28,07	0,68	-	141,13	45,93	<b>500,31</b>
Bofedales	5,30	-	-	7,37	0,01	-	23,01	52,52	<b>88,21</b>
Bosque	62,96	3,13	-	58,63	1,33	-	119,59	25,66	<b>271,30</b>
Cuerpos de agua	5,79	-	-	4,45	-	-	17,46	1,67	<b>29,36</b>
Nieve	13,13	3,32	20,07	9,56	0,91	1.059,16	68,11	775,69	<b>1.949,95</b>
Suelo desnudo	97,56	47,30	-	41,16	0,14	-	214,43	64,26	<b>464,85</b>
Suelo rocoso	22,17	35,74	0,76	31,75	0,66	0,06	599,60	1.449,84	<b>2.140,58</b>
<b>Total 2009</b>	<b>385,10</b>	<b>276,95</b>	<b>20,83</b>	<b>202,65</b>	<b>4,40</b>	<b>1.059,22</b>	<b>1.263,63</b>	<b>2.423,02</b>	<b>5.635,80</b>

**Tabla 18. Matriz de probabilidad de transición del cambio de uso de suelo entre 1954 y 2009 (1er. orden)**

Clase	Areas de cultivo	Areas de descanso	Bofedales	Bosque	Cuerpos de agua	Nieve	Suelo desnudo	Suelo rocoso
Areas de cultivo	0,30	0,12	0,00	0,11	0,00	0,00	0,42	0,04
Areas de descanso	0,24	0,33	0,00	0,06	0,00	0,00	0,28	0,09
Bofedales	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,26	0,60
Bosque	0,23	0,01	0,00	0,22	0,00	0,00	0,44	0,09
Cuerpos de agua	0,20	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,59	0,06
Nieve	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,54	0,03	0,40
Suelo desnudo	0,21	0,10	0,00	0,09	0,00	0,00	0,46	0,14
Suelo rocoso	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,28	0,68

La Tabla se puede resumir como la probabilidad de que una determinada clase se mantenga o cambie a otra en el curso del tiempo estudiado, los valores varían de 0 a 1, siendo 1 el más alto grado de probabilidad de que la clase se mantenga como está.



**Figura 55.**

Un criterio es la base para una decisión que puede medirse y evaluarse y puede ser de dos tipos: factores y restricciones, y puede estar relacionado con los atributos del individuo (mapa de uso y cobertura).

En el presente caso se escogieron como restricciones los siguientes criterios:

- Mapa de pendientes – pendientes menores a 20 %

- Mapa de altitudes – altitudes menores a 3900 msnm.
- Mapa de cobertura y uso del suelo – clases de uso compatibles con uso agrícola.

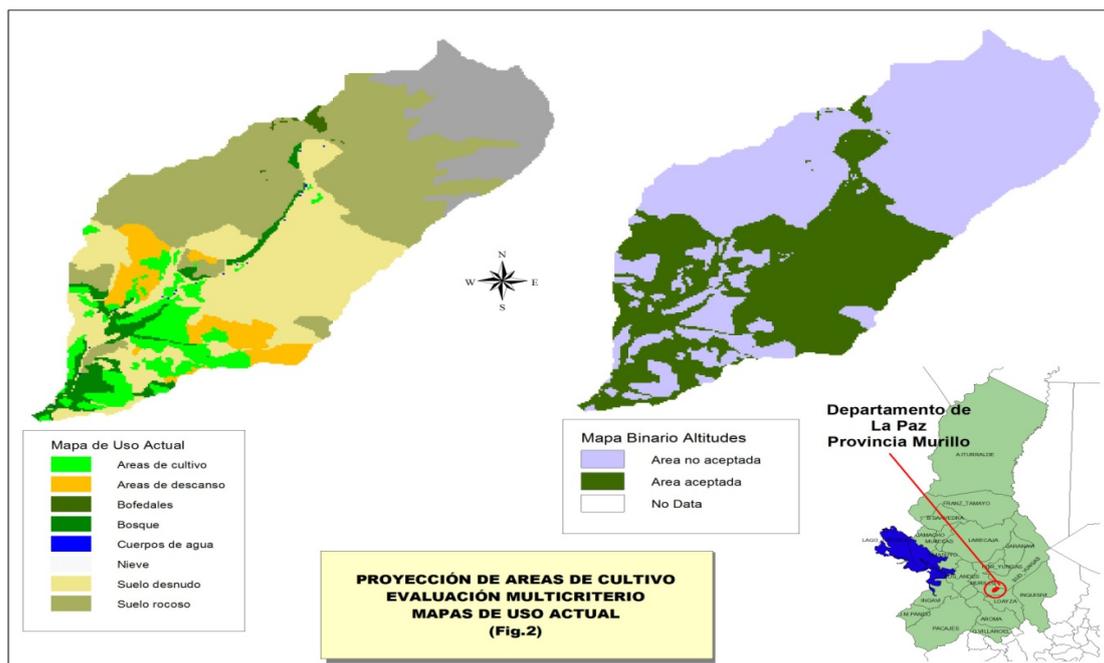


Figura 56.

Las restricciones para el trabajo realizado corresponden a mapas binarios (0/1) o booleanos, donde las zonas excluidas del análisis o máscaras gráficas (valor 0) corresponden al fondo no útil de la imagen (áreas que no pueden ser cultivadas), a categorías de usos del suelo incompatibles con la analizada (cultivos), o bien a las clases o intervalos de aquellas variables significativas donde se ha comprobado la ausencia justificada de dicha categoría (pendientes y altitudes). (Figuras 55, 56 y 57).

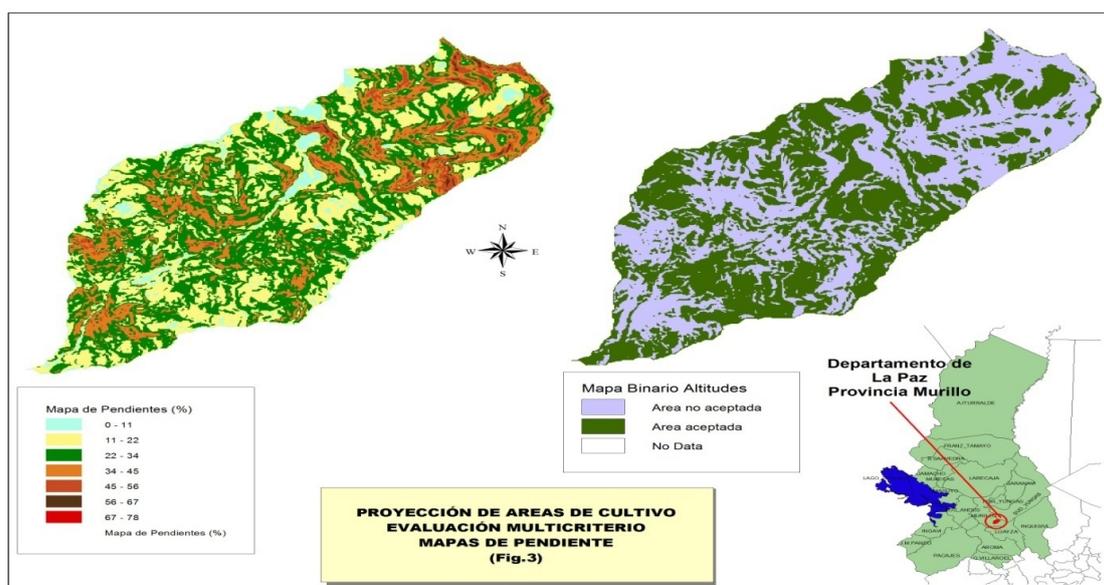


Figura 57.

En la figura 58 se presenta el mapa de potencialidad de la categoría “áreas de cultivo”, obtenido a partir de las restricciones asignadas a las variables utilizadas. Obteniendo una superficie final proyectada de aproximadamente 41 ha., cuya distribución, magnitud y cambio corresponde a la EMC realizada y que tiende a distribuirse hacia el sur-este y nor-oeste con mayor magnitud tomando en cuenta que la gradiente altitudinal (y sus implicaciones climatológicas) es un factor sumamente limitante para un crecimiento hacia la dirección nor-este; asimismo esta distribución se asentaría en usos y cobertura que son compatibles con una apertura de frontera agrícola como suelos en descanso, suelos desnudos y bofedales principalmente.

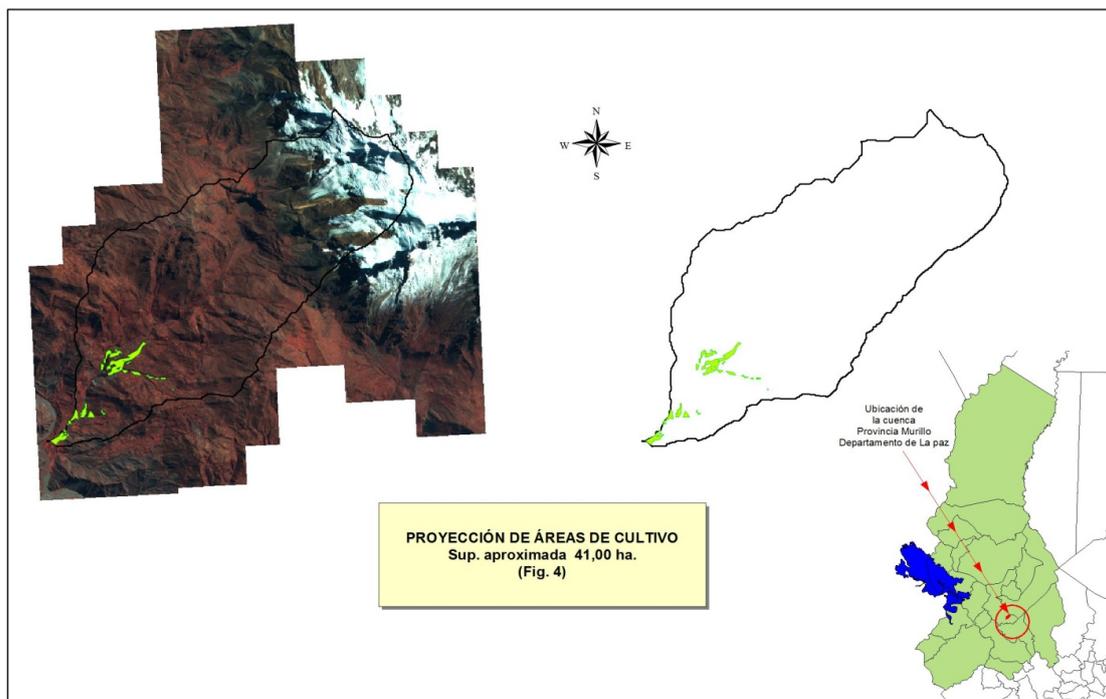


Figura 58.

### 3.2.2 Cambios en la actividad agrícola y agrobiodiversidad

El levantamiento de información productiva en las comunidades de la cuenca ha permitido conocer la estructura productiva y su cambio. Durante los últimos 20 años, la actividad agrícola ha sufrido fuertes y notorios cambios como puede observarse en la tabla 19. Las comunidades más altas han incrementado su agrobiodiversidad tornándose hacia cultivos más rentables y reduciendo el autoconsumo. Sin embargo destaca Tahuapalca que ha pasado de un sistema agroforestal a prácticamente un sistema completamente agrícola con total predominancia de la lechuga. Se destaca también la reducción de la producción de maíz y casi desaparición de los frutales en las zonas bajas y un incremento de ellos en la zona alta. El sistema agrícola en toda la cuenca se orienta hacia la producción intensiva pero con una fuerte inclinación al monocultivo.

Tabla 19. Listado de cultivos producidos en la época actual y hace 20 años. Comunidades Khapi, Tahuapalca y Cebollullo (en % de productores)

Cultivo	Khapi		Tahuapalca		Cebollullo	
	Actual	1990	Actual	1990	Actual	1990
Papa	100	100	0	0	0	68
Maíz	80	95	15	72	15	70

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*

Haba	60	50	0	0	-	-
Lechuga	30	-	95	0	87	0
Tomate	0	0	25	6	15	0
Gladiolo	0	0	15	0	10	0
Perejil	0	0	0	68	-	-
Frutales	15	0	2	70	0	70

A la consulta sobre la razón para tan fuertes cambios productivos, los productores coinciden en la elevación térmica combinada con la mayor facilidad para llegar al mercado con sus productos.

### **3.2.2.1 Descripción del cambio de la Estructura Productiva**

#### **3.2.2.1.1. Periodo 1954-1975**

##### **Comunidad de Khapi**

Entre los años 1954 y 1975 la comunidad de Khapi contaba con un promedio de 8 familias que se centralizaban en un villorio. La superficie cultivada era mínima y sin motivación para aumentarla. En este periodo en la comunidad no existían caminos y carreteras que permitan un libre flujo de tránsito entre la comunidad y la ciudad de La Paz, por lo que la producción era destinada al trueque y el autoconsumo. Las superficies cultivadas estaban ocupadas fundamentalmente por cultivos rústicos de papa, oca, haba, maíz y cebada producidos a secano. La siembra se realizaba en los meses de octubre y noviembre, cosechando entre Abril y Mayo, la producción era destinada al auto consumo, como para la elaboración del chuño y la caya (oca deshidratada) o al trueque por diferentes productos que no se producían en el lugar. La comunidad se caracterizaba por una agricultura de subsistencia y por poco cambio de la estructura productiva durante este periodo.

##### **Comunidad de Cebollullo**

Entre los años 1954- 1973, la comunidad de Cebollullo contaba con una mínima cantidad de población (aproximadamente 6 familias). En este periodo en la comunidad no existían caminos y carreteras que permitan un libre flujo de tránsito entre la comunidad y la ciudad de La Paz, siendo que la única vía de acceso que los productores tenían para acceder a los mercados de la ciudad de La Paz, era a través del río, para lo que empleaban animales de carga teniendo un flujo comercial muy reducido. La superficie cultivada para el periodo desde 1954 a 1975 representaba aproximadamente 18,5 ha de maíz y papa. La época de cultivo coincidía con la época de lluvias, por lo que el transporte de los productos era casi imposible por la crecida de los ríos y por ello, en este periodo la comunidad se caracterizaba por una agricultura de subsistencia, donde se practicaba el trueque entre las poblaciones sin necesidad de habilitar nuevas áreas de cultivo.

##### **Comunidad de Tahuapalca**

En los años 1954-1975 la comunidad contaba con menos de 15 familias, la superficie cultivada era menos de 3 ha. Las superficies estaban ocupadas principalmente por frutales de temporada como pacay, limón, chirimoya, palta e higo. En ese periodo no existían caminos carreteros que permitan un libre flujo de tránsito entre la comunidad de Tahuapalca y la ciudad de La Paz, y menos aun en época de lluvias. Las superficies cultivadas estaban compuestas

por pequeñas hortalizas como perejil, lechuga, vainita y pepino, algunos frutales y poco maíz, bajo los siguientes criterios:

- Todas las parcelas eran de superficie reducidas menor a 500 m<sup>2</sup> (con excepción de frutales)
- Entre un 70 a 80% de toda la producción era para auto consumo “comunal” (Tahuapalca) y regional (Cohoni, Khapi, Cebollullo, Palca), el restante 20 % se ponía a disposición para el intercambio de productos (Ej. azúcar, arroz por frutas) con reducida comercialización debido a la falta de caminos y lo costoso que resultaba sacar la producción al mercado de la ciudad de La Paz por la carretera de Palca o por el río.

De esta manera, la comunidad de Tahuapalca en este periodo no realizaba agricultura intensiva, sino sólo agricultura manual o de yunta.

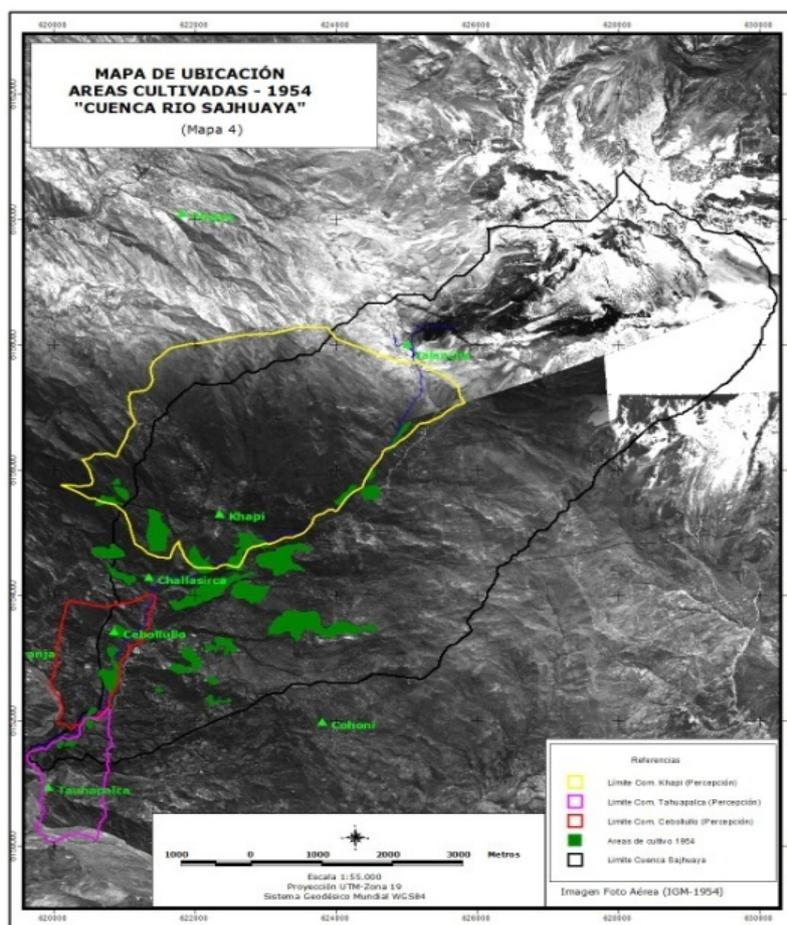


Figura 59. Área cultivada para el año 1954 en el río Sajhuaya, que se considera casi constante hasta 1975.

### 3.2.2.1.2. Estructura Productiva 1975-1987

#### Comunidad de Khapi

De acuerdo a la memoria colectiva, entre 1975 y 1985, se percibió un leve incremento en el área cultivada, aunque la proporción de cultivos se mantuvo casi inalterable. Esto significó que alrededor de un 45% del área total estaba cultivada con papa, haba, maíz, arveja, cebada,

papaliza, izaño y oca. El resto del territorio productivo estaba en descanso mientras que las tierras de las zonas altas servían para pastoreo.

Los agricultores recuerdan el periodo antes de 1985 como una época con condiciones agroclimáticas con precipitaciones normales (en magnitud y tiempo), lo cual determinaba la elección de cultivos. En este sentido, la papa, haba, maíz, arveja, cebada, oca, papaliza, izaño y trigo de secano se convirtieron en los cultivos que mejor se desarrollaron y en los que se ocuparon las mayores extensiones de superficie agrícola. La rotación iba de papa, haba y maíz alternando con trigo, papaliza e izaño o arveja. Los tres primeros cultivos (papa, maíz y haba) eran los únicos en ser esporádicamente regados, solamente entre 3 a 4 veces en todo el periodo cultivado, y en casos de periodos muy largos sin lluvia. Para los cultivos restantes la producción era solamente a secano o sea con las lluvias de temporada. La época agrícola en este periodo era muy marcada entre la segunda quincena de octubre y la primera quincena de noviembre y los meses de abril y mayo, pues en el resto de los meses, la presencia de heladas nocturnas era casi permanente impidiendo la producción de cualquier cultivo.

### **Comunidad de Cebollullo**

Al igual que la comunidad de Khapi, este periodo no se reporta como de grandes cambios, debido a que la comunidad aún no tiene vías de acceso (caminos) a la ciudad de La Paz, el transporte de productos agrícolas aún se realizaba a través de mulas, por el río. El camino desde la ciudad de La Paz solo llegaba hasta la comunidad de Avircato.

Los cultivos que producía la comunidad eran principalmente frutales a secano como el durazno y ciruelo que no requerían riego y solo la papa y el maíz eran producidos bajo riego en el 60 % del terreno total cultivado.

### **Comunidad de Tahuapalca**

En Tahuapalca se repite lo observado en las otras comunidades analizadas, especialmente la producción de frutales a secano y pequeñas hortalizas de hoja cultivadas bajo riego.

#### **3.2.2.1.2. Estructura Productiva 2009-2010**

La información proporcionada por los agricultores muestra que desde los años 80 (más específicamente desde 1985), se experimentó importantes modificaciones en la estructura productiva de toda la micro-cuenca. Se ha pasado de un modelo agrario basado en producción a secano, a un sistema que, sin eliminar el anterior, se basa, en una agricultura comercial con riego.

A partir de 1987 hasta el presente, las técnicas de producción van incorporando gradualmente el riego regular en las parcelas productivas y se diversifica la estructura productiva agrícola con la incorporación gradual de otros cultivos bajo riego, como hortalizas, destinados preferentemente al consumo urbano. Las razones identificadas para estos cambios fueron, por una parte el incremento de la temperatura de la zona pero más importante aún, el acceso al mercado urbano gracias a la apertura del camino y la habilitación del puente sobre el río La Paz. Con la mejora de los canales de riego se obtiene el resultado de una agricultura intensiva, estrechamente ligada al mercado y con gran dependencia del riego. Con ello se aumentó la demanda de agua en la medida que se incrementaba la incorporación de riego, principalmente al cultivo de papa, maíz y lechuga.

### **Comunidad de Khapi**

En esta comunidad es en la única que se mantienen las aynokas aunque en menor proporción que antes, con solo un 20-30 % del terreno dedicado a esta actividad. También es la comunidad que dedica más terrenos al descanso con una producción casi permanente de alrededor del 80 % de sus terrenos y el resto en descanso. Uno de los rasgos más notables de la evolución del sector agropecuario en los últimos 20 años es el cambio en composición de su producción. Se percibe que algunos cultivos se mantuvieron pero que, al presente, las hortalizas son parte activa e importante del sistema. Los cultivos más importantes al presente son papa, maíz, haba, arveja, lechuga y pequeñas hortalizas de hoja. Es interesante apreciar que se está iniciando incipientemente ahora, pero con potencial de incremento, la producción de frutales.

Tal vez el aspecto más destacable en esta comunidad es el cambio de la época productiva. De esta manera el sistema productivo fue moviéndose en el tiempo, de desarrollarse sólo entre Octubre a Marzo hacia un sistema de cultivo de todo el año con una rotación entre papa, maíz y lechuga. Por ejemplo en el caso de la papa, al presente la siembra se realiza en entre julio y agosto, cosechando en diciembre y enero para responder a la demanda de los mercados de la ciudad de La Paz, para luego dedicarse a las parcelas de lechuga, en la época más caliente. Las razones para este cambio, se encuentran en la elevación gradual de la temperatura que ha reducido la probabilidad de heladas durante el invierno y que permite producir cultivos con cierta resistencia, dejando los cultivos más comerciales para el verano. De acuerdo a los resultados de las entrevistas, los cambios se iniciaron en 1985, pero que partir de 1987-1988 el cambio es acelerado, tanto por el mercado como por la demanda. Adicionalmente mencionan que al presente dependen más del riego debido al cambio en los factores climáticos (incremento de temperaturas y principalmente precipitaciones erráticas y heladas en cualquier fecha).

