



ASOCIACION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
ANDINO - AMAZONICO

MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN EL VALLE DE COCHABAMBA

FORO DEL AGUA DE COCHABAMBA

DOCUMENTO BASE

Elaborado por:

Ing. Augusto Prudencio V.

Cochabamba, Septiembre 1998

INDICE

MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN EL VALLE DE COCHABAMBA

1. INTRODUCCION
2. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL EN EL VALLE DE COCHABAMBA
 - 2.1. Identificación y evaluación de fuentes Potenciales de SEMAPA
 - 2.2. Plan de Implementación de Proyectos de Riego del Valle Alto
 - 2.3. Proyectos de aprovechamiento de Recursos Hídricos
 - 2.4. Situación de aprovechamiento de recursos hídricos para el Valle Central
3. ESTUDIO DE LOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS
 - 3.1. Aguas Subterráneas
 - 3.2. Principales resultados adquiridos
4. USUARIOS PRINCIPALES DEL AGUA EN EL VALLE DE COCHABAMBA
5. INSTRUMENTOS LEGALES VIGENTES RELACIONADOS AL AGUA Y SU USO
 - 5.1. Beneficios de una ley de aguas
 - 5.2. Reglamento de Riego
6. INSTITUCIONES RESPONSABLES DEL MANEJO DEL AGUA Y PRECIOS
 - 6.1. Instituciones Responsables en el Manejo del Agua
 - 6.2. Precios
7. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE
8. CONFLICTOS SOBRE EL USO DEL AGUA
9. MARCO REFERENCIAL PARA LOS ESTUDIOS DE CASO A SER REALIZADOS EN CADA SUBCUENCA

MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN EL VALLE DE COCHABAMBA

1. INTRODUCCION

La Asociación de Investigación y Desarrollo Andino - Amazónico en coordinación con las instituciones socias de CONDESAN en Cochabamba, ha decidido ejecutar la primera fase del Proyecto Manejo Integral del Agua en el Valle de Cochabamba, para la constitución de un Foro de Agua en Cochabamba, en tal sentido se presenta en consideración el documento base sobre los estudios, proyectos e información con que se cuenta para el manejo integrado de los recursos hídricos del Valle de Cochabamba.

Para la realización del presente trabajo se ha consultado documentos con información técnica, la misma que se ha venido desarrollando por una serie de instituciones con presencia regional en nuestro Valle por lo que existe una información ampliada como para poder llegar a estrategias concretas que plantean a su vez soluciones a la difícil situación de abastecimiento de agua y el manejo racional de los recursos hídricos.

2. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL EN EL VALLE DE COCHABAMBA

2.1. Identificación y evaluación de fuentes Potenciales de SEMAPA

En cumplimiento de los alcances de este estudio, se ha efectuado el análisis de las fuentes aprovechables de uso actual por SEMAPA (Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado), evaluándose las posibilidades de extensión y los requerimientos de mejoramiento de la infraestructura existente con miras a incrementar la capacidad de producción de SEMAPA en volumen y en calidad.

En esta sección, se han inventariado las fuentes superficiales aprovechables en la cuenca del Valle de Cochabamba y las cuencas vecinas, evaluándose su potencialidad, y la factibilidad de su aprovechamiento para el abastecimiento del área urbana de Cochabamba siendo estas las siguientes:

Escalerani: Con el entubamiento de la aducción La Cumbre - Cala Cala y la implementación del proyecto Chusequeri. La rehabilitación de la planta de tratamiento en Cala Cala para un caudal de 400 l/s con un promedio de 238 l/s con la impermeabilización del canal de intercepción de cuencas vecinas y conducción a La Cumbre (en ejecución), a unos 330 l/s con variaciones de 300 a 400 l/s con el entubamiento, alcanzando un caudal firme de 400 l/s con la implementación del proyecto Chusequeri.

El sistema Chungara: se plantea sustituir la tubería de aducción existente con otra hacia una unidad de desinfección con hipoclorito de calcio y un tanque de regulación integrado al sistema de abastecimiento de la nueva red alta. La producción de la galería existente es muy variable en

el tiempo aprovechándose un caudal promedio de 30 l/s. La rehabilitación y eventual extensión de la galería existente podría incrementar esta producción media; sin embargo resulta prudente recomendar un estudio hidrológico detallado basado en una campaña de mediciones hidrométricas y climatológicas que permitan fundamentar la estimación de la productividad aprovechable de esta obra.

El Proyecto San Miguel: Se planteará la construcción de una represa en Janko Khala para regular el escurrimiento producido por la cuenca alta del río Tacata de 25.5 km². Se estima poder derivar un caudal firme de 500 l/s aguas abajo de la confluencia de los ríos Tacata y Liriuni, de los cuales 300 l/s podrían ser destinados al abastecimiento de agua de Cochabamba, este proyecto tiene la oposición de los campesinos del lugar.

Río Viloma: tiene un caudal medio mensual de 3 320 l/s con un mínimo de 310 l/s se encuentra comprometido para otros usos (hidroeléctricos, riego, abastecimiento de la población local). El caudal aprovechable se estima inferior a los 100 l/s a 24 km del área de servicio de SEMAPA.

Río La Llave: Existe la posibilidad de producir 200 l/s para Cochabamba mediante la construcción de una presa de 45m de alto destinándose 100 l/s para usos agrícolas, y una aducción de 20 km hasta el área de servicio de SEMAPA.

La Angostura: Los estudios de factibilidad y Diseños finales de este proyecto se encuentran en ejecución. Se plantea derivar 300 l/s del canal de riego aguas abajo de represa existente para abastecer la zona sur de la ciudad de Cochabamba. El proyecto está previsto implementarse en 2 etapas (200 + 100 l/s). Implica modificar el uso actual destinado al riego. Los altos contenidos en nitratos y mercurio podría afectar el diseño del proceso de tratamiento.

Corani: En la actualidad Corani cuenta con una capacidad de embalse de 140 millones de m³, que son utilizados en la generación de energía hidroeléctrica. El año 1997 la Empresa Corani S.A. que fue capitalizada ofreció entregar hasta 2,000 l/s agua para consumo humano y otros 2,000 l/s de agua para riego, a partir del año 2001, para ello se está construyendo el trasvase del río Palca, Chauca Mayu y aportes adicionales, que incrementarán el volumen de regulación de 120 millones de m³. El agua sería conducida al área de servicio de SEMAPA por medio de un túnel de 14.5 km y una aducción de 17.5 km.

Misicuni: Este proyecto de importancia regional contempla un ambicioso programa de trasvase de aguas de la cuenca del río Misicuni hacia la cuenca de Cochabamba para uso múltiple de riego, producción de energía hidro eléctrica y agua potable. La implementación de este proyecto es gestionada por la entidad pública Empresa Misicuni, la cual ejecutará y administrará las obras de infraestructura para suministrar agua cruda contra pago de una tarifa. En lo que se refiere a SEMAPA, el agua cruda se entregaría en una parcela reservada para la construcción de una planta de tratamiento y de los tanques de almacenamiento de agua tratada se conectaría con la operación de la Red nueva Media Norte. La primera etapa permite el suministro de un caudal variable entre 340 y 2.500 l/s a lo largo del año. SEMAPA deberá construir una planta de tratamiento completa.

Campo de pozos de Vinto: Contempla la rehabilitación de 4 pozos existentes, la perforación de 4 nuevos pozos y la perforación de un pozo profundo de prueba, para una producción total de 300 l/s.

Campo de pozos Nor Oeste: Situado cerca de la población de El Paso, en el ex-playamiento del río Tacata (o San Miguel), este campo representa los mejores recursos subterráneos del Valle; además de los 200 l/s en producción y los 100 l/s en realización (JICA), se contempla la construcción de un pozo profundo para producir 100 l/s, y 4 pozos semi - profundos para producir 160 l/s adicionales. Este acuífero está siendo utilizado para usos agrícolas y para el abastecimiento de la ciudad de Quillacollo. Existe una real tensión conflictiva entre los usuarios que puede constituirse en condiciones restrictivas para la implementación de estos proyectos.

Campo de pozos Norte: Este campo, ubicado cerca de Tiquipaya presenta las características prometedoras para la explotación de recursos subterráneos. Se estima posible aprovechar 350 l/s para la producción de agua potable para Cochabamba, a partir de 7 pozos semi - profundos; dos de estos pozos podrían sustituirse por uno profundo.

2.2. Plan de Implementación de Proyectos de Riego del Valle Alto

En el Estudio del Plan General de Riego para el Valle Alto, efectuado por la consultora CES/GAF se han realizado estimaciones detalladas de las demandas de riego para diferentes zonas del valle, utilizando diferentes métodos de cálculo, en función a cédulas de cultivo basada en la experiencia local, en la vocación de los suelos y en las tendencias a la Introducción de nuevos cultivos en el área del proyecto Punata (maíz, papa, hortalizas, forrajes para lechería, etc.) Los requerimientos de suministro de agua de riego fueron establecidos computando los efectos de las condiciones locales: climáticas, de suelos, de cultivos, de humedad del suelo y las prácticas agrícolas típicas del Valle Alto.

En la determinación de la demanda bruta de agua se tomó una eficiencia total del 50% que resulta de la experiencia en la zona (PRAV-PRIV).

Para la zona de Punata se ha encontrado una demanda bruta promedio anual, en términos de caudal específico, entre 0.4 a 0.5 l/s/ha.

