

**Proyecto Illimani: "Fortaleciendo la capacidad y desarrollando estrategias de adaptación a los fenómenos de cambio climático en Comunidades de la Cordillera Real de Los Andes Centrales de Bolivia"**

## **Cálculo de las Demandas de Riego desde 1975 hasta 2009 en la Cuenca del Río Sajhuaya**

Informe Final



Autor:  
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales- IIAREN

La Paz – Bolivia



**ihh**



**IDRC**  
International Development  
Research Centre



**CRDI**  
Centre de recherches pour le  
développement international



**Universidad Mayor de San Andrés –UMSA**

**Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales- IIAREN**

**PROYECTO ILLIMANI**

**CALCULO DE LAS DEMANDAS DE RIEGO DESDE 1975 HASTA 2009 EN LA CUENCA DEL RIO SAJHUAYA**

**LA PAZ – BOLIVIA**

## **1. INTRODUCCION**

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

Para evaluar los requerimientos de riego, se requiere conocer tanto el clima de la zona como el patrón de cultivos y su evolución en el tiempo.

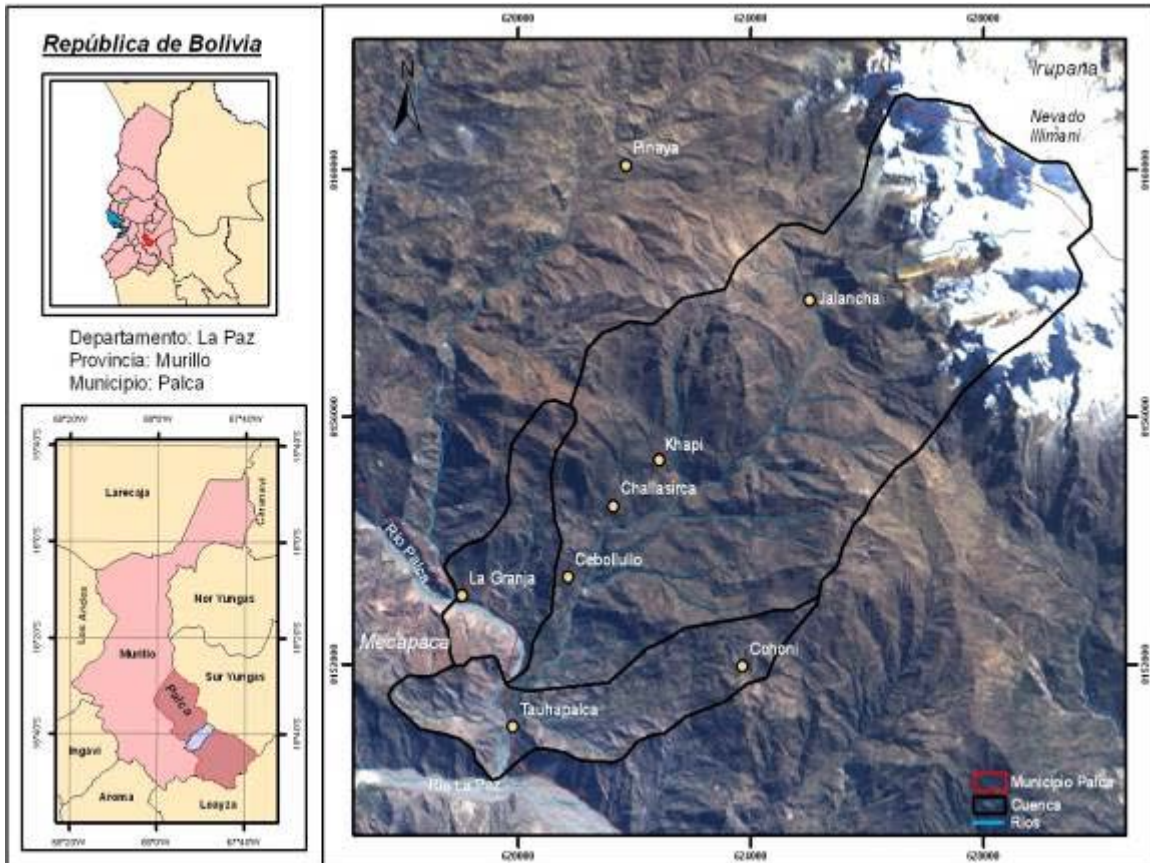
El presente trabajo que se realizó en el marco del Proyecto “Fortaleciendo la capacidad y Desarrollo de Estrategias y Adaptación a los Fenómenos de Cambio Climático en Comunidades de Montaña de la cordillera real de los Andes Centrales de Bolivia”, plasma y resume el levantamiento de información de más de 13 meses de trabajo en campo, evaluando el uso de agua de las comunidades donde opera el proyecto, así como la información social y comunal acerca de las variaciones históricas del patrón de cultivos y del uso de agua en las comunidades estudiadas. Con este trabajo se exhibe el uso potencial de agua para riego en la cuenca de estudio del proyecto en función del área de riego de cada comunidad desde 1975 hasta el presente.

## **2. METODOLOGIA**

El trabajo se enmarcó en la cuenca de estudio del proyecto Illimani. Esta cuenca está determinada por la presencia del río Sajhuaya tributario del río Palca el cual a su turno es tributario del río La Paz. La cuenca está geográficamente ubicada entre las latitudes 16°38'y16°44' Sur y longitudes 67°54' – 67°46' Este del Municipio de Palca, Provincia Murillo del Departamento de La Paz. Está conformada por las comunidades: Jalancha, Khapi, Challasirca, Cebollullo, Cohoni, Chañurani, Cachapaya, y Tahuapalca, y nace en la cordillera oriental con dirección Este, formando parte de la flanco occidental central del nevado Illimani.

Su cota máxima aproximada es de 6350 msnm como cabecera de cuenca y como su punto más bajo los 2500 msnm con desemboque al Río Palca (Figura 1).

**Figura 1. Área de Estudio de la Micro Cuenca del Río Illimani y sus principales comunidades**



**Fuente:** Informe Anual 2009 del proyecto, Agua Sustentable, (2009)

En una cuenca colateral se encuentra situada la comunidad de La Granja que está estrechamente ligada con la cuenca estudiada.

La zona de estudio se encuentra dentro de la ecoregión de valles interandinos y comprende una serie de valles encajonados y colinas que se encuentran en la ladera inferior del nevado Illimani. (Nuñez, 1975 en Informe Anual Proyecto Illimani, Agua Sustentable, 2009).

