

# NEGOWAT



Facilitando Negociaciones en Conflictos sobre Agua y Tierra en Cuencas Peri-Urbanas



## DOCUMENTO DE TRABAJO N° 3

### Estudios Hidrológicos en la Cordillera de Tiquipaya

Marco A. Saenz  
Alfredo Durán



Cinquième  
programme  
cadre



Affirmer le rôle  
international de la  
recherche communautaire



FAPESP

DFID Department for  
International  
Development

# Estudios hidrológicos en la cordillera de Tiquipaya

**Marco A. Saenz and Alfredo Durán**  
**Centro AGUA-UMSS**

***Resumen** — El análisis hidrológico estima la oferta de aguas superficiales de la cuenca Khora Tiquipaya al valle de Tiquipaya. El volumen total suministrado por la cuenca alcanzaría a unos 17,7 millones de metros anuales, distribuidos en 4.32 Hm<sup>3</sup> provenientes de crecidas, 6.70 Hm<sup>3</sup> que se embalsan en las diversas lagunas, y 6.71 Hm<sup>3</sup> que corresponden al flujo base (Mit'a). El volumen estimado de aguas subterráneas alcanza a unos 4 Hm<sup>3</sup>, de los cuales entre 1.5 a 2.0 estarían utilizándose anualmente, especialmente por sistemas de agua potable. La disponibilidad de agua superficial, a pesar de tales aportes, es insuficiente para la producción agrícola intensiva, razón que afecta la continuidad de las áreas agrícolas que tienden a urbanizarse. Prácticamente la totalidad de las aguas superficiales están siendo utilizadas, y aunque existen previsiones para nuevos proyectos (Batea Laguna), el incremento de agua con este sistema elevaría en un 20% (1.2 Hm<sup>3</sup>) el volumen a embalsarse. Por tanto, los esfuerzos deberían orientarse a optimizar la gestión y el uso de las aguas existentes, estableciendo estrategias productivas, de gestión y mecanismos enfocados a la gestión de la demanda, a fin de fortalecer a las organizaciones de regantes y los procesos de producción en que están involucrados*

## 1. Introducción

La realización de un estudio hidrológico consistente, requiere cantidad y calidad de datos, un amplio conocimiento de la zona en cuestión, y un planteamiento claro de que es lo que se va hacer y como, tomando en cuenta la información y conocimiento existente. En el caso de Tiquipaya, la información compilada para este estudio se encontraba dispersa, incompleta y algunas veces inaccesible, por cuestiones de “secreto institucional”. Por ello, paralelamente a recopilar la información existente, se han tenido que realizar varios otros trabajos adicionales, especialmente de medición directa de datos de caudal, para poder completar este reporte.

A inicios de los 90's, producto de las presiones ejercidas por los Comités de Riego de los diversos sistemas de riego y de ASIRITIC en Tiquipaya, la Prefectura de Cochabamba decidió impulsar la formulación y ejecución del “Proyecto de Riego Tiquipaya”, con miras a reforzar la preservación de áreas agrícolas mediante el incremento de la dotación de agua con fines de riego y la optimización de su manejo. Dentro de este contexto se han desarrollado varios Proyecto de Mejoramiento de Riego, mediante el mejoramiento de varios embalses, y en cada uno de éstos, se ha elaborado un estudio hidrológico.

De esta manera, los documentos encontrados y analizados se refieren a proyectos de mejoramiento de sistemas de riego, en Tiquipaya – Colcapirhua. Por los objetivos de este reporte, se ha puesto especial énfasis en los estudios hidrológicos realizados para determinar la disponibilidad de agua actual en la cuenca Khora – Tiquipaya.

Cabe señalar que en todos los estudios compilados, se ha determinado la oferta de agua para cada microcuenca sin tomar en cuenta la relación con captaciones efectuadas por los otros embalses, y menos con los derechos y acceso al agua por parte de otras comunidades ubicadas en la cuenca, su respectiva área de influencia, acuerdos existentes para el uso de las aguas de las lagunas entre regantes e instituciones o entre comunidades, la jurisdicción municipal y comunal, etc. Solo se limita a determinar de manera fría cuanto de agua esta disponible para el diseño del embalse.

Pero además, no presentan una descripción de la metodología seguida para calcular la disponibilidad de agua. Los estudios se han basado en el llenado de una planilla electrónica elaborada en el programa Excel, diseñada para tal efecto, y por tanto no hay una secuencia clara de cómo se han obtenido los resultados sobre oferta de agua, crecidas, precipitación media, etc., que permitan obtener conclusiones y recomendaciones adecuadas.

Con tales limitaciones, el presente reporte sintetiza la información hidrológica y sustenta su análisis en la caracterización de las cuencas con criterios morfológicos y biofísicos. En base a este primer análisis, se enfoca en las fuentes de agua para concluir en consideraciones sobre la oferta de aguas superficiales, y una parte final referida a las aguas subterráneas: vertientes (véase también documento de Daniel Vega, 2004), pozos perforados y excavados.

## **2. Contexto de la zona de estudio**

La zona de estudio se encuentra ubicada al norte de la población de Tiquipaya, en la cordillera del Tunari del departamento de Cochabamba. Comprende seis sub-cuencas: Saytu Khocha, Chankas, Cajón, San Ignacio, Khora Tiquipaya y Lagum Mayu, las cuales se encuentran ubicadas entre las coordenadas 17°11'23" a 17°19'11" de latitud Sud y 66°08'20" a 66°13'22" de longitud Oeste, con una altitud que varía entre 2700 y 4500 msnm.

### **2.1 Hidrografía**

Las cuencas en estudio son tributarias de dos grandes cuencas, la del Río Caine y la de Misicuni. Khora Tiquipaya y Chuta Kawa pertenecen a la primera y Saytu Khocha, Chankas, Cajón, San Ignacio a la cuenca de Misicuni. Sin embargo, aunque estas aguas fluyan hacia Misicuni, se ha realizado el mejoramiento de los cauces por parte de los regantes, para que todas las fuentes de agua pueden ser redireccionadas hacia Tiquipaya y Colcapirhua.

### **2.2 Fisiografía**

Según el mapa fisiográfico de Bolivia (1975), la zona de estudio corresponde la región Volcánica, al complejo Montañoso que se caracteriza por estar fuertemente plegado y fracturado, formado por numerosos anticlinales, sinclinales y numerosas dislocaciones, como consecuencia de esfuerzos tangenciales y verticales a los que estuvo sometida esta región.

La altura y forma actual de la cordillera de Tiquipaya, se debe a la fuerte influencia tectónica de fines del terciario y el cuaternario. Esta zona pertenece a la sub unidad Cordillera Oriental, conocida también como la Cordillera de Cochabamba, siendo el más representativo el macizo del Tunari con 5050 msnm.