Para la zona de Arani, estos valores varían entre 0.4 a 0.65 l/s/ha, mientras que para el área de Siches (cerca de Cliza), se han encontrado valores alrededor de 0.4 a 0.7 l/s/ha.

Tomando en cuenta que de las 28830 ha. Aptas para riego en el Valle Alto 6267 ha. Cuentan con riego permanente y 11033 con algún riego suplementario, tomando un requerimiento promedio de 0.45 l/s/ha, se tendría un requerimiento total adicional para todo el Valle Alto, de cerca a 10.0 m³/s de agua como caudal promedio anual.

2.3. Proyectos de aprovechamiento de Recursos Hídricos

Aspectos generales

Diversas alternativas de aprovechamiento de recursos hídricos han sido estudiadas, dentro y fuera de la cuenca del Valle Alto. El estudio más completo es sin duda el realizado por CES/GAF. Los últimos años el PRONAR (Programa Nacional de Riego) viene promoviendo la implementación de proyectos a nivel nacional, con inversiones no mayores a los \$us350.000.

Estos proyectos en general son pequeños y no constituyen opciones para una solución integral e implementación de un desarrollo agrícola en gran escala. Para ello, necesariamente se requiere ejecutar proyectos con regulación de agua (construcción de presas). Tampoco se mencionan en este estudio los proyectos Murmuntani y Khaspi Kancha, que serán ejecutados en el marco del Proyecto del Valles Interandinos, dado que su área de influencia se limita a la parte alta de la Cordillera de Tiraque y su magnitud es bastante reducida (aprovechamientos de 70 y 50 l/s respectivamente).

Tomando como base el estudio realizado por CES/GAF, se presentan los proyectos más prometedores planteados en dicho estudio. Para fines de una mayor claridad, se presente una breve descripción de los proyectos y un resumen de sus costos, así como de los resultados de su evaluación.

Ubicación y descripción de los principales proyectos

Los principales proyectos estudiados (y viables técnicamente) se localizan en cuatro zonas.

- La Cordillera de Tiraque, con las opciones complementarias denominadas Traslase Yungas de Vandiola y Traslase Yungas de San Mateo.
- Río Lope Mendoza y afluentes, con las alternativas complementarias denominadas Traslase Huasa Mayu - Juntutuyo - Pocoata y Cristal Mayu - Juntutuyo - Pocoata.
- Cuencas del propio Valle Alto, que escurren hacia el embalse de la Angostura, con las alternativas Siches y Pucara.
- Cuencas del Proyecto “Kewiña Khocha”, con las opciones complementarias denominadas Traslase Chapisirca - Pucara (o Sacaba) y Traslase Dobletero - Pucara (o Sacaba).

Se han estudiado también opciones de proyectos “pequeños”, como ser Canlla Mayu (dentro de la cuenca del Valle Alto) y las opciones de Traslase de Catachilla, que serán descritas brevemente más adelante.

Aprovechamiento de los recursos de la Cordillera de Tiraque

Descripción General

La cabecera de la cordillera de Tiraque ubicada en la parte noreste del área de estudio, así como las cuencas ubicadas detrás de la divisoria que escurren hacia el Chapare, ofrecen un potencial hídrico muy atractivo debido a los niveles de pluviosidad que allí se registran (entre 1500 y 2000 mm/año).

Se han estudiado varias alternativas de aprovechamiento de estos recursos a través de sistemas de traslases que incluyen túneles (debido a la divisoria elevada), que permitan desviar aguas que escurren al Chapare hacia el embalse Titora Khocha. Estas captan los aportes de las cuencas (sobre la cota 3800 msnm) de los ríos San Mateo, San Miguel, Chillihuara, Macho Jusk'o y Calamina Huasi, desviando sus aguas hacia el embalse de Titora Khocha (cuyo nivel máximo de embalse es aproximadamente 3730 msnm). En Titora Khocha existe una capacidad ociosa de almacenamiento adicional de aguas. Debido a su sobredimensionamiento, el embalse que cuenta actualmente con una capacidad útil de cerca a 20 millones de m³, nunca ha podido lograr un volumen de almacenamiento mayor a 10 millones de m³.

Alternativas Planteadas

Trasvase Yungas de Vandiola - Totora Khocha

En esta alternativa se plantea el aprovechamiento de las cabeceras de los ríos Chillihuara, Macho Jusk'o y Calamina Huasi (sobre la cota 3800 msnm) cuya cuenca totaliza un área de captación de 25.8 km² dividida en 10 sub-cuencas.

De acuerdo a los estudios hidrológicos, la zona registra una precipitación media anual de cerca a 1500 mm y se prevé un aporte anual de alrededor de 28 Hm³, es decir un caudal medio de 0.88 m³/s. El área neta regable se estima en aproximadamente 2100 ha.

El canal de trasvase tiene una longitud total de 28.1 km, comienza en la cabecera del río Chillihuara (Laguna Azul Khocha) conduciendo las aguas hacia el embalse de Totora Khocha. El sistema incluye 10 obras de captación y dos túneles con una longitud total de 4.1 km.

La alternativa descrita líneas arriba se basa en el llenado del embalse Totora Khocha sin su ampliación más el suministro directo de agua a la zona de riego en verano.

Trasvase San Mateo - Totora Khocha.

Esta alternativa consiste en la prolongación de los canales de la alternativa anterior hasta la Laguna Khomer Khocha, ubicada al sur de la cuenca del río Málaga. Adicionalmente se debe construir el túnel Cuernos, con una longitud de 1.35 km. La longitud total del trasvase es de 52.8 km. que incluye una longitud total de túneles de 5.45 km.

Esta alternativa requiere la elevación de la presa Totora Khocha desde su nivel actual (3730.4 msnm) hasta la cota 3735.0 msnm (4.6 m), incrementando su volumen de embalse en aproximadamente 10 Hm³, hasta una capacidad total de 31.5 Hm³.

La cuenca neta comprende un área de 42.1 km² dividida en 19 sub-cuencas pequeñas, que aportan anualmente un volumen neto estimado de 52.9 Hm³, es decir un caudal medio teórico de 1.68 m³/s. El área estimada neta de riego es de aproximadamente 3400 ha.

Estudios Posteriores

La profundización de los aspectos técnicos a realizarse en estudios posteriores deberá ser complementado con el análisis de los derechos de uso del agua de riego actuales del embalse Totora Khocha que serán respetados de acuerdo al programa de distribución actual. Así mismo en los próximos estudios (Factibilidad) se analizarán los efectos y modalidades de la incorporación de nuevos socios a las asociaciones de riego ya existentes.

En consecuencia, se recomienda el estudio de los mecanismos sociales que aseguren los beneficios esperados para evitar que el incremento de la oferta hacia Totora Khocha sea utilizada solamente por los actuales socios aumentando sus dotaciones.

Por otro lado, es importante acelerar los estudios y la implementación de las obras, ya que la Empresa Corani está ampliando sus captaciones hacia el sur y el este (en dirección del río San Mateo), con el fin de incrementar los aportes hacia el embalse de Corani. Una vez consolidados los derechos sobre los ríos ya no será posible desarrollar ningún aprovechamiento hacia el Valle Alto.

Aprovechamiento del Río Lope Mendoza y Afluentes

Descripción General

La cuenca del Río Lope Mendoza (Kairani) está localizada al este de la cuenca de Tiraque, cuya divisoria se encuentra cerca de la laguna Chari Khocha a una elevación de 3635 msnm. El río fluye hacia la región del Chapare pasando por la comunidad Lope Mendoza.

Por el sur, está ubicada la cuenca del río Miskha Mayu y al norte se hallan las cuencas de los ríos Huasa Mayu y Cristal Mayu, cuyos flujos tienen direcciones semiparalelas desembocando también hacia la región del trópico.

El río Miskha Mayu confluye con el río Lope Mendoza cerca de la comunidad del mismo nombre a una elevación aprox. De 2890 msnm, mientras que el río Huasa Mayu se une con el río Lope Mendoza (Río Ibirizu) más al Noreste cerca del rancho Juntas.

El río Lope Mendoza está aprovechado para fines de riego en varios lugares, en cambio, los ríos adyacentes por el norte (Huasa Mayu y Cristal Mayu), no son utilizados para ningún fin pasando directamente sus aportes hacia el Chapare.

El proyecto “trasvase del río Lope Mendoza y cuencas adyacentes” tiene como fin la captación de recursos hídricos en las cuencas mencionadas y aumentar la oferta de aguas en el Valle Alto mediante sistemas de trasvases.

En el estudio de CES/GAF se analizaron y evaluaron dos posibilidades de conectar la cuenca de Lope Mendoza con el Valle Alto a través de canales cuyos trazos estarían limitados por la cota de la divisoria de la cuenca de Tiraque (3635 msnm), para luego derivar las aguas hacia la cuenca de Vacas y almacenarlas en la laguna Juntutuyo, el ingreso al Valle sería por el río Waykho Mayu (Pocoata).

El volumen mínimo de la laguna Juntutuyo aproximadamente es de 5.3 hm³. El elevado contenido salino de las aguas de la laguna (CE= 3.33 dS/m) impide su utilización para riego por lo que se prevé el bombeo de estas hacia la Laguna Parko Khocha. La capacidad de embalse de la Laguna Juntutuyo, es de 24 Hm³ para una altura de embalse de 10m.