Las principales actividades que se desarrollan en la zona son la agricultura y un poco de pastoreo de camélidos de altura, los cuales entre otros, han modificado la estructura y composición de las comunidades vegetales de cada piso ecológico. La mayor parte de la agricultura se desarrolla en laderas y una pequeña proporción en pequeñas planicies y en las pocas terrazas aluviales formadas en los flancos de algunos ríos. La ganadería camélida aprovecha las zonas de pastos

naturales y los bofedales de altura en las comunidades que se encuentran a la cabecera de la cuenca.

Dado que para generar los resultados del trabajo se requiere de información histórica no reportada en ningún documento, se debió combinar el trabajo de levantamiento de información climática y de cultivo con el levantamiento de percepciones y memoria comunal y así poder definir escenarios productivos pasados.

## 2.1. Levantamiento de información productiva

Para evaluar la información productiva de las comunidades durante la gestión 2009-2010, 3 técnicos y 3 Asistentes de Investigación fueron establecidos en forma permanente en 3 comunidades representativas de la cuenca desde Agosto de 2009 hasta Septiembre de 2010. En forma general, se realizaron mediciones de las áreas cultivadas en las comunidades, seguimiento de los canales, uso de agua, ejecución de derechos y definición de la estructura productiva que caracteriza a cada comunidad.

Desde un punto de vista productivo, la comunidad de Jalancha no fue considerada como parte de las demandas de riego pues su altitud sobre los 3800 m. hace que no se realice producción agrícola de importancia sino en forma de aynokas comunitarias. Por ello, se consideró como parte de este trabajo a las comunidades de Khapi, Challasirca, Cebollullo, Cohoni, Chañurani, Cachapaya, y Tahuapalca. Debido a las limitaciones de personal y a las similitudes productivas en comunidades, el trabajo de levantamiento productivo y de información socioeconómica se centralizó en las comunidades de Khapi, Cebollullo y Tahuapalca. Posteriormente la información fue extrapolada de acuerdo al detalle presentado en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Comunidades parte del proyecto**

<b>Comunidad donde fue levantada la información</b>	<b>Comunidades a las que fue extrapolada la información</b>
Khapi	Challasirca 50 % del área de Cohoni
Cebollullo	50 % del área de Cohoni Chañurani y Cachapaya
Tahuapalca	ninguna

Como épocas de referencia para definir el patrón histórico de cultivo se trabajó con los años (1954) 1975, 1987 y 2009. Las razones para seleccionar estos años fueron que, en el caso del año 1954, se cuenta con información de fotografías aéreas muy precisas de la zona, las que definieron áreas de cultivo que, de acuerdo a versiones de los agricultores, no cambiaron sustancialmente hasta 1975. El año 1987 fue considerado pues los agricultores recuerdan con claridad lo ocurrido luego del evento Niña que se produjo entre 1985 y 1986 y que (de acuerdo a sus propias versiones) les obligó a ajustar su patrón de cultivo a nuevas

situaciones climáticas y socioeconómicas rápidamente cambiantes. Finalmente la información del año agrícola 2009-2010 fue levantada directamente de la zona a través del seguimiento participativo del manejo agrícola en las tres comunidades mencionadas en el Cuadro 1. Con esta información se asumió un régimen lineal de cambio de área de cultivo entre los años 1975 y 1987 y entre los años 1987 y 2010.

## 2.2. Evaluación de la demanda evaporativa de la atmósfera

Para analizar la demanda evaporativa o Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) determinada por el clima de cualquier zona, es común aplicar diversas ecuaciones climáticas. En este caso y siguiendo las normativas de la FAO, se aplicó la ecuación de la FAO Penman-Monteith para todos los meses desde Julio de 1975 hasta Junio de 2010:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

donde:

ET <sub>o</sub>	evapotranspiración de referencia (mm día <sup>-1</sup> )
R <sub>n</sub>	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
R <sub>a</sub>	radiación extraterrestre (mm día <sup>-1</sup> )
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u <sub>2</sub>	velocidad del viento a 2 m de altura (m s <sup>-1</sup> )
e <sub>s</sub>	presión de vapor de saturación (kPa)
e <sub>a</sub>	presión real de vapor (kPa)
e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )
γ	constante psicrométrico (kPa °C <sup>-1</sup> )

Esta ecuación aproxima muy adecuadamente el valor real de la ET<sub>o</sub>, pero requiere de muchas variables. En el presente caso, sólo se contaba con la información de Temperaturas Máxima y Mínima promedio mensual desde 1975 hasta 2009, razón por la cual se aplicó la metodología reportada por Allen et al. (2003) para la aplicación de la ecuación mencionada con datos faltantes.

## 2.3. Evapotranspiración del cultivo

La Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) es la máxima cantidad de agua que requiere un cultivo para llevar adelante adecuadamente sus procesos fisiológicos y producir adecuadamente. El valor de ET<sub>c</sub>, fue aproximado a través de la aplicación de la ecuación:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (2)$$

donde:

ET <sub>c</sub>	evapotranspiración del cultivo (mm día <sup>-1</sup> )
-----------------	--

ET<sub>o</sub>    evapotranspiración de referencia (mm día<sup>-1</sup>)  
Kc      Coeficiente del cultivo (--)

El valor de ET<sub>o</sub> fue calculado aplicando la Ecuación 1 y los Kc's fueron extraídos de la publicación de Allen et al. (2003), para los cultivos identificados en la fase de determinación de la estructura productiva. Esta ecuación fue aplicada para cada mes desde Julio de 1975 hasta Junio de 2010, en cada comunidad incluida en el análisis de la cuenca.

## **2.4. Precipitación efectiva**

La precipitación mensual desde 1975 hasta 2009 fue provista por el equipo climático del proyecto a través del trabajo de reconstrucción de información para las tres comunidades estudiadas siguiendo la metodología presentada por Montaña (2010) en su reporte técnico. Con esta información disponible se aplicó la ecuación de Brouwer y Heibloem (1986) para estimar la precipitación efectiva. Este método fue aplicado para cada mes desde Julio de 1975 hasta Junio de 2010 en cada comunidad incluida en el análisis de la cuenca.