### **2.3 Vegetación**

La mayor parte pertenece a la zona de vida del bosque muy húmedo montano subtropical (bmh-MST), donde se caracteriza por presentar zonas con temperaturas bajas, una humedad elevada del aire y el suelo, lo que limita mucho el crecimiento de los árboles, mientras que está expuesta a la exposición a fuertes vientos y casi constantes neblinas (Unzueta, 1975).

### **2.4 Aspectos socioeconómicos**

En la parte alta de las cuencas, el principal ingreso económico se debe a las actividades agrícolas (principalmente papa) y pecuarias (ovinos y camélidos), y no existen servicios de agua potable, alcantarillado ni electricidad. Sin embargo, comunidades como Titiri, Totorá y Cruzando cuentan con núcleos escolares de nivel primario. La Figura 1 muestra la zona de estudio:

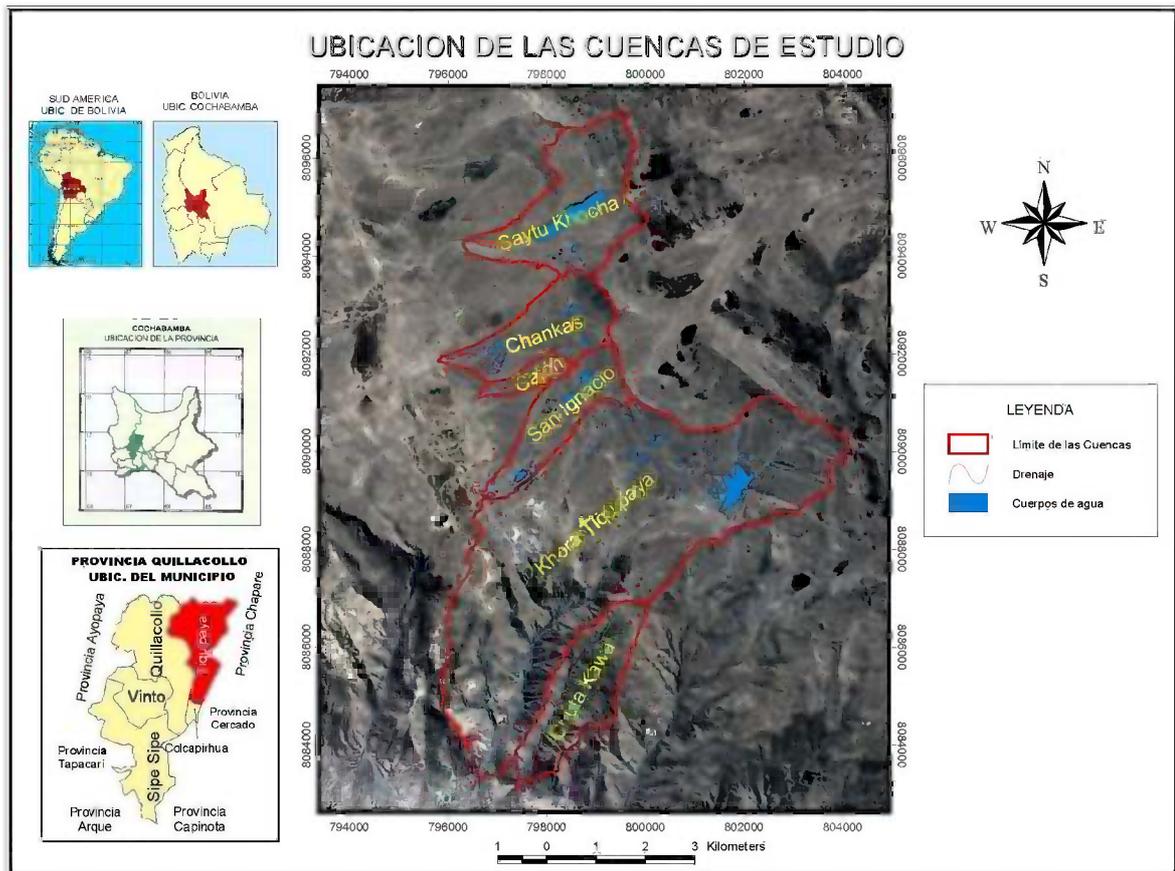


Figura 1. Zona de estudio

### 3. Metodología

La metodología consistió de varios pasos secuenciales. En una primera fase se recopiló y analizó la información hidrológica de otros proyectos. Posteriormente se realizó una caracterización bio-física y morfológica de la Cordillera de Tiquipaya, específicamente de las cuencas que aportan agua a los sistemas de riego ubicadas en la zona de riego. Los resultados de este trabajo se describe mas adelante. Posteriormente se realizó, en coordinación con Jorge Molina, responsable de un proyecto a cargo de la Comisión Integral para la Gestión del Agua en Bolivia (CGIAB), un análisis hidrológico de la cuenca Khora Tiquipaya y cuencas aledañas. En base a este primer análisis, se realizó una nueva fase de investigación para precisar algunas características y criterios empleados en dicho estudio. En base a este nuevo análisis se ha logrado establecer un balance de la oferta de agua, cuya síntesis se presenta en este reporte.

Paralelamente se realizó un análisis de la oferta de aguas subterráneas a la zona, en base a un convenio con la agencia estatal Servicios Geológicos y Mineros (SERGEOMIN), y con la escasa información y el conocimiento hidrogeológico de la zona, se ha logrado estimar la oferta de agua subterránea.

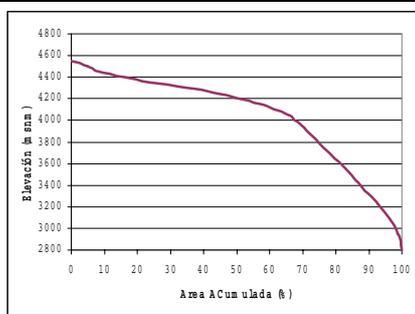
## 4. Caracterización de las cuencas de la cordillera de Tiquipaya

### 4.1 Caracterización morfológica

Se realizó una caracterización bio-física y morfológica de la Cordillera de Tiquipaya, específicamente de las cuencas que aportan agua a los sistemas de riego ubicadas en la zona de riego. Los resultados encontrados de mayor importancia se describen en las siguientes tablas:

**Tabla 1. Cuenca Khora Tiquipaya.**

Centroide de la Cuenca:	Coordenada X: 799981.5
Coordenadas UTM	Coordenada Y: 8087303.9
Área de la Cuenca:	2755 Hectáreas = 27 Km <sup>2</sup> .
Clasificación según Tamaño:	Pequeña (25 – 250 Km <sup>2</sup> ).
Perímetro de la Cuenca:	29.536 km.
Densidad de drenaje:	2.124 km/km <sup>2</sup> (drenaje moderado).
Elevación Media:	3991.87 msnm.
Pendiente Media:	15.465° (27.67 %).
Coefficiente de Compacidad:	1.587
Clasificación según su Cc:	Clase 3 (Oval oblonga a rectangular).
Relación de Elongación:	0.581 Presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas en el terreno.