El hecho de que la estructura productiva haya cambiado tan radicalmente en la comunidad de Khapi y que se haya incorporado al sistema productivo, cultivos que antes no se producían y que requieren más riego (riego semanal en la mayoría de los cultivos) ha facilitado a que los productores puedan obtener hasta tres cosechas al año, pero también ha provocado conflictos pues hasta 1987, Khapi era una comunidad no demandante de agua y permitía que esta pase a las comunidades aguas abajo. Sin embargo la percepción de los agricultores es que el ecosistema es mejor ahora que antes pues sus cultivos se han diversificado y producen más y mejor.

### **Comunidad Cebollullo**

A partir de 1985 y más de 1987, en la comunidad de Cebollullo, los cultivos de maíz y papa a secano y los frutales a secano son remplazados gradualmente por maíz y papa bajo riego y se aprecia la fuerte inclusión de lechuga y hortalizas de alto valor de mercado. Por la combinación de factores ya mencionados para la comunidad de Khapi, en la comunidad de Cebollullo la superficie cultivada se incrementó sustancialmente, así como la población. De esta manera el número de familias se incrementó a 117 aproximadamente, lo que provoca presión sobre la superficie cultivada en forma intensiva. Como resultado se tiene mayor parcelación e incremento del área cultivada. En el sistema productivo se observa una diversificación de cultivos de hortalizas, como ser: tomate, vainita, carote, perejil, brócoli, acelga y flores, destinados principalmente al mercado aunque el cultivo más importante es la lechuga por su valor en el mercado. De esta manera, la agricultura de subsistencia del pasado, se convirtió en la actualidad en una agricultura intensiva de comercio, donde el principal objetivo es obtener

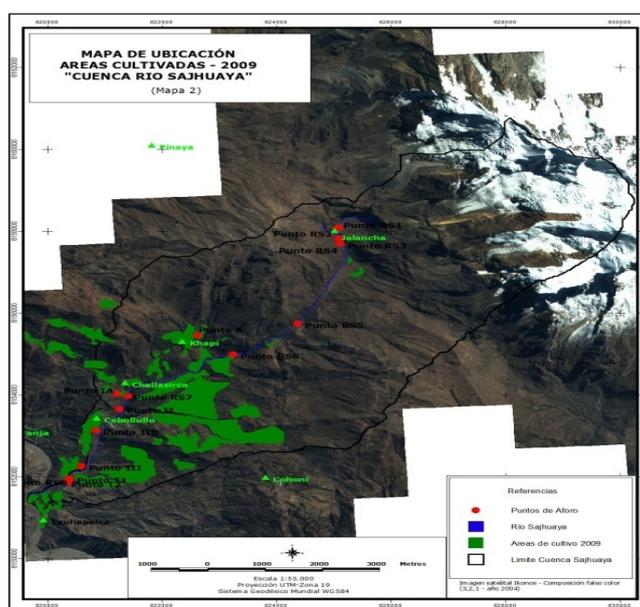
mayores recursos económicos. Esto se refleja claramente en el mayor poder adquisitivo de los pobladores de la comunidad reflejado en la compra de equipos y maquinarias.

Nuevamente la habilitación del camino y el incremento de las temperaturas determinan el fuerte cambio del sistema productivo y la consecuente mayor demanda de agua para riego. En esta comunidad, el cultivo que mayor importancia adquirió es el cultivo de lechuga, que es altamente demandante en riego. Sin embargo, la elevación de las temperaturas no solamente favoreció a la diversificación sino también ha perjudicado a la producción de frutales como el durazno, pues estos no acumulan las horas frío necesarias para su producción y reducen su calidad y cantidad productiva. Esto ha llevado a que los agricultores replacen los árboles frutales por extensiones de hortalizas, especialmente lechuga.

### Comunidad Tahuapalca

Como en los anteriores casos, la superficie cultivada se ha extendido fuertemente, así como la población de la comunidad hasta aproximadamente 80 familias; el minifundio ya se hace presente debido al aumento poblacional obteniendo una relación en promedio de 0,24 ha para cada familia. La presión demográfica provoca un cambio productivo de frutales hacia hortalizas de producción intensiva, especialmente lechuga. La condición climática del periodo actual, asegura las condiciones adecuadas para realizar siembras y cosechas en cualquier época del año. Solo se diferencia tres épocas que van en función a la disponibilidad de agua y que determinan parcialmente el calendario de cultivo:

- Época seca en invierno (las temperaturas son tan bajas que el glaciar 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 glaciar 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)
- 



**Figura 60. Área cultivada para el periodo actual (2009) y puntos de aforo en canales y río Sajhuaya**

### 3.2.2.2 Evolución de la Superficie Cultivada y bajo Riego

La estructura productiva del año agrícola 2009-2010 fue determinada en las tres comunidades referenciales (Khapi, Cebollullo, Tahuapalca) y con esta información se extrapola la proporción interna de la superficie cultivada a las otras comunidades usuarias de riego de la cuenca. Sin embargo, el área productiva de cada una de las comunidades regantes fue determinada directamente de la fotografía aérea y de la imagen Ikonos con las que se contaba. De esta manera se han definido las áreas aproximadas de producción en los años referenciales mencionados previamente (Tabla 20).

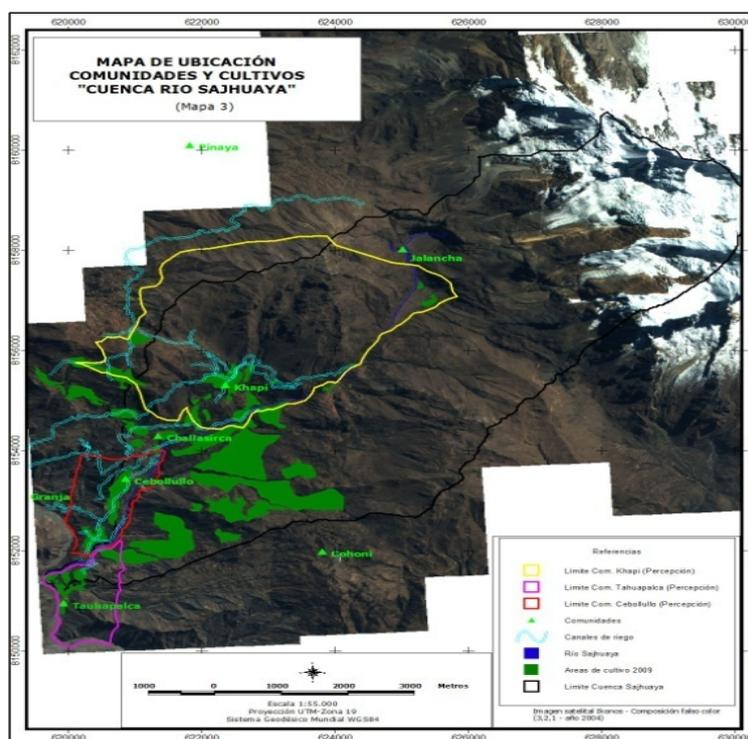
**Tabla 20. Áreas cultivadas (Has) bajo riego y en forma activa en las comunidades evaluadas en los años referenciales de levantamiento de información.**

Comunidad/Año	1975-1976	1987-1988	2009-2010
Khapi*	10	11	23.6
Challacirca	10	13	20.0
Cebollullo***	12	18	37.4
Cohoni arriba**	27	33	123
Cohoni abajo	27	33	188
Cachapaya	5.5	10	100
Chiañurani	11	12	17.0
Tahuapalca	4.1	11	19.0

\*Khapi todavía conserva hasta un 20 % de Aynokas en zonas altas que no requieren riego y de su superficie cultivada, hasta un 30 % de sus cultivos se realizan sin riego o con riego muy esporádico.

\*\* Cohoni Arriba incluye áreas donde hasta un 30 % de sus cultivos se realizan sin riego o con riego muy esporádico.

\*\*\*Entre 1975 y 1987, las comunidades representadas por Cebollullo, cultivaban activamente y bajo riego hasta 2/3 de su tierra dejando en descanso el restante 1/3.

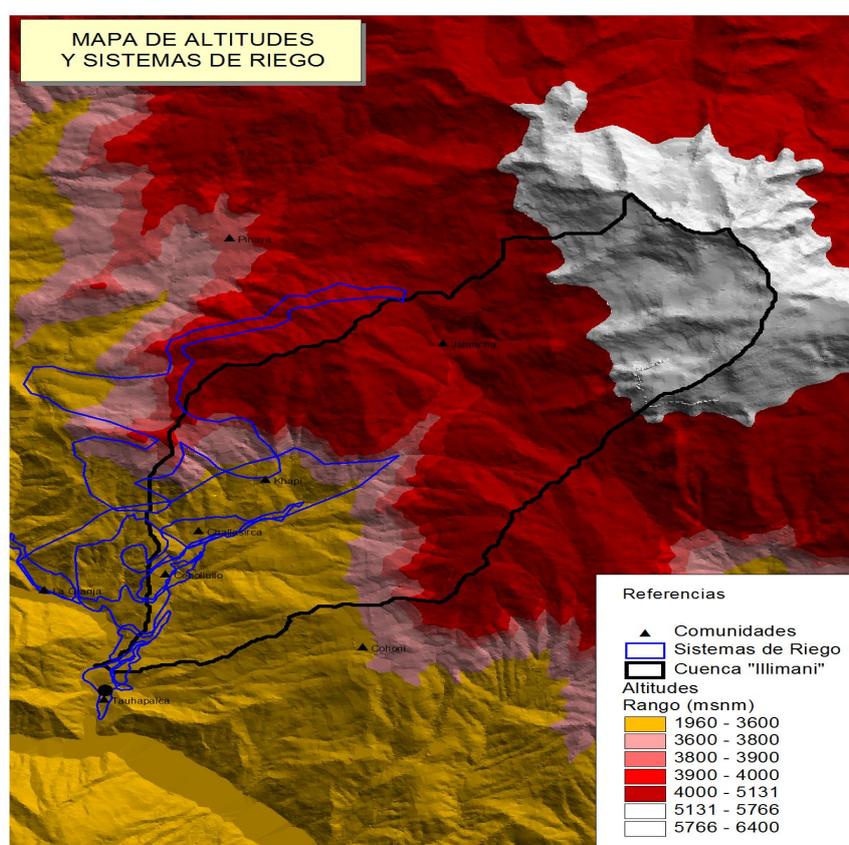


**Figura 61. Ubicación de las diferentes comunidades y la superficie cultivada**

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*

Es interesante mencionar que las áreas productivas bajo riego identificadas para 2009-2010 por los técnicos del proyecto por mediciones de campo, son menores que aquellas mostradas en el informe de Derechos de Agua en las comunidades de altura. Estas diferencias se deben a la dedicación de las áreas de altura que aunque se encuentran dentro del perímetro del derecho de estas comunidades, no son regadas regularmente por ser zonas de poca vocación productiva por sus limitaciones térmicas. Los resultados presentados en este reporte son basados en levantamientos directos de campo y validados por los agricultores, aclarando nuevamente, sin embargo, que estos valores se refieren a la superficie bajo riego en la gestión.

Es también interesante que los agricultores incluyen en el área bajo riego de un sistema a zonas no agrícolas o con agricultura reducida. Este es el caso de las zonas cuyas altitudes superan los 3600 m. (heladas frecuentes o muy frecuentes) o que cubren áreas pedregosas y con aptitud agrícola. Como ejemplo se presenta la Figura 62 que muestra la elevación de la zona en relación a las áreas de derechos de agua incluidas en el informe de mapeo de derechos.



**Figura 62. Elevación digital de terreno de la cuenca del río Sajhuaya en sobreposición con las áreas identificadas en los sistemas de riego y los derechos de agua.**

La Figura 62 muestra que sistemas de riego nominalmente grandes como el de Llujo, en realidad solo riegan una pequeña área agrícola de la comunidad de Khapi dentro de la cuenca estudiada en el Proyecto, pues el área restante se encuentra en zonas poco aptas para la agricultura por su elevación.

### 3.2.2.3 Patrón de Cultivo

El patrón de cultivo de las comunidades estudiadas para los años 1975-1976 y 1987-1988 se obtuvo del trabajo participativo con puntos referenciales con las comunidades parte de la micro-cuenca. En el caso del año agrícola 2009-2010, se levantó la información a través del seguimiento directo de las parcelas.

La estructura productiva para el periodo entre 1975-1976 y 1987-1988, asumida para Khapi y el 50 % de Cohoni y Challacirca fue la presentada en la Tabla 21:

**Tabla 21. Patrón de cultivo en Khapi para 1975 a 1987**

CULTIVO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
PAPA	DESCANSO			SIEMBRA		FLORACION	LECHOSO	MASOSO	COSECHA
MAIZ	DESCANSO			SIEMBRA		FLORACION	LECHOSO	MASOSO	COSECHA

Asimismo, para estas comunidades, la estructura productiva en 2009-2010 es la presentada en la Tabla 22:

**Tabla 22. Patrón de cultivo en Khapi para 2009**

CULTIVO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ENERO	FEBRERO	MARZO
PAPA	SIEMBRA		FLORACION	TUBER.	FINAL TUB.	COSECHA	COSECHA		
LECHUGA								TRANSPLANTE	
MAIZ				SIEMBRA		FLORACION	LECHOSO	MASOSO	COSECHA
HABA		COSECHA							

De esta estructura, la variación entre 1975-1987-2009 es la presentada en la Tabla 23.

**Tabla 23. Proporción de área cultivada en las comunidades de Khapi, Challacirca y zonas de altura de Cohoni en los años hito de la evaluación**

Año	Cultivo	% de área cultivada
1975-1976	Papa	60
	Maíz	40
1987-1988	Papa	55
	Maíz	45
2009-2010	Papa	36.5
	Lechuga	12.7
	Maíz	29.5
	Haba	21.3

En el caso de Cebollullo, el 50 % del área de Cohoni (áreas bajas) y las comunidades de Cachapaya y Chiañurani, el patrón de cultivos determinado para el periodo entre 1975-1976 y 1987-1988 es el presentado en la Tabla 24.

**Tabla 24. Estructura productiva Cebollullo 1975-1987**

JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO

Donde

 Cultivo de papa o maiz

	Cultivo de arveja o haba
	Parcela en descanso

Se debe recordar que estos cultivos ocurrían en aproximadamente dos tercios de la tierra bajo cultivo, dejando en descanso el restante un tercio para las futuras rotaciones.

De la misma forma el patrón para 2009-2010 en un 40 % del terreno cultivado es:

JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO

y el restante 60 % es:

JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO

Donde

	Cultivo de lechuga u otro similar
	Parcela en descanso
	Cultivo de maíz

Finalmente en el caso de Tahuapalca, el patrón de cultivos determinado para el periodo entre 1975-1976 y 1987-1988 es el de la Tabla 25.

**Tabla 25. Patrón de cultivo en Tahuapalca 1975-1987**

JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO

Donde:

	Cultivo	%
	perejil	3
	lechuga	27
	tomate	10
	frutales	58
	otros	2

Para el cálculo de la demanda de riego, la lechuga, el perejil y otros fueron agrupados.

Adicionalmente, el patrón de cultivos para 2009-2010 es el siguiente:

JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOVIEM.	DICIEM.	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO

Donde:

	Cultivo	%
	lechuga	50
	Maíz	14
	gladiolo	12
	otros	24

El documento completo sobre el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica y productiva de las comunidades del río Sajhuaya se presenta en Anexo 8.

### 3.2.2.4 Percepción de la reducción de la Producción Agrícola

La fisiografía de la zona, ha mostrado zonas escarpadas con elevadas pendientes provocando que los sistemas de producción sean muy frágiles. Los cambios en las prácticas agrícolas ocasionados en los mismos han incrementado esta fragilidad y por ende, el riesgo de pérdidas en la actividad agrícola es ahora mucho mayor que hace 20 años.

Así durante la gestión 2008-2009 más del 80% de la población ha reportado pérdidas importantes en la producción agrícola. La Tabla 26 presenta los principales motivos por los cuales la población percibe que se han ocasionado estas pérdidas.

**Tabla 26. Percepción de los principales motivos de pérdida en la producción agrícola (% de familias encuestadas)**

Comunidad	Plagas y Enfermedades	Evento Climático	Precios Bajos
KHAPI	80	100,00	15
CEBOLLULLO	100	28,13	43,8
TAHUAPALCA	82,9	31,43	27,6

Es interesante observar que en la comunidad de Khapi, el 100% de los productores manifiestan que las pérdidas en la producción se han debido a eventos climáticos principalmente porque no toda la comunidad se encuentra conectada a los sistemas de riego y las heladas son más frecuentes e intensas a su altitud; así se concluye que estos sistemas de producción son más vulnerables a la ocurrencia de estos fenómenos, parcialmente por su ubicación y parcialmente por no poder acceder al riego. A la inversa, para las comunidades de Cebollullo y Tahuapalca el principal motivo de pérdidas ha sido la presencia de plagas y enfermedades las cuales se han incrementado considerablemente debido a la práctica del monocultivo y el uso indiscriminado de pesticidas. Los problemas climáticos no son de importancia pues la sequía no afecta gracias al acceso al riego y la helada no es de importancia a su altitud.

Otro aspecto relevante es que un elevado porcentaje de las familias encuestadas en las comunidades de Cebollullo y Tahuapalca han expresado que los precios de mercado han sido un factor importante de pérdida en la actividad agrícola. Este resultado confirma la fuerte vinculación y dependencia de las familias productoras con el mercado.

### 3.2.3 Entorno institucional

#### Gobierno Municipal

En la estructura administrativa de Palca no existe ninguna unidad encargada de temas relacionados con el medio ambiente o cambio climático, ni de recursos naturales. En el organigrama del Gobierno Municipal se encuentra un “Encargado de Aguas que depende directamente de la Oficialía Mayor Técnica”, sin embargo en la realidad, este cargo no existe según una encuesta realizada a la Alcaldía de Palca. En esta estructura si existe la Unidad de Fomento a la Producción Agropecuaria, la cual no cuenta con un departamento de prevención o atención de desastres.

Existen muchos factores que conforman la inestabilidad de la Alcaldía de Palca, un ejemplo claro es el congelamiento de las cuentas fiscales de este municipio desde 2007 hasta 2009, como respuesta del Ministerio de Hacienda a la Resolución Municipal 045/2007 en la cual se destituyó al alcalde. Entre 2004 y 2009 hubo siete cambios de alcalde lo que repercute de tal forma que impide la estructuración del gobierno municipal que incorpore una planificación en el desarrollo de los sectores productivos del Municipio.

#### Actores sociales

Las comunidades que componen la micro cuenca son de origen aymara, los sistemas de organización que se pueden observar en la zona son dos: los sindicatos agrarios y los ayllus como organizaciones principales a nivel de cada comunidad los mismos que se encuentran afiliados a las Subcentrales agrarias y a un nivel más alto las Centrales Agrarias. Así mismo se puede observar que las familias son los ejes de estas organizaciones y las que también generan el movimiento social y económico.

Estas comunidades mantienen el respeto por las autoridades tradicionales, las mismas que tienen un periodo de un año para su desempeño en tales funciones, para asumir tal responsabilidad deben ser parte y estar afiliadas a los sindicatos agrarios. Uno de los problemas que se pudo encontrar es que la migración a las ciudades debilita este sistema de organización. Los factores que influyen para esto son principalmente la falta de apoyo de políticas públicas dirigidas a la producción agrícola y pecuaria de parte de los gobiernos municipales, en algunos casos por la pérdida en la producción y por la mayor parcelación debido al incremento de la población.

#### Organizaciones territoriales de base y Asociaciones Comunitarias

El cabildo es una asamblea en la cual los agricultores determinan las acciones que se llevaran a cabo en el municipio. Las autoridades que se encargan del cumplimiento y la ejecución de las resoluciones del cabildo son: Centrales Agrarias, Sub centrales Agrarias, sindicatos y directorios. Adicionalmente cada cantón (Palca, Quillihuaya y Cohoni) tiene una junta de vecinos estructurada que se agrupa en la Junta Central de Vecinos. De esta manera, a falta de una organización administrativa formal, en realidad son las organizaciones sociales las que promueven la planificación en el Municipio y más aún en la Cuenca.

### Otras instituciones identificadas

El PDM de Palca (2007-2011) indica que las únicas instituciones gubernamentales, a parte de la Alcaldía, presentes en el municipio son: La Dirección Distrital de Educación, la Policía Nacional y la Red de Salud Municipal.

Según las encuestas realizadas en el municipio, no existe ninguna institución gubernamental que trabaje con la temática de cambio climático, a excepción los institutos de investigación de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), los cuales son: Instituto de Hidrología e Hidráulica de la UMSA (IHH), Instituto de Ecología y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales de la UMSA. Sin embargo cabe recalcar que el Programa Nacional de Cambios Climáticos (PNCC) efectuó el Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA), con el apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Este proyecto consistía en la implementación de un manejo integrado de cuencas para la adaptación de la agricultura y ganadería a la pérdida de regulación y abastecimiento de agua causada por el retroceso glaciar en el altiplano y valles altos, pero la falta de difusión de los resultados, hace que el municipio no tome en cuenta el estudio.

El Servicio Nacional de Riego (SENARI), dependiente del Viceministerio de Riego tiene la responsabilidad de regular, planificar, gestionar y promover la inversión pública para el desarrollo de riego y la producción agropecuaria y forestal bajo riego. En el municipio de Palca el SENARI realizó cuatro proyectos, que son: Rehabilitación microriego Hampaturi, Rehabilitación Sistema de Microriego Hampaturi, Rehabilitación canal de riego Retamani, Proyecto de Riego Khapi.

Las organizaciones no gubernamentales que trabajan con la temática de cambio climático en el municipio de Palca son Agua Sustentable y Plagbol. Agua Sustentable es una institución que trabaja con organizaciones sociales en relación al de acceso, gestión y uso del agua y medio ambiente. Plagbol es un proyecto ejecutado por la Fundación Plagbol (Organismo Nacional), con el apoyo de DIALOGOS (ONG Danesa) para enfrentar la problemática del uso y manejo de plaguicidas, de una manera integral entre las áreas de salud, agricultura, medio ambiente y comunicación-educación. No se pudieron percibir más actores en el Municipio, lo cual resalta pues se encuentra muy cercano a la ciudad de La Paz

**3.3OBJETIVO 3** Identificar y evaluar la sostenibilidad de las estrategias de adaptación espontánea implementadas por las comunidades rurales de la zona de estudio en el ámbito del conocimiento tradicional y ancestral frente a fenómenos de variabilidad y cambio climático, resiliencia, constricciones, debilidades y potenciales.

#### 3.3.1 Manejo presente de indicadores bio-climáticos tradicionales

En la región andina existen metodologías tradicionales de previsión contra riesgos climáticos. Los agricultores generalmente hacen uso de los llamados indicadores locales del clima conocidos también como bioindicadores. Uno de los objetivos del proyecto es estudiar estos indicadores a fin de verificar si estos, a pesar del cambio ocurrido en los parámetros climáticos, aún son efectivos. Los resultados de las encuestas y de los Talleres Participativos muestran que los bioindicadores se usan principalmente para predecir si un año será seco o húmedo.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 27, existe un alto porcentaje de la población de las comunidades intermedias y bajas (Cebollullo y Tahuapalca) que no tiene conocimiento de estos indicadores. La principal razón es que debido a que los agricultores acceden a riego, consideran que no es de extrema importancia el conocer estos indicadores. Sin embargo, más del 50% de las familias que residen en la comunidad de altura (Khapi) afirman tener conocimiento de estos indicadores lo cual la hace interesante para seleccionarla como unidad de estudio.