## **2.5. Requerimientos de riego**

Los requerimientos mensuales de riego desde 1975 hasta Julio de 2010 se calcularon con la siguiente ecuación:

$$RR = ET_c - PP_{ef} \quad (3)$$

Donde:

RR    = Requerimientos de riego (mm)  
ET<sub>c</sub>   = Evapotranspiración del cultivo (mm, calculada con la ecuación 2)  
PP<sub>ef</sub> = Precipitación efectiva

Posteriormente los requerimientos de riego mensuales fueron transformados a caudales (l/s) en función a las áreas productivas de cada comunidad para cada cultivo. Esta ecuación fue aplicada para cada mes desde Julio de 1975 hasta Junio de 2010 en cada comunidad incluida en el análisis de la cuenca.

# **3. RESULTADOS**

## **3.1. Estructura Productiva**

### **3.1.1. Periodo 1954-1975**

#### **3.1.1.1. 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 casi ningún cambio de la estructura productiva durante este periodo.

### **3.1.1.2. 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 rio, 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 de la región y no tenían la necesidad de habilitar nuevas áreas de cultivo.

### **3.1.1.3. Comunidad de Tahuapalca**

En los años 1954-1975 la comunidad contaba con una población menor a 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.

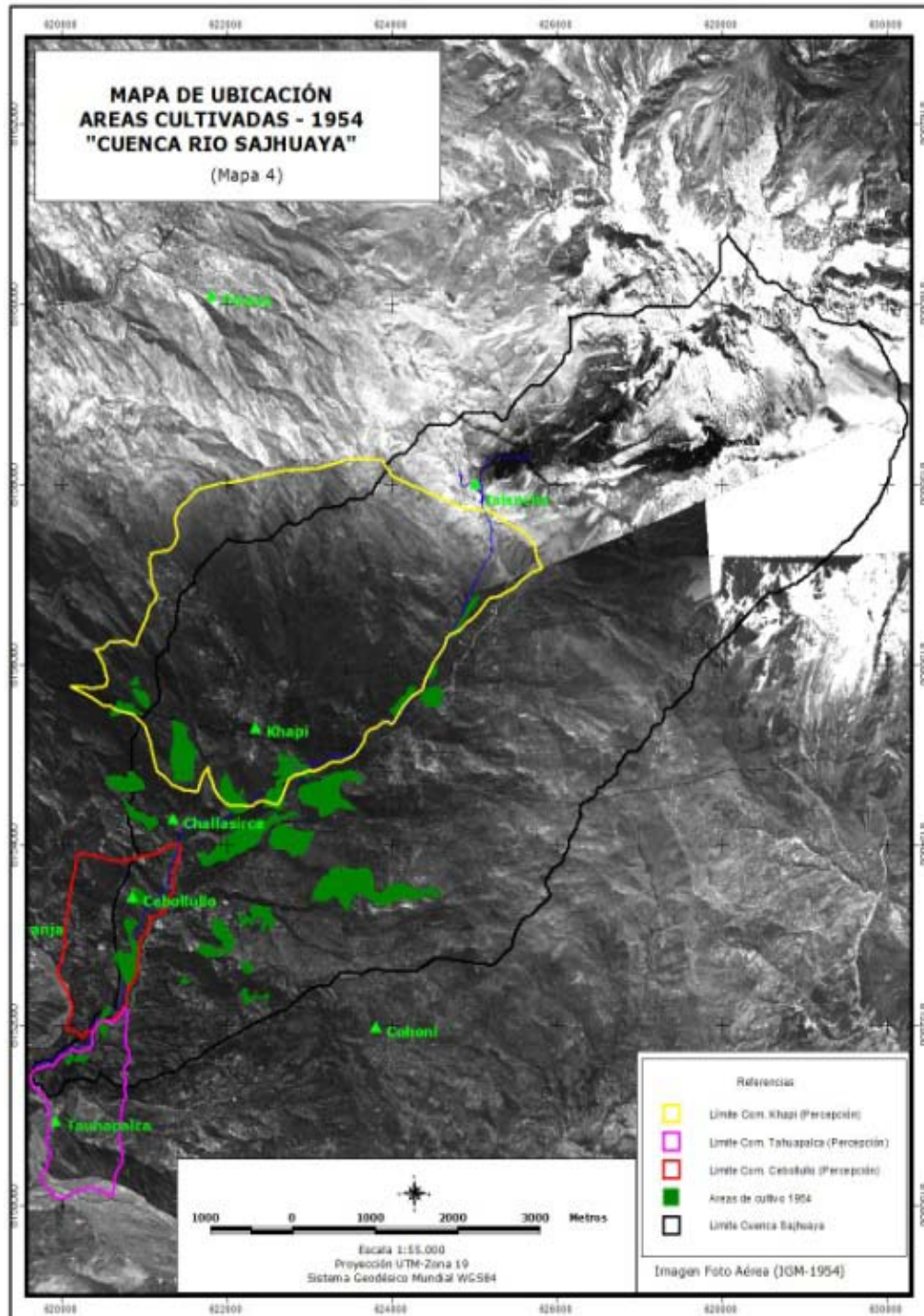
En ese periodo no existían caminos carreteros que permitan un libre flujo de tránsito entre la comunidad de Tahuapalca y la ciudad de La Paz, y menos aun en época de lluvias. Las superficies cultivadas estaban compuestas por pequeñas hortalizas como perejil, lechuga, vainita y pepino, algunos frutales y poco maíz, bajo los siguientes criterios.

- a) Todas las parcelas eran de superficie reducidas menor a 500 m<sup>2</sup> (con excepción de frutales)
- b) 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.





**MAPA 1.** Área cultivada para el año 1954 en el río Sajhuaya, que se considera casi constante hasta 1975.

### **3.1.2. Estructura Productiva 1975-1987**

#### **3.1.2.1. 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.

#### **3.1.2.2. Comunidad de Cebollullo**

Al igual que la comunidad de Khapi, este periodo no se reporta como de grandes cambios, debido a que la comunidad aun no tiene vías de acceso (caminos) a la ciudad de La Paz, el transporte de productos agrícolas aun 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.

#### **3.1.2.3. 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.

### **3.1.3. 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 percibe que se ha pasado de un modelo agrario basado en una producción de cultivos a secano, a un sistema que, sin eliminar el anterior, ahora 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. También este periodo se caracteriza por la diversificación de la estructura productiva agrícola y 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. Si a esto se le añade la mejora de los canales de riego se obtiene el resultado de una agricultura más intensiva, estrechamente ligada al mercado y con gran dependencia del riego. Estos cambios ocasionaron el aumento de la demanda de agua en la medida que se incrementaba la incorporación de riego, principalmente al cultivo de papa, maíz y lechuga.

#### **3.1.3.1. Comunidad de Khapi**

En esta comunidad es 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.