**Curva Hipsométrica de la cuenca Khora Tiquipaya:**

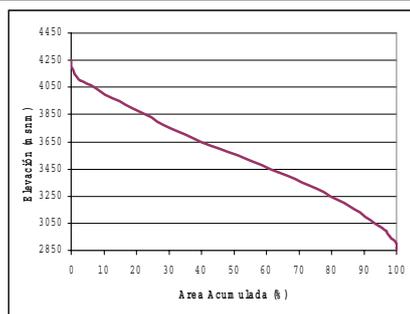
Dadas las características de la curva muestra una cuenca en etapa de desequilibrio.

Cuenca Geológicamente joven.

Cuenca de meseta.

**Tabla 2. Cuenca Chuta Kawa.**

Centroide de la Cuenca:	Coordenada X: 798676.5
Coordenadas UTM	Coordenada Y: 8085048.9
Área de la Cuenca:	424.82Hectáreas. = 4.24 km <sup>2</sup>
Clasificación según Tamaño:	Muy Pequeña (< 25Km <sup>2</sup> ).
Perímetro de la Cuenca:	11.089 km.
Densidad de drenaje:	3.735 km/km <sup>2</sup> (drenaje desarrollado).
Elevación Media:	3507.92 msnm.
Pendiente Media:	24.316 (45.18 %).
Coefficiente de Compacidad:	1.517
Clasificación según su Cc:	Clase 3 (Oval oblonga a rectangular).
Relación de Elongación:	0.512 - Presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas en el terreno.



**Curva Hipsométrica de la cuenca Chuta Kawa:**

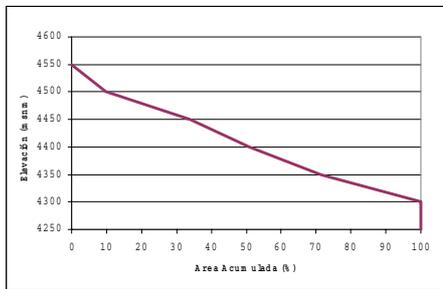
Dadas las características de la curva muestra una cuenca en etapa de equilibrio.

Cuenca Geológicamente madura.

Cuenca de pie de montaña.

**Tabla 3. Cuenca Saytu Khocha.**

Centroide de la Cuenca:	Coordenada X: 798161.5
Coordenadas UTM	Coordenada Y: 8095293.9
Área de la Cuenca:	606.51 Hectáreas = 6 Km <sup>2</sup> .
Clasificación según Tamaño:	Muy Pequeña (< 25 Km <sup>2</sup> ).
Perímetro de la Cuenca:	12.822 km.
Densidad de drenaje:	0.881 km/km <sup>2</sup> (drenaje pobre).
Elevación Media:	4361.69 msnm.
Pendiente Media:	7.979° (14 %).
Coefficiente de Compacidad:	1.468
Clasificación según su Cc:	Clase 2 (Casi redonda u Oval oblonga).
Relación de Elongación:	0.655
	Presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas en el terreno.



**Curva Hipsométrica de la cuenca Saytu Khocha:**

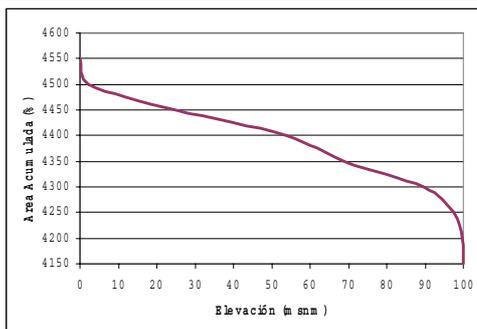
Dadas las características de la curva muestra una cuenca en etapa de equilibrio.

Cuenca Geológicamente madura.

Cuenca de pie de montaña.

**Tabla 4. Cuenca Chankas**

Centroide de la Cuenca:	Coordenada X: 797606.5
Coordenadas UTM	Coordenada Y: 8092568.9
Área de la Cuenca:	377.49 Hectáreas = 3.7 km <sup>2</sup> .
Clasificación según Tamaño:	Muy Pequeña (<25 Km <sup>2</sup> ).
Perímetro de la Cuenca:	9.972 km.
Densidad de drenaje:	0.866 km/km <sup>2</sup> (drenaje pobre).
Elevación Media:	4344.26 msnm.
Pendiente Media:	4.635° (8.1 %).
Coefficiente de Compacidad:	1.447
Clasificación según su Cc:	Clase 2 (Casi redonda u Oval oblonga).
Relación de Elongación:	0.593
	Presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas en el terreno.



**Curva Hipsométrica de la cuenca Chankas:**

Dadas las características de la curva muestra una cuenca en etapa de equilibrio.

Cuenca Geológicamente madura.

Cuenca de pie de montaña.

Los datos presentados permiten entender algunas respuestas hidrológicas importantes. Las cuencas situadas en la meseta presentan pendientes de media a alta (S) y baja densidad de drenaje (Dd), pero por su pequeño tamaño, se esperaría que ante un evento de precipitación fuerte, la escorrentía sería considerable. En el caso de las cuencas en ladera, y que desembocan en el Valle, las pendientes son mucho mayores y presentan una Dd mucho mayor, lo que reduce su tiempo de concentración, y con ello se incrementa el caudal de crecidas. De ahí el riesgo de inundaciones y arrastre de materiales que se confrontan en estas cuencas cada época de lluvias. Por tanto, el embalse de esta agua ha sido no sólo una necesidad estratégica para regular los caudales, sino también una medida necesaria para amortiguar los impactos de crecidas.

#### 4.2 Caracterización Bio-física

En términos de la caracterización Bio-física de las cuencas en la cordillera de Tiquipaya, se han elaborado mapas de cobertura vegetal, uso de la tierra, geología, pendientes y geomorfológicos, que en conjunto permiten determinar las áreas de mayor riesgo de erosión, al tiempo de identificar las formas actuales de ocupación y estado de la cuenca.