**Tabla 27. Conocimiento de indicadores del clima locales. (% de familias encuestadas)**

			Conoce indicadores naturales del clima?		Total
			Si	No	
Comunidades	Khapi	%	55,0%	45,0%	100,0%
	Tahuapalca	%	25,7%	74,3%	100,0%
	Cebollullo	%	12,5%	87,5%	100,0%
Total		%	27,6%	72,4%	100,0%

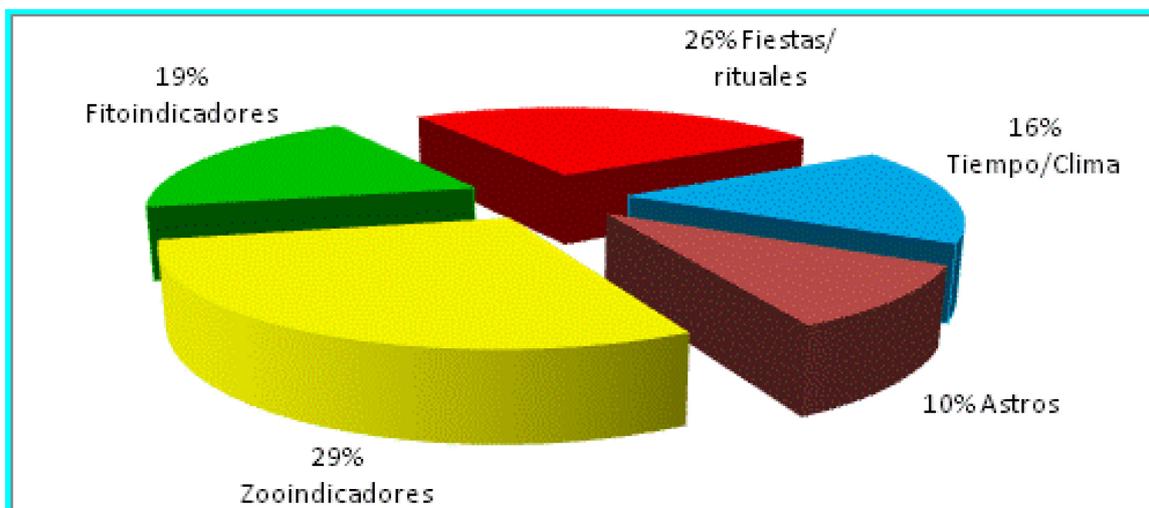
Del 100% de las familias que afirman conocer los indicadores en la comunidad de Khapi, hasta un 55 % asevera que aún los usa. Finalmente, del 100% de la población que declara que hace uso de los mismos, el 72% asegura que el pronóstico de estos es siempre correcto (Tabla 28).

**Tabla 28. Efectividad del pronóstico de bioindicadores (% de familias que hace uso de indicadores naturales)**

			El pronóstico es correcto		Total
			Siempre	A veces	
Comunidades	Khapi	%	72,7%	27,3%	100,0%
	Tahuapalca	%	37,5%	62,5%	100,0%
	Cebollullo	%	25,0%	75,0%	100,0%
Total		%	52,2%	47,8%	100,0%

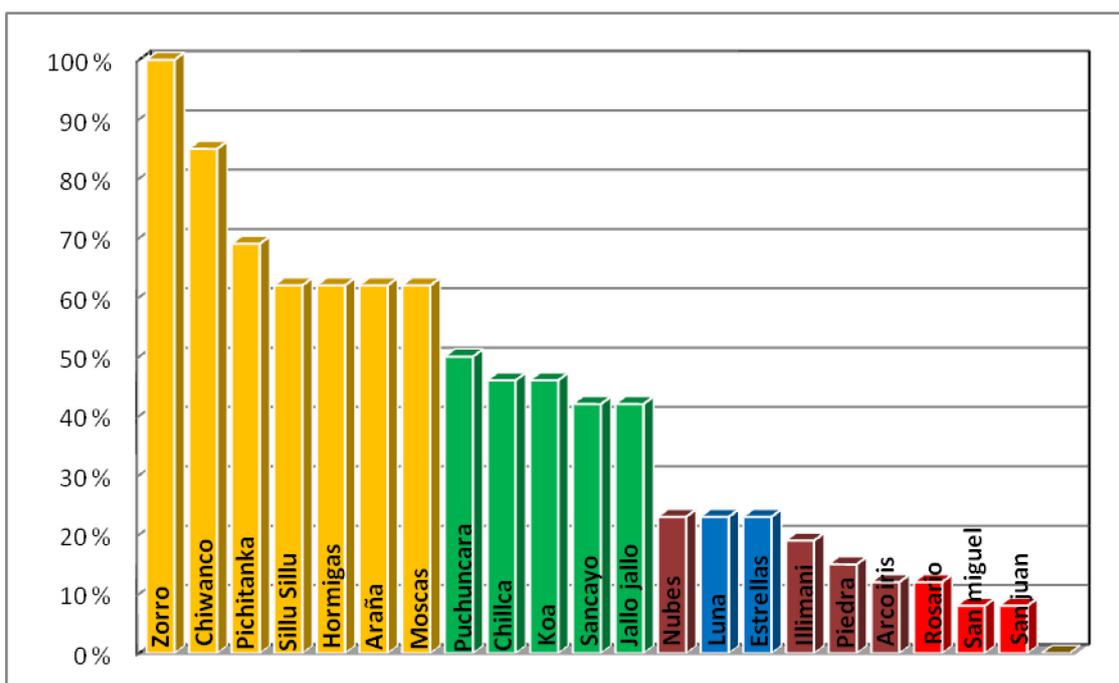
Dado que todavía se refleja la utilidad de los bioindicadores en la zona, y por la importancia que los saberes locales han adquirido en Bolivia, es pertinente analizarlos como apoyo al proceso de adaptación al conocimiento tradicional y como soporte para la diversificación de la producción local.

### 3.3.1.1. Uso de los indicadores naturales en la comunidad de Khapi



**Figura 63. Distribución porcentual de la clasificación de los indicadores climáticos existente en la comunidad de Khapi**

Dentro la comunidad de Khapi; la mayor cantidad de indicadores usados para predecir son los zoo indicadores con un 29% conformado por siete indicadores (zorro, chiwanku, pichitanka, zilluzillu, hormigas, araña, moscas); la utilización de los astros en la comunidad para predecir el clima (10%) está conformada por tres indicadores (luna, estrellas), la utilización de fenómenos producidos por el tiempo/clima (16%) conformado por cinco indicadores (nubes, atardecer, vapor del Illimani, arco iris, sensación térmica), la utilización de festividades/rituales (Rosario, San Miguel, San Juan) por cuatro de las más importantes fiestas del calendario patronal acostumbradas en esta comunidad y la utilización de los fitoindicadores (19%) conformado con un total de cinco indicadores (achuma, koa, chillka, jallo jallo, sankayo).



**Figura 64. Distribución porcentual de los indicadores naturales según el uso de las familias productoras de la comunidad de Khapi**

El uso que se da a los indicadores dentro la comunidad de Khapi muestra que el zorro es el indicador más utilizado con un 100% de uso, coincidiendo en el uso de este indicador con otras comunidades de la zona andina que le tienen mucha confianza. También destaca que los indicadores más usados son los animales y los de menor uso son los de las festividades. La descripción detallada de la expresión de estos indicadores se encuentra en la Tesis de Portugal (2012).

**Tabla 29. Calendario de la comunidad de Khapi para la observación de indicadores climáticos**

Indicadores	Jun	Julio	Agos	Sep	Octu	Nov	Dic	Enero	Febr	Marzo	Abril	Mayo
<b>PLANTAS</b>												
Achuma												
Chillka												
Koa												
Paja												
Pirwa-Pirwa												
Sankayu												
<b>ANIMALES</b>												
Araña												
Chiwanku												
Cochichi												
Hormiganegra												
Hormigaroja												
Perdiz												
Pichitanka												

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*



pues con poca alternabilidad, no podrían responder a un shock del mercado. Adicionalmente factores indirectos como el incremento de las plagas y enfermedades (influenciadas por el monocultivo y el mejor ambiente térmico), son de considerable importancia para la sostenibilidad del sistema.

Desafortunadamente, en la cuenca, el acompañamiento institucional es muy reducido y poco eficiente lo cual incrementa aún más su vulnerabilidad. Cualquier acción de adaptación, respuesta ante un evento extremo u organización para mejorar estas acciones, requiere de un marco institucional fuerte que canalice estas acciones. Lo poco que se hace, ocurre en forma desorganizada y por iniciativas de los grupos sociales, más que por las estructuras administrativas encargadas de ello.

A su vez, dentro de la cuenca, la respuesta ante estos nuevos estímulos es diferenciada. La estructura socioeconómica de las comunidades de Tahuapalca y Cebollullo, ha llevado a una intensiva comercialización de sus principales cultivos en calidad de mayoristas en los principales centros de abastecimiento para la ciudad de La Paz y El Alto. La Figura 63, destaca el esquema general de la actividad económica en ambas comunidades.



**Figura 65. Esquema de la actividad económica en las comunidades de Tahuapalca y Cebollullo**

La productividad depende de los indicadores tradicionales: los costos de producción (egresos) y la comercialización (ingresos). Los egresos principales están conformados por los gastos directos e indirectos, los gastos extras (indirectos) son los que se realizan durante la producción hasta llegar a la comercialización; así mismo los costos directos son los que inciden en la obtención del producto.

Bajo el escenario productivo cambiante que se ha identificado, la tendencia al monocultivo en ambas comunidades ha ocasionado que exista un incremento de plagas. Este incremento de plagas en los últimos años es reportado por los productores como uno de los problemas principales en la actualidad que por un lado afecta a los ingresos pues reduce la productividad y por otro incrementa los egresos ya que deben adquirir más productos de control fitosanitario. Aunque se reporta la ocurrencia de heladas y granizo como problemas climáticos comunes, los agricultores no los consideran de máxima prioridad para lidiar con ellos, mostrando que la adaptación al cambio climático en la agricultura, no necesariamente debería ser enfocada a los extremos climáticos, sino a sus efectos conexos como en este caso.

Es interesante destacar que los agricultores consideran que el cultivo intensivo de la lechuga especialmente, ha provocado de alguna forma la mejora de su calidad de vida. Este hecho también podría reflejarse en los consumidores pues, las áreas urbanas pueden acceder a hortalizas a menor precio que antes y las áreas rurales acceden a un mercado estable con mejores precios, hecho que antes solo se reducía a la comercialización de excedentes. Sin embargo estos aspectos ocultan factores que aumentan la vulnerabilidad de las comunidades a extremos y un eventual cambio climático de magnitud. Como se mencionó, la mayor demanda ha forzado el monocultivo gradualmente más dependiente del riego y de los plaguicidas y los

El documento completo sobre el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica y productiva de las comunidades del río Sajhuaya se presenta en Anexo 9.

### **3.3.3 Uso eficiente del agua, bajo riego deficitario**

En el marco del proyecto de doctorado “Adaptation of the watering strategy to deal with expected shortage of irrigation water in the Palca Municipality due to the impacts of climate change” realizado por Juan Carlos Alurralde, se ha seleccionado un estudiante de pre grado para elaborar la tesis “Efecto del Riego Deficitario en dos variedades de Maíz, como Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la comunidad La Granja, Municipio de Palca, Departamento de La Paz” y realizar el trabajo de campo que respalda la investigación científica.

Esta investigación tuvo como objetivo general “evaluar la aplicabilidad de riego deficitario en dos variedades de maíz en diferentes fases fenológicas como estrategia de adaptación al cambio climático en la comunidad La Granja”.

Como principales conclusiones del estudio, cabe destacar que la disminución de riego en la etapa de formación de hojas y elongación no interfiere demasiado en el rendimiento del cultivo. Asimismo, el incremento de la temperatura ha provocado mayor evaporación del riego aplicado en las parcelas durante la época de estiaje, lo que causa un aumento en la frecuencia de riego. Igualmente dicho incremento de la temperatura se ha derivado en un aumento de la superficie regable de terrenos de cultivos que antes no eran aptos para producir.

Esta y otras conclusiones del proyecto de tesis pueden observarse en el documento preliminar presentado en Anexo 25.

## **3.4 OBJETIVO 4** Estimar el impacto socioeconómico en las principales actividades productivas bajo diferentes escenarios y las demandas financieras bajo distintas estrategias de adaptación

### **3.4.1 Sistematización de información**

En el presente avance de resultados se describe el análisis comparativo de cosechas y costos de la producción de papa, lechuga y maíz de las tres comunidades de estudio: Khapi, Tahuapalca y Cebollullo. Es importante hacer notar que el presente análisis no incluye el estudio económico de la comunidad La Granja, debido a que todavía se continúa en el proceso de recolección de información en esta parte de la zona de estudio.

### 3.4.2 Análisis de la producción de papa

La comunidad de Khapi es la única que cuenta con producción de papa, en los siguientes cuadros se detalla la información:

**Tabla 30. Análisis de producción de la papa en Khapi**

DETALLE	COMUNIDAD		
	Rendimiento por Ha.	Precio de venta por arroba en Bs	Venta total Bs
<b>Cosecha</b>	343 arrobas	30	10.290
<b>Estimacion anual</b>	686 arrobas	30	20.580

El precio de venta utilizado en el presente cuadro es un precio promedio, ya que puede variar según la calidad de la papa en cada cosecha.

La cosecha de la papa es de dos veces al año, la cual inicia en septiembre - octubre y se extiende por aproximadamente seis meses, es decir, la cosecha se desarrolla en el mes de marzo. De esta manera este ciclo productivo se desarrolla durante la época de lluvias, lo cual evidentemente tiene implicancias sobre todo con la cantidad obtenida de la producción, inmediatamente terminado este ciclo, se inicia con la siguiente siembra.

**Tabla 31. Análisis de los costos de producción de la papa por Ha.**

Detalle	Costo Bs
<b>Semillas</b>	288
<b>Plaguicidas</b>	488
<b>Fertilizantes</b>	353
<b>Mano de Obra</b>	3.650
<b>Trabajo comunal para riego</b>	600
<b>Sacas</b>	516
<b>Transporte</b>	1.032
<b>TOTAL</b>	6.926

Los costos más elevados en la producción de papa se encuentran en la mano de obra y transporte, todos estos costos se repiten dos veces al año.

**Tabla 32. Beneficio / Costo de la papa por Ha.**

Venta Total Bs	Costo Total Bs	B/C
<b>10.290</b>	6.926	1,5

En la Tabla 32 se puede observar la relación beneficio/costo que por cada Bs 1 invertido se recupera Bs 1.5, lo cual significa que la producción de papa en la comunidad es rentable.

### 3.4.3 Análisis comparativo de la producción de lechuga

Las comunidades de Tahuapalca y Cebollullo cuentan con la producción de lechuga, en los siguientes cuadros se detalla el análisis comparativo:

**Tabla 33. Análisis de producción de la lechuga**

DETALLE	COMUNIDADES					
	Tahuapalca			Cebollullo		
	Rendimiento por Ha.	Precio Promedio de venta por chipas en Bs	Venta total Bs	Rendimiento por Ha.	Precio Promedio de venta por chipas en Bs	Venta total Bs
<b>Cosecha</b>	790 chipas	70	55.300	914 chipas	85	77.690
<b>Estimacion anual</b>	1.580 chipas	70	110.600	1.828 chipas	85	155.380

En los rendimientos por Ha. por comunidad se puede observar que en Cebollullo tiene un 13,5% mayor producción de lechuga con respecto a Tahuapalca, de igual manera el precio de venta promedio por *chipa* (unidad de almacenaje local que comprende en promedio 50 lechugas) de lechuga es menor al precio de venta de Cebollullo con una diferencia de Bs 15.

**Tabla 34. Análisis de costos de producción de la lechuga por Ha.**

Tahuapalca		Cebollullo	
Detalle	Costo Bs	Detalle	Costo Bs
<b>Semilla</b>	880	Semilla	880
<b>Plaguicidas</b>	1.990	Plaguicidas	2.287
<b>Fertilizantes</b>	3.114	Fertilizantes	3.579
<b>Mano de Obra</b>	15.532	Mano de Obra	17.854
<b>Trabajo Comunal para riego</b>	2.296	Trabajo Comunal para riego	2.639
<b>Red p/chipas y paja</b>	994	Red p/chipas y paja	1.143
<b>Transporte</b>	5.172	Transporte	5.945
<b>TOTAL</b>	29.978	<b>TOTAL</b>	34.326
<b>TOTAL ANUAL</b>	59.956	<b>TOTAL ANUAL</b>	68.652

El costo total de producción por Ha. en la comunidad de Tahuapalca es menor a Cebollullo, ya que la primera comunidad tiene una producción menor, es importante mencionar que ambas comunidades utilizan plaguicidas y fertilizantes, ya que existe muchas plagas entre ellas la mosca blanca.

**Tabla 35. Beneficio / Costo de la lechuga por Ha. Anual**

Comunidad	Venta Total Bs	Costo Total Bs	B/C
<b>Tahuapalca</b>	110.600	59.956	1,8
<b>Cebollullo</b>	155.380	68.652	2,3

En la relación beneficio/costo se puede observar que los valores mayores los exhibe la comunidad de Cebollullo ya que por cada Bs 1 invertido se recupera Bs 2,3, una diferencia de ctvs. 0,50 con respecto a Tahuapalca, pero para ambas comunidades la producción de lechuga es rentable.

#### 3.4.4 Análisis comparativo de la producción de maíz

Las comunidades de Tahuapalca, Cebollullo y Khapi cuentan con la producción de maíz, en los siguientes cuadros se detalla el análisis comparativo:

**Tabla 36. Análisis de producción del maíz**

DETALLE	COMUNIDADES								
	Kaphi			Tahuapalca			Cebollullo		
	Rendimiento por Ha.	Precio Promedio de venta por sacos en Bs	Venta total Bs	Rendimiento por Ha.	Precio Promedio de venta por sacos en Bs	Venta total Bs	Rendimiento por Ha.	Precio Promedio de venta por sacos en Bs	Venta total Bs
<b>Cosecha</b>	8 sacos	132	1.054	9 sacos	135	1.215	10 sacos	110	1.100
<b>Estimacion anual</b>	16 sacos	132	2.112	18 sacos	135	2.430	20 sacos	110	2.200

El análisis comparativo se realizó en las tres comunidades con respecto a la producción de maíz.

El rendimiento por Ha. varía en las tres comunidades con un promedio de 1 saco por comunidad, el precio de venta varía de Khapi con Tahuapalca por Bs 3 y Cebollullo con Tahuapalca por Bs 25, el precio de venta promedio mayor lo tiene la comunidad de Tahuapalca y el menor lo tiene la comunidad de Cebollullo.

**Tabla 37. Análisis de costos de producción del maíz por Ha.**

Khapi		Tahuapalca		Cebollullo	
Detalle	Costo Bs	Detalle	Costo Bs	Detalle	Costo Bs
<b>Semilla</b>	14	Semilla	14	Semilla	14
<b>Fertilizantes</b>	85	Fertilizantes	85	Fertilizantes	85
<b>Mano de obra</b>	725	Mano de obra	700	Mano de obra	520
<b>Transporte</b>	100	Transporte	180	Transporte	130
<b>TOTAL</b>	924	TOTAL	979	TOTAL	749
<b>TOTAL ANUAL</b>	1.848	TOTAL ANUAL	1.958	TOTAL ANUAL	1.498

La variación de costos de las tres comunidades se encuentra en la mano de obra y el transporte, el costo mayor lo tiene la comunidad de Tahuapalca y el costo menor la comunidad de Cebollullo.

**Tabla 38. Beneficio / Costo del maíz por Ha. Anual**

Comunidad	Venta Total Bs	Costo Total Bs	B/C
<b>Khapi</b>	2.112	1.848	1,14
<b>Tahuapalca</b>	2.430	1.958	1,2
<b>Cebollullo</b>	2.200	1.498	1,5

La relación beneficio/costo en la comunidad de Tahuapalca indica que por cada Bs 1 invertido se recupera Bs 1,2 y en la comunidad de Cebollullo tiene una recuperación de Bs 1,5. Concluyendo que la producción de maíz en estas dos comunidades es rentable.

La comunidad de Khapi tiene una relación de beneficio/costo de cada Bs 1 invertido recupera Bs 1,14 lo cual significa que la producción es rentable, aunque no muy alta como en las otras dos comunidades

En base a los anteriores resultados, se han vislumbrado algunas conclusiones preliminares en este acápite que serán complementadas y confirmadas en el documento final de esta parte del proyecto:

- La productividad de los diferentes cultivos ha ido disminuyendo paulatinamente. Algunos agricultores acreditan este efecto al “cansancio de las tierras”, lo cual podría ser un factor puesto que los mismos agricultores indicaron que el tiempo dedicado al descanso de las tierras se redujo.
- El precio de la producción varía considerablemente, esto se debe a diversidad de variables, entre las que se incluyen: competencia existente con la producción de la zona del Altiplano, sobretodo en el cultivo de la papa. Existen épocas en las cuales los precios se han incrementado considerablemente, lo cual se acredita a periodos de inflación evidenciados en Bolivia. Sin embargo, se considera que una de las variables que determina considerablemente el precio es la referente a las condiciones climáticas con las que se cuentan en el proceso de producción. En el caso del maíz por ejemplo, si las temperaturas bajan considerablemente, esto tiene impactos directos con el tamaño de la producción y por lo tanto con el precio al que se oferta este cultivo.
- En el caso en el que existan fenómenos como heladas en épocas en las cuales se supondría que no debieran existir, esto repercute directamente en la producción tanto de la papa como del maíz.
- Se tiene una percepción casi generalizada que las plagas se han ido incremento considerablemente y se acredita a un incremento en el promedio de las temperaturas, esto ha provocado que se incremente y diversifique el uso de productos químicos, los cuales son aplicados sin ninguna preparación técnica a los agricultores, practica no aconsejable que no solo implica una reducción en la rentabilidad de la actividad agrícola sino también que algunas plagas se convirtieron en más resistentes.
- Existe poca precipitación fluvial en la región en temporadas altas de lluvias, las cuales deberían ser mayores, dando como resultado menor aplicación de riego a la producción de lechuga, maíz y otros productos del lugar, lo cual deriva a un rendimiento menor.

- Los precios de los insumos tienen una tendencia creciente, sin embargo el precio de venta del producto tiene una tendencia variable en función de los factores climáticos y las variaciones del mercado como aspectos más importantes, lo que podría ocasionar una disminución de la rentabilidad en ciertas ocasiones.

Se ha evidenciado que hubo un ajuste en el precio de la canasta familiar, los precios se han ido incrementando, lo cual ha implicado que en los últimos periodos la rentabilidad se incremente, sin embargo, al mismo tiempo se ha evidenciado que la precipitación no ha sido constante, lo cual ha ocasionado que el tamaño de la producción sea menor.

El informe socioeconómico respectivo se encuentra en el Anexo 11.