Esquemas de Aprovechamiento

Trasvase Huasa Mayu - Juntutuyu - Pocoata

Esta alternativa tiene como fin captar las aguas del río Huasa Mayu (33 km²) y los afluentes del río Lope Mendoza (18.3 km²). La longitud total de trasvase es de 57.4 km desde la cuenca de Huasa Mayu hasta la laguna Juntutuyu. El trasvase incluye el túnel Kharafomo de 1.7 km de longitud, una bocatoma en Huasa Mayu y cuatro captaciones intermedias en la cuenca Lope Mendoza.

El inicio del canal de trasvase tiene una elevación aproximada de 3650 msnm por tanto, el trazo sigue una pendiente mínima que le permita traspasar la divisoria Tiraque.

Pasando la cumbre de Chari Khocha (divisoria Tiraque) el canal sigue en el costado austral de la cuenca Tiraque hasta el Rancho Cebada Jichana, pasando posteriormente a la laguna Juntutuyu (cuenca de Vacas) a través de dos rápidas, un acueducto y el uso del curso natural del río Alta Punta.

En la laguna Juntutuyu habrá que construir una estructura de toma y un túnel en el costado occidental de la laguna por debajo de Jatun Runa. Luego de la estructura de toma se utiliza el río Waykho Mayu hacia el oeste hasta una bocatoma cerca de la estancia Pocoata (elevación 2840 msnm) donde el agua será distribuida para la irrigación.

El potencial aprovechable estimado de la cuenca Huasa Mayu y la intercuenca Lope Mendoza es de 23.7 Hm³ y el área regable es de 1700 ha ubicadas en el sudeste del Valle.

Trasvase Cristal Mayu - Juntutuyu - Pocoata

Esta alternativa consiste en la prolongación del canal de aducción hasta acceder a la cabecera de la cuenca del río Cristal Mayu, incorporando los ríos Khomer Pampa, Mayo Tinco y cinco ríos menores, que constituyen las nacientes del río Cristal Mayu, adicionando una cuenca de 33 km².

Las cuencas de aporte totalizan una superficie de 84.3 km² (Cristal Mayu, Huasa Mayu y Lope Mendoza), y se estima un potencial “aprovechable” de 47.5 Hm³ por año, limitado en parte por la ausencia de presas de regulación en el sistema de trasvase, pues como se indicó la topografía no lo permite.

El canal de trasvase tiene una longitud importante de 78.4 km desde Cristal Mayu hasta la laguna Juntutuyu. Al no existir caminos de acceso la implementación de esta alternativa demanda la construcción de accesos en una longitud aproximada de 45 km.

Alternativas de aprovechamientos dentro la propia cuenca del Valle Alto

Planteamiento general

Dentro la cuenca del Valle Alto, se han identificado dos proyectos grandes, Siches y Pucara, así como otros proyectos menores que serán tratados más adelante. En este acápite se presentan los dos primeros, por su magnitud e impacto.

Presa río Siches.

La subcuenca del río Siches está localizada al sur de la planicie del Valle. Tiene una superficie de aproximadamente 433 km² y junto con el río Pucara constituyen las subcuencas del Valle Alto de mayor importancia por sus dimensiones físicas. Según las informaciones de los pobladores, ya en los años 50 una consultora alemana hizo estudios de una presa en el río Siches. Sin embargo, por la construcción de la presa Angostura no se llegó a su realización.

Actualmente existe una amplia infraestructura tradicional de riego alrededor del río Siches, que permite la utilización de sus aguas para el riego complementario durante los meses de lluvia, siendo su área de influencia desde la comunidad de Siches hacia el norte hasta la región de Cliza al norte y desde Huayculli al oeste hasta la estancia Aramasi al este del Valle.

Así mismo, en la cuenca alta del río Siches existen también pequeños sistemas con derechos de riego tradicionales.

De acuerdo a estimaciones de CES/GAF, la cuenca total tiene un potencial de aproximadamente 62.4 m³/año, de los cuales 86% fluyen durante los meses de lluvia (diciembre a abril), pasando los mayores volúmenes en forma de avenidas, las mismas van en parte al embalse de La Angostura, sin ser aprovechadas en el Valle.

El aprovechamiento de la cuenca del río Siches debe ser prioritario por varios factores que facilitarían su implementación: no se requieren soluciones técnicas complicadas (trasvases, canales de aducción, etc.), la zona de riego se encuentra casi al pie de la presa, ya existe infraestructura básica de conducción y parcelaria, además marcado interés social. Un problema importante que debe ser estudiado en detalle es el alto grado de erosión de la cuenca y los aportes de sedimento hacia el futuro embalse. Este aspecto merece especial atención por los antecedentes que se tienen de los aportes hacia el embalse de Laka Laka.

En cuanto a los efectos sobre el embalse de La Angostura (Sistema de Riego N° 1), evidentemente el río Siches (río Cliza) es uno de los principales aportadores (40.5% según CES/GAF, 25% según López). Está claro que la implementación sin conflictos son los usos desde el sistema de La Angostura, dependen de la implementación del Proyecto Misicuni en el Valle Central de Cochabamba.

Características del proyecto

En el estudio de CES/GAF se ha evaluado tres posibles sitios, resultando el más favorable aquel ubicado en los 65°55'W y 17°43'S aproximadamente a una elevación de 2855 msnm. En este sitio, el área de drenaje asciende a 433 km². La confluencia de los ríos Siches. Huam Pirjua, Luchani y Quebrada Khasa Pata conforma el vaso, cuya capacidad para una altura útil de presa de 50m alcanza los 45 millones de m³. Bajo las condiciones citadas, el volumen anual aprovechable (según CES/GAF) es de aproximadamente 58.2 Hm³, es decir, un caudal medio de 1.85 m³/s. El volumen muerto estimado por CES/GAF alcanza a 2.0 millones de m³, para una vida útil de 50 años.

Las características técnicas más importantes son:

Volumen útil	43.4	Hm ³
Volumen muerto	2.0	Hm ³
Capacidad total de embalse	45.4	Hm ³
Altura de presa (total)	57	m
Volumen anual regulado	53.3	Hm ³
Area regada	5000	ha
Cota terreno (Eje de presa)	2.855	msnm
Cota de fundación	2.851	msnm
Cota Vertedero	2.905	msnm
Cota corona	2.908	msnm
Volumen cuerpo presa (aprox.)	560.000	m ³
Longitud de la corona	165	m

Presa Río Pucara

Consideraciones Generales

La subcuenca del río Pucara (Tolarapa) está localizada en el noreste de la cuenca del Valle Alto. El río Pucara echa sus aguas al Valle Alto cerca de la comunidad La Villa. La subcuenca del río Pucara tiene una superficie de captación de 430 km² con un caudal promedio anual, según CES/GAF, de 3.15 m³/s.

La cuenca alta Pucara está aprovechada para fines de riego a través de los proyectos Tiraque y Punata, implementados en los años 1988 y 1992 respectivamente los mismos que utilizan el río como conductor natural las aguas soltadas de los embalses.

Las crecidas entran al Valle Alto sin ser utilizadas para el riego y causan inundaciones en la época de lluvia. Las avenidas, en general, son de magnitud significativa (más de 200 m³/s) por tanto, existe la posibilidad de aprovecharlas para riego creando un embalse que regule dichos volúmenes.

La ventaja de llevar adelante este proyecto, es que en el área de influencia (zona de Punata) ya existe tradición de riego y una organización sólida alrededor del riego. La desventaja, es que, al igual que el río Siches, representa un aporte importante hacia el embalse de La Angostura (25% según López), por lo que su implementación necesariamente debe ser compatibilizada con los usos desde dicho embalse.

Características del proyecto

Se estudiaron cuatro perfiles posibles para la ubicación de una presa, resultando el sitio más favorable aquel ubicado en La Villa. En este sitio, se estima la presencia de una capa aluvial de aproximadamente 25 - 30 metros de espesor lo que descarta ciertos tipos especiales de presa (p.e de arco) y demanda soluciones técnicas especiales. Sin embargo, se considera que este sitio presenta condiciones técnicas regularmente favorables en cuanto al perfil del valle. Socialmente entre las cuatro opciones estudiadas en el río Pucara es el sitio donde existe menor oposición de los habitantes del lugar.

En la Villa, se eligió una presa de tierra con núcleo impermeable en atención a las condiciones geotécnicas existentes debajo de la presa y la disponibilidad de material. Las demás características se resumen a continuación.

Volumen útil	24.6	Hm3
Volumen muerto	2.0	Hm3
Capacidad total de embalse	26.6	Hm3
Altura de presa (total)	66	m
Volumen anual regulado	44.2	Hm3
Area regada	3.200	ha
Cota terreno (Eje de presa)	2.848	msnm
Cota Pantalla impermeable (fundación)	2.814	msnm
Cota Vertedero	2.910	msnm
Cota corona	2.914	msnm
Volumen cuerpo presa (aprox.)	1.681.000	m3
Longitud de la corona	215	m

Aprovechamiento de las cuencas del Proyecto Kewiña Khocha

El Proyecto Kewiña Khocha, creado por GEOBOL en los años 70, implica el aprovechamiento de las cuencas Pujruni, Dobledero, Chapisirca y Palca. La zona de aprovechamiento está ubicada al noroeste de las cuencas del Valle Alto, Corani y Cochabamba. Los datos característicos de las cuencas se presentan a continuación.