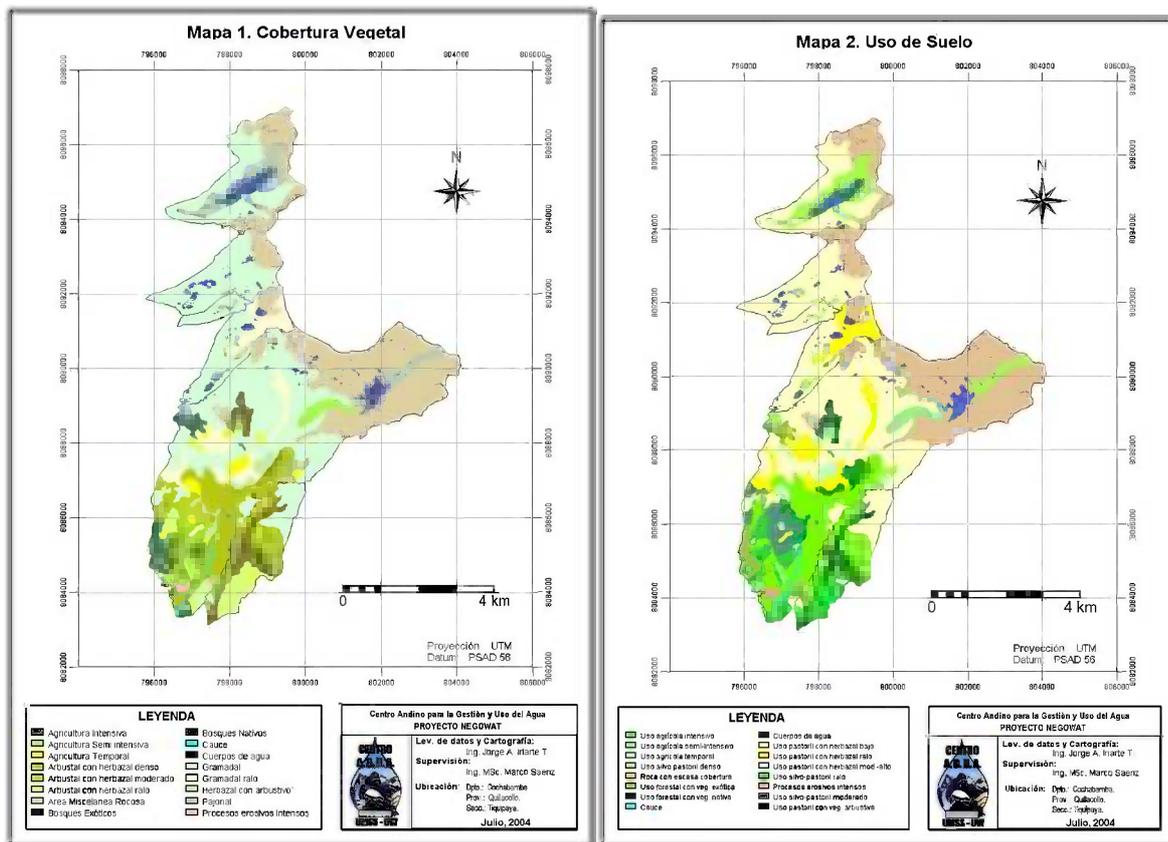


Figura 2. Mapa de cobertura vegetal y Uso del suelo en la cordillera de Tiquipaya.

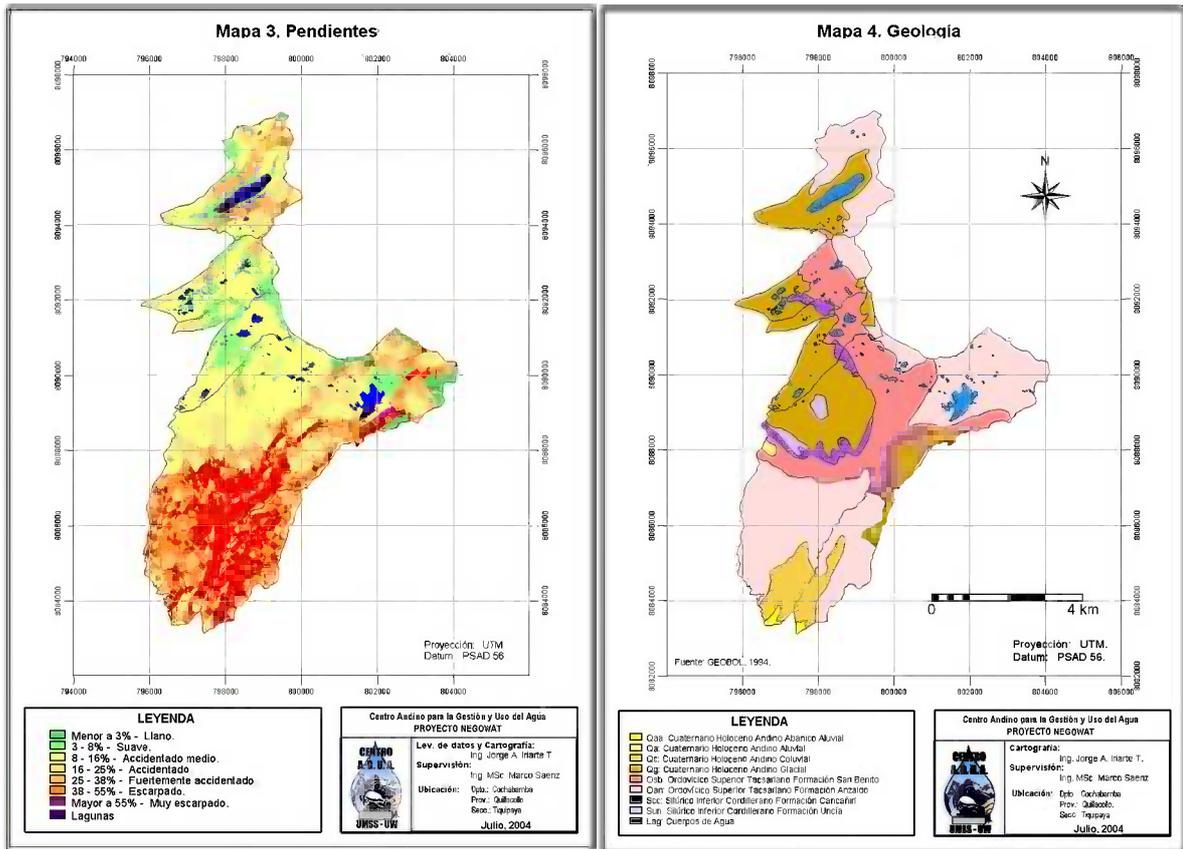


Figura 3. Mapa de pendientes y geología de la cordillera de Tiquipaya.

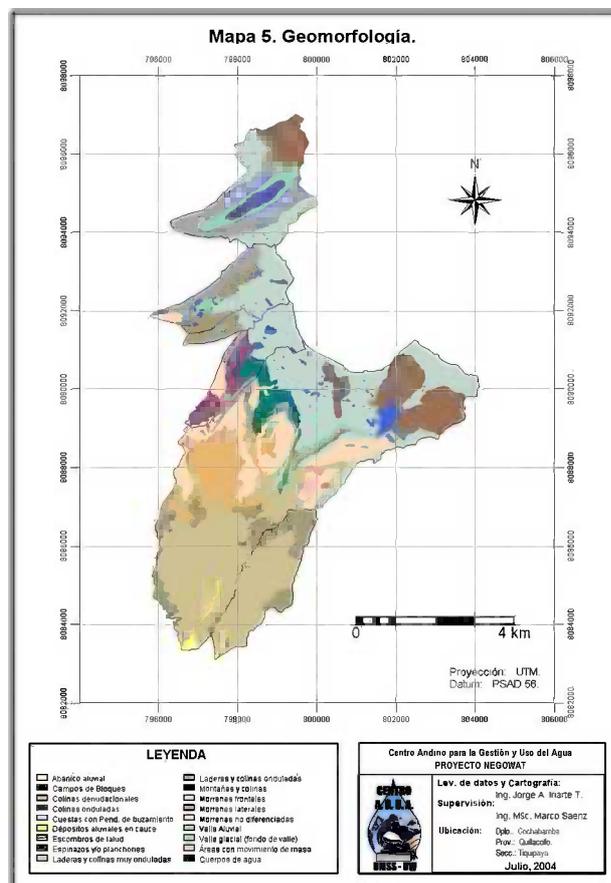


Figura 4. Mapa geomorfológico de la cordillera de Tiquipaya.