**3.5OBJETIVO 5** Determinar la variación de la demanda de agua en base a la estructura socioeconómica y productiva pasada, actual y proyectada de los sistemas agropecuarios, y ecosistemas en la zona de proyecto, identificando los derechos del agua, sus formas de uso, gestión, estatus legal, ejercicio del derecho y detentores

Este objetivo requiere de un análisis integral del consumo de agua en parcela al presente conjuntamente con los resultados del análisis de imágenes satelitales y de las encuestas aplicadas. El trabajo de campo para lograr este objetivo se llevó adelante en las comunidades de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca desde junio de 2009.

### 3.5.1 Evaluación del cambio de los requerimientos de agua para riego

Por sus características de contar con un curso de agua permanente gracias a la presencia del glaciar, la cuenca incluye a comunidades estrechamente relacionadas al riego. El sistema de riego en la cuenca está constituido por tres canales principales. El 49% de los agricultores tiene acceso a un canal, el 42% accede a dos canales y solo el 8% accede a los 3 canales de riego (Tabla 39) siendo que el mayor porcentaje de familias que accede a los 3 canales reside en la comunidad de Khapi.

**Tabla 39. Número de canales de riego a los cuales acceden las familias residentes en la zona de estudio (% de familias encuestadas).**

			A cuántos canales de riego tiene acceso?			Total
			1	2	3	
Comunidades	Khapi	%	25,0%	65,0%	10,0%	100,0%
	Tahuapalca	%	60,0%	31,4%	8,6%	100,0%
	Cebollullo	%	53,1%	40,6%	6,3%	100,0%
Total		%	49,4%	42,5%	8,0%	100,0%

De acuerdo al acceso a agua que las familias tienen, la frecuencia de riego en general es: una vez/semana, dos veces/semana, según lista y número de personas o según el turno semanal. Se puede observar que la comunidad de Khapi puede acceder a un mayor uso de los

canales de riego, pero es la comunidad con menos uso real del riego pues la frecuencia de heladas en la zona alta de la comunidad determina una necesidad menor de riego para sus cultivos<sup>1</sup>.

En época seca, las comunidades de Tahuapalca y Cebollullo se organizan por turnos para acceder al riego. Mientras que la comunidad de Tahuapalca toma como estrategia el turno por lista y número de personas para evitar conflictos, en la comunidad de Cebollullo que tiene mayor acceso a los canales de riego se han organizado por turnos semanales.

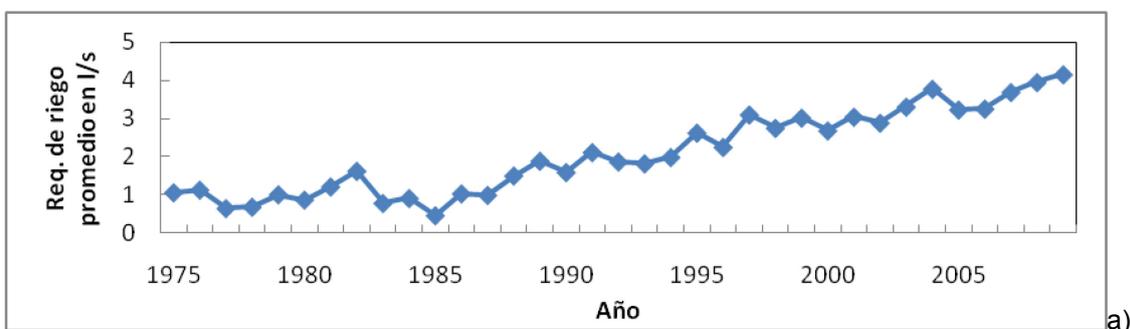
**Tabla 40. Frecuencia de riego (% familias encuestadas)**

			Frecuencia de riego					Total	
			una vez/semana	día por medio	dos veces/semana	Segun la lista y el número de personas	Segun el turno semanal		Tres veces por semana
Comunidades	Khapi	%	25,0%	5,0%	55,0%	,0%	,0%	10,0%	100%
	Tahuapalca	%	6,3%	6,3%	12,5%	65,6%	3,1%	6,3%	100%
	Cebollullo	%	29,0%	3,2%	29,0%	,0%	25,8%	12,9%	100%
Total		%	19,3%	4,8%	28,9%	25,3%	10,8%	9,6%	100%

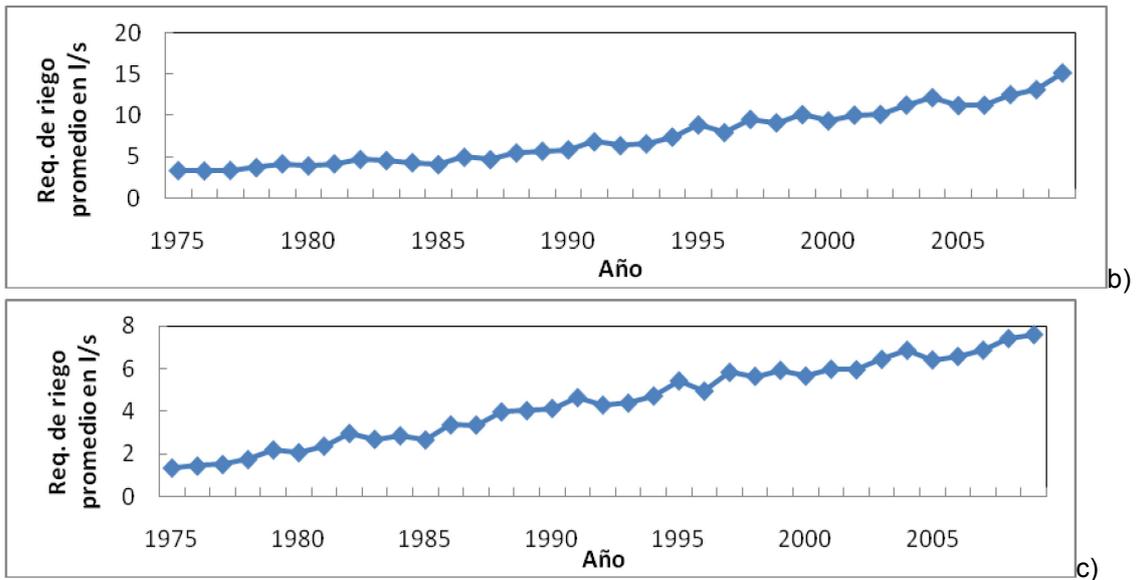
La información presentada muestra la extrema dependencia del riego del sistema productivo de la cuenca con hasta un 100 % de agricultores produciendo bajo riego en las comunidades de zonas bajas. Esto por una parte demuestra una extrema vulnerabilidad pues entre un sistema intensivista de monocultivo y la fuerte dependencia del riego hace que una pequeña perturbación del sistema (falta de agua, plagas agresivas, bajos precios) podría provocar un colapso productivo de magnitud.

El seguimiento detallado a las prácticas agrícolas (calendario agrícola, actividades culturales, ciclo vegetativo, etc) y la evaluación climática han permitido evaluar los requerimientos de riego en función al clima y el uso de agua de riego en la zona.

La Figura 64 a), b) y c), presenta el cambio y crecimiento de las necesidades de riego promedio anuales de las tres comunidades evaluadas. Aunque todas las comunidades han incrementado mucho sus requerimientos de riego desde 1975, la comunidad de Tahuapalca presenta el máximo incremento con un incremento de hasta 500 % frente a una duplicación de los requerimientos en Khapi. A pesar de que Tahuapalca cuenta con las superficies productivas más reducidas, el cultivo más importante (lechuga) que requiere mucho riego y el número de cosechas por año hace que sus requerimientos sean mayores que en Khapi, donde todavía se produce bajo un sistema de rotación y alternado con mayor sostenibilidad.



<sup>1</sup> Una evaluación detallada del acceso y uso del riego se encuentra en el mapeo de derechos de agua de la cuenca "Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC



**Figura 66. Requerimientos promedio anuales de riego en l/s 1975-2009 para a) Khapi, b) Cebollullo, y c) Tahuapalca**

El informe completo sobre el cambio en los requerimientos de agua para riego se presenta en el Anexo 8.

La demanda de riego presentada en líneas anteriores se refiere a aquella calculada en función del clima y del patrón de cultivos de cualquier zona. Sin embargo la cantidad real de riego aplicada podría ser mayor o menor de acuerdo a la disponibilidad del recurso. Esto sólo puede ser identificado a través del seguimiento diario del uso de agua en parcela. De esta manera y como ejemplo que se replica en todas las comunidades, la Tabla 41, presenta la lámina total de agua realmente aplicada a los cultivos de lechuga y maíz en la comunidad de Cebollullo.

**Tabla 41. Lámina y frecuencia de riego por ciclo de cultivo en la comunidad de Cebollullo**

Cultivo	Código	Lamina de riego	Frecuencia de riego
Lechuga	LJ	634,1	7,0
	LR	616,0	5,6
	LI	894,5	6,7
	LE1	926,8	5,2
	LJ2	909,2	6,8
Promedio		796,1	6,3
Maiz	ME	940,2	8,5
	MI	841,1	8,8
	MB	1135,5	16,4
Promedio		972,3	11,2

En promedio la lámina aplicada al cultivo de lechuga se encuentra en los 796,1 mm, con una frecuencia promedio de riego de 6 días durante el ciclo productivo. Con referencia al cultivo de maíz, en promedio se aplica una lámina de agua de 972,3 mm, con una frecuencia de riego de 11 días. Sin embargo la lámina promedio requerida es sólo de 350 mm en lechuga y de 550 mm en el caso del maíz, lo cual muestra que la aplicación de riego no es eficiente y a veces hasta irracional, pues los agricultores aplican agua en función de su derecho más que de su necesidad.

### **3.5.1.1 Realización de un “Mapeo de Derechos” de las comunidades y poblaciones de la zona del proyecto, determinando los derechos de uso de agua dentro y entre comunidades, su historia y su gestión**

El Mapeo de Derechos es una metodología desarrollada en Agua Sustentable para entender la gestión del agua por los usuarios de una cuenca, las reglas de acceso a las fuentes, los derechos y gestión consuetudinaria y las características técnicas de los sistemas de acceso y distribución del agua, tanto de riego como de uso doméstico. Una de las características del Mapeo de Derechos es que permite visualizar los derechos de acceso al agua de manera visual con el apoyo de un SIG y de esquemas que sintetizan la complejidad de la gestión local del agua.

### **3.5.1.2 Derechos de Agua**

Los acuerdos entre comunidades pertenecientes a un solo sistema, son algo común y generalizado, sobre todo en la época seca. Consisten en destinar ciertos días para el riego de las distintas comunidades cuando escasea el agua. En época lluviosa no hay reglas. Estos acuerdos han ido cambiando en el tiempo porque se apoyan en el cumplimiento de las obligaciones. Como común denominador se puede señalar que las pérdidas de derechos (menos días de acceso o perder el acceso en su totalidad) se debieron a que la comunidad consideró que las obligaciones superaban los beneficios combinado con el hecho de contar con otras fuentes alternativas que satisfacían sus demandas de agua. Se pueden citar tres ejemplos que ilustran estos cambios:

#### ***Pérdida de derechos de acceso de La Granja en el Sistema Canal Camapo***

*El Sistema Canal Camapo comprende las comunidades de Khapi y Challa Sirca. Hasta el año 1970, La Granja estaba incluida. Este año el canal que le abastecía sufrió una ruptura y la comunidad consideró que los recursos y trabajo requeridos para la reparación no eran una inversión necesaria en ese momento en que los otros sistemas de riego satisfacían su demanda de agua, de modo que dejó de recibir agua del sistema. Sin embargo, en el panorama actual, en que La Granja se considera una de las comunidades con mayor déficit, han decidido arreglar el canal y recuperar sus derechos. Las otras comunidades afirman que les corresponde por usos y costumbres y les otorgarán un turno de 2 a 3 días.*

*En este caso, en que la pérdida de derechos no fue objeto de ninguna sanción por incumplimiento de obligaciones, recuperar el derecho no representa mayor inconveniente. Sin embargo es posible que La Granja deba compensar todos los años en que no participó del mantenimiento del resto del sistema.*

**Fuente:** Entrevistas a dirigentes de La Granja, Khapi y Challa Sirca 2010

### **Pérdida de derechos de acceso de La Granja en el Sistema Canal Llujo**

*En el canal Llujo actualmente los derechos colectivos a nivel de comunidad incluyen a Khapi, Challa Sirca y Llujo. Hasta el año 1960 incluían a La Granja, pero en vista de la enorme distancia desde la toma de agua hasta las áreas de riego de La Granja, esta comunidad decidió ya no participar de las obligaciones porque demandaban demasiado esfuerzo y trabajo. A esto se sumaba que para recibir el agua en los turnos respectivos era necesario "rondar" como se continúa haciendo en todos los sistemas en la actualidad, es decir una persona debe recorrer el canal desde las partes más altas para controlar que otras comunidades no saquen el agua durante este tiempo. Para La Granja, que se ubica a la cola del sistema, esto implicaba muchas horas de caminata. Por ejemplo Khapi, que mantienen sus derechos en el sistema y se ubica más cerca de la toma, menciona que, incluso para ellos, ir a rondar les resulta muy lejos y trabajoso, de modo que optan por pagar a comunarios de Pinaya (zona alta) para que rondan durante su turno.*

*El factor decisivo para que La Granja opte por salir del sistema fue que en esos años tenía menos demanda de agua y por tanto otras fuentes más cercanas satisfacían sus necesidades. Cuando La Granja salió del sistema, los derechos de agua quedaron para las tres comunidades, Khapi con dos días, Challa Sirca con dos días y Llujo con tres días. Los entrevistados mencionaron que Llujo tenía más derecho porque está más cerca (a la cabecera) y puede cuidar más el canal de modo que otras comunidades no roben el agua.*

**Fuente:** Entrevistas a dirigentes de La Granja, 2010

### ***Pérdida de derechos de acceso de Khapi en el Sistema Canal Llujo***

*En el año 1970, el Sistema Canal Llujo tuvo un fuerte conflicto con comunidades de la cuenca alta (Qiliwaya, Pusquiri, Aramanni), el cual derivó en un proceso judicial, lo cual no es muy usual en conflictos del área rural que suelen resolverse con normas y autoridades del derecho consuetudinario. El conflicto se origino por “robo” de agua por parte de dichas comunidades. Para subir el tono del conflicto, lo más probable es que el robo haya sido un incidente repetitivo durante muchos años, o que el robo hubiese implicado un daño mayor al canal. Este juicio debió demandar muchos viajes y gestiones en la ciudad de La Paz, en los que la comunidad de Khapi no participó. La sanción fue la pérdida de uno de los dos días semanales a los que tenía derecho de acceso.*

*Nuevamente los derechos perdidos pasaron a formar parte del turno de Llujo, lo que muestra que en esta zona, las comunidades ubicadas en las partes altas de la cuenca se consideran con más derecho sobre las fuentes de agua de los ríos que el resto. Los cambios de derechos colectivos comunales en este sistema, considerando la salida de La Granja y la sanción de Khapi variaron del siguiente modo:*

	Llujo	Khapi	Challa. Sirca	La Granja
# Días semanales antes de 1960	2	2	2	1
# Días semanales después de 1960	3	2	2	0
# Días semanales desde 1970	4	1	2	0

*Es así que en la actualidad Llujo tiene 4 días de turno a la semana frente a los 2 días de Challa Sirca y 1 día de Khapi.*

***Fuente: Entrevistas a dirigentes de La Granja, Khapi y Challa Sirca 2010***

En base a los ejemplos observados en la zona, se puede afirmar que la mayoría de los conflictos giran en torno al “robo” de agua, ya sea por comunidades que no pertenecen al sistema o al interior de los mismos. Los robos suelen ocurrir en las épocas de escasez de agua, y cuando llegan a un punto crítico dan lugar al establecimiento de un convenio o en el peor de los casos un proceso judicial como ocurrió con el Sistema Canal Llujo.

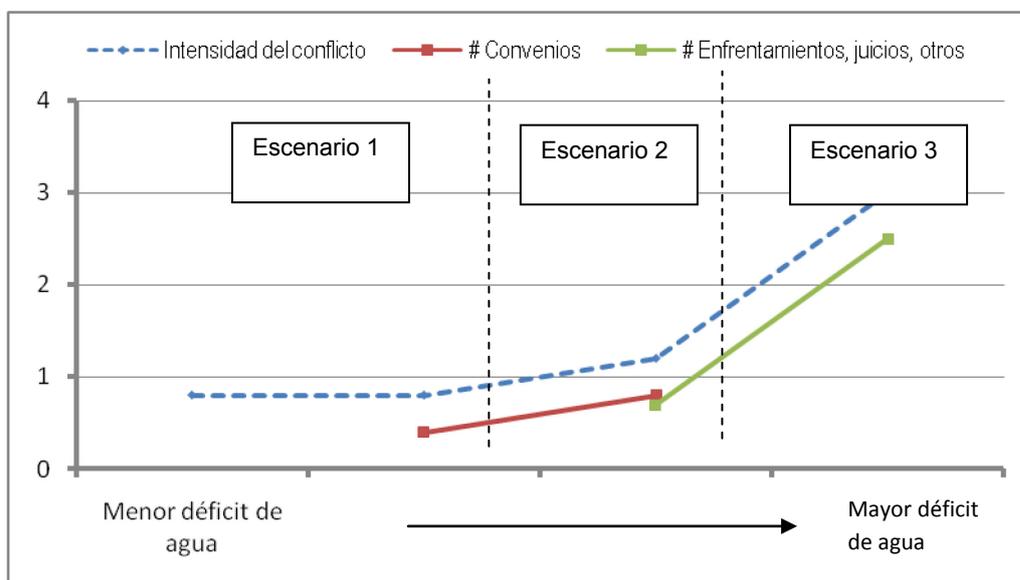
Otro elemento que se observa en torno al tema de conflictos son los cambios históricos de las relaciones de poder entre los actores involucrados (principalmente comunidades). En la época de Hacienda, los hacendados tenían el poder legal, coercitivo y contaban con el apoyo del aparato represor del Estado. Por tanto ellos ocupaban las mejores tierras que por su capacidad de producción agrícola eran generalmente las más bajas en relación a la cuenca donde se ubicaban. Esto implicaba un régimen preferencial de derechos de acceso al agua para estas tierras y por tanto para las comunidades a las que fueron dotadas. Sin embargo, con el paso de los años las comunidades de la cuenca alta se fueron aumentando en número de población y habilitando nuevas tierras agrícolas bajo riego. La ventaja natural de encontrarse situado al inicio de las fuentes de agua empezó a prevalecer con los años. La Granja es el ejemplo más claro de esta situación, quien después de haber contado con todos los beneficios de ser el área

principal de la Hacienda, hoy en día es la que “sufre más por el agua” por estar en la parte más baja de la cuenca.

Un conflicto de larga data es el del pueblo de Cohoni con la comunidad de Khapi. En los años 90 Cohoni decidió obtener el agua para uso doméstico del pueblo del río Illimani aguas arriba de la toma de Khapi. La comunidad intentó oponerse o por lo menos lograr un acuerdo sobre los volúmenes extraídos, sin embargo la correlación de fuerzas derivó en que Cohoni saca toda el agua que necesita, lo cual en época lluviosa no afecta a Khapi, sin embargo en la época seca los agricultores consideran que el déficit se incrementa. El hecho de que Khapi no haya tomado acciones durante tantos años puede ser un indicador de que la afectación no es significativa. Caso contrario, si bien el pueblo puede tener mayor poder a nivel político y acceder con mayor facilidad a los estrados judiciales, Khapi podría tomar acciones de hecho considerando su cercanía a la fuente y las tomas de agua de Cohoni.

Los ejemplos citados muestran que para que un conflicto derive en el establecimiento de un nuevo acuerdo o convenio la comunidad debe llegar a considerar que el motivo del conflicto, en este caso sobre el agua, llega a afectar de forma “significativa” el ritmo productivo y reproductivo de la comunidad. De otro modo el conflicto se queda como algo latente y no vale el esfuerzo de aterrizar en un convenio que posiblemente requerirá de inversión de tiempo y energía para el control de su cumplimiento. En caso de llegar a establecerse un convenio, las relaciones de poder son claras y por lo visto reconocidas por las comunidades: las comunidades de la cuenca alta tienen más derechos por estar cerca al origen de las fuentes y por tanto los términos del convenio siempre resultan favorables para éstas (más horas de acceso, turnos con mejores horarios, etc).

La situación se puede ilustrar en un gráfico dando valores relativos que representen escenarios en relación a un menor o mayor déficit de agua de la siguiente manera:



**Figura 67. Representación esquemática de la situación de los conflictos, convenios y enfrentamientos en relación al déficit de agua. Fuente: Elaboración propia**

El Escenario 1 representa una situación en la que el valor del déficit de agua no llega a sobrepasar un punto en el que los usuarios empiecen a considerar la necesidad de invertir

tiempo y energía en el establecimiento de convenios. En este escenario la línea punteada azul, que representa la intensidad de los conflictos, se mantiene en un nivel bajo que representa los conflictos que son usuales en cualquier sistema de gestión del agua, los cuales son muy bien manejados por los propios usuarios.

El Escenario 2 representa la situación de un déficit de agua que ya llega a afectar la capacidad productiva de los agricultores, y es en este momento en que ven la necesidad de establecer convenios para una mejor y más equitativa distribución del déficit. Estos convenios en el caso de nuestra cuenca de estudio pasan por el establecimiento de turnos entre las comunidades. Tanto la línea azul punteada (Intensidad del conflicto) como la línea marrón (# de convenios establecidos) tienen una pendiente que indica que a mayor déficit de agua se ve la necesidad de establecer un mayor número de convenios.

El Escenario 3 representa una situación en que el déficit de agua se torna crítico en un sistema y los involucrados no pueden encontrar soluciones que consideren equitativas o justas para ambos, de modo que recurren a enfrentamientos o, como en el caso del conflicto del canal Llujo con Pusquiri, recurren a un proceso judicial que implica la intervención de un tercero que ayude a resolver el conflicto desde una mirada más externa e imparcial.

Cuando se habla de “prevenir” conflictos, no se está considerando la dinámica propia de la gestión del agua de las comunidades andinas. En estos contextos, el conflicto es un elemento movilizador, que ayuda a visualizar inequidades o injusticias (que pueden tener origen histórico, cultural, económico, etc.) y, mientras la situación no sobrepase el Escenario 2, pueden considerarse como algo positivo y manejable por las propias comunidades. El conflicto puede llegar a situaciones no deseadas cuando entramos en el Escenario 3, que es lo que sí se recomienda prevenir y evitar. Es decir, que cuando hablamos de gestión del agua, el manejo de conflictos está íntimamente relacionado con el grado de déficit de agua, lo que significa que a partir de políticas, planes o acciones concretas que actúen evitando llegar a niveles deficitarios muy elevados, se pueden evitar y/o prevenir escenarios donde el conflicto se vuelva inmanejable.