### **3.1.3.2. 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 incremento 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.

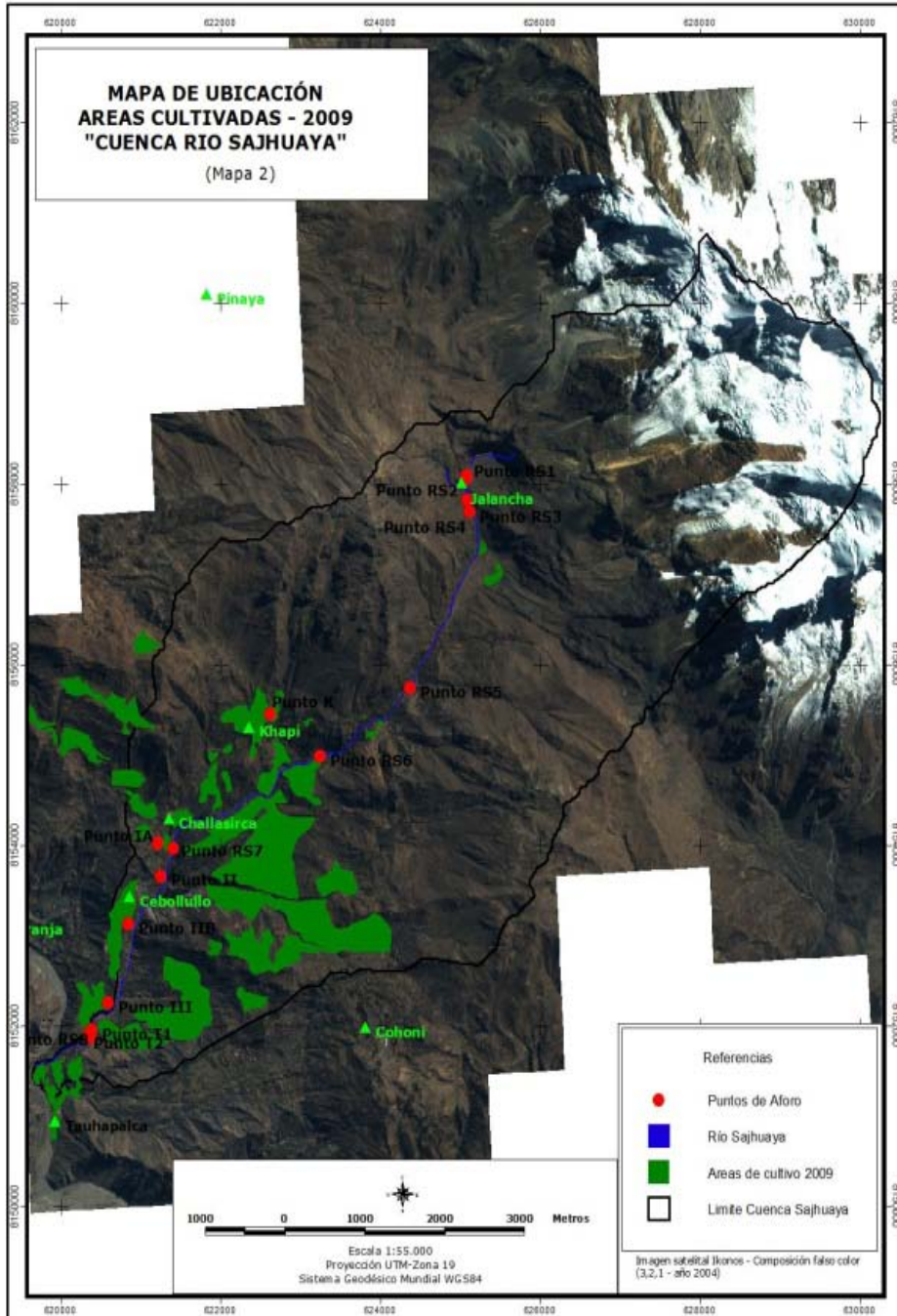
Nuevamente la habilitación del camino y el incremento de las temperaturas determinan el fuerte cambio del sistema productivo y la consecuente mayor demanda de agua para riego. En esta comunidad, el cultivo que mayor importancia adquirió es el cultivo de lechuga, que es altamente demandante en riego.

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 reduzcan su calidad y cantidad productiva. Esto ha llevado a que los agricultores replacen los árboles frutales por extensiones de hortalizas, especialmente lechuga.