En síntesis, los mapas en las figuras 2, 3 y 4, permiten visualizar que en las zonas de meseta, la predominancia de vegetación (pastizal y cultivos) favorece la infiltración del agua, y por tanto reducen la escorrentía natural. Sin embargo, en la zona de ladera, las fuertes pendientes y el predominio de arbustos (cobertura poco densa), crean fuertes riesgos de erosión y facilitan un rápido escurrimiento.

## 5. Fuentes de agua

El área de estudio capta aguas destinadas para la producción agrícola, y cuenta como fuentes de agua a las precipitaciones pluviales, el curso natural de los ríos, las vertientes, embalses de agua de la cordillera (lagunas) y finalmente las aguas subterráneas (pozos perforados y excavados). En este sentido se ha originado en la zona de riego un complejo patrón de riego tradicional en el cual coexisten diversos sistemas de riego, los que obtienen sus aguas de las diferentes fuentes mencionadas en virtud a derechos de agua consolidados a través del tiempo.

Las precipitaciones pluviales se concentran en años regulares de lluvia, entre los meses de noviembre y abril, acumulando el valor medio de 570 mm/año en el valle; la importancia de esta fuente es que en estos seis meses se realiza una siembra general, la cual es afectada cuando las lluvias son irregulares; salvo las parcelas que pueden ser regadas con otras fuentes lo que a su vez depende de los derechos de agua que se tengan.

En la Tabla 5, se hace mención de las diferentes fuentes y tipos de agua en Tiquipaya.

**Tabla 5. Fuentes y tipos de aguas para riego en Tiquipaya.**

Fuente de agua	Tipo de agua	Zona de influencia	Uso del agua
Agua de río (flujo base)	Machu Mit´a	Todo el sistema de riego (Tiquipaya-Colcapirhua)	Riego
	Chuta K´awa	Chilimarca	Riego
Aguas de las lagunas	Lagum Mayu	Norte, central	Riego
	Chankas	Norte, central sud	
	Saytu Khoch´a	Sud	
Aguas subterráneas	Pozos perforados	En La zona central norte y sud Zona sud	Agua potable para comunidades. Industria (chicherias, matadero, etc.) Riego
	Pozos excavados	Zona Central norte y sud	Consumo humano, en muy poca frecuencia. Ahora solo Riego
Vertientes		Zona central norte y sud	Antes consumo humano y riego. Ahora sólo riego
SNR N°1	Aguas de la Angostura	Zona Central Sud, Zona Sud	Riego

El valle de Tiquipaya cuenta con varios sistemas de riego los cuales están agrupados por fuentes de agua. La Tabla 6, muestra los sistemas de riego por comunidad.

De todos estos sistemas, la Mit´a tiene gran importancia, por ser un flujo continuo que corre durante todo el año en el río Khora para su uso en riego.

Las vertientes en el área de estudio son treinta y seis, con un caudal que varía entre algunos litros por segundo y algunos litros por minuto, se caracterizan por tener estanques en los que se recarga el agua en un determinado número de horas, para luego ser distribuida bajo un rol a los diferentes usuarios. Cada vertiente, es un sistema de riego autónomo, con un número de usuarios determinado, los que en algunos casos forman directivas o tienen responsables, y en otros funcionan de manera privada.

Tabla 6. Sistemas de riego por comunidades

Comunidad		Sistemas de riego	
ZONA NORTE	MIT´AS	LAGUNAS	VERTIENTES
Montecillo	Machu mit´a	Lagum Mayu, Chankas	No
Molinos-Chilimarca	Machu mit´a, Chuta Khawa (río Chuta Khawa)	Lagum Mayu, Ichu Apacheta, Rebalses de LM	No
ZONA CENTRAL	MIT´AS	LAGUNAS	VERTIENTES
Bruno Mogo - Cuatro Esquinas	Machu mit´a	Lagum Mayu, SNR N°1	15
Linde	Machu mit´a	Lagum Mayu	12
Canarancho	Machu mit´a	Lagum Mayu	9
Chiquicollo	Machu mit´a	Lagum Mayu, SNR N°1	
Villa Esperanza	Machu mit´a	Lagum Mayu	
ZONA SUD	MIT´AS	LAGUNAS	VERTIENTES
Coña Coña - Rumi Mayu	Machu mit´a	Sayt´u Khocha, Lagum Mayu, SNR N°1	No
Sirpita - Capacachi	Machu mit´a	Chankas, Sayt´u Khocha, Lagum Mayu, SNR N°1	No

## 6. Oferta de agua

### 6.1 Oferta y disponibilidad de agua en la cordillera de Tiquipaya

Los volúmenes de aprovechamiento y el volumen muerto de las principales lagunas de la cuenca Khora-Tiquipaya se presentan en Tabla 7:

Tabla 7. Características hidrológicas de los embalses

Sistemas de riego	Area Km <sup>2</sup>	Volumen aprov. Anterior (m <sup>3</sup> )	Volumen actual con proyecto (m <sup>3</sup> )	Superf. Neta (ha)*	Nº usuarios (familias)	Comunidades Beneficiarias
Lagum Mayu	6.37	1'826.000,0 (3'034.500,00) (Volumen muerto)	3'029.000,0	650	698	Montecillo, Chilimarca, Molinos, Putucu, Linde, Trojes, Coña Coña, La Violeta, Chiquicollo, Kanarrancho, Bruno Moqo, V. Esperanza, Rumi Mayu, Santiaguilla.
Sayt´u Khocha	9.24	1'500.000,00 (1'504.000,00) (Volumen muerto)	2'640.000,00	377	486	Capacachi, Sirpita, Cuatro Esquinas, Rumi Mayu.
Chankas	4.93	200.000,00	1'037.000,00	180	119	Montecillo, Sirpita, Bruno Moqo.
Batea Laguna**	4.33		1'241.000,00	325	698	Montecillo, Chilimarca, Molinos, Putucu, Linde, Trojes, Coña Coña, La Violeta, Chiquicollo, Kanarrancho, Bruno Moqo, V. Esperanza, Rumi Mayu, Santiaguilla.
TotaL		3'32.600,00	7'947.000,00	1.532	2.001	

\* Las áreas de riego (datos del 1998) no están actualizadas.

\*\* Si tomamos en cuenta el aporte del proyecto de riego Batea Laguna (actualmente ya cuenta con el financiamiento), esta cantidad de agua se incrementa mucho más.