CUENCA	AREA (km2)	CAUDAL PROM. (m3/s)
Pujruni	82	1.03
Dobledero	60	0.98
Chapisirca	135	0.96
Palca	169	1.63
SUMAS	446	4.60

Las cuencas del proyecto aún no están aprovechadas para fines de riego, sin embargo, la Empresa Eléctrica Corani S.A: (una de las capitalizadoras de ENDE), tiene la concesión para el uso de las aguas de la cuenca de Palca y se apresta a iniciar la construcción del proyecto denominado “Nuevos Aportes”, que comprende la derivación del río Palca y otros ríos hacia el este del río Málaga, al embalse de Corani.

El proyecto de la Empresa Corani consiste en la construcción de una presa derivadora sobre el río Palca y un canal de aducción de cerca a 30.0 km, con una capacidad inicial de 6.0 m3/s y una capacidad final de 9.0 m3/s. Al final del canal, las aguas son derivadas al río Candelaria y de allí ingresan al embalse de Corani.

Sobre el aprovechamiento de las cuencas citadas, bajo el patrocinio de CORDECO, en el marco del CONSEJO DEPARTAMENTAL DEL AGUA (CODEA), el 3 de julio de 1991, se suscribió un documento en el cuál se recomienda a ENDE a elaborar el estudio de la aducción de Palca hacia el embalse de Corani, “... considerando la posibilidad futura de incrementar la capacidad de aducción de las aguas del río Palca, para permitir el aprovechamiento consuntivo de las aguas que corresponden a las cuencas de los ríos Chapisirca, Dobledero y Pujruni, tanto en el Valle Alto como en el de Sacaba.

Lo anterior implica que ENDE deberá diseñar el canal de aducción de Palca previendo el incremento de su capacidad y a una cota tal, que permita la posterior aducción por gravedad de las aguas de las cuencas mencionadas hacia el Valle Alto”.

Bajo la premisa de que el acuerdo mencionado será respetado, se consideran aún válidos los planteamientos de posibles esquemas de aprovechamiento esbozados por CES/GAF. De cualquier manera, la concepción original del Proyecto Kewiña Khocha se modifica notablemente, porque ya no se puede contar con las aguas de la cuenca de Palca para fines de riego en el Valle Alto.

Alternativas de Traslase hacia el Valle Alto

Se han estudiado distintas variantes de traslase a partir del punto terminal del canal Palca (de la Empresa Corani) hacia el Valle Alto, planteando conceptualmente dos posibilidades de acceso al valle.

a) Traslase directo al Valle Alto

Derivación de los caudales de las cuencas Chapisirca y Dobledero mediante sistemas de canales, captaciones y presa en Chapisirca, dirigiéndose directamente a la divisoria de la cuenca del río Pucara. En ambos casos se utiliza el canal diseñado por ENDE más un tramo adicional de 38.7 km que une el canal de ENDE con la divisoria del Valle Alto.

b) Trasvase al Valle Alto pasando por el Valle de Sacaba

Igualmente se plantea el aprovechamiento de la cuenca del río Chapisirca con represa más los aportes de la cuenca del río Dobledero; el trazo también comienza del punto final del canal de ENE, hacia el río Kenko Mayu pasando por el túnel Nuñu Orkho (3.85 km) hacia el Valle de Sacaba y posteriormente bordeando este Valle y pasando por túneles Silguerito (0.45 km) y Lagunillas (0.40 km) con un canal de 56.5 km hacia el Valle Alto.

Aprovechamiento de cuencas

Se analizaron distintas posibilidades de empalmar el canal previsto por ENDE a las cuencas ubicadas más allá de Palca, es decir, Chapisirca, Dobledero y Pujruni.

Para mantener los canales de trasvase con dimensiones económicas (aspecto importante debido a sus longitudes), y además no sobrepasar la capacidad final en el canal de “ENDE” (9m³/s), la solución óptima (en términos hidráulicos), requiere embalses de regulación en cada cuenca.

Sin embargo, no existe la posibilidad de construir presas en las cuencas de Pujruni y Dobledero en condiciones económicas aceptables.

Especialmente en Pujruni, el sitio propuesto en estudios anteriores, para el emplazamiento de una presa, presenta un lecho de embalse con pendientes muy pronunciadas lo que significa una reducida capacidad de vaso. Asimismo, el canal de interconexión Pujruni - Dobledero de 27 Km de longitud atraviesa una topografía muy accidentada. La incorporación, altamente costosa de esta cuenca, reduce en forma muy significativa la tasa beneficio/costo de un esquema global de aprovechamiento.

Los levantamientos topográficos en sitios con acceso (Chapisirca) y verificaciones a través de fotografías aéreas y cartas geográficas, efectuadas en el estudio de CES/GAF, demuestran que solamente existe la posibilidad económica de construir una presa de embalse en Chapisirca, pese a que el lugar elegido inundaría áreas de cultivo y viviendas campesinas (aproximadamente 160 pobladores).

La presa de Chapisirca tendría la función de regular los caudales de trasvase de la cuenca de Dobledero y de su propia cuenca hacia el canal “ENDE” y de tal modo evitar demandas u ofertas punta simultáneas, incluyendo los aportes de la cuenca de Dobledero.

Esquemas de Aprovechamiento planteados

Como resultado del análisis se plantean dos alternativas de aprovechamiento de las cuencas de Kewiña Khocha que resultan más atractivas: aprovechamiento individual de la cuenca de Chapisirca y aprovechamiento conjunto de Chapisirca con Dobletero, ambas variantes incluyen un embalse en Chapisirca.

Trasvase Chapisirca - Pucara.

Esta alternativa prevé la construcción de una presa en Chapisirca en condiciones favorables para una obra de tierra (altura $H=49$ m) con núcleo impermeable, volumen útil de 14.7 Hm³.

Asimismo, la alternativa incluye el aprovechamiento de la intercuenca entre Chapisirca y Palca (33 km²) a través de 9 captaciones distribuidas en el canal de 27.3 km de longitud que une Chapisirca con el canal ENDE.

El volumen anual regulado por la presa es de 28.6 Hm³ y la superficie regable es de 2.000 ha.

Trasvase Chapisirca - Sacaba - Valle Alto.

La variante de esta alternativa, consiste en el trazo de acceso al Valle que recorre el Valle de Sacaba y cruza por tres túneles antes de ingresar a la cuenca del Valle Alto, las demás características son iguales a las de la alternativa anterior.

Trasvase Dobletero - Pucara.

Se plantea la interconexión de las cuencas de Dobletero y Chapisirca a través de un canal de 24.9 km y una capacidad de 4.1 m³/s, el canal en su recorrido, tiene distribuidas 7 captaciones para coleccionar los aportes de la intercuenca (22 km²), el canal desemboca en el embalse Chapisirca (altura $H = 61$ m) posteriormente, el trazo es igual al de la anterior alternativa, sin embargo, el volumen regulado anualmente es de 59.7 Hm³ y un área regable de 4.300 hectáreas.

Trasvase Dobletero - Sacaba - Valle Alto.

Las características son idénticas a la alternativa KK3, variando el trazo de acceso al Valle Alto a través del Valle de Sacaba.

Otras opciones estudiadas

En el estudio de ES/GAF se han estudiado también otras opciones de proyectos pequeños, que tienen una capacidad de regar menos de 1.000 ha. En este acápite se presentan algunos de ellos, sobre todo los que resultaron más atractivos.

Aspectos Generales

La parte sur del valle está rodeada por un conjunto de pequeñas cuencas que desembocan directamente a la planicie del Valle.

A pesar de que estas cuencas atraviesan zonas relativamente secas, acumulan en tiempo de lluvias volúmenes suficientes para un riego complementario, que se practica en forma tradicional donde se dispone de la infraestructura física respectiva (captaciones rústicas, canales, etc.)

Donde la morfología del terreno lo permite, los agricultores de la zona tratan de acumular las aguas de lluvia en pequeños embalses, como por ejemplo la presa de Takapi (sur - oeste de la población de Toko) construida a fines del siglo pasado , para riego complementario en un área de aproximada de 70 ha (probablemente la presa no rústica más antigua de Bolivia).

Otro ejemplo es la Presa de Laka Laka recientemente construida en el río Calicanto (Tarata).

El conocimiento de estos embalses llevó a la idea de estudiar sistemáticamente toda la región habiéndose identificado diversas alternativas, de las cuales se presentan sólo las más interesantes.

Esquemas de aprovechamiento

Según las condiciones topográficas, geomorfológicas y geotérmicas de todas las cuencas pequeñas, al salir al Valle, solamente las siguientes ofrecen alternativas técnicas factibles de aprovechamiento:

Presa Canllamayu con trasvase del río Kekoma Mayu.

Debido al área relativamente pequeña de la propia cuenca de Canllamayu, se incluye el aprovechamiento de la cuenca vecina del río Kekoma Mayu (subcuenca del río Siches), mediante un canal de trasvase de una longitud de 3.5 km (diseñado para $Q= 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$) y una toma de regulación diaria con una eficiencia de captación promedio anual de 85%.

El embalse tiene un volumen de (4.85 Hm³ útiles), que corresponden a una altura de presa de 41 m. La capacidad regable se estima en 700 ha.