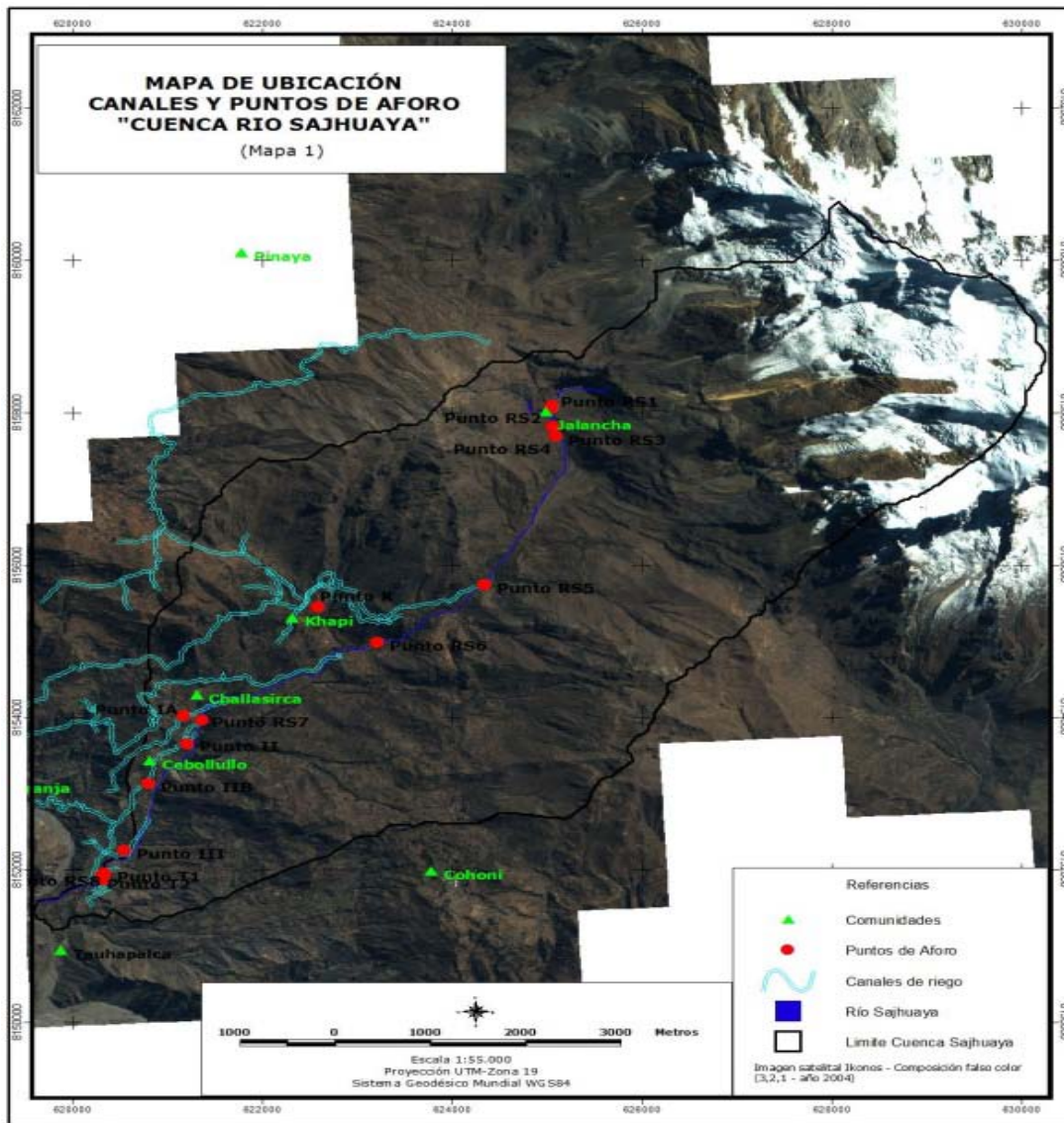
### **3.1.3.3. Comunidad Tahuapalca**

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)



**MAPA 2.** Área cultivada para el periodo actual (2009) y puntos de aforo en canales y río Sajhuaya



**MAPA 3.** Puntos de aforo de las obras de toma (canales de riego), además del punto de control de aforo para el río "Sajhuaya", para las diferentes comunidades de la cuenca.

### 3.2. Evolución de la Superficie Cultivada

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 siguientes áreas aproximadas de producción en los años referenciales mencionados previamente:



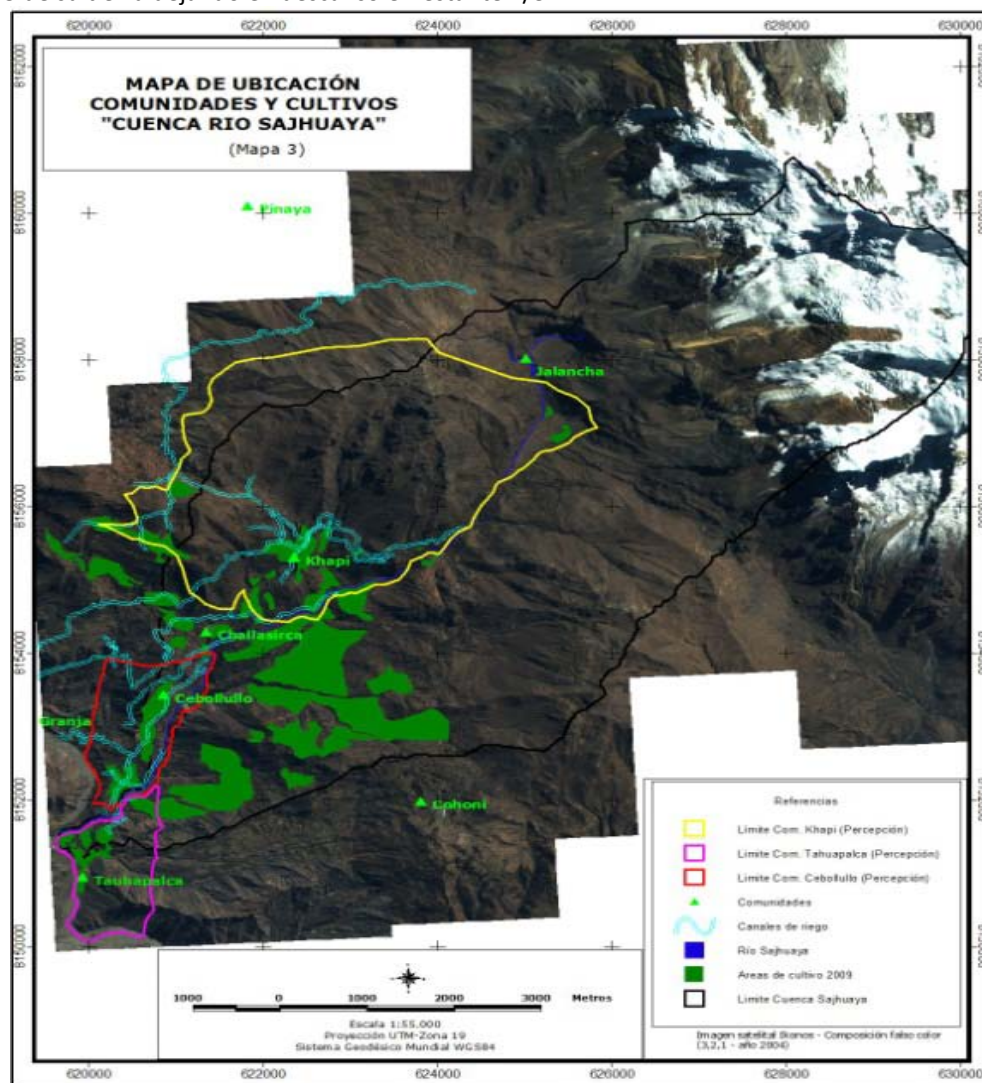
**Cuadro 2. Áreas cultivadas (Has) bajo riego y en forma activa en las comunidades evaluadas en los años referenciales de levantamiento de información.**

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.