¿Cuáles serían estas acciones concretas en el caso de la cuenca de estudio? Es una pregunta que requiere profundizar mucha información técnica, pero desde una mirada superficial de lo que se conoce hasta ahora se puede indicar que:

- Como se mencionó repetidamente, la superficie agrícola no puede crecer indefinidamente por las características topográficas y geomorfológicas de la zona, por tanto un incremento de la demanda por aumento de la superficie cultivada tiene un límite que podría no estar lejos de la superficie actual. Por tanto este factor no sería un problema a largo plazo.
- El crecimiento poblacional, por la misma razón tampoco representaría un gran problema para un incremento en la demanda de agua de riego, ya que las nuevas poblaciones no podrían desarrollar nuevas áreas de cultivo. Es posible en cambio que sí represente una competencia entre usos, de tal manera que aumenten los volúmenes requeridos para el uso doméstico, sin embargo en las comunidades rurales, este uso no demanda grandes volúmenes en relación al riego.
- Un incremento significativo de la demanda de agua para riego podría estar dado por la inserción de otros cultivos, adicionales a los presentes, con altos requerimientos de agua, impulsados por buenos precios en el mercado o por cambios en el ecosistema

que diversifiquen la producción. Este si es un factor en el que valdría la pena intervenir, de modo que la diversificación no incluya este tipo de cultivos.

- También habría que considerar intervenciones que mejoren la oferta del agua, como mejoras en los sistemas de riego actuales (revestimientos, almacenamiento, cosecha de agua, etc) y/o mejores técnicas de riego que disminuyan las pérdidas de agua.
- Considerando que de todas maneras siempre hay la posibilidad de pasar del Escenario 2 al Escenario 3, es importante pensar en algunos aspectos que faciliten el diálogo y la negociación en situaciones críticas de conflicto. Un buen instrumento para estos casos es la Ley de Riego 2878, la cual brinda un marco institucional, con participación de los usuarios de riego y por tanto con funcionarios que conocen muy bien las características y diversidad de normas consuetudinarias de gestión del agua, que sería un mejor apoyo para la resolución de conflictos en comparación con procesos judiciales largos, burocráticos y desconocedores de los usos y costumbres del riego. Además de apoyarse en este marco institucional para la resolución de conflictos (Servicio Nacional de Riego, Servicio Departamental de Riego), la adquisición de Registros, documento establecido en la misma Ley de Riego, es una manera de dejar claras las reglas entre los distintos Sistemas de Riego de una cuenca.

El informe completo del análisis de los derechos de agua en la cuenca se presenta en Anexo 12. Asimismo, el análisis del marco jurídico que muestra la necesidad de un mejor marco jurídico para el uso de agua en un entorno de cambio climático se presenta en Anexo 13.

### **3.5.1.3 Proyección de la demanda de agua futura para la producción agrícola, en función de la futura estructura productiva**

Este objetivo se trabajó en base a los resultados obtenidos acerca del manejo de agua presente con el fin de proyectar las necesidades de agua de los cultivos más importantes en la cuenca hacia un escenario de cambio climático y socioproductivo. Para ello se inició con el proceso de calibración del modelo AQUACROP para los cultivos de lechuga, maíz y papa en base a la información productiva obtenida en campo.

En el caso del maíz, el resultado de la simulación, de manera general se observa en la figura 68, donde se observa que los rendimientos de maíz son de 3,640 tn/ha, son similares a los observados en campo de 2.6 tn/ha en una parcela representativa. Se observa que a lo largo del ciclo de cultivo el maíz sufrió estrés, provocando la disminución de la expansión foliar y el cierre de estomas.

Esto no se debe a que la lámina de riego sea insuficiente, si no que la frecuencia de riego no es la adecuada ya que el intervalo entre riegos es muy largo, lo que provoca un agotamiento de agua en el suelo que no es repuesto a tiempo, por tanto el cultivo se ve afectado.

Esto se debe a varias situaciones, una de las principales causas es la deficiente gestión de riego, que provoca un uso desorganizado del agua del agua (excepto en los meses de septiembre y octubre), y la disponibilidad de tiempo del agricultor.

El ajuste de las variables como contenido de agua en el suelo, ciclo vegetativo, etc. fue muy bueno, siendo optimistas en el comportamiento del software para las condiciones de la cuenca.

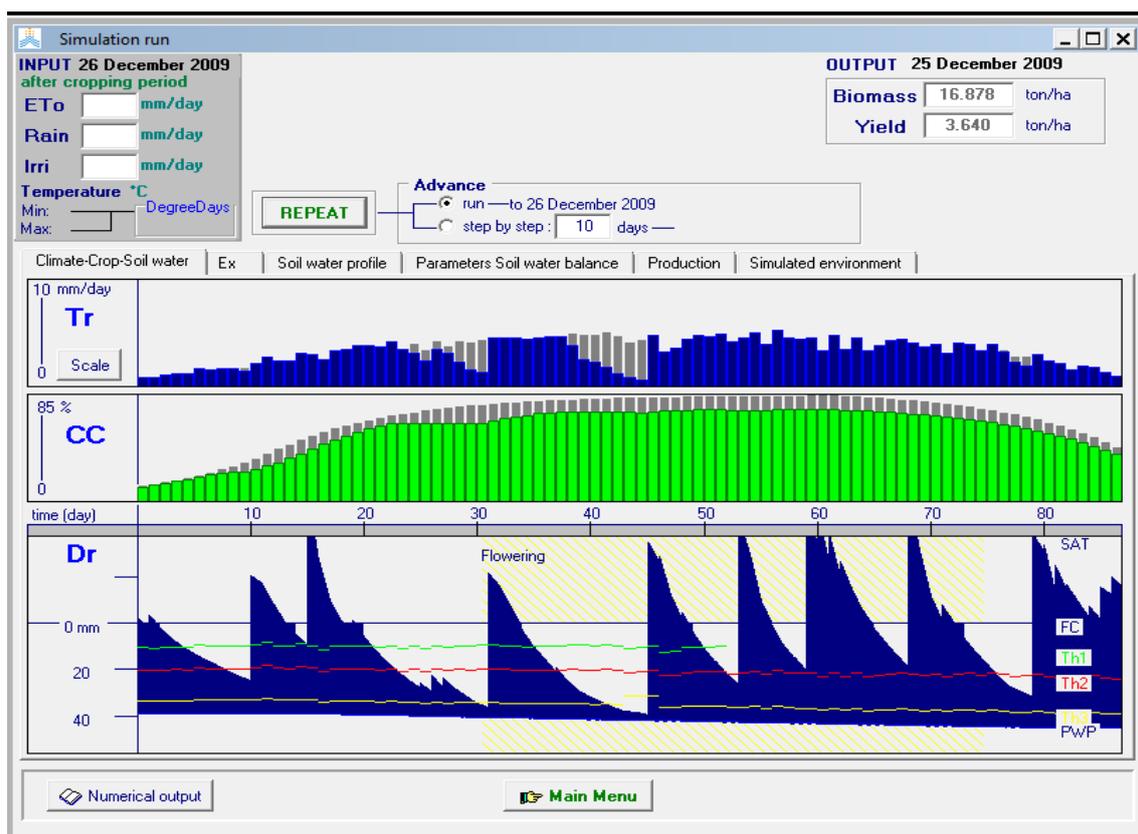
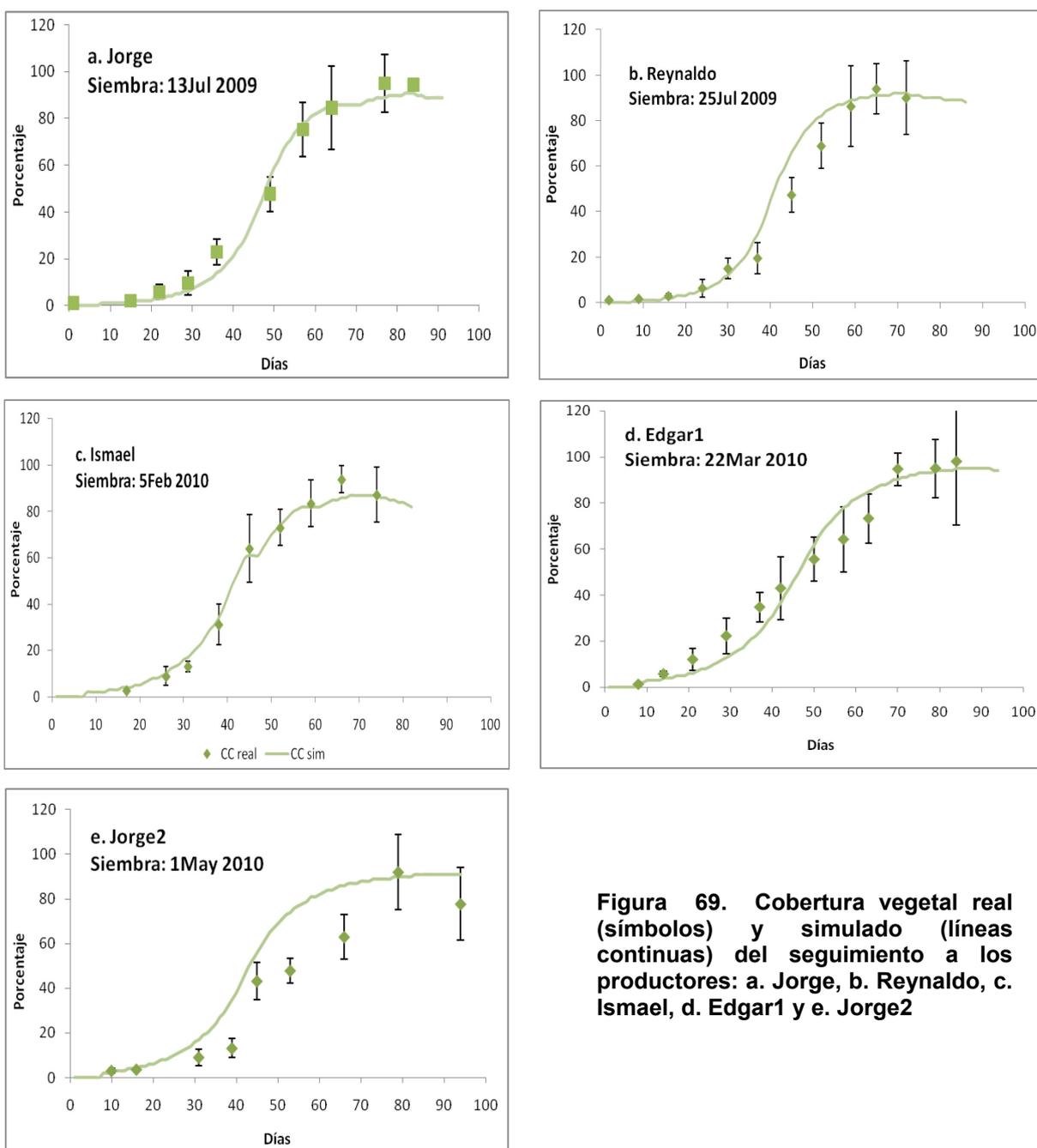


Figura 68. Simulación del cultivo de maíz

En el caso del cultivo de la lechuga, luego del ajuste correspondiente del modelo AQUACROP, se pudo obtener una muy buena simulación del crecimiento y rendimientos del cultivo tal como lo muestra la Figura 68. Las desviaciones de las simulaciones se produjeron solo en el caso de fuertes ataques de plagas no controlados que produjeron un menor crecimiento que el simulado. Este factor aún requiere mayor investigación pues el impacto indirecto del incremento de temperaturas sobre el desarrollo de las plagas no ha sido considerado en ningún modelo al presente.



**Figura 69. Cobertura vegetal real (símbolos) y simulado (líneas continuas) del seguimiento a los productores: a. Jorge, b. Reynaldo, c. Ismael, d. Edgar1 y e. Jorge2**

Con el modelo calibrado y las nuevas condiciones climáticas definidas por medio del trabajo de downscaling, se procedió a calcular la demanda esperada de agua de los cultivos, asumiendo que no ocurrirá un incremento de área cultivada, pues ello fue ya mostrado en su imposibilidad en los objetivos 3 y 4. El reporte completo se encuentra en el Anexo 14.

En dicho informe, denominado “Estudio de escenarios futuros de demanda de riego en la cuenca del río Sajhuaya”, se presenta el estudio de escenarios futuros de demanda de riego para todas las comunidades de la cuenca del río Sajhuaya: Khapi, Challasirca, Chañurani, Cebollullo, Tahuapalca, Cohoni y La Granja.

La información climática futura, periodo 2035-2068, es obtenida del informe: "Estudio de escenarios de cambio climático para la cuenca del río Sajhuaya (Espinoza, 2011a), en el cual se sugieren dos escenarios climáticos probables: el escenario más probable (EMP) y el escenario futuro húmedo (EFH). Ambos escenarios futuros de demanda de riego se comparan con la demanda histórica que se hubiese tenido en la cuenca, tomándose únicamente en cuenta la diferencia climática, con un tercer escenario climático: la Línea base (LB), al cual se aplican las series climáticas históricas.

Los escenarios climáticos EMP y EFH estiman que tanto la temperatura como la precipitación, en general, se incrementarán debido al cambio climático. El escenario EFH estima un incremento de temperatura del 2.8°C con respecto a 1.9°C del escenario EMP, mientras se espera un incremento más grande de la precipitación, 12.9% en el escenario EFH frente a 8.4% en el escenario EMP. El incremento en precipitación media anual resultante del estudio de cambio climático (Espinoza, 2011a) se sustenta con el análisis de tendencias climáticas de la región (Espinoza & Fernandez, 2011), en el que se espera que la precipitación aumente o al menos se mantenga (la precipitación es la variable que presenta mayor incertidumbre en las salidas de modelos de circulación global y modelos regionales)(Molina & Cruz, 2011).

Mientras un aumento de la temperatura produce un incremento de la evapotranspiración potencial y por tanto, de la demanda de agua para riego de los cultivos, un incremento de la precipitación produce una disminución de la demanda de agua para riego (el déficit de agua que debe ser cubierto por el riego disminuye).

La información productiva en los tres escenarios corresponde a la producción más crítica histórica, la estimada para 2010 en los informes de Demanda de riego histórica de la cuenca (García, 2010) y la demanda de riego de la comunidad La Granja (Salazar & Tellería, 2001), el último año de estudio en dichos informes.

Si bien se estima que las áreas productivas ya han alcanzado casi el máximo posible de la cuenca (debido a su topografía y tipo de suelos) en 2010, es el tipo de producción el que podría verse mayormente modificado en el futuro debido al incremento de la temperatura y a la presión del mercado que fomentan el cultivo a mayor escala de plantas con mayor valor comercial (monocultivo) y mayor consumo de agua como la lechuga y flores, cada vez a mayores alturas.

Una estimación de la estructura productiva futura en la cuenca requiere de un estudio socio-económico muy complejo, que por limitaciones de tiempo y recursos no ha sido posible llevar a cabo en el marco de este proyecto.

En general, para el periodo 2035-2068, se espera un incremento en las demandas de riego durante la época seca, de junio a diciembre y una disminución en la época de lluvias, entre enero y marzo. Estos cambios son mayores en el escenario climático futuro húmedo EFH, el cual prevé los mayores cambios en temperatura y precipitación.

La intensidad de los cambios observados también depende de la posición relativa de la comunidad en la cuenca, mayores y más evidentes cambios en ambas épocas del año se esperan en las comunidades de la parte más alta de la cuenca: Khapi, Challasirca y Cohoni canal 2. En las comunidades de la parte media de la cuenca: Cebollullo, Chañurani, Cohoni canal 3 y Cohoni canal 4 y 5, se espera una disminución de la demanda entre los meses de enero y marzo. Mientras, en las comunidades de la parte baja de la cuenca, Tahuapalca y La Granja, se observa que en el modelo EMP se tendría una ligera disminución de la demanda de agua durante todo el año y en el escenario EFH se tendría un ligero aumento de la demanda de riego entre septiembre y diciembre y una disminución más marcada entre enero y marzo.

Analizando la evolución de la demanda de riego anual por comunidad, puede apreciarse que el aumento de temperaturas y precipitación genera muy poca diferencia en demandas en los escenarios EFH y EMP respecto a las demandas del escenario LB, una mayor demanda anual se aprecia solo entre 2044 y 2049, o entre 2061 y 2067. Entonces, se puede decir que a nivel de demanda potencial de riego anual, el incremento de demanda generado por el incremento en temperatura se compensa con la disminución de demanda generada por una mayor precipitación, tanto en el escenario EMP como en el EFH. La diferencias entre demanda de riego potencial para los escenarios EFH y el EMP es mínima, en general se observa una ligeramente mayor demanda en el escenario húmedo EFH, que puede ser atribuida al mayor incremento de temperatura que no es compensado con el incremento de precipitación.

En el estudio se asume que las áreas bajo riego estimadas para el año 2010 no se incrementarán en el futuro y que su producción no variará hasta el año 2068.

Si bien se estima que las áreas productivas en esta cuenca ya han alcanzado casi su máximo posible en 2010, especialmente en la parte baja de la cuenca debido a su topografía y tipo de suelos, en la parte alta de la cuenca todavía podrían habilitarse nuevas áreas productivas debido al incremento de la temperatura, sin embargo estas están limitadas por el terreno rocoso.

En general y a nivel de toda la cuenca, es el tipo de producción el que podría verse mayormente modificado en el futuro. Debido al incremento de la temperatura, la producción de algunos cultivos ya no es viable a las mismas alturas y deben ser reemplazados por otros que se adapten mejor a mayores temperaturas, generalmente, la producción típica de las partes bajas es cada vez mejor a mayores alturas. La presión del mercado fomenta el cultivo a mayor escala de plantas con mayor valor comercial (monocultivos) y que suelen tener un mayor consumo de agua, como la lechuga y flores, como se ha observado en los estudios de (García, 2010) y (Salazar & Tellería, 2001). Entonces, una estimación de la estructura productiva futura en la cuenca requiere de un estudio socio-económico-productivo complejo.

**3.6OBJETIVO 6** Estudiar los conflictos potenciales entre los usuarios del agua con especial énfasis en las demandas para irrigación vs. Otros usos; zonas altas vs zonas bajas en la cuenca; usuarios locales vs usuarios externos a la cuenca y usos para subsistencia vs usos para producción comercial, la actual gestión de conflictos asociados y el marco legal consuetudinario

El producto correspondiente a este objetivo es el estudio de género realizado.

### **3.6.1 Estrategia de Género**

Los análisis participativos realizados en la cuenca han demostrado la vulnerabilidad productiva de la población como fue reportado en el Objetivo 2. En función de ello se ha desarrollado el análisis de la estrategia de género.

#### **3.6.1.1 Sensibilidad**

La seguridad alimentaria de las comunidades de la cuenca, se basa principalmente en la producción agropecuaria. La producción agrícola es la fuente de ingresos más importante para la zona. Su sistema productivo es mayormente de forma tradicional practicada en pequeñas parcelas.

Su producción depende del trabajo familiar, que en caso de migración del varón las mujeres se encargan absolutamente de todo el trabajo. Se destaca una producción tradicional con poca incorporación de la mecanización y un manejo de la semilla precario.

El agua esta principalmente destinada para el uso agrícola, después para el uso doméstico y por ultimo para el uso pecuario. La distribución del agua se realiza, principalmente, por los sistemas de riego o acequias, agua que no solo se usa para fines agropecuarios; sino, también se usa para fines domésticos, como: lavar ropa, higiene personal, e incluso para tomar.

En general, las condiciones de pobreza que deben enfrentar algunos sectores de la población, las exponen con mayor vulnerabilidad al cambio climático y reducen sus capacidades de adaptación al cambio climática. Situaciones estructurales de subdesarrollo, condiciones de marginalidad, exclusión, baja escolaridad y salud, su actividad económica altamente dependiente a los recursos naturales y su posición en la toma de decisiones públicas se convierten en factores que intensifican la *sensibilidad* de estos sectores frente al cambio climático.

Las mujeres de las comunidades de la cuenca representan el 49 % de la población total, de este porcentaje el 61.4% son analfabetas<sup>2</sup>. Estos factores intrínsecos a las formas de constitución de las relaciones de género agravan la *sensibilidad* de las mujeres al cambio climático y las *exponen* a condiciones menos favorables de *adaptación*.

### **3.6.1.2 Sobre la relación “agua y género”**

Se reconoce la relación intrínseca del “agua y género”, basada en la división sexual del trabajo, las diferencias inherentes a la clase y a la condición étnica entre mujeres y entre hombres definiendo un determinado tipo de acceso al agua, a su propiedad, control, uso y manejo así como a la participación en la toma de decisiones respecto a los usos y destino del agua de hombres y mujeres

### **3.6.1.3 Sobre la producción**

Las mujeres de las comunidades de la cuenca, por las características de producción bajo un sistema familiar, tienen una participación importante en las actividades productivas de la región. En los casos donde se cuenta con la presencia de los esposo las participación de las mujeres en todas las tareas agropecuarias es casi ecuanime, y en el caso de migración temporal o permanente del esposo, por trabajo en la ciudad o en la mina, las mujeres se encargan de manera absoluta de todas las actividades que requiere la producción.

### **3.6.1.4 Capacidades de adaptación de las mujeres**

El tema se agrava en cuanto las capacidades adaptativas de las mujeres por su *situación* de género son mucho menos favorables que la de los varones: las mujeres tiene pocas oportunidades de acceso al crédito, no tienen propiedad independiente de la tierra, los procesos de capacitación técnica están principalmente dirigido a los hombres, son pocos los programas de manejos de semillas y fertilizantes que priorizan a las mujeres considerando su tiempos libres y sus dificultades de movilidad por los hijos, su afiliación a los sindicatos o asociaciones productivas están sujetas a la membresía de los esposos y los conocimientos tradicionales de producción se cierran en los espacios tradicionalmente de hombres.

---

<sup>2</sup> INE, 2000

“Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia” – Proyecto Illimani IDRC

Las mujeres de las comunidades de la cuenca reconocen, la necesidad de acceder al conocimiento e información que permitiera a las mujeres adaptarse en mejores condiciones, que este pudiera ser el mejor de los instrumentos para mejorar su vida y ayudar a su familia.

### 3.6.1.5 Sobre la distribución de derechos

Según algunos entrevistados, la tierra se parte a todos los hijos de la familia, sin ninguna distinción por género, en los casos que las hijas estén casadas el traspaso de la porción que se realiza, frente al sindicato, se hace a los esposo. Por lo tanto la titularidad del terreno en la organización la tiene el esposo, con todos los derechos consecuentes de esta titularidad, como son: el acceso al agua, a los *aynis*<sup>3</sup>, proyectos de apoyo, semillas, capacitaciones y en general la toma de decisiones comunales.

### 3.6.1.6 Institucionalidad

Las mujeres de las comunidades de la cuenca no han logrado desarrollar redes sociales capaces de constituir una organización representativa. Reconocen que existen líderes mujeres muy valiosas pero que han sido cooptadas por el sindicato donde ocupan cargos poco representativos. En general se observa poca disposición a la organización y muy poca experiencia de participación política y desarrollo de institucionalidad entre las mujeres del poblado de Khapi y sus comunidades aledañas

### 3.6.1.7 Propuesta de estrategia

Bajo estas condiciones de vulnerabilidad es conveniente proponer, en grandes líneas acciones con enfoque de género para pensar en una estrategia de adaptación al cambio climático en las comunidades de la cuenca (Tabla 37).