El cuadro anterior permite apreciar que los esfuerzos de mejoramiento de los embalses de Tiquipaya han permitido duplicar el volumen captado en la década de los 90's, y los esfuerzos por incrementar la disponibilidad de agua continúan, como es el caso de Batea Laguna, para así mejorar el acceso a las 2000 familias de regantes (aproximadamente 10000 habitantes, que representan un 15% de la población total de Tiquipaya y Colcapirhua).

Los sistemas de laguna tienen como fuente de agua embalses naturales con ciertas mejoras rústicas en la zona de la Cordillera, habilitadas a fines del siglo XIX. Se caracterizan por tener una forma de operación propia por "largas", la cual es realizada durante el periodo de estiaje (Julio a Noviembre). La apertura de las Lagunas o embalses se realiza por cierto periodo de tiempo de acuerdo a los turnos y derechos de agua de los usuarios de cada sistema de riego, en fechas fijas como en Lagum Mayu (9 de agosto) y/o elegidas en función a sus requerimientos como en Chankas y Sayt'u Khocha. Estas largas son realizadas por los laguneros de cada sistema de riego. Cada larga según el número de sus usuarios y volumen del embalse alcanza un mínimo de 2 largas como en Sistema Chankas y Rebalses y un máximo de 8 largas como en Sistema Lagum Mayu. Sin embargo, actualmente y gracias a las mejoras en los sistemas durante la década del 90, el número de largas se ha incrementado en todas las lagunas.

**LAGUM MAYU:** Dentro del sistema de lagunas, es uno de los sistemas de embalse más importantes en cuanto al aprovechamiento del volumen de agua así como por su cobertura del área de riego. Se constituye en un sistema complementario al sistema de Mitas, por cubrir el mismo perímetro de riego y por su similitud en sus componentes de distribución y derechos de agua.

Con una capacidad de almacenamiento de agua de 4'860.620,00 m<sup>3</sup> (volumen muerto 3'034.570,0 m<sup>3</sup>), se realizan regularmente 6 a 7 largas por año; la primera empezando por costumbre el 9 de agosto, fecha fija, donde el agua debe llegar a la bocatoma a hrs 4:00 am, momento en que se inicia la distribución según los derechos de agua los regantes. Tiene una duración de 10 a 20 días, con intervalos de 5 a 14 días entre dos largas. El caudal de salida de la laguna es de alrededor de 400 l/s, llegando a la bocatoma 250 a 300 l/s. Desde el año 2003, el sistema de distribución en esta laguna es por Flujo Continuo, luego de haber intentado otras formas de distribución de agua en los años 2001 y 2002.

Los usuarios pagan como cuota 6.- Bs por una hora de agua de Largas en cada turno. También tienen una cuota fija mensual de 2.-Bs, destinado para cubrir gastos de administración y otros. Actualmente, el sistema abastece a 55 asignaciones, que representa a 698 usuarios y abarca a 650 ha. Cuenta con una organización con su propia mesa directiva: Presidente, Vice-presidente, Secretario de Actas, Tesorero y Vocales elegidos democráticamente en una asamblea general de usuarios; cada dos años eligen un nuevo directorio o lo ratifican si los directivos cumplieron una buena gestión. Esta laguna cuenta con su lagunero y un tomero.

**SAYT'U KHOCHA:** Con una capacidad de 1'500.000, 00 m<sup>3</sup>, es el segundo sistema en importancia después de Lagum Mayu, habilitado por varios hacendados al final del siglo XIX. Beneficia a las comunidades de la zona sud de Tiquipaya: Capacachi, Sirpita, Rumi Mayu y Cuatro Esquinas. El sistema beneficia a 486 usuarios y abarca un área de 377 ha distribuidos en 11 Suyus, situados en la Zona Sud de Tiquipaya, comprende el 90% en la jurisdicción de Colcapirhua.

La estructura organizativa del sistema, consta de dos niveles de organización: la Directiva al nivel de sistema y las Cajas Chicas<sup>1</sup> al nivel de Suyu<sup>2</sup>. Sus miembros son elegidos democráticamente en una asamblea general de usuarios. La gestión de la directiva dura 2 años.

La operación se efectúa en forma de Largadas<sup>3</sup>; en años muy lluviosos aprovechan 5 Largadas, en años con lluvias regulares obtienen solo 4 Largadas, cada una con tiempo de duración de 11 días. El caudal de salida de la Laguna fluctúa entre 300 á 350 l/s, llegando a la toma Crucero 150 á 200 l/s; siendo la eficiencia de conducción de la laguna hasta la toma Crucero (23km) de más o menos 50%. El tiempo de recorrida varía de 9 á 12 horas. Aunque, se ha mejorado las presas, éstas todavía no están

---

1. Nombre que le dan a la persona que se responsabiliza de la administración y manejo económico del suyu.

2 Un Suyu en el Sistema S. Khocha es una unidad de propiedad (ex-hacienda) de extensión grande (50 - 65 ha), con derecho a un determinado tiempo de riego, en torno al cual se forma un nivel de organización.

3. Unidad de control de agua en la gestión de riego campesina expresado en días u horas, que se inicia con la apertura de la Laguna y termina cuando todos los usuarios del sistema hayan recibido su turno.

funcionando de forma adecuada (por problemas de construcción), por lo que se continúa utilizando los embalses rústicos habilitados por los antiguos usuarios del embalse.

Durante el funcionamiento de Largas, la directiva moviliza 7 personas para tareas de vigilancia y control del canal principal de conducción: un lagunero y su ayudante, un tomero, 3 vigiladores y, un supervigilador. En cambio para el control de canales ramales se encargan los propios usuarios; en algunos Suyus la Caja Chica contrata vigiladores. El 80% de los gastos son destinados para tareas de vigilancia durante la operación del sistema, siendo el aporte anual por una hora de agua de Bs. 60.- (en 1996) pagaderos hasta la segunda Larga.

**CHANKAS:** Es el sistema más reciente, habilitado en 1967 por las comunidades de Montecillo y Sirpita. Sin embargo, los testimonios de algunos usuarios antiguos afirman que la Laguna ya habría sido utilizado desde los principios del siglo XX, conjuntamente con el sistema de Sayt'u Khocha, que beneficiaba a la comunidad de Sumumpaya, ubicada en la zona sud, jurisdicción de Colcapirhua, que posteriormente fue abandonado probablemente porque estas comunidades disponían aguas de distintas fuentes.