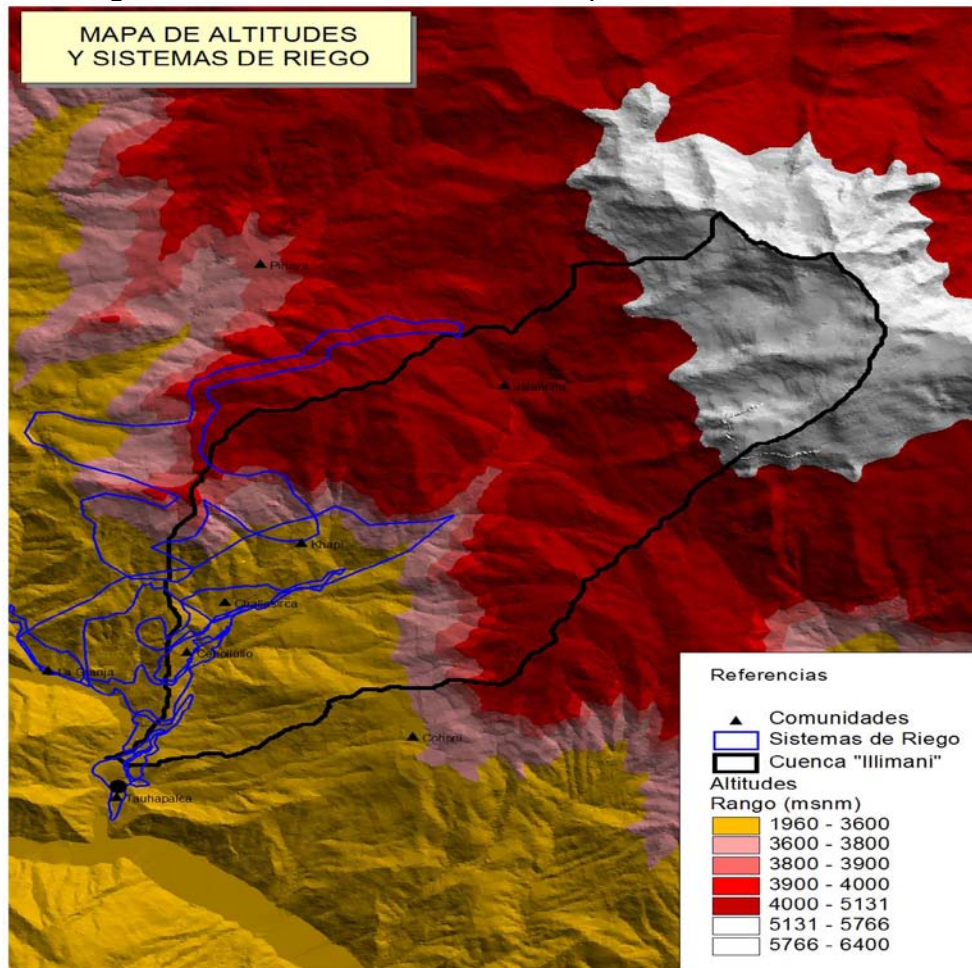
\*\*\*Entre 1975 y 1987, las comunidades representadas por Cebollullo, cultivaban activamente y bajo riego hasta 2/3 de su tierra dejando en descanso el restante 1/3.



**MAPA 4. Ubicación de las diferentes comunidades y la superficie cultivada**

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 por el informe de Derechos de Agua (elaborado por AS) 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 el Mapa 5 que muestra la elevación de la zona en relación a las áreas de derechos de agua incluídas en el informe de mapeo de derechos.



**Mapa 5.** 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.

El Mapa 5 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.

### 3.3. 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 siguiente:

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

Asimismo, para estas comunidades, la estructura productiva en 2009-2010 es la siguiente:

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

De esta estructura, la variación entre 1975-1987-2009 es la presentada en el Cuadro No 3.

**Cuadro No. 3. 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 siguiente:

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

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	JUNIO

y el restante 60 % es:

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

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 siguiente:

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
Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue

Donde:

Cultivo	%
lechuga	50
Maíz	14
gladiolo	12
otros	24

### 3.4. Evapotranspiración de Referencia

Los valores de Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>) son evaluados en sus valores promedios para representar las condiciones climáticas promedio de cualquier área. El gráfico 1 presenta la variación mensual de la Evapotranspiración de Referencia en las comunidades estudiadas.

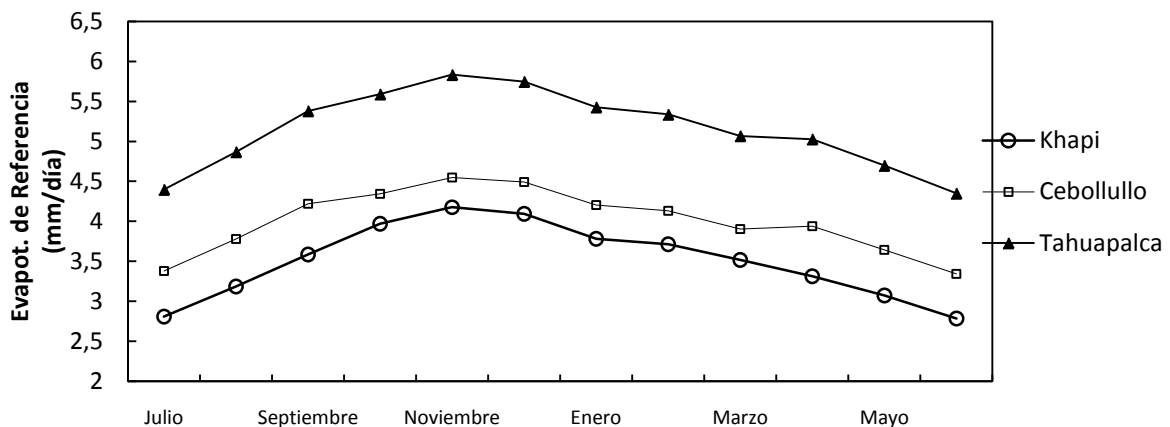


Gráfico 1. Evapotranspiración de Referencia mensual (mm/día) calculada para las comunidades de estudio con el método de Penman-Monteith (Allen et. Al, 2003)

Los valores más elevados de demanda atmosférica de agua se presentan en la comunidad de Tahuapalca y en los meses de verano, determinados por la mayor

recepción energética y las temperaturas más elevadas gracias a la menor altitud de esta comunidad.

Adicionalmente, en el presente trabajo también se realizó una evaluación tendencial del comportamiento de la ETo, con el fin de presentar la influencia de las temperaturas cambiantes en la zona de estudio.