A continuación se presenta el resumen de las características técnicas:

Volumen útil	4.35	Hm ³
Volumen muerto	0.5	Hm ³
Capacidad total de embalse	4.85	Hm ³
Altura de presa (total)	42.5	m
Volumen anual regulado	8.2	Hm ³
Area regada	700	ha
Cota terreno (Eje de presa)	2.900.0	msnm
Cota de fundación	2.896.0	msnm

Cota Vertedero	2.941.0	msnm
Cota corona	2.942.5	msnm
Volumen cuerpo presa (aprox.)	218.300	m ³
Longitud de la corona	130.0	m

El aprovechamiento de las cuencas Canllamayu y Kekoma Mayu posibilita el riego de áreas ubicadas al oeste de la quebrada Calicanto, zona en la que no existen otras posibilidades de riego.

Trasvase Lope Mendoza - Totora Khocha

Se ha estudiado la posibilidad de prolongar el sistema de aducción de Totora Khocha (canal “A-B-C-T”) hasta la cuenca de Vencilla Palca captando cuatro ríos (Vencilla Palca, Lambrani, Canto Monte y Chintera Huaca).

El canal estudiado tendría una capacidad de 0.54 m³/s y una longitud de 14.8 km captando una cuenca de aproximadamente 13 km².

Considerando la descarga específica del río Lope Mendoza el aporte medio anual de la referida prolongación alcanzaría apenas a aproximadamente 100 l/s.

Además las cuencas pequeñas a ser captadas adicionalmente están aprovechándose para riego de pequeños sistemas existentes estudiándose además la ampliación de estos sistemas por la construcción de pequeñas presas en las lagunas naturales similar a Pairumani.

Represa Catachilla con trasvase del río Pajcha.

Se considera la construcción de una presa de embalse sobre el río Catachilla. La alternativa incluye un canal de trasvase desde la cuenca alta del río Pajcha en una longitud de 16.8 km y una capacidad de 0.78 m³/s. Asimismo, una bocatoma de regulación diaria sobre el río Pajcha (en la cota 3.760 msnm) con una eficiencia media de captación del 65% del potencial de la cuenca.

La capacidad del sistema abastece a un área neta regable de 500 ha, con un volumen de embalse de 2.88 millones de m³, que corresponde a una altura de presa de 41 m, regulando anualmente 5.8 Hm³.

Represa Catachilla con trasvase del río Pocoata.

Otra alternativa evaluada, con referencia al embalse Catachilla, considera el trasvase de la cuenca del río Pocoata, mediante dos canales de derivación: el primero desde el río Huayko Mayu hasta el río Grande, con una capacidad de 0.54 m³/s y una longitud de 4.4 km y el segundo desde el río Grande hasta Catachilla con una capacidad de 0.78 m³/s y una longitud de 5.7 km.

El volumen total de embalse es de 3.65 Hm³ (0.4 hm³ vol. muerto), que corresponde a una altura de presa de 45 m y una capacidad regable de 500 ha netas. El volumen anual regulado es de 5.6 Hm³.

Presa Catachilla con trasvase de Pajcha y Pocoata.

Esta alternativa prevé un doble trasvase: desde las cuencas de Pajcha y Pocoata, el potencial de trasvase se estima en 16.2 Hm³. Sin embargo, la geometría de la boquilla de la presa limita su altura a 50 m (corresponde a un volumen de embalse de 4.73 Hm³) regulando anualmente 11.3 Hm³.

El área regable estimada es de 850 ha. Según resultados del estudio hidrológico de CES/GAF. Las demás características técnicas son similares a los trasvases individuales de Pajcha y Pocoata hacia Catachilla.

El Valle Alto y el entorno Regional

Valle Alto - Valle de Cochabamba (Cuenca del Alto Caine)

Existe una relación física directa entre los Valles Alto y de Cochabamba (Valle Central y de Sacaba). Estos, mirando el sistema de drenaje hasta el estrecho de Parotani constituyen la denominada Cuenca del Alto Caine. En efecto, en forma natural las aguas del embalse de la Angostura (punto de salida de la cuenca del Valle Alto) fluyen hacia el Valle de Cochabamba a través del río Tamborada. A la altura del aeropuerto de la ciudad de Cochabamba, se juntan con las aguas del río Rocha (el cual tiene sus nacientes en la parte alta del Valle de Sacaba e ingresa al Valle Central por el estrecho de Mesadilla), fluyendo por la parte sur del Valle Central en dirección este - oeste hasta el sur de Quillacollo.

El río Rocha vira luego hacia el sur y recorre la parte sur del Valle Central por el lado este, hasta el estrecho de Parotani, punto de salida de la cuenca.

Es evidente que para formular un Plan de Desarrollo de proyectos en el Valle Alto, no se puede limitar la visión únicamente al área específica del propio valle. Ya el hecho de plantear la posibilidad de Trasvases muestra la necesidad de mirar más allá.

Aún más importante es sin embargo, la interrelación que existe con el entorno, específicamente con el Valle de Cochabamba y con otras áreas de aprovechamiento de Recursos Hídricos, con las cuales se plantean conflictos de uso y derechos de agua. El caso específico del Embalse de La Angostura constituye el tema central al respecto y su directa influencia con el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos de la propia cuenca del Valle Alto. Es también importante analizar los potenciales conflictos alrededor de algunas de las opciones de Trasvases propuestas, especialmente en función a los planes, proyectos y posibilidades medianas e inmediatas del sistema hidroeléctrico Corani, actualmente en manos privadas.

2.4 Situación de aprovechamiento de recursos hídricos para el Valle Central

El embalse de La Angostura

La problemática del aprovechamiento de recursos hídricos en el Valle Central es amplia y complicada, por ello, en este estudio el análisis se limita a aquello que tiene directa relación con el Valle Alto. Un primer elemento es sin duda el embalse de La Angostura.

El embalse de La Angostura fue creado en 1946, a través de la construcción de la Presa México, con una capacidad inicial útil de 100 millones de m³ (actualmente alrededor de 70 millones de m³). El objetivo del embalse, es regular las aguas del río Sulty que drenan el Valle Alto, para ser utilizadas en el Valle Central de Cochabamba para fines de riego. Es así que se establece el Sistema Nacional de Riegos N°1 (SNR), con un área de influencia en el Valle Central de cerca de 11000 hectáreas.

Se estima que actualmente el área bruta de influencia del SNR1 en el Valle de Cochabamba alcanza a cerca de 6.590 ha. Existiendo una presión urbana muy fuerte (según DAMES & MOORE, en 1973 el área bruta de influencia alcanzaba a 11.037 ha, mientras que para el año 2005 se estima un área de influencia de cerca a 4.780 ha). En el transcurso del tiempo se ha ido extendiendo la infraestructura de canales, principalmente hacia el oeste y sudoeste, compensando en cierto modo la pérdida de área de riego a consecuencia de la urbanización y habilitando nuevas áreas de riego.

Pese a una serie de deficiencias relacionadas con el deterioro y pérdida de fertilidad de los suelos regados por aguas del SNR1, cuyo tratamiento no es objeto del presente estudio, es importante indicar que el SNR1 al presente es aún el principal sistema de riego del Valle Central, constituyéndose en la principal fuente de agua de la llamada “Cuenca lechera”, que abastece a la Planta Industrializadora de Leche PIL.

Por otro lado, es también importante mencionar que, en el marco del abastecimiento de agua potable a la ciudad de Cochabamba, se ha desarrollado el Proyecto Angostura, basado en el principio de intercambio de aguas. Hasta un caudal de 250 l/s de aguas del embalse de La Angostura serán utilizados para el abastecimiento de la zona sudeste de la ciudad de Cochabamba. Luego de su utilización, las aguas servidas tratadas serán devueltas al SNR1 para fines de riego en la parte sur del sistema. Los aspectos relacionados a la factibilidad de este intercambio han sido estudiados ampliamente (López, SEMAPA, STCV, etc.).

Se ha estimado (López, STVC) que el embalse de la Angostura recibe un caudal promedio anual de cerca a 1.8 m³/s y que de acuerdo a los requerimientos de agua, este puede proveer un caudal firme (90% de garantía de suministro) de 1.17 m³/s, que no son suficientes para abastecer en forma adecuada a los requerimientos óptimos del área de influencia. Existe por tanto, una situación de déficit en el SNR1. Es por ello evidente, que cualquier proyecto de aprovechamiento en el Valle Alto (como Siches y Pucara), debe considerar el efecto sobre la disponibilidad de agua en el SNR1.

Proyecto Misicuni

El Proyecto Misicuni pretende el aprovechamiento de las cuencas de Misicuni, Viscachas y Putucuni en la Cordillera del Tunari, al noreste de la ciudad de Cochabamba. En su concepción global, el proyecto pretende producir un caudal de 6.600 l/s para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Cochabamba y otros centros urbanos del Valle Central y de Sacaba, el riego de cerca a 10.000 hectáreas en dichos valles y la generación de 500 GWh/año de energía hidroeléctrica.

El proyecto cuenta con diseño final y pliegos de licitación para la construcción de todos sus componentes. Actualmente se está construyendo una primera etapa del proyecto, el segmento más importante del túnel principal de aducción, denominado Túnel de Tránsito de los ríos Titiri-Serkheta, de 13.2 km de longitud.

El proyecto global consiste en la construcción de una represa de 120 m de altura en el Angosto de Sivingani sobre el río Misicuni, lo que permite crear un embalse con un volumen útil de 154

millones de m³. El embalse recibe aportes de la propia cuenca de Misicuni (área de aporte 351 km²), pero además aguas derivadas de los ríos Viscachas y Putucuni, a través de túneles de aducción de 10 a 8 km de longitud respectivamente.