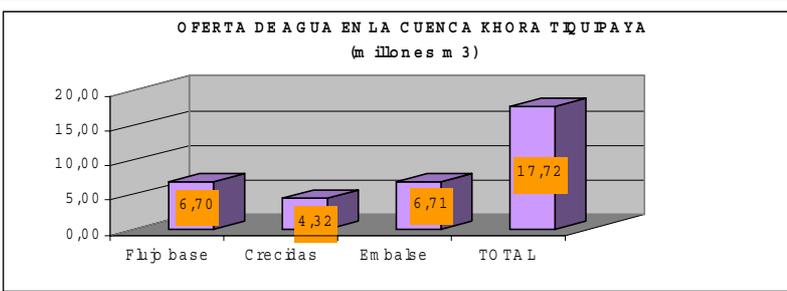
Se compone de 11 lagunas interconectadas, que permite almacenar alrededor de 200.000,00 m<sup>3</sup> por año. Por lo general obtienen dos largas entre los meses de Junio y Julio, que abastece a 119 usuarios distribuidos en dos comunidades arriba mencionados. Cada larga tiene una duración de 6 días, que comparten a 3 días cada comunidad. El caudal de llegada a la bocatoma aproximadamente es de 120 l/s. Actualmente, con el proyecto de mejoramiento se ha logrado juntar aguas de 4 lagunas (las principales) para el riego de las comunidades de Montecillos y Sirpita. El sistema tiene una organización de administración autónoma: cada comunidad con su propia directiva, pero con una buena coordinación para efectuar tareas de operación y faenas de mantenimiento.

**REBALSES y TOTORAS:** Es otro de los sistemas recientemente habilitados por los comunarios de Chilimarca y Molinos. Compone tres pequeñas lagunas, dos de ellos forman el sistema Rebalses situadas aguas abajo del embalse Lagum Mayu y que almacena todas las filtraciones y fugas de agua provenientes de este embalse; y la otra denominado laguna Totoras ubicada en una de las subcuencas de Lagum Mayu. Tienen una capacidad aproximadamente de 30.000,00 m<sup>3</sup>. Efectúan regularmente 2 largas con una duración de 48 hrs. cada una.

En síntesis, los siguientes son los resultados de la oferta de agua superficial:

**Tabla 8. Oferta de agua superficial de la cuenca Khora Tiquipaya**

Parámetro	Volumen ( millones de m <sup>3</sup> )
Flujo base	6,70
Crecidas	4,32
Embalse	6,71
Total	17,72



De acuerdo al análisis efectuado, se observa que los valores del flujo base (Mit'a) y el volumen embalsado actual (sin considerar Batea Laguna), son aproximadamente equivalentes, con menores valores para las crecidas de la época de lluvias (pues gran parte del agua ya es captada por los embalses), totalizando algo menos de 18 Hm<sup>3</sup>/año. Una estimación de la lámina de riego bruta aportada por estas fuentes a las aproximadamente 1500 ha (considerando que una quinta parte de las crecidas es aprovechada para riego), da una lámina total de 576 mm (5760 m<sup>3</sup>/ha), que es una cantidad de aporte reducida, si además se consideran las bajas eficiencias de riego (Eficiencia < 50%), insuficiente para cubrir dos ciclos de cultivo, lo cual explica los permanentes esfuerzos de los regantes por mejorar sus fuentes de agua.

## 6.2 Oferta de agua en vertientes (Zona Central de Tiquipaya)

Las vertientes o manantiales tienen como fuente de agua la descarga de los acuíferos subterráneos superficiales ubicadas en la zona central del perímetro de riego de Tiquipaya. Están compuestas de cerca de 50 ojos de agua o manantiales de capacidad muy variable, algunas de ellas al igual que el sistema de Mit'as probablemente fueron utilizadas desde la época pre-colonial. Para su almacenamiento la mayoría tienen un estanque de tamaño variable que permite almacenar de 100 a 1000 m<sup>3</sup> y son utilizados en forma de largas varias veces por semana, con caudales de salida que fluctúa entre 10 a 40 l/s inclusive. Abarca aproximadamente 300 ha, beneficiando a 325 familias, comprendidas en las comunidades de Linde, Chiquicollo, Villa Esperanza, Trojes, Canarancho, Santiaguilla y Brunu Moq'o. La distribución de agua al igual que en los otros sistemas, se realiza sobre la base de listas preestablecidas entre varios usuarios y algunos agrupados en asignaciones, que comparten el agua según sus derechos en cada turno, sobre la base de un control común y mutuo entre sus usuarios. Entre los sistemas de vertientes más importantes situadas a lo largo de las comunidades de; Linde, Canarancho, Santiaguilla y Brunu Moq'o se tiene: Thuska, Pujio, Tolavi, Choquela Presa, Tejería, Sauce Presa, Tudela, Sacristía, Lámbray y otros.

Se conoce que las vertientes fueron manejadas por los hacendados hasta antes de la Reforma Agraria de 1953. A partir de esta reforma, los usuarios asumen su gestión con una organización autónoma y descentralizada en algunos sistemas designan responsables para su distribución (jueces de agua). Sin embargo, para las faenas de mantenimiento existe una buena coordinación donde participan todos sus usuarios de acuerdo a sus costumbres y según sus derechos en algunos con fechas fijas, y en otros convocados según los requerimientos de mantenimiento. En la actualidad, debido en parte a la fuerte sequía por la que atraviesa el valle de Cochabamba, muchas de estas vertientes se han secado y por ende toda la gestión del agua en torno a ellas también ha desaparecido. Consultar además el reporte: "Estudio del uso de la tierra y de los sistemas de vertientes en la comunidad de Kanarancho" de Daniel Vega (2004).

## 6.3 Oferta de agua en pozos excavados (Zona Central de Tiquipaya)

Los pozos perforados son utilizados (sobre todo por granjas avícolas, chicherías, invernaderos y otras empresas) como fuente de agua para riego, abrevadero de ganado, y para usos domésticos, estos pozos son en su mayoría privados, salvo algunos utilizados para proveerse de agua potable ej. Rumi mayu, Sirpita, Linde, Canarancho, etc. Sin embargo, de un tiempo a esta parte se nota un notable incremento de uso de aguas subterráneas para consumo doméstico (casi todas las comunidades de la Zona central norte y Sud y Zona Sud de Tiquipaya).

Los pozos excavados, fueron en principio excavadas en su mayoría para el consumo doméstico. Sin embargo, actualmente estas aguas son empleados principalmente para actividades de riego, lavado de ropa, etc., en muy pocas ocasiones para el consumo doméstico, solo en casos donde algunas familias como en Canarancho, no cuentan con conexión domiciliaria de un pozo perforado.

Por otro lado, se continúa con el inventario de pozos perforados y excavados (Tesis de Maestría) con el objetivo de medir el nivel piezométrico de los mismos con el objetivo de estimar:

- Niveles piezométricos, para determinar aproximadamente cuanto de agua se extrae en los pozos.
- Analizar el descenso de los niveles freáticos en época seca y en época de lluvia
- Características técnicas
- Tendencias de uso y extracción de aguas subterráneas

Esta zona antiguamente se caracterizaba por ser una zona anegada, el agua salía por los terrenos y por tanto no se presentaban problemas de urbanización. Es decir por el nivel freático muy elevado la población también era bastante escasa. Sin embargo, después del periodo de sequía que comenzó el año 1986, los niveles freáticos han descendido considerablemente y con ello el proceso de urbanización ha sido intenso.