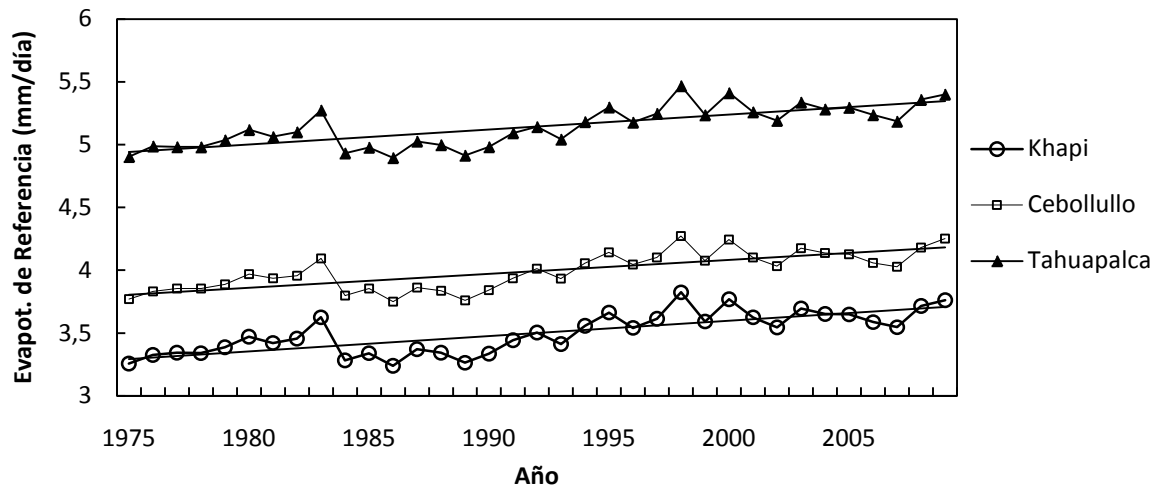


Grafico 2. Evapotranspiración de Referencia promedio anual (mm/día) calculada para las comunidades de estudio con el método de Penman-Monteith (Allen et. Al, 2003) desde 1975 hasta 2010.

El Grafico 2 muestra que la demanda atmosférica de agua ha sido incrementada en los años de evaluación fundamentalmente por el incremento de las temperaturas en las zonas estudiadas. El incremento se encuentra en un orden del 10 %, lo cual influye directamente en las necesidades de agua de los cultivos.

### 3.5. Demanda de Riego

En base a los resultados presentados anteriormente y a la metodología descrita en el capítulo correspondiente, se calcularon los requerimientos de riego en l/s, los cuales se encuentran reflejados en el Anexo hoja Excel **Requerimientos de riego 1975-2009 l-s.xls**. Los resultados obtenidos muestran un fuerte incremento en los requerimientos de riego en todas las comunidades tanto en la época de estiaje como en la época de lluvias. Este hecho ocurre debido principalmente al cambio de patrón de cultivo y el incremento de áreas cultivadas con cultivos demandantes de riego. Durante la época de lluvias también se aprecia incremento en las necesidades de riego, aunque en forma más notoria en las comunidades de altitudes intermedias y bajas. Los requerimientos de riego en l/s se incrementan regularmente durante la época de estiaje en todas las zonas, pues dependen fundamentalmente de la ETo ya que no existe prácticamente precipitación efectiva. En la época húmeda la variación de requerimientos de riego es muy



fuerte, pudiendo incluso duplicarse en años consecutivos, pues en este caso, los requerimientos de riego dependen fuertemente de que el año sea seco o húmedo. En los Gráficos 3 a 5 se presenta ejemplos de la evolución típica de los requerimientos de riego para tres comunidades de la micro cuenca.

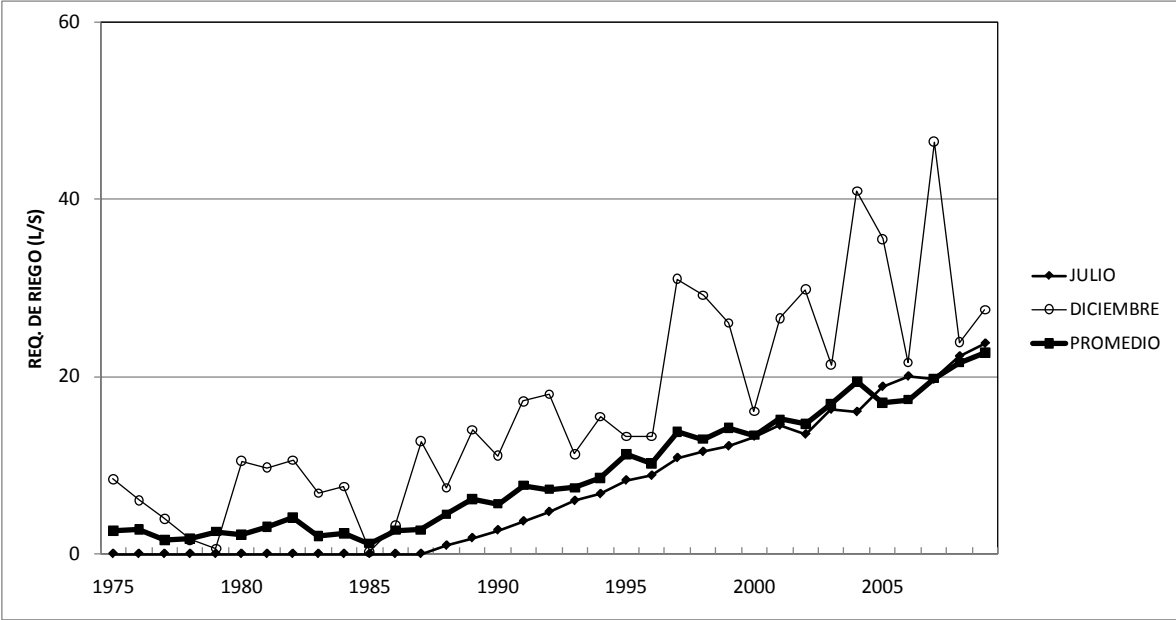


Grafico 3. Requerimientos de riego (l/s) para los meses de Diciembre, Julio y promedio anual determinados para las comunidades de estudio para el área de Cohoni arriba desde 1975 hasta 2010.