Las aguas del embalse son conducidas hacia el valle de Cochabamba, por medio del túnel principal de aducción de 20.7 km de longitud. Aprovechando la caída disponible de cerca a 1.000 m, se tiene luego una chimenea de equilibrio, pozo inclinado, túnel de media presión y un conducto forzado que conduce las aguas a una central hidroeléctrica, con una capacidad instalada de 120 MW. Aguas abajo de la casa de máquinas, se tiene un embalse de compensación, desde donde una parte del agua (hasta 3.500 l/s) es conducida por un conducto de 10 km hacia la ciudad para el abastecimiento de agua potable y el resto, es utilizado para el riego de 10.000 ha. En las zonas de Apote, El Paso y hacia el oeste y sur, en las zonas de Viloma, Vinto, Sipe Sipe, etc., además de la parte sur del Valle de Sacaba. A precios de 1996, el costo del proyecto asciende a 320 millones de dólares (DAMES & MOORE).

Diferentes estudios (TAMS, DAMES & MOORE) han recomendado la ejecución del proyecto por etapas.

Misicuni I

Es una primera etapa constructiva, en la que se construye la presa (con una altura inicial de 105 m), el túnel principal, chimenea de equilibrio, pozo inclinado, túnel de media presión, conducto forzado y central hidroeléctrica, con capacidad instalada de 80 MW. Embalse de compensación, infraestructura para riego de 5.500 ha y el conducto de agua potable.

En esta fase, el proyecto produce un caudal firme de 3.900 l/s, de los cuales 2.000 para agua potable; 1.900 para riego de 6.500 ha. En las zonas de Apote, El Paso, Viloma y Vinto (módulos I, II, y III de riego). El proyecto produce además 300 GW/año de energía hidroeléctrica.

De acuerdo a los resultados preliminares del estudio de DAMES & MOORE, es conveniente ejecutar en una primera etapa sólo el componente de agua del proyecto y dejar las obras para generación de energía eléctrica para una fase posterior, cuando los precios de energía sean más convenientes.

Misicuni II

Sobre la base de Misicuni I, se construye la aducción desde el río Viscachas (Túnel de 10 km) y se eleva la altura de la presa hasta los 120 m. El área de riego se amplía hasta 8.500 ha. Y se incrementa la capacidad instalada de la central a 120 MW. En esta situación el Proyecto produce un caudal firme de 5.500 l/s y genera 400 GWh/año de energía.

Misicuni III

Al esquema Misicuni II, se le añade la aducción de Putucuni, por medio de un túnel de 8 km de longitud y se amplía el área de riego a las 10.000 hectáreas. La producción firme de agua se incrementa a 6.600 l/s y la de energía a 500 GWh/año.

Los costos actualizados del proyecto (según DAMES & MOORE) son los siguientes (en dólares de 1996):

Misicuni I (con componente eléctrico)	212
Misicuni I (sólo agua)	140
Misicuni II (incluyendo Misicuni I)	270
Misicuni III (incluyendo Misicuni II)	320

Para ejecutar el proyecto se ha diseñado una estrategia de participación privada, a través de la cual, sobre la base de un soporte inicial del estado (aporte regional de cerca a 60.0 millones de dólares) con el que se construye el túnel principal de aducción de 20.7 km, se financia y construye el resto de las obras del proyecto.

Actualmente, se encuentra en construcción el primer segmento (de 13.2 km) del túnel principal, el cual es ejecutado con un crédito italiano de 20 millones de dólares y aporte local de cerca de otros 20 millones. El segmento restante (de 7.5 km) para completar los 20.7 km, será licitado en breve. Por los últimos cambios realizados en el proyecto Misicuni se ha contratado al consorcio ASTALDI-ICE para la construcción del túnel de 19,4 km a un costo de 65 millones de dólares.

Para permitir la participación privada, se ha diseñado un esquema B.O.T. (Build Operate and Transfer), lanzándose la licitación conjunta del aprovechamiento de los recursos hídricos de la cuenca de Misicuni y la concesión de SEMAPA. Dicho proceso deberá ser concluido a fines del año de 1998 y el proyecto de Misicuni deberá ser concluido el mes de julio del año 2001.

Relación de Misicuni con el sistema de La Angostura

Es importante indicar que las áreas de riego del Proyecto Misicuni cubren el área de influencia del SNR1 en toda la extensión del canal Norte, que tiene una cobertura actual de cerca de 2.200 ha. Se puede observar también, que para el año 2005 se prevé una cobertura total de 4.780 ha. De las cuales alrededor de 1.100 se encuentran en el área Central de La Mayca, una zona que se encuentra amenazada por la creciente presión urbana.

Area Bruta (ha) regable por el SNR1 en función del tiempo

CANAL	1973	1981 (1)	1994 (2)	2005 (3)
Tramo Angostura - Vera Cruz	207	207	190	180
Sector Norte	2650	2200	2200	1100
Sector Central y Sur	8200	5000	4500	3500
TOTAL	1.1037	7407	6590	4780

Fuente: SEMAPA, 1996

(1) Plan Director de la Región Urbana de Cochabamba (D.L. 18412 de 16/06/81)

(2) Estimado por DAMES & MOORE utilizando imagen de satélite SPOT de 1994

(3) Proyectada por Dames & Moore

Por otro lado, la tendencia a utilizar aguas servidas tratadas para el riego es cada vez más notoria. Recientemente, la Alcaldía Municipal de Cochabamba ha suscrito un convenio con usuarios del SNR1 (del sector sudoeste), para la ejecución de obras (como el mejoramiento de canales y la instalación de un sistema de bombeo) que permitan la ampliación de las áreas regadas con aguas servidas tratadas provenientes de la planta de Alba Rancho. Es de prever que, con el incremento de los volúmenes de oferta de agua potable a la ciudad y el correspondiente incremento de los volúmenes de aguas servidas, cada vez más áreas (principalmente de la zona sur) serán regadas con estas aguas, las que a su vez, reemplazarán gradualmente los requerimientos de las aguas del embalse de La Angostura.

Otro aspecto que es importante destacar, es la necesidad de utilizar aguas del embalse de la Angostura para el saneamiento de la laguna Alalay de la ciudad de Cochabamba, la cual por (entre otros) falta de renovación de sus aguas, se está convirtiendo en un serio problema ambiental para la ciudad. La menor presión de utilización de las aguas del embalse Angostura para fines de riego en el área de influencia del SNR1, va a permitir una más pronta implementación de un Plan integral de saneamiento de la laguna Alalay.

Proyecto Corani

Entre 1990- 1992, ENDE estudió a nivel de factibilidad el aprovechamiento del río Palca, para la generación hidroeléctrica en las centrales de Corani y Santa Isabel, con regulación en el embalse de Corani.

En 1994, ENDE estudió el proyecto hidroeléctrico Sacaba (en lo sucesivo denominado **Proyecto Corani**) a nivel de prefactibilidad, consistente en el esquema descrito anteriormente, adicionando la generación hidroeléctrica en Sacaba y el aprovechamiento de las aguas turbinadas para la provisión de agua potable a la ciudad de Cochabamba.

Ubicación

El proyecto Corani se encuentra ubicado en la Provincia Chapare del Departamento de Cochabamba, aproximadamente a 50 km de la ciudad, siguiendo la carretera Cochabamba - Santa Cruz.

Descripción de las obras

El esquema de obras consiste en lo siguiente:

Obra de toma sobre el río Palca, en la cota 3540 msnm, con una capacidad máxima de 6 m³/s, contará con una pequeña presa derivadora y un desarenador. En el río Pisle, quebradas y ríos secundarios (15 en total) ubicados en el trayecto el embalse Corani, se dispondrán de tomas adicionales similares.

Las aguas captadas serán conducida por gravedad hacia el embalse, a través de un sistema de túnel y canal, totalizando una longitud de 34.3 km.

Se construirá un túnel de 1.5 km de longitud para cruzar una zona de geología desfavorable en las proximidades de la toma de Palca. El resto de la aducción será por canal de ladera de sección mixta, hasta la quebrada Kullkumayu que desemboca al embalse Corani. Esta quebrada será estabilizada.

Para el trasvase de aguas hacia el Valle de Sacaba, se construirá una toma con capacidad inicial de 2.0 m³/s, con posibilidades de ser ampliada hasta 10.0 m³/s, ubicada en el margen izquierdo del embalse de Corani en la cota 3.228 msnm y un túnel de aducción de 16.15 km de longitud, hasta la parte alta de Molino Mayu en el Valle de Sacaba.

En la ladera de la Cordillera en el Valle de sacaba, se construirá una chimenea de equilibrio y una tubería forzada. Aprovechando una caída bruta disponible de cerca a 378 m, se construirá una central hidroeléctrica con una capacidad instalada de 6.4 MW, ampliable según el incremento de los caudales derivados hacia el Valle.

Las aguas turbinadas serán conducidas hacia la ciudad de Cochabamba, por medio de una tubería enterrada de aducción de 19.5 km de longitud, con una capacidad de 2000 l/s.

De acuerdo al cronograma previsto por la Empresa Corani, el proyecto se puede implementar en 3 años.