Para ello se propone concentrar la atención en las sensibilidades propias de las mujeres de la cuenca identificadas de manera exploratoria se resumen en las siguientes:

- Mujeres, principales garantes de la seguridad alimentaria de las familias.
- Alta dependencia de la seguridad alimentaria a los recursos naturales
- Alta dependencia de la seguridad alimentaria al agua
- Carga laboral de las mujeres (actividades productiva y reproductivas)

**Tabla 42. Acciones propuestas que incluyen ula estrategia de género**

<b>Mujeres, principales garantes de la seguridad alimentaria de las familias.</b>		
<b>Acciones</b>	<b>Actores involucrados</b>	<b>Tiempos</b>
Promover el reconocimiento de la participación y protagonismo de las mujeres en las actividades agrícolas.	<b>Familias Autoridades Técnicos de proyectos</b>	Inmediato
Transferencia de conocimientos técnicos sobre agricultura sostenible y ecológica a las mujeres con metodologías y en tiempos adecuados a sus tareas	Mujeres Autoridades Técnicos de proyectos	Inmediato

<sup>3</sup> Ayni, es una forma tradicional de compensación y reciprocidad comunal donde el trabajo que prestan algunas familias deberá ser pagado con trabajo.

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*

Implementación de proyectos de diversificación de la producción agropecuaria con metodologías y en tiempos adecuados a sus tareas. (para superar el monocultivo de la lechuga)	Mujeres Autoridades Técnicos de proyectos	Mediato
Transferencia de capacidades para el manejo integrado de los productos agrícolas. (semilla, tierra, abono, agua y otros)	Mujeres Autoridades Técnicos de proyectos	Mediato
Promover procesos de organización y fortalecimiento de la asociación de mujeres del mercado, con el propósito de generar acuerdos sobre los precios y mejorar las redes de comercialización de los productos.	Mujeres	Inmediato
<b>Alta dependencia de la seguridad alimentaria a los recursos naturales</b>		
Promover programas de diversificación de la economía, que no recarguen la faena de las mujeres: Proyectos comunales de ecoturismo y transformación de alimentos	Familias Autoridades Técnicos de proyectos	A largo plazo
Promover la recuperación del trueque a partir de redes de mujeres organizadas	Mujeres Autoridades	Inmediato
Difundir conocimientos sobre el cambio climático y sus impactos en los recursos naturales	Familias Autoridades	Inmediato
Difundir conocimientos sobre el cambio climático y gestión del riesgo ante las <i>exposiciones</i> más constantes en la región a la comunidad y con especial atención a las mujeres, con métodos y en tiempos adecuados para las tareas de las mujeres	Familias Autoridades	Inmediato
Construir con la comunidad y especialmente con las mujeres sistemas de alerta temprana de eventos climáticos riesgosos. Este sistema deberá incorporar conocimientos tradicionales y técnicos.	Familias Autoridades	Inmediato
Será necesario constituir un comité afín al sindicato, donde exista la participación de las mujeres, con capacidades de manejo del sistema de alerta temprana y gestión del riesgo	Familias Autoridades	Inmediato
<b>Alta dependencia de la seguridad alimentaria al agua</b>		
Definición de acuerdos de derechos y gestión del agua para riego, sostenibles y equitativos, donde las mujeres sean consideradas como titulares de derechos y acceso a los cargos de autoridad	Comunidad	Mediato
Garantizar proyectos de acceso al agua potable a todos los hogares de la región.	Familias Autoridades	Mediato
Promover campañas de defensa del Illimani con amplia participación de las mujeres con sus intereses, necesidades y aspiraciones específicas.	Autoridades	Inmediato
Incluir en los proyectos de gestión del agua una visión de equidad de género que incluya los	Autoridades	Inmediato

intereses, necesidades y aspiraciones específicas de las mujeres de la región		
<b>Carga laboral de las mujeres (actividades productiva y reproductivas)</b>		
Generar espacios de reflexión sobre la equidad de género con las familias de las comunidades para valorar el aporte doméstico de las mujeres.	Familias Autoridades	Inmediato

Por las razones expresadas, se sugirió a manera de recomendaciones en el diseño de la estrategia los siguientes puntos:

- La experiencia demuestra que la intervención en el tema de cambio climático exige una mirada eficaz de género para entender las proporciones y condiciones de vulnerabilidad de los distintos sectores de la población.
- La invisibilización de las condiciones de vulnerabilidad inherente a la situación de género que afecta las capacidades de adaptación de las mujeres puede ser altamente riesgoso por la dependencia que tiene la seguridad alimentaria de la familia con las actividades de las mujeres campesinas de la cuenca de estudio.
- Es necesario pensar en acciones que fortalezcan la participación y la capacidad de opinión y decisión de las mujeres en las organizaciones productivas para la inclusión de su perspectiva, demandas e intereses en la definición de las estrategias, en la aplicación de los proyectos y los procesos siguientes de adaptación al cambio climático.
- Reconocer que las mujeres con las que se trabajó demostraron poca experiencia en la participación de talleres y reuniones, algunas expresaron temores sobre la receptividad de sus maridos al tiempo fuera de casa. Situación que deberá trabajarse para poder incluir a las mujeres en las reuniones y procesos de capacitación.
- Por la vinculación demostrada entre la seguridad alimentaria y las mujeres de la cuenca, no se puede soslayar su participación en procesos de mejoramiento de los sistemas de riego, considerando que las acequias son fuentes alternativas de las mujeres de uso de agua para consumo y para desarrollar otras actividades, como el lavado de la ropa.
- Se debe reconocer, que por el vínculo de las mujeres con los recursos naturales son portadoras de conocimientos y saberes importantes para el manejo sustentable de los recursos y que por la necesidad cotidiana de gestionar los recursos han desarrollado estrategias de adaptación al cambio climático importantes de recuperarlas y revalorizarlas.
- Es necesario planificar procesos de sensibilización al tema del cambio climático a través de canales adecuados para las mujeres de Poblado de Khapi y comunidades aledañas, considerando que un buen porcentaje de las mujeres mayores de 15 años son analfabetas y monolingües.
- De igual manera, será conveniente desarrollar campañas de sensibilización sobre las fortalezas, capacidades y el vínculo estrecho de las mujeres con la producción agropecuaria de la región.

- Con la intención de revertir las condiciones de género que agravan las vulnerabilidad de las familias al cambio climático, será importante generar procesos de exigibilidad al gobierno municipal para el cumplimiento de disposiciones normativas de acción positiva al género como, el establecimiento de un 30% del presupuesto destinado al desarrollo para las necesidades específicas de las mujeres.

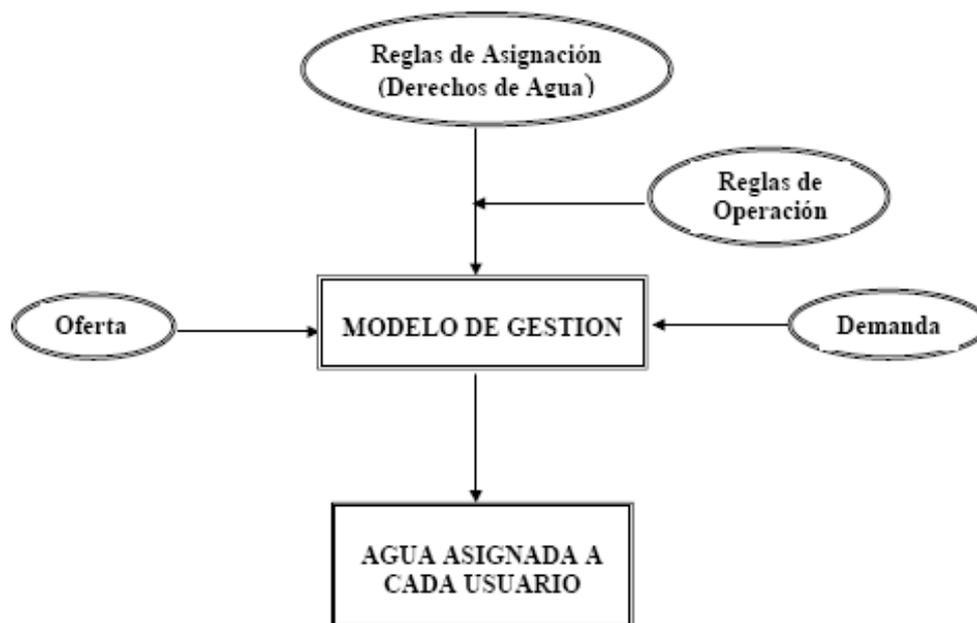
El informe completo de este estudio se presenta en el Anexo 15.

**3.7OBJETIVO 7** Determinar y evaluar en base a los escenarios climáticos modelos de gestión basados en los efectos del cambio climático y diversas estrategias de adaptación

La gestión del agua a nivel de cuenca puede ser concebida como un intento de identificar el mejor uso posible de los recursos hídricos disponibles, considerando ciertas condiciones/restricciones sociales, legales, técnicas, de suelo y medio ambiente. El término “gestión integrada” se refiere generalmente al manejo de los recursos hídricos tomando en cuenta los aspectos socioeconómicos, físico-biológicos y técnicos del problema, así como también las necesidades e intereses de los diversos usos y usuarios, con el objeto de reducir los conflictos entre ellos. La gestión del agua se hace indispensable cuando la oferta del agua es escasa frente a la demanda de múltiples usuarios que compiten por un recurso limitado, ya que la falta de agua en una región puede restringir seriamente su desarrollo y su uso puede provocar grandes impactos ambientales.

Bajo esta concepción es que dentro del proyecto se buscó determinar y evaluar la gestión del agua en la cuenca del río Sajhuaya, así como diferentes escenarios ante los efectos del cambio climático y diversas estrategias de adaptación a ese cambio. Para esto, el estudio de Molina utilizó un modelo matemático de gestión del agua, el MIKE Basin.

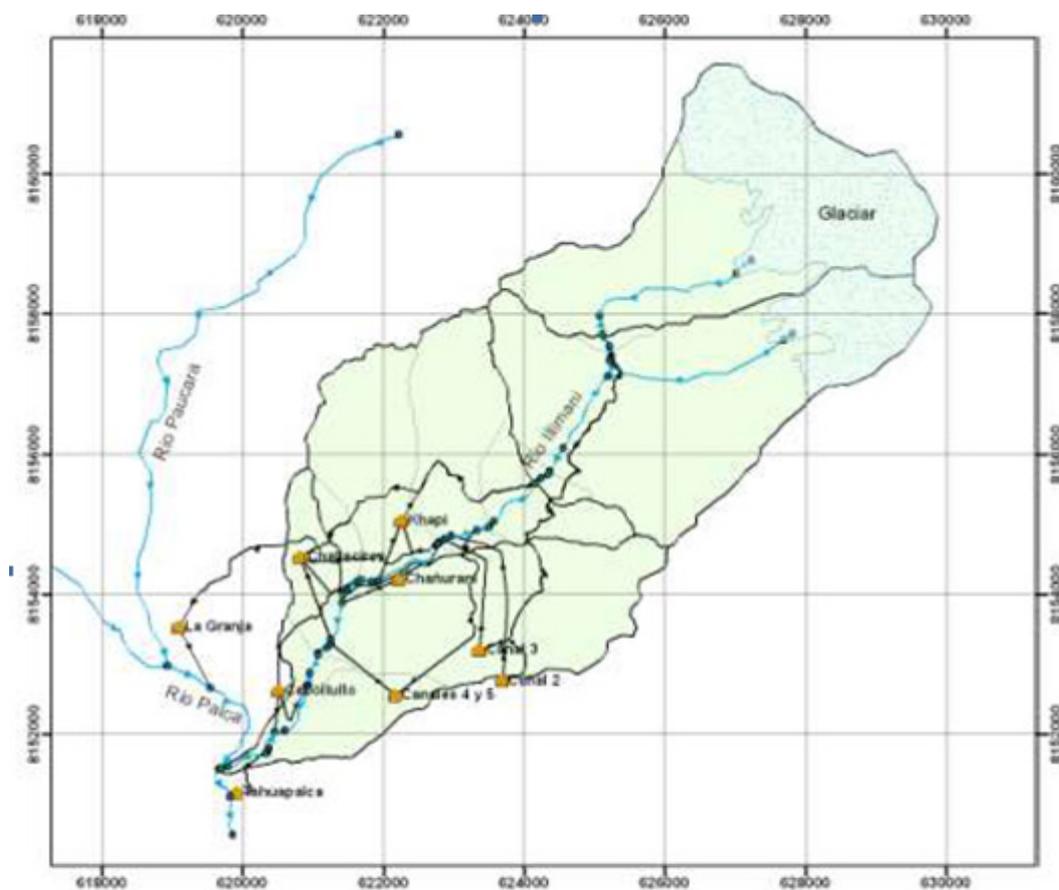
La figura 3.1 es una representación simplificada de cómo trabaja el modelo matemático de gestión de agua aplicado en esta cuenca. Este modelo tiene como información de entrada la oferta (Espinoza D. y Fuchs P., 2011), la demanda (García, 2011; Salazar y Tellería 2011) y las reglas de asignación del agua y de operación del sistema (derechos de agua, Villarroel et al., 2011). El modelo produce como salida la cantidad de agua que recibirá cada usuario y otros como el nivel de satisfacción de la demanda de cada usuario, el déficit, el grado de eficiencia hídrica, las pérdidas en el sistema, la operación y funcionamiento de los embalses, el caudal residual, etc.



**Figura 70: Entradas y Salidas de un Modelo Matemático de Gestión del Agua**

La figura 68 muestra el esquema del sistema hídrico del modelo de gestión simulado en el programa MIKE BASIN. Los límites de cuenca se representan por líneas de color negro y los usuarios por polígonos anaranjados. Los nodos de forma circular situados sobre la red hídrica son de dos tipos: nodos de cuenca asociados a una cuenca de aporte (en color verde) y nodos de río en color celeste. Un usuario puede extraer agua de nodos de cuenca como de río.

Este modelo solo considera usuarios de riego, el usuario tipo es la comunidad (descrita en el estudio de mapeo de derechos, Villaroel et al, 2011): Khapi, Challasirca, Chañurani, La Granja, Cebollullo y Tahuapalca. Por aspectos operativos se tuvo que dividir al usuario Cohoni-Cachapaya según sus canales: Canal 2 Cohoni, Canal 3 Cohoni-Cachapaya, Canales 4-5 Cohoni-Cachapaya. Se excluyeron los usuarios del sistema de riego Llujo (la mayor parte de su área bajo riego, así como sus fuentes de agua están fuera de la cuenca de estudio) y del canal 1 Cohoni (sus áreas son productivas solo durante el verano debido a las probables heladas el resto del tiempo, está por encima de los 3700 m.s.n.m ).



**Figura 71: Esquemización del sistema hídrico**

Proyección UTM Datum WGS84, Zona 19 S

(Fuente: Molina, 2011)

### Modelo de uso del agua histórico: 1975-2009

Como resultados del modelo de uso del agua histórico se tiene por un lado la extracción/consumo medio de agua por usuario, en forma de volúmenes promedios mensuales y anuales del periodo

2003-09 (ver tabla 1 en Anexos), y por otro el nivel de insatisfacción o déficit hídrico para un determinado periodo (mes, semana o día) que se expresa generalmente como una relación entre el agua realmente usada (o asignada) y la demanda potencial, que puede definirse matemáticamente así:

$$\text{Déficit relativo} = (\text{Demanda potencial} - \text{Agua usada}) / \text{Demanda potencial}$$

La tabla a continuación muestra los volúmenes promedio anuales de demanda y extracción, así como el déficit promedio en volumen (diferencia entre demanda y extracción) y porcentaje, para el periodo 2003-09. La tabla permite identificar a los usuarios Canal 3 Cohoni-Cachapaya, canales 4-5 Cohoni- Cachapaya, La Granja y Tahuapalca como los que presentarían un mayor déficit. En contraste, los usuarios Khapi, Challasirca y Canal 2 Cohoni, en ese orden, no presentan déficits o son prácticamente inexistentes.

*"Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de Cambio Climático en comunidades de montaña de la cordillera real de Los Andes Centrales de Bolivia" – Proyecto Illimani IDRC*

**Tabla 43 : Volúmenes de demanda y extracción (millones m3) y déficit medio anual en volumen (millones m3) y (%) por usuario, periodo 2003-09**

DEFICIT DE RIEGO, PERIODO 2003-2009 (Hm3)				
USUARIO	Demanda Anual	Extraccion Anual	Deficit Anual	Deficit (%)
Canal 2	1.516	1.514	0.002	0.1
Canal 3	2.852	2.209	0.643	22.5
Canal 4-5	2.640	1.810	0.829	31.4
Khapi	0.373	0.373	0.000	0.0
Chañurani	0.497	0.458	0.039	7.9
Challasirca	0.341	0.341	0.000	0.0
La Granja	0.652	0.538	0.113	17.4
Cebollullo	0.958	0.933	0.025	2.6
Tahuapalca	0.610	0.518	0.092	15.1
Totales	10.437	8.693	1.744	16.7

Fuente: Molina & Cruz, 2011

El déficit hídrico es un parámetro útil para evaluar si la distribución del agua en un determinado sistema es equitativa y satisface las necesidades de todos los usuarios o, si por el contrario, existe una alta concentración de derechos de agua en pocos usuarios. Permite también identificar los usuarios o áreas que debieran beneficiarse de futuros proyectos de aprovechamiento de agua y de fuentes nuevas.

Además, se ha simulado el déficit hídrico mensual de cada usuario en porcentaje, para los periodos 1975-09 y 2003-09 (ver tabla 2 en Anexos) así como su evolución (mensual) durante todo el periodo de estudio (ver Figura 1 en Anexos). Se observa un fuerte incremento del déficit en el último periodo (2003-09) en la mayor parte de los sistemas, con respecto a todo el periodo de estudio. Por otro lado, los resultados de la simulación muestran que los usuarios no sufren de déficit durante la estación lluviosa entre diciembre y abril. En todos los sistemas el mes más crítico (el de mayor déficit) es agosto.

En otros sistemas estudiados en el Altiplano (Molina y Cruz, 2008) y el valle central de Cochabamba (Molina et al, 2005) los meses de mayor déficit eran octubre y noviembre. Esta diferencia se debe a los datos de entrada de oferta y demanda de la cuenca. Estos datos parecen sustentar que en cuencas con importante aporte glaciar, el mínimo anual se adelanta en el tiempo con respecto a las cuencas no glaciares.

En términos de gestión, se puede decir que la cuenca hidro-social del río Sajhuaya estaba adaptada a la variabilidad climática natural hasta la década del 90. Prácticamente todos los usuarios satisfacían totalmente sus necesidades de agua hasta esa época. Sin embargo, a finales de esa década varios usuarios empiezan a mostrar déficits estacionales, que al parecer se han incrementado con el paso de los años. Esto plantea una necesidad creciente de medidas de gestión, estructurales y no estructurales, que contribuyan a mitigar o resolver los requerimientos de agua actuales, incluso antes de considerar los efectos de cambio climático.

### **Escenarios futuros probables de uso del agua al 2050 (2035-2069)**

En el marco del objetivo del proyecto: “Determinar y evaluar en base a un modelo, diferentes escenarios de gestión basados en los efectos del cambio climático y diversas estrategias de adaptación”, se simularon tres escenarios de cambio climático, cuyos resultados fueron comparados con un escenario de línea base (que corresponde aproximadamente a las condiciones históricas del 2009).

Los tres escenarios simulados estiman que tanto la temperatura como la precipitación se incrementarán debido al cambio climático. Los resultados del estudio de cambio climático (Espinoza, 2011) y del análisis de tendencias sustentan, con cierto grado de confianza, un probable incremento (moderado) de la precipitación media anual en la región de estudio o al menos, que se mantendrán los valores actuales (la precipitación es la variable con mayor incertidumbre en las salidas de los modelos de circulación global y modelos regionales).

El primer escenario, denominado escenario probable EMP, representa la mejor aproximación con los resultados del análisis de tendencias y corresponde al escenario B1. Este escenario supone un incremento medio anual de 8.4% de la precipitación y de 1.9°C de la temperatura para el horizonte de tiempo del año 2050. Esos cambios fueron aplicados a las series históricas del periodo 1975-2010 para obtener a su vez las series de oferta y demanda futuras a paso mensual para este escenario.

El segundo escenario, denominado escenario futuro húmedo EFH, representa el caso en que el incremento de precipitación y temperatura es mayor (Espinoza, 2011a) y corresponde al escenario

A1B. Este escenario supone un incremento medio anual de 12.9% en precipitación y de 2.8°C en temperatura. El mayor incremento de precipitación y temperatura, con respecto al escenario EMP, se debe a que el escenario A1B asume un mayor incremento de la concentración de gases de efecto invernadero.

La siguiente tabla muestra una comparación de los resultados obtenidos en los volúmenes de demanda, extracción y déficit hídrico para ambos escenarios:

**Tabla 45: Volúmenes de demanda y extracción (millones m3) y déficit medio anual en volumen (millones m3), en los escenarios EMP (Izquierda) y EFH (Derecha)**

DEFICIT DE RIEGO MEDIO DEL PERIODO (Hm3)					DEFICIT DE RIEGO MEDIO DEL PERIODO (Hm3)				
USUARIO	Demanda Anual	Extracción Anual	Deficit Anual	Deficit (%)	USUARIO	Demanda Anual	Extracción Anual	Deficit Anual	Deficit (%)
Canal 2	1.703	1.703	0.000	0.0	Canal 2	1.613	1.613	0.000	0.0
Canal 3	3.267	3.225	0.042	1.3	Canal 3	3.230	2.987	0.243	7.5
Canal 4-5	3.023	2.844	0.179	5.9	Canal 4-5	2.989	2.534	0.455	15.2
Khapi	0.391	0.391	0.000	0.0	Khapi	0.386	0.386	0.000	0.0
Chañurani	0.486	0.486	0.000	0.0	Chañurani	0.481	0.475	0.005	1.1
Challasirca	0.350	0.350	0.000	0.0	Challasirca	0.345	0.345	0.000	0.0
La Granja	0.721	0.717	0.004	0.5	La Granja	0.709	0.675	0.034	4.8
Cebollullo	1.061	1.060	0.001	0.1	Cebollullo	1.049	1.043	0.006	0.6
Tahuapalca	0.774	0.767	0.007	0.9	Tahuapalca	0.763	0.716	0.047	6.1
Totales	11.776	11.544	0.232	2.0	Totales	11.566	10.776	0.790	6.8

Fuente: Molina & Cruz, 2011

Un aumento de la temperatura se traduce en un incremento de la evapotranspiración potencial y por tanto, de la demanda potencial de agua de los cultivos. Por otro lado, un incremento de la precipitación se traduce generalmente en una disminución de la demanda potencial de agua para riego, porque el déficit de agua que debe ser cubierto por el riego disminuye. Al aplicar las series climáticas de los dos escenarios al cálculo de la demanda futura de riego, se observó que el efecto del incremento de temperatura se compensaba con el incremento de precipitación, de tal manera que la demanda media anual de todo el sistema no cambiaba significativamente para ninguno de los dos escenarios. Eso era de esperar, debido a que el mayor incremento de temperatura del escenario EFH (2.8°C con respecto a 1.9°C de EMP) se “compensa” con un incremento más grande de la precipitación (12.9% frente a 8.4% de EMP).

En cambio, la oferta futura de agua (Espinoza, 2011) en la cuenca aumenta grandemente con respecto al escenario histórico para los dos escenarios de cambio climático (EMP:30%, EFH:72%).