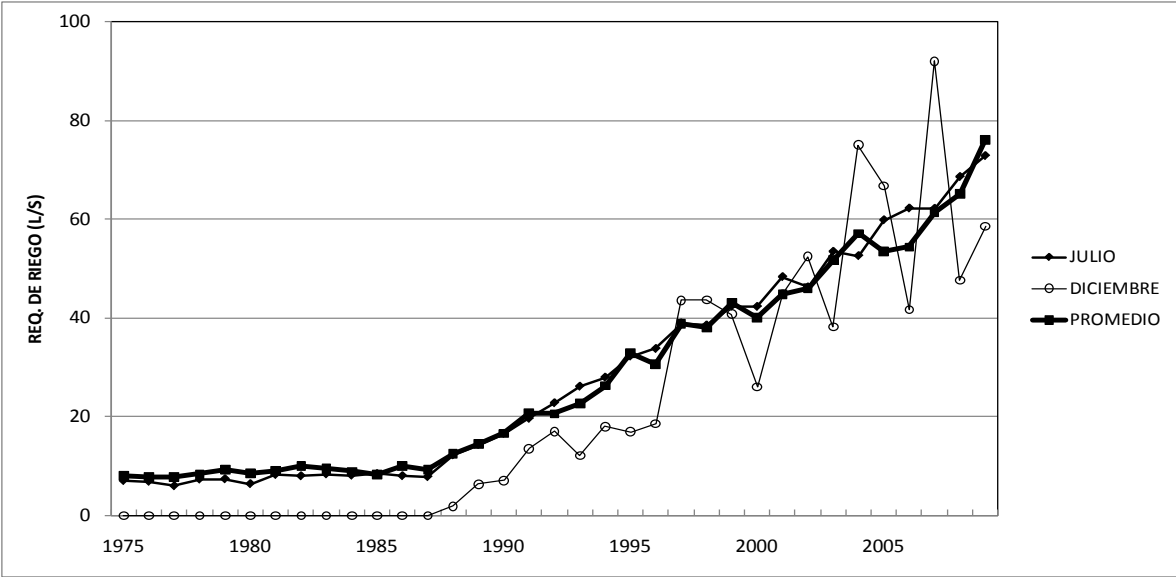


Grafico 4. Requerimientos de riego (l/s) para los meses de Diciembre, Julio y promedio anual determinados para las comunidades de estudio para el área de Cohoni Abajo desde 1975 hasta 2010.

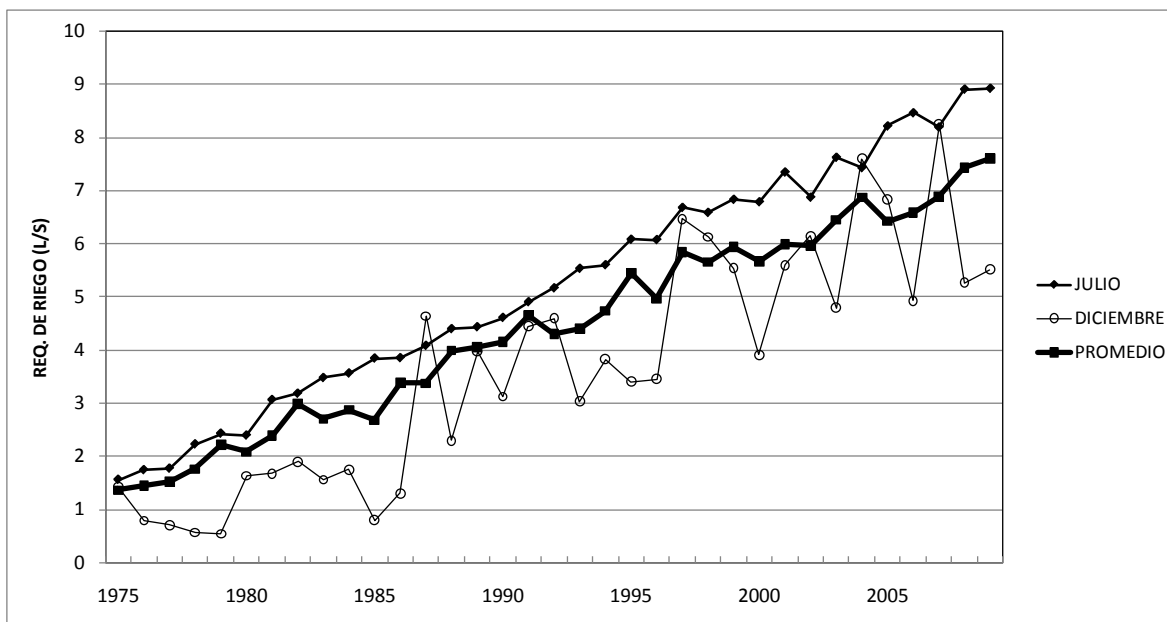


Grafico 5. Requerimientos de riego (l/s) para los meses de Diciembre, Julio y promedio anual determinados para las comunidades de estudio para el área de Tahuapalca desde 1975 hasta 2010.

Es importante adicionar que el cálculo efectuado se refiere a las necesidades de riego reales en función del clima reinante en la zona, del área cultivada y del patrón de cultivos representativo de cada comunidad. Sin embargo, el levantamiento de información realizado en la zona, ha mostrado que la eficiencia de riego promedio de las comunidades es de tan solo 30 %, por lo que el agua real usada en las zonas es aproximadamente 3 veces superior a la calculada, lo cual debe ser considerado en el análisis de gestión de la cuenca.

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis detallado de la evolución del área cultivada bajo riego y de la demanda de agua para riego a lo largo del año muestra que el incremento de la necesidad de agua para riego ha sido motivado por la combinación de temperaturas más elevadas y el acceso al mercado de la ciudad de La Paz que incrementa el valor de transacción de los productos agrícolas de la zona. Es innegable que el sinergismo de estos factores dio un fuerte empuje a la agricultura de la zona, llevándola en algunos casos hasta el límite de la sostenibilidad, lo cual deberá ser evaluado en otro documento.

Al presente documento se adjuntan las siguientes planillas:

1. ***ETo generada con min-max.xlsx***, que presenta los valores de Evapotranspiración de Referencia obtenidos para cada mes analizado con

la aplicación de la ecuación de la FAO Penman-Monteith con datos faltantes.

2. ***Pp total mensual rellenadas.xlsx***, que presenta los valores de precipitación mensual utilizados para la determinación de los requerimientos de riego.
3. ***Evolución de áreas de cultivo 1975-1987.xlsx y Evolución de áreas de cultivo 1987-2009.xlsx*** que presentan los cálculos para determinar la variación de las áreas cultivadas a lo largo de los años asumiendo funciones lineales de cambio.
4. ***Requerimientos de riego 1975-1987.xlsx y Requerimientos de riego históricos 1988-2008*** que presentan el cálculo para cada año de las demandas de agua en l/s.
5. ***Requerimientos de riego 1975 a 2009 l-s.xls***, que resume los resultados de las demandas de agua para cada comunidad.