En agosto de 1995, la Empresa Corani ha ofrecido a SEMAPA la suscripción de un Contrato “Take or Pay”, para la venta de 2.000 l/s de agua, a partir del año 1999. Para ello, ambas instituciones han suscrito una carta de intenciones. Hasta el presente sin embargo, no han llegado a un acuerdo definitivo.

Mientras tanto, la Empresa Corani, ha licitado y adjudicado la construcción de las obras de aducción de Palca hacia el embalse de Corani, además de otras aducciones desde el sector el sector sur y este de la cuenca del Málaga, bajo el denominativo de Nuevos Aportes al embalse de Corani. Mientras se llegue a algún acuerdo, la Empresa Corani generará energía hidroeléctrica en las plantas existentes de Corani y Santa Isabel. Las obras mencionadas empezarán en las próximas semanas.

El gobierno del Lic. Gonzalo Sánchez de Lozada, mediante el Ministerio de Capitalización promocionó el proceso de participación privada en SEMAPA, sin ningún resultado. Se sabe que se definió un esquema de Concesión de la Administración, donde los activos permanecen de propiedad del estado. Restando por definir el aspecto de una fuente segura de agua para el mediano y largo plazo, en este sentido, se debe tomar una decisión sobre cuál de las fuentes será la que se desarrolle, Corani o Misicuni.

En lo que se refiere al Embalse de La Angostura, de acuerdo a su planteamiento actual, el proyecto Corani no tiene mayor influencia sobre el manejo de las aguas del embalse y las necesidades (de riego) en el área de influencia del SNR1. Esta claro sin embargo, que el aumento de los volúmenes de aguas servidas tratadas como consecuencia de la implementación del

proyecto Corani, ha de permitir la utilización de esta para fines de riego y la eventual sustitución gradual de los requerimientos desde el embalse de La Angostura, principalmente en la parte sur del sistema.

Posibilidades y limitaciones para el desarrollo de proyectos

De los proyectos más grandes en términos de producción de agua y de área regable, planteados para el suministro de agua para riego del Valle Alto, se han realizado análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), con el objeto de identificar los aspectos principales que pueden influir en su ejecución y su relación con la situación actual (embalse de La Angostura) y los posibles proyectos para el Valle Central de Cochabamba (Misicuni y Corani).

Producto de un análisis los proyectos de Trasvase de Yungas de Vandiola (San Mateo) y de Cristal Mayu (Huasa Mayu) Juntutuyu, aparecen como los menos conflictivos, aunque es importante dar celeridad a la decisión de llevarlos adelante, principalmente el primero, por ser el más conveniente económicamente (de los trasvases) y con el objeto de consolidar la posibilidad del uso de sus aguas.

Por otro lado, está claro, que los proyectos dentro la cuenca del Valle Alto (Siches y Pucara), tienen una relación estrecha con lo que ocurra en el Valle Central, por lo que su ejecución depende de la materialización de un plan global de desarrollo en toda la cuenca del Alto Caine.

Plan de Desarrollo (aprovechamiento de recursos hídricos) del Valle Alto

Proyectos recomendados

Se puede observar que existen algunos proyectos “pequeños” como las opciones de Canlla Mayu y Trasvase de Lope Mendoza, que riegan menos de 1.000 hectáreas. Por su tamaño y el impacto que representan, pero sobre todo por la inversión reducida, en comparación con los otros proyectos, se considera que éstos deberían ser estudiados e impulsados en forma independiente, eventualmente a través de ONG's y/o de los Municipios. Por ejemplo, el proyecto Canlla Mayu podría ser impulsado en forma conjunta por las Alcaldías de Punata y Cliza, mientras que el de Trasvase Lope Mendoza, eventualmente por las Alcaldías de Tiraque, Punata y Arani. Obviamente que se requiere del respaldo de la Prefectura, como ente coordinador.

Sin tomar en cuenta los proyectos pequeños, se han ordenado los proyectos, en función a su costo por hectárea y por m³ de agua producida (ver Cuadro 4).

CUADRO 4 - Proyectos Candidatos

PROYECTO	CAUDAL REGULADO (M3/S)	AREA REGADA (ha)	COSTO INVERSIÓN (MM \$us)	COSTO HECTAREA (\$us/ha)	COSTO POR 1000m3 (\$us/100 0 m3)
Siches	1.69	5.000	5.85	1.170	110
Trasv. Yungas Vandiola - Totora Khocha	0.88	2.100	11.0	5.233	398
Trasv. San Mateo - Totora Khocha	1.68	3.400	21.57	6.345	408
Pucara	1.40	3.200	18.18	5.682	411
Trasv. Cristal Mayu - Juntutuyu - Pocoata	1.51	3.400	27.23	8.009	573
Trasv. Huasa Mayu - Juntutuyu - Pocoata	0.75	1.700	18.06	10.621	762
Trasv. Dobletero - Pucara	1.89	4.300	44.40	10.325	746
Trasv. Chapisirca - Pucara	0.91	2.000	23.61	11.804	825
Trasv. Dobletero - Sacaba - Valle Alto.	1.89	4.300	55.46	12.898	932
Trasv. Chapisirca - Sacaba - Valle Alto	0.91	2.000	33.24	16.622	1.162

De acuerdo a este orden, sin duda el más sobresaliente es el Proyecto Siches. Del cuadro se pueden distinguir a su vez 4 categorías:

Siches

Trasvase Yungas de Vandiola (San Mateo) - Totora Khocha
Pucara

Huasa Mayu (Cristal Mayu) - Juntutuyu - Pocoata

Dobletero (Chapisirca) - Pucara (Sacaba)

Por las consideraciones realizadas en el capítulo anterior, sin embargo, resulta muy conflictivo llevar adelante un emprendimiento grande en el Valle Alto, sin que este vaya acompañado de una solución en el Valle Central, que evite conflictos con los usos del Embalse de La Angostura. Por otro lado, tampoco es viable programar la ejecución inmediata de Pucara después de Siches.

Planes de Desarrollo posibles

Considerando estos antecedentes, se han planteado dos Planes Alternativos de Desarrollo de proyectos para toda la cuenca del Alto Caine (Valle Central de Cochabamba y Valle Alto),

Tomando en cuenta el hecho del alto contenido de sales de las aguas de la Laguna Juntutuyu, se ha priorizado la ejecución de los trasvases desde las cuencas de Kewiña Khocha. Estudios más

detallados sin embargo, que tomen en cuenta la viabilidad de ejecución de los trasvases de las cuencas Kewiña Khocha en términos de la situación institucional y de derechos de agua, deberán definir dicha priorización.

En lo que se refiere al Valle Alto, se puede observar que el principal impacto está en la oportunidad de implementación del proyecto Siches (a partir de 1999 para el Plan I sólo el 2008 o después para el Plan II). Por otro lado, si se realiza Siches a partir del 99, el desarrollo de los trasvases de San Mateo y posteriores, se puede eventualmente diferir algunos años, en función a la disponibilidad de recursos. En ambos planes de desarrollo, se recomienda diferir la ejecución de Pucara hasta la realización de por lo menos la fase II de Misicuni (Misicuni II).

3. ESTUDIO DE LOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS

3.1. Aguas Subterráneas

Dentro del área considerada, las zonas más importantes desde el punto de vista del agua subterránea son los rellenos cuaternarios de los cuatro valles. Consisten de sedimentos granulares no-consolidados cuyo espesor máximo es de unos 300 m en el Valle Santivañez y superior a los 800 en el Valle de Sacaba, según los trabajos geofísicos realizados por el PIRHC; se estima que los espesores máximos en los Valles Alto y Central son comparables con los encontrados en el Valle de Sacaba.

El agua subterránea de los valles se recarga principalmente al pie de las serranías, donde predominan sedimentos gruesos que permiten la infiltración y percolación de agua hacia los acuíferos freáticos. El agua de recarga proviene de las torrenteras y en menor proporción, directamente de la precipitación sobre las zonas de recarga. Más abajo, hacia el centro de los valles, la superficie se vuelve arcillosa y forma una capa confinante de las aguas subterráneas. La faja transicional entre las zonas freáticas y de confinamiento se caracteriza frecuentemente por la descarga natural de las aguas subterráneas: en tal faja se presentan manantiales donde el nivel freático corta la superficie del terreno o donde existen lugares débiles en las capas confinantes, manteniéndose localmente la evapotranspiración por flujos capilares desde el agua subterránea.

En las partes bajas de los valles existen contactos directos entre los acuíferos y los ríos, dando lugar a la descarga del agua subterránea en forma de escorrentía subterránea. Los numerosos pozos y otras obras de captación ocasionan una importante descarga artificial de las aguas subterráneas. Al contrario, la descarga por flujos subterráneos a través de las divisorias se considera insignificante, tomando en cuenta las condiciones geológicas y las observaciones de campo al respecto.

En base a las fotointerpretaciones e inventariaciones de campo efectuadas por los hidrogeólogos del PIRHC, se determinaron los datos presentados en el Cuadro 6. Para cada uno de los embalses de agua subterránea se indica la extensión de la zona de recarga (tierras de buena capacidad de infiltración), la extensión del área de manantiales y de evapotranspiración por flujo capilar (zona de descarga) y la descarga del agua subterránea por manantiales y pozos. Los datos son de carácter estimativo, especialmente los referentes a la descarga por pozos y manantiales.