Parte de ese incremento se explica por el aumento esperado de la precipitación, que aparentemente será más grande que el aumento esperado de la evapotranspiración real en la cuenca, por lo que el escurrimiento aumenta como resultado del balance hídrico. Pero la gran parte del incremento de la oferta de agua se debe a la fusión/ablación progresiva de la masa glaciar al ir aumentando la temperatura. Según el estudio de oferta de agua (Espinoza y Fuchs, 2011), alrededor de 43% del agua que escurrió de la cuenca en el punto de control de Tahuapalca durante el periodo histórico provino de los glaciares de la parte alta. A su vez, parte del agua proveniente de los glaciares fue resultado de la pérdida de masa del glaciar por fusión, que se ha visto acelerada en los últimos años.

Con los antecedentes mencionados, es razonable suponer que la fusión de la masa glaciar se irá incrementando con el tiempo al aumentar la temperatura y como consecuencia, se incrementará la oferta de agua. Sin embargo, un incremento indefinido en el tiempo no es posible. El comportamiento más probable es el de un incremento paulatino del caudal que escurre del glaciar a medida que aumenta la temperatura hasta alcanzar un valor máximo, para luego empezar a decrecer a medida que se reduce la superficie y masa del glaciar. Si la masa

glaciar desaparece completamente, el escurrimiento provendría solamente de la precipitación en forma de lluvia y nieve.

Los escenarios EMP y EFH suponen que durante el horizonte de estudio (año 2050) el área y volumen del glaciar no se reducen tanto que supongan una limitación al caudal que escurre por fusión del hielo. Esto probablemente no corresponde a la realidad. Aún cuando un simple cálculo del volumen que escurre del glaciar durante los 34 años de simulación muestra que el glaciar no habrá desaparecido para el año 2050, ni aún para el escenario EFH, cabe esperar que se reduzca en área y volumen en una magnitud tal que afecte el caudal que escurre por fusión de la masa glaciar. Por lo tanto, el escenario EFH es probablemente demasiado optimista.

Existe la posibilidad de que el caudal que escurre de la cuenca alcance un máximo antes del horizonte 2050 o al menos antes de alcanzar el aumento de 72% previsto en este escenario. Sin embargo, las limitaciones impuestas por el estado actual del conocimiento del comportamiento hidrológico de glaciares tropicales (cómo el glaciar afecta al escurrimiento y por tanto al régimen hidrológico de la cuenca) y las limitaciones del modelo que se utilizó en el estudio de oferta de agua, impiden simular con un cierto grado de consistencia y certeza ese proceso de incremento y luego disminución gradual del caudal con el tiempo. Los datos aportados por el estudio de glaciología que forma parte de este proyecto (Ramírez et. al., 2011) tampoco permiten estimar ese máximo o siquiera inferir ese proceso, debido a que no se pueden extrapolar en el tiempo.

Como resultado de ese análisis y de la evaluación de los resultados que se obtuvieron para los escenarios EMP y EFH, desde el punto de vista de la gestión del agua, se simuló un tercer escenario de oferta de agua en el que la superficie del glaciar se reduce a un 24% de su superficie actual. Este escenario de reducción se combinó con el escenario B1 (escenario EMP), que estima el menor incremento de la precipitación media anual: 8.5%. Esta combinación resultó en series de oferta de agua futura diferentes, pero de demanda idéntica al escenario EMP. Al escenario resultante se lo denominó Escenario de Glaciar Reducido (EGR). La tabla a continuación detalla los resultados de los volúmenes de demanda, extracción y déficit hídrico bajo este escenario.

**Tabla 46: Volúmenes de demanda y extracción (millones m3) y déficit medio anual en volumen (millones m3) en el escenario (EGR)**

DEFICIT DE RIEGO MEDIO DEL PERIODO				
USUARIO	Demanda Anual	Extracción Anual	Deficit Anual	Deficit [%]
Canal 2	1.613	1.583	0.030	1.9
Canal 3	3.230	1.978	1.252	38.8
Canal 4-5	2.989	1.763	1.226	41.0
Khapi	0.386	0.384	0.002	0.5
Chañurani	0.481	0.424	0.057	11.8
Challasirca	0.345	0.344	0.002	0.5
La Granja	0.709	0.524	0.185	26.1
Cebollullo	1.049	1.028	0.021	2.0
Tahuapalca	0.763	0.651	0.111	14.6
<b>Totales</b>	<b>11.566</b>	<b>8.680</b>	<b>2.886</b>	<b>25.0</b>

Fuente: Molina & Cruz, 2011

Este resultó ser el escenario crítico desde el punto de vista de los usuarios del agua, debido a que la oferta de agua se reduce en un 15% respecto a la oferta histórica. El régimen hidrológico varía significativamente, el escurrimiento se reduce principalmente durante la primavera austral (septiembre a diciembre), al perderse gran parte del aporte glaciar, esto coincide con la época del año con máxima demanda de riego.

En el escenario EGR, el déficit se incrementa para todos los usuarios del sistema. Incluso usuarios que en el escenario de línea base no presentaban déficit en ningún mes del año, empiezan a presentar déficits entre los meses de agosto y noviembre, época en que el aporte glaciar es importante para la oferta de agua. Además se observa que la magnitud del incremento del déficit está influenciada por la ubicación del subsistema (usuario). El déficit es mayor para un subsistema cuya toma está situada en la parte alta de la cuenca y que depende mucho del aporte glaciar. Para el sistema Illimani en conjunto, el déficit medio anual se incrementa de 12% en el escenario de línea base a 25% en el escenario EGR.

El escenario más probable (o más realista) de oferta de agua podría resultar de una combinación de los escenarios climáticos EMP y EGR. Es decir, la oferta de cuenca se iría incrementando con el tiempo a medida que aumente la temperatura y se reduzca la masa glaciar. En un tiempo no determinado, el caudal que escurre del glaciar alcanzaría un valor máximo y la oferta empezaría a decrecer hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio, representado aproximadamente por el escenario EGR. Cabe aclarar que el glaciar no puede reducirse más allá de un valor límite definido por el área y volumen por encima de la línea de equilibrio, cuya altura se estima de acuerdo al incremento de la temperatura.

El reporte completo de esta actividad se encuentra en Anexo 16

**3.8OBJETIVO 8** Debatir y establecer, con la participación de los actores sociales y políticos, un plan de adaptación a las nuevas condiciones antrópicas de demanda, de usos de recursos hídricos y de cambio climático a fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas identificados y propender a una gestión sostenible del agua. También establece la implementación de algunas acciones tempranas durante el transcurso del proyecto por parte de las comunidades para mejorar los procesos de adaptación

Durante el proceso de elaboración de la Estrategia de Adaptación, se realizaron una serie de actividades participativas que permitieron construir el documento final. Las mismas se presentan a continuación:

- **Talleres para elaborar la Estrategia de Adaptación**

En el mes de junio del presente año se realizaron talleres participativos en cinco comunidades (Khapi, Challasirca, Tahuapalca, La Granja y Cebollullo) y dos unidades educativas, de la microcuenca del río Sajhuaya. El objetivo de estos talleres fue el de determinar el nivel de vulnerabilidad de las comunidades frente a distintos riesgos climáticos desde la percepción de los adultos y los jóvenes. Como herramienta metodológica se empleó una matriz de vulnerabilidad con amenazas y/o riesgos y medios de vida más importantes para las comunidades.

Luego del llenado de la matriz, se procedió a trabajar en conjunto medidas de adaptación que reduzcan las vulnerabilidades encontradas, para la cual los participantes identificaron medidas pertinentes; las mismas fueron reflejadas en un árbol de soluciones y esto conllevó a una

discusión para establecer las medidas más apropiadas para incluir en la Estrategia de Adaptación.

La memoria de estos talleres se presenta en el Anexo 17.

- **Taller de Validación Interna de la Estrategia de Adaptación**

Luego de trabajar el documento borrador de la Estrategia en base a la síntesis de información disponible de las investigaciones realizadas en el área de estudio, los resultados de los talleres de determinación de vulnerabilidad y la recolección de medidas de adaptación propuestas por los mismos pobladores, se vio la necesidad de realizar un taller interno con miembros del proyecto para validar la propuesta y posteriormente presentarla ante las comunidades para una validación final y una última retroalimentación entre pobladores y técnicos.

#### **Resultado**

Bajo un enfoque multidisciplinario se pudo obtener aportes significativos de parte de todos los involucrados en el proyecto (técnicos, tesistas, coordinadores, etc.), del que surgieron diversas observaciones y recomendaciones al documento.

El proceso de elaboración de la Estrategia se refleja en la Ficha de Aprendizaje presentada en el Anexo 18.

- **Taller de Validación de la Propuesta de Estrategia de Adaptación con Comunidades**

A comienzos del mes de noviembre se efectuó el taller de validación con las comunidades de la microcuenca Sajhuaya en la que participaron aproximadamente 30 personas, entre autoridades y agricultores, hombres y mujeres. Para este taller se elaboró una presentación acompañada de una cartilla informativa, que resumía los resultados encontrados a partir de las distintas investigaciones que se realizaron en el área, así como los lineamientos y las medidas de adaptación propuestas en el documento borrador de la Estrategia de Adaptación.

#### **Resultado**

El taller fue bastante dinámico, ya que tuvo una duración de aproximadamente 3 horas, en las que todos los asistentes participaron activamente respondiendo preguntas, realizando observaciones y consultas, además de participar en dinámicas que ayudaron a comprender mejor las problemáticas a las que se referían los resultados encontrados.

Se hicieron algunas observaciones al documento de la Estrategia de Adaptación, especialmente en los aspectos de la economía productiva que serán subsanados en el borrador final de la Estrategia de Adaptación. Aparte de esto, se estima que un 98% de los participantes se sintieron satisfechos con la propuesta presentada por los técnicos.

La presentación realizada se encuentra en el Anexo 19.

#### **Entrega de Obras Piloto**

En diciembre de 2011 se ha realizado la entrega de dos obras piloto en la comunidad de Cebollullo. Dirigentes y comunarios, así como el equipo técnico del Proyecto participaron del acto.

Las fotografías de dicha entrega se presentan en el Anexo 20.

Para estas obras (Mejoramiento de dos Canales de Riego en la comunidad de Cebollullo), se han realizado Manuales de Operación y Mantenimiento de las mismas. Este documento puede encontrarse en el Anexo 21

### 3. FORMACIÓN DE CAPACIDADES

En este objetivo se ha logrado grandes avances, pues la participación de la UMSA hace que exista un elevado fomento a la formación de capacidades a través de cursos, talleres y otros. En el marco de los trabajos de investigación que se vienen realizando en la zona, así como por el objetivo que se tiene para la formulación de la estrategia de adaptación al cambio climático en las comunidades, se apoyó la realización de trabajos de grado tanto de Licenciatura como de Maestría, como se detalla a continuación:

- “Evolución de los sistemas agrícolas de la cuenca del río Sajhuaya frente al cambio climático”, realizado por Ing, Edwin Mayta, como trabajo de Maestría.
- “Determinación del Uso y la demanda actual del agua en los sistemas productivos de la comunidad de Tahuapalca”, realizado por el Ing. Victor Monrroy, como trabajo de Maestría.
- “Caracterización y análisis multitemporal de los cambios producidos en la estructura socioeconómica y productiva de la comunidad de Tahuapalca”, realizada por la Egresada Agrónoma, Roxana Copa, como parte de su trabajo de investigación para Licenciatura.
- “Estudio del conocimiento local utilizado para pronosticar el clima y la influencia en la toma de decisiones dentro de los sistemas productivos”, realizado por el Egresado Agrónomo, Ignacio Portugal, como parte de su trabajo de investigación para Licenciatura.
- “Evaluación de la dinámica del uso del agua en sistemas productivos en la comunidad de Cebollullo, considerando el Impacto del Cambio Climático”, Realizado por el Egresado Grover Miranda, como parte de su trabajo de investigación para Licenciatura.
- “Análisis de la factibilidad de la aplicación de riego deficitario en maíz como opción de adaptación al Cambio Climático en la Comunidad de La Granja”. Realizado por el Egresado Alan Telleria, como parte de su trabajo de investigación para Licenciatura.
- Evaluación del balance hídrico y uso de agua de la cuenca Sajhuaya. Realizado por el Egresado Ovidio Chávez, como parte de su trabajo de investigación para Licenciatura.
- Evaluación del uso de agua de la cuenca Sajhuaya. Realizado por el Egresada Valentina Pérez, como parte de su trabajo de investigación para Licenciatura.

También se llevaron adelante otras actividades que se detallan a continuación:

- Durante el transcurso del presente semestre se concluyó la propuesta de doctorado prevista en el proyecto remitiéndola al doctor Dirk Raes de la Universidad Católica de

Leuven con el título: “Adaptation of the irrigation strategy to deal with expected shortages of irrigation water in the Palca watershed due to the impacts of climate change”. Al presente, se está avanzando en el proyecto de doctorado, mediante la elaboración de papers y la sistematización de datos.

- En las comunidades se efectuaron varios talleres sobre manejo de plagas y se está coordinando otros talleres sobre manejo de suelos y frutales.
- Se tuvo una reunión con el profesor Patrick Willems de la Universidad Católica de Leuven sobre metodologías en tendencias y Downscaling con la participación de varios especialistas en el tema de cambio climático: Marcos Andrade, Edson Ramirez, Magalí García, Jose Luis Montaña, Paula Pacheco y Juan Carlos Alurralde, la cual sirvió para discutir y acordar metodologías para el proyecto.
- Se realizó una visita de campo con Marco Rondón hasta el inicio del glaciar donde se pudo observar la tasa de deshielo y se determinaron posibles puntos de medición de escurrimiento para la instalación de estaciones hidrométricas.
- Se realizó un taller en la comunidad de Khapi, el día martes 14 de septiembre, con dos ejes temáticos el primero respecto de los Derechos Humanos y su implicancia por los efectos del Cambio Climático en comunidades campesinas. El segundo tema que se presentó en el taller fue sobre la Fruticultura y la producción de Durazno, este tema se determinó a través de los Diagnósticos realizados y a solicitud de la dirigencia de la comunidad, previo acuerdo a la información preliminar se ha podido evidenciar que en estos últimos 10 años la implantación de estos árboles frutales ha tenido un crecimiento y una importancia significativa como fuente de ingresos por la venta de los frutos de durazno, asimismo el manejo y la falta de asistencia técnica hace que la producción de durazno no tenga la calidad en los productos.
- Se participó del curso Taller “Formulación de Proyectos y Diseño de sistemas de Riego Presurizado”, en el marco de la Escuela Nacional de Riego (ENR), organizado por el Servicio Nacional de Riego (SENARI), a través de la cooperación de la GTZ/PROAGRO, dicho curso tuvo una duración de 5 días, del 27 de septiembre al 01 de octubre. Este curso por los temas que abarcó relacionados a la formulación de proyectos y sistemas de riego llegaron a ser muy prácticas y útiles para el trabajo que se viene ejecutando en las comunidades y principalmente para la formulación de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático.
- El 01 de Octubre se realizó un taller sobre el Manejo Integral de Plagas “Manejo de la mosca Blanca”. Este Taller se realizó por la importancia en el nivel de daño económico que representa esta plaga en el cultivo de la Lechuga principalmente y en función de la información obtenida en los diferentes talleres, asimismo se realizó una explicación de la importancia y el uso que tiene el Aljibe que se está instalando en la parcela experimental, ubicado en la comunidad.
- Los días 4 y 5 de octubre se realizó el Taller Internacional Cambio Climático y Derechos Humanos, organizado por Agua Sustentable donde se realizó un análisis jurídico legal de los impactos que están sintiendo las comunidades sobre los efectos del cambio climático, también se formularon algunas estrategias y propuestas para la incidencia y el debate internacional, que actualmente se está llevando adelante, en dicho taller participaron 8 comunarios de 4 comunidades de la zona de estudio, a los

cuales se les está fortaleciendo respecto de la problemática que se está investigando en la zona, principalmente sobre el glaciar Illimani. La Memoria de dicho taller puede ser descargada de la página Web: [www.aguasustentable.org](http://www.aguasustentable.org).

- Se participó del Encuentro Nacional de Innovación Tecnológica Agropecuaria y Forestal, que se llevó a cabo los días 24, 25 y 26 de noviembre, donde a través de las diferentes sesiones temáticas, stands de experiencias y se presentó experiencias de los diferentes estudios y trabajos realizados, también participó en está un comunario de Khapi, para presentar y exponer la problemática y las actividades que se vienen desarrollando con él proyecto. También este encuentro tuvo por objetivo formular líneas estratégicas en la formulación de políticas públicas del sector Agropecuario y Forestal, asimismo la generación de conocimiento y propuestas.
- Foro Internacional sobre la Aplicación del Derecho a la Consulta Previa – 27 de septiembre de 2010. Este tema es primordial en el aspecto de involucramiento de las comunidades en torno a las decisiones que se tomen respecto a los recursos que se ven comprometidos. Si bien se trataba específicamente de la Ley de Hidrocarburos, este es un concepto fundamental para cualquier proceso normativo que se pretenda implantar.
- Primer Encuentro sobre Glaciares y Pueblos de Montaña – 1 de octubre de 2010. Este encuentro fue organizado por las comunidades de Colcha K en Sud Lípez. Al mismo asistieron representantes de comunidades a nivel nacional que dependen del agua de los glaciares para su subsistencia, y se organizó una expedición al Illimani al día siguiente. Uno de los expositores fue el Ing. Edson Ramírez del IHH, en representación del Proyecto Illimani. Se destacó en el encuentro la necesidad de actuar estratégicamente para hacer frente a los impactos provocados por el Cambio Climático.
- Taller sobre Mujer, Agua y Cambio Climático – 13 de octubre de 2010. Dicho evento fue organizado por la Fundación Solón. Para la ocasión, se propuso la asistencia de Lucía Quispe, habitante de la Comunidad de Khapi, Municipio de Palca. De este modo, se coordinó su llegada y realizó un testimonio sobre el rol de la mujer en su comunidad en torno a la problemática de Cambio Climático.
- Panel Internacional: Agua y Cambio Climático: Retos hacia Cancún – 27 de octubre de 2010. Este Panel resaltó la importancia de actuar contra el Cambio Climático a través de un encuentro exitoso en Cancún, destacando la prioridad que representa el recurso agua en el mundo.
- Congreso Internacional del Agua en Mekelle, Ehiopia – 17 a 23 de septiembre de 2011. En el mismo la Ing. M.Sc. Paula Pacheco participó con una exposición con el objetivo de diseminar los objetivos del proyecto y vincular a otros actores científicos en el tema de estudio.
- El Ing. Hugo Soliz participó del curso de Generación de Escenarios de Cambio Climático y técnicas de downscaling en Ecuador en Octubre de 2010.
- El Ing. Richard Mamani y la Ing. M.Sc. Cristal Taboada participaron del curso sobre “Análisis estadístico de la información socioeconómica en la investigación agropecuaria” en la ciudad de Cochabamba en Noviembre de 2010.

- La Ing. M.Sc. Paula Pacheco participó del Curso “Uso del AQUACROP como herramienta de planificación del manejo de agua de riego en cultivos agrícolas” realizado en Lima-Perú en Noviembre de 2010.
- La Ing. Magalí García participó en el Taller Cambio Climático, glaciares, desertificación y sequía en Chile en Abril 2011, donde presentó los resultados del proyecto
- Los Ing. Richard Mamani y Paula Pacheco participaron del Congreso Mundial del Agua en Galinhas, Brasil donde presentaron los resultados del Proyecto
- En septiembre de 2011 se elaboró un paper denominado "Climate change effects on the livelihoods of Illimani glacier's communities". El mismo fue seleccionado para participar, mediante una presentación oral, en el World Congress on Water, Climate and Energy, impulsado por International Water Association (IWA) a llevarse a cabo en Dublin, Irlanda del 13 al 18 de mayo de 2012. (Ver Paper en Anexo 26).
- Se ha participado en el Encuentro Regional del Grupo de Trabajo sobre Cambio Climático y Justicia (GTCC-J), el cual ha permitido establecer contactos interinstitucionales, conocer sobre el trabajo de otras instituciones en la temática y aportar en la visibilización del impacto del Cambio Climático en los derechos de las comunidades dependientes de glaciares. Del mismo modo, los coordinadores del GTCC-J han llevado a cabo el taller “Agua y Tierra: Fuentes de Vida y no de Mercancía”, donde Agua Sustentable realizó una presentación sobre el diagnóstico de los Recursos Hídricos en Bolivia, con énfasis en las implicancias del Cambio Climático. Finalmente, se ha asistido al taller “Agua y Desarrollo” igualmente organizado por el GTCC-J, en el cual realizó una presentación sobre la situación actual de los recursos hídricos, la legislación circundante y la problemática sobre cambio climático. Presentación Agua y Tierra en Anexo 29.
- Se ha asistido al espacio de negociaciones sobre cambio climático en la COP17 llevada a cabo en Durban, Sudáfrica, del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2011.

### **Documentos en proceso de elaboración**

- **Documento Estrategia de Adaptación**

La Estrategia de Adaptación al Cambio Climático para la Cuenca del río Sajhuaya ha sido plasmada en un documento que fue validado con los mismos productores y que al presente se encuentra en etapa final de revisión.

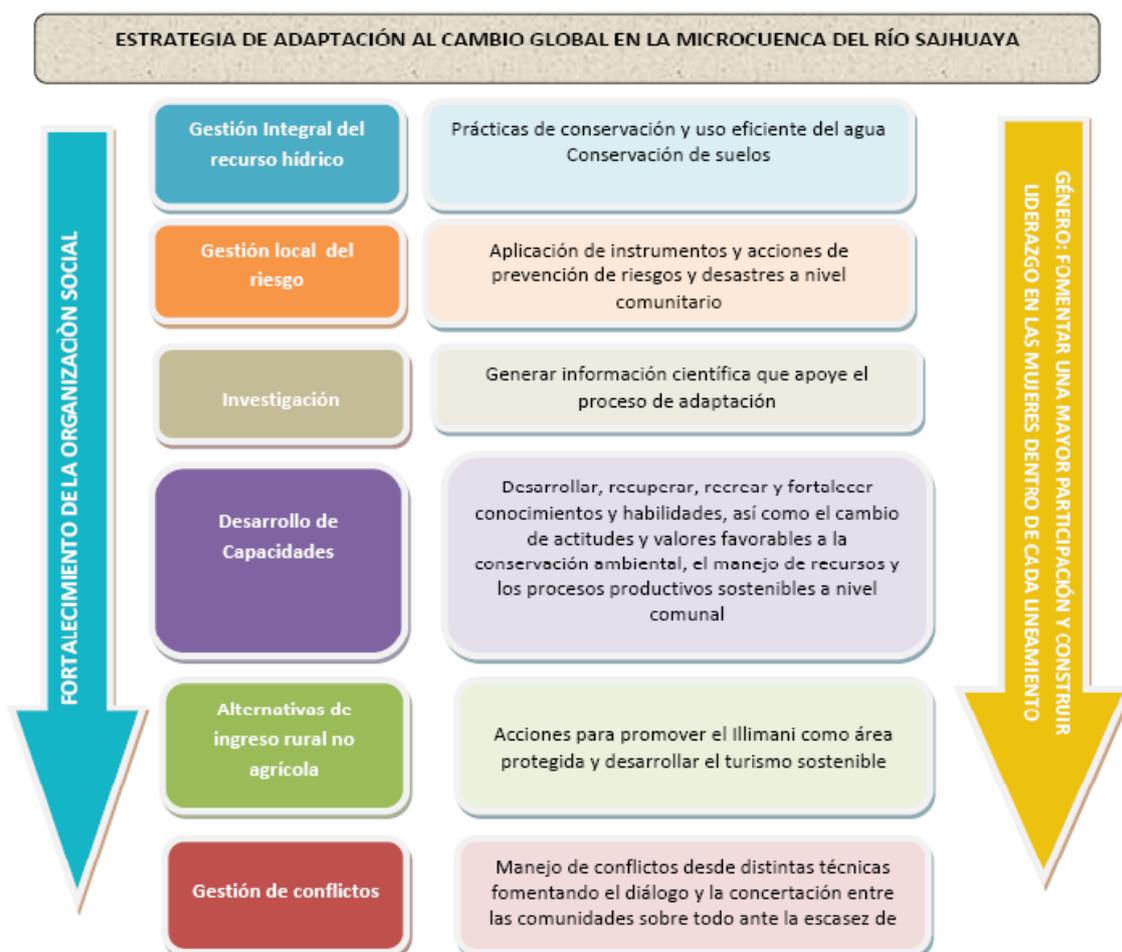
Al contar con un primer borrador del documento, se llevó a cabo un taller de validación interna de la Estrategia de Adaptación. Bajo un enfoque multidisciplinario se pudo obtener aportes significativos de parte de todos los involucrados en el proyecto (técnicos, tesistas, coordinadores, etc.), del que surgieron diversas observaciones y recomendaciones al documento.