## 6.4 Oferta de agua con aguas subterráneas (SERGEOMIN)

La oferta de agua de los pozos excavados se ha realizado junto al SERGEOMIN, con la cual se ha suscrito un convenio, por el cual se habría de calcular la oferta de agua subterránea en la zona de Tiquipaya-Colcapirhua.

Sin embargo, este convenio no ha prosperado aunque se cuenta con un resumen que muestra las características geológicas de la zona de estudio. Por otro lado, SERGEOMIN, muestra los siguientes resultados de la oferta de agua subterránea para el Valle Central de Cochabamba.

**Tabla 9. Resumen del balance hídrico subterráneo en el valle de Cochabamba.**

Términos del balance hídrico	Volúmenes m <sup>3</sup> /año
Precipitación	3900000 – 5200000
Flujo superficiales	9100000 – 13000000
Agua de riego	1000000 – 1500000
Total recarga	14000000 – 19700000
Flujo artesiano	3000000 – 4500000
Manantiales	1100000 – 1300000
Evapotranspiración	6890000 – 7950000
Flujo Base	3900000 – 5720000
Total recarga	14890000 – 19470000

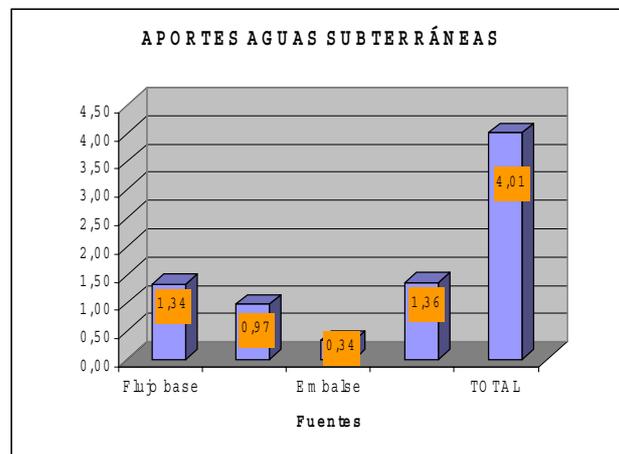
Fuente: SERGEOMIN, 2004

Sumando los componentes, se llega a un balance con déficit en la recarga de máximo 890000 m<sup>3</sup>/año y mínimo de 230000 m<sup>3</sup>/año.

A partir de estos datos, y consideraciones relacionadas con las características de Tiquipaya, se han estimado los siguientes valores para la recarga de aguas subterráneas en la zona, y se espera que estos datos sean corroborados por la Tesis de Maestría en curso:

**Tabla 10. Valores de recarga de aguas subterráneas**

Parámetro	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Percol	Vol AS (m <sup>3</sup> )
Flujo base	6,70	0,20	1,34
Crecidas	6,48	0,15	0,97
Embalse	6,71	0,05	0,34
Precipitación	6,81	0,20	1,36
Total			4,01



Es decir, de un total estimado de 4 millones de m<sup>3</sup>, que en teoría podría ser la capacidad de los acuíferos, es una incógnita el volumen que se extrae anualmente, y que tiene tendencia a aumentar. No obstante, por las características de bombeo de los pozos existentes en la zona (unos 100 perforados y varios cientos excavados, además del volumen de las vertientes), se estima que el volumen extraído anualmente estaría en un rango de 1.5 a 2.0 millones de m<sup>3</sup>.

## 7. Conclusiones

- Pese las limitaciones de datos e información existente, la compilación realizada y el estudio hidrológico efectuado por J. Molina (CGIAB, 2003), han permitido efectuar un análisis suficientemente profundo para estimar la oferta de aguas superficiales de la cuenca Khora Tiquipaya al valle de Tiquipaya.

- El volumen total suministrado por la cuenca alcanzaría a unos 17,7 millones de metros anuales, distribuidos en 4.32 Hm<sup>3</sup> provenientes de crecidas, aguas que se utilizan en aproximadamente un 20%, 6.70 Hm<sup>3</sup> que se embalsan en las diversas lagunas, y 6.71 Hm<sup>3</sup> que corresponden al flujo base (Mit'a).
- El volumen estimado de aguas subterráneas alcanza a unos 4 Hm<sup>3</sup>, de los cuales entre 1.5 a 2.0 estarían utilizándose anualmente, con tendencia al incremento.
- La disponibilidad de agua superficial, a pesar de todos estos aportes, no es suficiente para la producción agrícola intensiva, razón que afecta la continuidad de las áreas agrícolas que tienden a urbanizarse.
- Prácticamente la totalidad de las aguas superficiales están siendo utilizadas, y aunque existen previsiones para nuevos proyectos (Batea Laguna), el incremento de agua con este sistema elevaría en un 20% (1.2 Hm<sup>3</sup>) el volumen a embalsarse
- Por tanto, los esfuerzos deberían orientarse a optimizar la gestión y el uso de las aguas existentes, estableciendo estrategias productivas, de gestión y mecanismos enfocados a la gestión de la demanda, a fin de poder fortalecer de una forma mas efectiva a las organizaciones de regantes y los procesos de producción en que están involucrados.

### **Referencias bibliográficas**

- DHI Water & Environment. 2001. MIKE BASIN, Rainfall-runoff modelling. Dinamarca
- GEOBOL-ONU. 1978. Investigaciones de aguas subterráneas en las cuencas de Cochabamba-Informe Técnico del Proyecto. Cochabamba
- Montenegro, E. et al. 1996. Esgurrimento en la cuenca Taquiña-Medición y modelación. LHUMSS-PROMIC. Cochabamba
- Molina, J. y Soria Céspedes, F. 2004. Estudio hidrológico y oferta de agua-Informe final (casos: Río Cayne y río Khora Tiquipaya). Proyecto Regulación de Derechos de Agua en Bolivia. GIAB-IHH-UMSA. La Paz
- Montenegro, E. y Zárate, O. 1998. Sistematización para actualización y caracterización en la cuenca Taquiña. LHUMSS-PROMIC. Cochabamba
- SERGEOMIN, 2004. Informe ejecutivo sobre la oferta de aguas subterráneas al Valle Central de Cochabamba. Centro-AGUA-FCAyP-UMSS. Cochabamba
- Zabalaga, R. 2003. Análisis de crecidas en la cuenca del río Misicuni. Tesis de Grado Ingeniería Civil. UMSA. La Paz

### **Agradecimientos**

El presente trabajo es un resultado obtenido dentro del Proyecto NEGOWAT – Bolivia, el mismo que ejecuta el Centro AGUA de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, Bolivia. Agradecemos a todos los investigadores que han participado directa e indirectamente del proyecto. El mismo agradecimiento a los actores sociales de Tiquipaya como ASIRITIC, los Comités de Agua Potable y OTB's que han aportado con preciosa información de base.