Como paso siguiente, a comienzos del mes de noviembre se efectuó el taller de validación con las comunidades de la microcuenca Sajhuaya en la que participaron aproximadamente tanto autoridades como agricultores, hombres y mujeres. Para este taller se elaboró una

presentación acompañada de una cartilla informativa, que resumía los resultados encontrados a partir de las distintas investigaciones que se realizaron en el área, así como los lineamientos y las medidas de adaptación propuestas en el documento borrador de la Estrategia de Adaptación.

El taller fue bastante dinámico y prácticamente todos los asistentes participaron activamente respondiendo preguntas, realizando observaciones y consultas, además de participar en dinámicas que ayudaron a comprender mejor las problemáticas. Se estima que un 98% de los participantes se mostraron satisfechos con la propuesta presentada por los técnicos.

En tal sentido, la Estrategia de Adaptación considera los siguientes lineamientos estratégicos:



**Figura 72. Líneas de Acción - Estrategia de Adaptación**

Las líneas de acción tomadas en cuenta en la Estrategia de Adaptación consideran desde una estrategia de género, hasta el fortalecimiento de las organizaciones sociales y aspectos como la seguridad alimentaria e hídrica, y la diversificación de bienes económicos, físicos y naturales. Se busca que las mismas sean valoradas y apropiadas por las comunidades.

El documento borrador de la Estrategia de Adaptación se presenta en el Anexo 10.

- **Compendio**

Asimismo se ha decidido producir una publicación que incluya e integre todos los documentos producidos que serán discutidos en un capítulo final. Este documento se encuentra en proceso de elaboración y se espera su publicación y presentación a los actores en Marzo de 2012.

En el proceso se han ido realizando diversas actividades:

- Recopilación de información, informes de los investigadores a cargo
- Síntesis de trabajos de investigaciones llevados a formato de artículo científico
- Traducción de artículos científicos elaborados en inglés
- Recopilación y seguimiento a la elaboración de artículos científicos en base a trabajos de tesis.

- **Cartilla de Difusión de la Estrategia de Adaptación para Comunidades**

Se ha elaborado una cartilla de difusión sobre la Estrategia de Adaptación para las comunidades de estudio. La misma será complementada y presentada en marzo de 2012. Esta cartilla puede encontrarse en el Anexo 22.

#### **4. FUTURAS ACCIONES**

Aunque el Proyecto ha concluido oficialmente, muchas acciones se continuarán implementando con financiamientos comprometidos pues los actores requieren de ello. En este acápite se encuentra:

- Conclusión y defensa de los Trabajos de Grado no completados
- Presentación oficial de la Estrategia de Adaptación
- Presentación oficial del Compendio de Investigaciones producidas por el Proyecto
- Ejecución de fondos extra de otros financiadores para implementar algunas acciones recomendadas en la Estrategia de Adaptación:
  - Mejoramiento de sección de canal de riego Sistema Uno en Cebollullo (mejorar eficiencia de captación y conducción de agua para riego)
  - Mejoramiento de canal de riego en Challasirca
- Partiendo del trabajo realizado en el proyecto Illimani, surgió la posibilidad de apoyar a través de Agua Sustentable y Oxfam, una investigación sobre la implicación de los glaciares de roca en los recursos hídricos disponibles en la Cordillera de los Andes de Bolivia, en el proyecto "Glaciares de roca y Cambio Climático en los Andes secos de Bolivia: Implicaciones para el suministro de agua en el futuro". Dicha investigación durará 3 años y la primera parte ya fue llevada a cabo en 2011. La misma se desarrolla en el marco de la tesis de doctorado de Sally Rangecroft, estudiante de la Universidad de Exter (con la cual se tiene un convenio). (La presentación del trabajo realizado y por realizar, así como el paper elaborado con tal fin se pueden encontrar en los Anexos 23 y 24 respectivamente).

## 5. DIFUSION E INCIDENCIA

- **Diseño e implementación de un sitio Web con información del Proyecto Illimani**

Con el fin de difundir información en el marco del proyecto “Adaptación al cambio climático en comunidades andinas bolivianas que dependen de glaciares tropicales” se estructuró, diseñó y publicó la página Web: [www.glaciares.org.bo/Illimani](http://www.glaciares.org.bo/Illimani).

- **Cartilla Cambio Climático en Comunidades Andinas Bolivianas**

En Anexos 27 y 28 se puede encontrar la Cartilla “Impactos del Cambio Climático en Comunidades Andinas Bolivianas dependientes de Glaciares Tropicales” en idiomas español e inglés respectivamente, elaborada por Agua Sustentable en el marco del Proyecto. Esta cartilla fue llevada a la COP17 en Durban, Sudáfrica para su distribución.

- **Testimonio Obras Piloto Cebollullo**

Este video puede ser observado en la pestaña de “Galería” de la Página Web del Proyecto Illimani: [www.glaciares.org.bo/Illimani](http://www.glaciares.org.bo/Illimani)

- **Voces del Illimani**

Este video puede ser observado en la pestaña de “Galería” de la Página Web del Proyecto Illimani: [www.glaciares.org.bo/Illimani](http://www.glaciares.org.bo/Illimani)

○ **Intervención de un poblador de la comunidad de Khapi ante la Comisión Interamericana de Derechos Humanos**

En marzo de 2011, se llevó a cabo el 141º Periodo Ordinario de Sesiones de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos en Washington, Estados Unidos. Entre la serie de audiencias que fueron realizadas en el tema de “Cambio Climático, Acceso al Agua y Derechos Humanos”, se destacó la intervención del Sr. Alivio Aruquipa, cuyo testimonio respecto a la amenaza de los impactos del cambio climático en su comunidad fue respaldado con estudios del Proyecto IDRC-Illimani. Agua Sustentable planificó y organizó el viaje del Sr. Aruquipa con el respaldo financiero de Earthjustice y Oxfam.

**TESTIMONIO DE ALIVIO ARUQUIPA LAZO – COMUNIDAD KHAPI, DEPARTAMENTO DE LA PAZ - BOLIVIA  
141º PERIODO ORDINARIO DE SESIONES – COMISIÓN INTERAMERICANA DE DERECHOS HUMANOS (CIDH)  
WASHINGTON DC – ESTADOS UNIDOS**

*“Mi comunidad y yo dependemos del Illimani, sus aguas riegan nuestros sembradíos y la usamos para tomar, cocinar y bañarnos como lo hacían nuestros antepasados. El Illimani cada vez se derrite más y estamos preocupados por nuestros hijos, ya no tendrán agua para tomar, para regar sus tierras ni para los animales que nos ayudan a preparar la tierra.”*

**Alivio Aruquipa Lazo – Intervención CIDH**  
Fuente: Comunicado de Prensa [www.earthjustice.org](http://www.earthjustice.org)



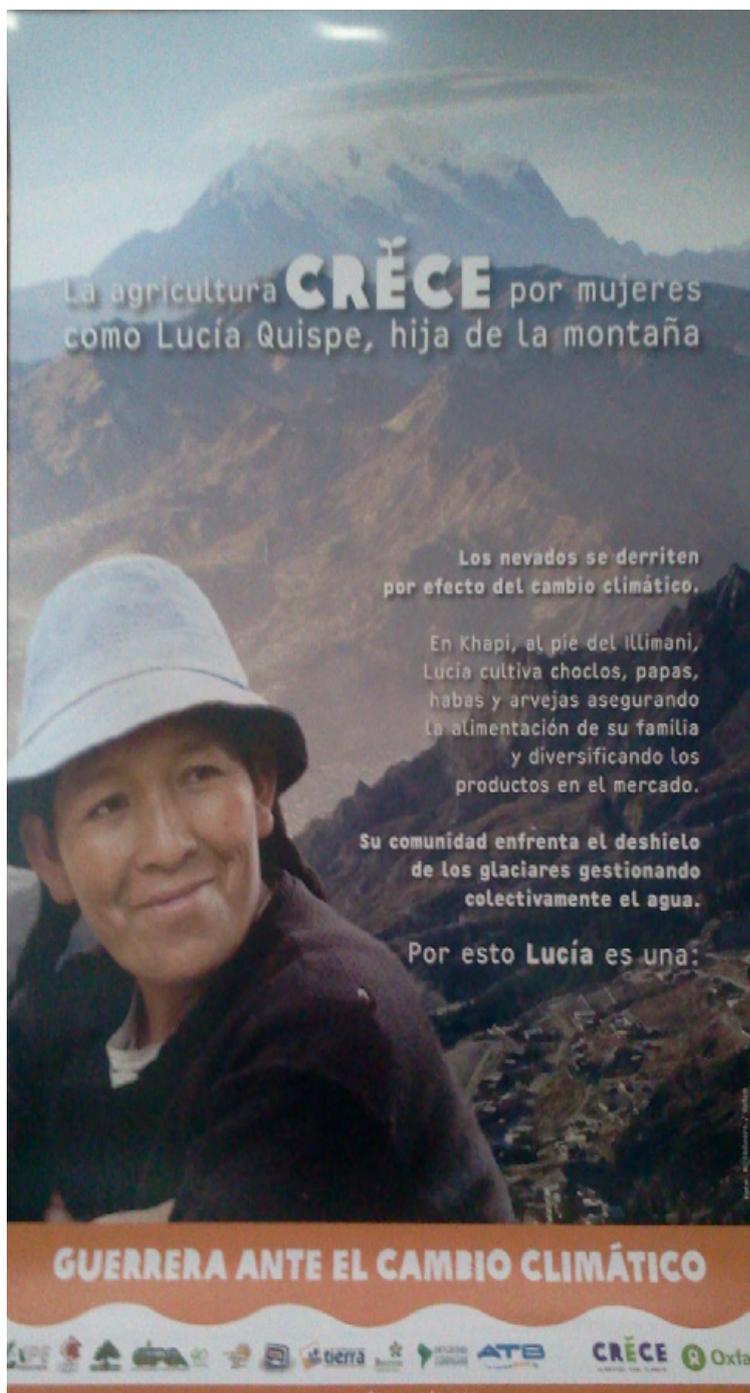
Tras la culminación de las audiencias, la CIDH publicó un comunicado de prensa haciendo referencia al tema tratado por el Sr. Aruquipa: “La Comisión recibió información alarmante sobre el grave impacto del cambio climático ocasionado por actividades humanas sobre el goce de los derechos humanos. El fenómeno afecta especialmente regiones de montañas, donde el deshielo, la pérdida masiva de glaciares y los aumentos en la temperatura media global disminuyen el acceso al agua, reducen la producción de alimentos y crean nuevas enfermedades. La Comisión urge a los Estados a dar prioridad a los derechos humanos en las negociaciones sobre cambio climático y en el diseño e implementación de medidas mitigantes y de adaptación”.

Fuente: Publicación

[www.cidh.oas.org](http://www.cidh.oas.org)

○ **Campaña CRECE, Oxfam**

El póster presentado a continuación forma parte de una campaña impulsada por Oxfam sobre Justicia Alimentaria denominada “CRECE”. Lucía Quispe es una pobladora de la comunidad de Khapi (Cuenca Sajhuaya) que ha participado en múltiples ocasiones en actividades y talleres del Proyecto Illimani. En el marco del mismo se ha pretendido fortalecer la participación de actores de las comunidades de estudio en espacios determinantes.



“En el problema de la justicia alimentaria, las mujeres productoras y consumidoras son quienes mayor probabilidad tienen de ser afectadas. En el campo de la producción, son quienes trabajan con recursos más precarios pero también quienes mantienen la diversidad de productos alimentarios y quienes están – en la propia práctica – innovando para adaptarse a los cambios. Por otra parte, como consumidoras, son quienes pueden generar cambios en nuestros hábitos alimenticios ya que son quienes compran y preparan nuestro

“La consigna de la campaña, “Guerreras ante el cambio climático” surgió en una conversación con Erminia Guaji, productora en los llanos amazónicos y una de las protagonistas que se presentan. Erminia plantea: “la vida nos ha hecho guerreras frente al cambio climático, y es una batalla que no pensamos perder”. Ese era el optimismo que necesitábamos contagiar y por ello la campaña invita a conocer, junto a Erminia, las visiones de Lucía Quispe, quien lucha contra el deshielo de la montaña; Irene Guzmán, quien siembra sin destruir la Amazonía y Audea Pérez, cosechadora de

## 6. EXPERIENCIAS, DIFICULTADES Y OBSERVACIONES DEL EQUIPO TÉCNICO

En los dos años y medio transcurridos en el marco del Proyecto Illimani, las comunidades con las que se ha trabajado han ido influyendo en las actividades, manifestando posiciones y actitudes que han ido cambiando en el tiempo, tanto a nivel personal como grupal. Mayor receptividad, participación más activa y comprometida, mayor involucramiento en el trabajo y apropiación, todo en conjunto significa mayor confianza y empoderamiento.



### DIRIGENCIA Y PROCESOS SOCIALES

Por sus usos y costumbres, las comunidades están determinadas a trabajar bajo la guía del Secretario General del Sindicato, quién es la autoridad máxima y representa además a la comunidad en eventos regionales. Sin embargo, la gestión de esta autoridad está sujeta al dinamismo que pueda brindar en diferentes actividades, a su voluntad de trabajo y al legado que deja en su comunidad.



**PERCEPCIONES** Cuando el dirigente es una persona que vive en la misma comunidad, las actividades y el interés por parte de sus pobladores son muy altos. No obstante, cuando la autoridad es una persona residente (que vive fuera de la comunidad o en la ciudad), la gestión se dificulta y no se logra avanzar adecuadamente con los proyectos o actividades que se tienen previstos. Dada la práctica de rotación de autoridades como práctica comunitaria, la fecha de cambio de autoridades varía de una comunidad a otra, lo que implica cierta discontinuidad y un tratamiento diferenciado por cada comunidad. En el marco del proyecto se ha tenido la oportunidad de observar ambas situaciones (autoridades locales vs. autoridades residentes) en tres gestiones diferentes.



## EXPERIENCIA COHONI

Durante el segundo semestre del Proyecto, una estación hidrométrica fue instalada a los pies del Nevado Illimani, en la desembocadura de aguas provenientes del glaciar. Sin embargo, la misma fue destruida por miembros de la comunidad de Cohoni en el transcurso del segundo semestre de ejecución del proyecto.

Los límites intercomunales no están definidos con precisión, por lo que no se conoce con claridad a qué comunidad pertenece el área donde se encontraba la estación. Adicionalmente, el equipo encargado de la instalación no estableció una interacción cercana con la comunidad de Cohoni, por lo que no se enfocó en un trabajo de incidencia política y social a nivel local. La falta de información generó una reacción negativa por parte de algunos comunarios que llegaron a influir en el conjunto de la comunidad.



La implementación de equipamiento e infraestructura representa un proceso largo y arduo a nivel social, implica múltiples viajes a las comunidades para explicar el proyecto, mostrar la información necesaria, etc. Una vez que se comprende correctamente y apoya las actividades a realizar, recién se puede llevarlas a cabo. En este sentido, es imprescindible que este proceso sea claro y en constante interacción con los dirigentes y pobladores.

Paralelamente, es muy importante conocer los conflictos pasados y latentes que pueden existir en una comunidad, para poder llevar a cabo las actividades de la mejor manera posible. Asimismo es clave brindar la información necesaria respecto a los instrumentos y/o equipos involucrados, ya que la desinformación puede generar susceptibilidades y conllevar a una interpretación incorrecta de las acciones.

### **Sobre la Administración Pública**

En el transcurso del Proyecto, la ejecución de las obras siguió un proceso administrativo dificultoso. Las normas y procedimientos establecidos en la UMSA como institución pública, dificultaron el cumplimiento de diversas actividades y pocas veces se adaptaron a las dinámicas de corto plazo exigidas en un proyecto de estas características (de 1 a 4 años). En muchos casos se tuvo retrasos en la compra de materiales y en el cumplimiento de plazos con las comunidades.

### **Sobre Nuevos Requerimientos**

A pesar de haber cumplido con las acciones planteadas al inicio del proyecto, en el desarrollo del mismo se han venido presentando algunos nuevos requerimientos de módulos de capacitación en producción agrícola, riego presurizado, manejo integrado de plagas, entre otros. En algunos casos, estos nuevos requerimientos no se han logrado satisfacer en su totalidad, debido a que cada comunidad tiene un sistema de producción muy particular y características diferentes, lo que implica un proceso de capacitación que demandaría tiempo, recursos financieros y recursos humanos adicionales.

### **Coordinación entre Equipos**

La coordinación entre los equipos técnicos multidisciplinarios debe ser constante y fluida, pues esto permite que el proyecto se implemente adecuadamente y en los plazos establecidos. La falta de coordinación e intercomunicación entre las instituciones puede provocar retrasos en el cronograma de actividades e incluso provocar susceptibilidades internas y/o con las comunidades de estudio.

### **Relación Investigación-Acción**

La implementación de obras piloto en corto plazo realizada de forma paralela a las acciones de investigación es un aspecto clave en el proyecto, pues se puede atender demandas inmediatas de las comunidades (a nivel productivo, de infraestructura, etc.) y permitir una implicación y compromiso progresivos con el proyecto.

## 7. LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

A través de las experiencias adquiridas en el transcurso del proyecto, se ha identificado una serie de lecciones aprendidas y recomendaciones a tomar en cuenta:

- Es fundamental el trabajo con autoridades y líderes comunitarios que permitan la integración comunitaria más allá de su gestión temporal (convocar liderato alternativo: mujeres, jóvenes, profesores que refuercen la continuidad).
- Igualmente, identificar estructuras más estables: comunidad, lideratos alternativos (gente con más experiencia, ancianos, otros) que respalden dicha continuidad.
- Es fundamental promover alguna instancia organizativa que se haga cargo del seguimiento y mantenimiento de las obras, una vez el proyecto haya concluido.
- Cuanto más cercanos estén los proyectos a la estructura municipal, tienen más posibilidad en su viabilidad y mantenimiento.
- Se debe fomentar alianzas con otros actores (ONGs, Universidades, parroquias, etc.) y fortalecer su relacionamiento.
- Es fundamental trabajar desde el inicio con el involucramiento de los actores, pero quizás más importante es lograr que la participación busque la apropiación y el empoderamiento genuino de los actores (corresponsabilización de las obras, resolución participativa de los problemas, utilizar los instrumentos provistos por el proyecto).
- Otros aprendizajes a continuación:

- Se observa que existen prácticas que reconocen el papel de la mujer (consultas familiares) pero que su visibilización en la toma de decisiones comunitarias siguen representadas por el hombre. Surge la pregunta de cómo promover espacios más abiertos que permitan la expresión de la mujer, de sus conocimientos, sus vivencias y experiencias también en relación a los temas que nos preocupan del agua y el cambio climático. En síntesis, es buscar explicitar y dar valor a algo que ya existe. Las lecciones positivas al respecto se refieren a que las mujeres están aprendiendo más sobre el tema y pueden constituirse en referentes claves para la comunidad en los temas señalados.
- Se ha aprendido que la participación de personal femenino del proyecto induce favorablemente la participación de mujeres en las comunidades, lo cual nos plantea la reflexión de que en el trabajo de campo siempre se debería apuntar a equipos mixtos de manera sistemática.
- Se observa también que existe una demanda de las mujeres para enfrentar y resolver problemas concretos como conocer y manejar alternativas ante nuevas plagas en su producción agrícola. Este tema constituye una oportunidad de poder brindar asistencia técnica con alianzas interinstitucionales pues Agua Sustentable no tiene esta experiencia.

### GÉNERO



## JÓVENES

Existe un potencial real de la juventud en la zona pero que requiere un proceso serio y sistemático de promover y capitalizar el interés y proactividad de estos actores. Se podría continuar con la promoción de la participación de jóvenes en estrategias de adaptación, energías alternativas, eficiencia del uso del agua, otros (donde se ha visto que tienen mayor interés).



## ESCUELA

La población de niños en edad escolar es importante y por lo que se ha observado en el proyecto existe por parte de los profesores el interés por los temas relacionados a cambio climático y agua que podrían incorporarse en sus tareas educativas. El proyecto ha hecho actividades muy parciales y embrionarias que muestran muchas posibilidades pero que es necesario trabajarlas de forma sistemática y a largo plazo.



## SÍNTESIS



Nuestros mayores aprendizajes se refieren fundamentalmente a los siguientes tópicos:

- La apropiación y el empoderamiento es un proceso complejo que requiere que los actores se apropien y corresponsabilicen de los resultados y efectos del proyecto.
- El fortalecimiento alternativo de estructuras comunitarias que permitan darle un mayor sostén a la continuidad y sostenibilidad de las acciones, tiene un carácter estratégico.
- Las alianzas interactoriales e interinstitucionales son fundamentales para coadyuvar a los dos temas descritos anteriormente.
- El involucramiento consistente y sólido de actores alternativos como mujeres, jóvenes y niños en proyectos relacionados a recursos naturales y al agua se convierte en un aspecto fundamental de este tipo de proyectos.

## 9. CONCLUSIONES

Durante el periodo reportado no se enfrentaron problemas administrativos de consideración pero si se tuvo que confrontar con problemas técnicos debido al retraso en la generación de información hidrológica. A pesar de ello, se han ajustado los tiempos para lograr concluir el proyecto con un mínimo retraso y con un máximo de productos.

Los ejecutores consideran que los hallazgos muestran claramente los problemas que la zona está enfrentando tanto desde el punto de vista productivo, ambiental y social, los cuales claramente podrán extenderse en el futuro. Por ello se espera que este trabajo sea de utilidad para los tomadores de decisiones pues muestra objetiva, social y científicamente los problemas derivados del calentamiento de la zona productiva que podrán exacerbarse pero que sin embargo son de difícil identificación por la fuerte variabilidad de cuencas como la estudiada y tan comunes en Los Andes.

Los ejecutores expresan su agradecimiento a los financiadores del presente trabajo, pero fundamentalmente a la gente de las comunidades que permitieron que este trabajo se lleve adelante. Esperamos honestamente haber aportado con un grano de arena al entendimiento del complejo proceso que engloba el impacto del cambio global en pequeñas comunidades agrícolas del planeta.