CUADRO 6

RESULTADOS DE INVENTARIACIONES HIDROGEOLOGICAS

		Valle Alto	Valle de Sacaba	Valle Central	Valle Santivañez
1	Zona de recarga (km2)	144	51	84	10
2	Zona de recarga (km2)	11	1	37	2
3	Descarga anual por manantiales (x10 6 m3)	5.5	1.3	4.5	0.5
4	Descarga anual por pozos (x10 6 m3)	1.5	0.5	20	0.005

Fuera de los valles, se presentan localmente también depósitos cuaternarios de alguna importancia hidrológica, sobre todo dentro de la sub-cuenca de Pucara Mayu. La circulación de aguas subterráneas dentro de los sedimentos pre-cuaternarios se la considera muy limitada, aunque su existencia se ve confirmada por manantiales en las faldas de las serranías.

Estudios específicos realizados

Esta información abajo descrita es referente a los valles bajo y central

Recolección y análisis de datos existentes

Este estudio hidrogeológico ha comenzado por una fase de recolección de los datos hidrogeológicos, hidrológicos y climatológicos disponibles sobre el valle de Cochabamba en las siguientes instituciones: SEMAPA, GEOBOL, CORDECO, LABORATORIO DE HIDRAULICA, ENDE, SENAMHI, AASANA. El conjunto de las informaciones recogidas, después de análisis y validación, nos ha permitido obtener una visión preliminar de los conocimientos actuales sobre la región y así orientar y definir las campañas de investigaciones de terreno.

Inventario selectivo de pozos

Con el fin de obtener informaciones hidrogeológicas (nivel de la napa, caudal de explotación de las aguas subterráneas...), en las zonas, definidas durante la síntesis de los datos existentes, no contándose sino con pocos datos de esta naturaleza, un inventario de los puntos de agua (pozos excavados, pozos perforados y vertientes) ha sido realizado. En total 443 punto de agua han sido visitados en los sectores complementarios a aquellos inventariados muy recientemente (1990 a 1992) por CORDECO Y GEOBOL. Las informaciones así obtenidas, complementadas por

aquellas tomadas de los inventarios recientemente realizados en el valle, o sea en resumen datos registrados sobre 1138 pozos de agua y vertientes, han permitido obtener una representación homogénea del sistema acuífero del valle de Cochabamba y de aprender el funcionamiento hidrodinámico general.

Campaña de análisis químicos

Paralelamente a la encuesta hidrogeológica, dos campañas de análisis químicos de las aguas subterráneas recogidas en pozos perforados, pozos excavados y vertientes repartidos sobre el conjunto del valle, han sido efectuadas con el fin de determinar las características hidroquímicas del acuífero. Los resultados obtenidos, analizados a la luz de los conocimientos hidrogeológicos y geológicos adquiridos durante este proyecto, permiten explicar el origen de las diferentes facies químicas de las aguas subterráneas encontradas en el valle. Además, estos análisis químicos, completados por los datos físico-químicos registrados durante los inventarios de pozos, han permitido proponer las evoluciones espaciales de la conductividad y de la concentración en cloruros en el valle central de Cochabamba.

Pruebas de bombeo en pozos existentes

Estos trabajos de terreno han sido completados por una campaña de pruebas de bombeo cuyo objetivo era determinar la distribución espacial de las características hidrodinámicas del sistema acuífero del valle. Las informaciones aportadas por esta campaña de ensayos (38 ensayos realizados) y aquellas resultantes de la reinterpretación de 76 pruebas de bombeo efectuadas durante estudios anteriores, repartidos sobre el conjunto del área de estudio han permitido poner en evidencia las zonas con mayor potencial acuífero.

Red de monitoreo de las aguas subterráneas

A partir de las diferentes informaciones piezométricas y físico-químicas conseguidas en el curso de los inventarios de pozos ha sido seleccionada una red de 18 pozos privados y de SEMAPA, repartidos en todo el valle central, en los cuales se instalaron registradores digitales automáticos de nivel de agua. Esta red de vigilancia piezométrica de SEMAPA, complementaria de la red de observación piezométrica de GEOBOL, tiene por objeto de asegurar un control permanente del nivel piezométrico de la napa, para la administración futura del acuífero, tanto en las zonas de recarga del acuífero y las zonas de explotación intensiva por bombeos (campos de captación de Vinto y El Paso) como en los sectores que presentan un interés hidrogeológico particular tal como las zonas de salidas naturales de las aguas subterráneas del acuífero.

Campaña geofísica (sondeos audiomagnetotélúricos).

Simultáneamente a los diversos estudios hidrogeológicos, una campaña geofísica de sondeos audiomagnetotélúricos (AMT) ha sido realizada por la BRGM para precisar la estructura de la cuenca aluvial de Cochabamba, hasta entonces únicamente conocida de manera puntual, hasta los 200 a 300 primeros metros de profundidad. La realización de 183 sondeos AMT, uniformemente repartidos sobre el conjunto de la cuenca de Cochabamba, ha permitido precisar, por primera vez, la topografía del basamento paleozoico y la geometría de los diferentes conjuntos sedimentarios

pliocuaternarios que constituyen su llenado, y muy particularmente de las formaciones aluviales que componen el sistema acuífero explorado.

Estudios geológicos

Simultáneamente a las diversas investigaciones hidrogeológicas, un análisis geológico, esencialmente basado sobre investigaciones geológicas y sedimentológicas de superficie y sobre la interpretación de los datos geofísicos adquiridos durante la campaña de sondeos audiomagnetotelúricos ha contribuido a proponer un modelo geológico conceptual y a precisar y delimitar los sectores con gran espesor de aluviones susceptibles de poseer mayores potencialidades acuíferas en los cuales serán implantados los pozos profundos.

Modelo hidrogeológico conceptual

La descripción del sistema acuífero del valle de Cochabamba, basada sobre los resultados de la campaña geofísica audiomagnetotelúrica, un estudio geológico detallado, un enfoque por teledetección de las potencialidades de recarga y sobre un análisis hidrogeológico preciso, asociado a un enfoque cuantitativo del balance hidrogeológico, permite concebir un modelo conceptual coherente que represente el estado de comprensión del funcionamiento del sistema en su conjunto. Este modelo conceptual igualmente ha contribuido a definir las zonas de la cuenca que deberían presentar recursos subterráneos profundos interesantes susceptibles de ser explotados. Además, constituye un elemento previo indispensable a la elaboración de un modelo matemático, instrumento valioso para permitir una administración eficiente de los recursos en aguas subterráneas del valle de Cochabamba.

Proposición de sitios para la implantación de pozos profundos

Las diferentes investigaciones y análisis geofísicos, geológicos e hidrogeológicos llevados a cabo en el marco de este proyecto han permitido individualizar tres sectores con importantes potencialidades acuíferas (gran espesor de los sedimentos aluviales, excelentes características hidrodinámicas de los niveles acuíferos superiores, recarga fuerte) en los cuales han sido propuestos seis sitios para la implantación de pozos profundos que corresponden a los mejores compromisos posibles entre espesor y extensión de las formaciones aluviales acuíferas - calidad del reservorio (presencia de arcillas, granulometría de los sedimentos que condicionan las características hidráulicas) - proximidad de la zona de recarga.

Especificaciones técnicas de los pozos profundos

A partir de estos diversos resultados, un programa técnico para la realización de pozos profundos ha sido concebido con el objetivo de realizar pozos de calidad que permitirán captar únicamente los recursos en agua subterránea profunda de la cuenca de Cochabamba, excluyendo las aguas de los niveles acuíferos superficiales, con el fin de asegurar una buena calidad química y bacteriológica del agua subterránea explotada y de preservar, haciendo lo posible, los recursos subterráneos superficiales ya explotados de manera intensiva y así intentar evitar eventuales problemas sociales.

Modelización hidrodinámica

La elaboración de un modelo matemático hidrodinámico del sistema acuífero de la cuenca de Cochabamba ha permitido precisar el balance hidrogeológico del sistema acuífero (flujos entrantes en el sistema, que corresponden a la recarga de la napa, y flujos salientes). Permite, además, controlar el comportamiento del acuífero en el curso de su explotación y de conocer la reacción de la napa con la puesta en funcionamiento de nuevos pozos. Es así de una ayuda preciosa para guiar la elección de la implantación de las nuevas obras de explotación de las aguas subterráneas. Constituye un instrumento precioso para una gestión eficaz de los recursos de aguas subterráneas en el valle de Cochabamba.

3.2. Principales resultados adquiridos

Estructura de la cuenca de Cochabamba

Los resultados de los sondeos audiomagnetotelúricos discutidos en términos de sedimentología y comparados a las facies geológicas visibles en el afloramiento, han conducido, por primera vez, a una reconstitución de la geometría de la estructura por una parte, en el techo del zócalo y por otra parte, del sistema acuífero.

De un punto de vista estructural 3 zonas distinguidas por la altitud diferente de la base de los depósitos plio-cuaternarios. Les corresponde facies y cuerpos sedimentarios de tipo diferente.

- **Zona 1 “Meseta de la Mayca”.** Al sud de Cochabamba y de la ruta Quillacollo-Cochabamba se extiende una meseta con pendiente suave, cubierta por depósitos plio-cuaternarios de poco espesor, inferior a 100 m, generalmente finos, que corresponden a esparcimientos aluviales y depósitos de inundación. Esta zona es la más tranquila la menos subsidente y forma una meseta.

Esta región del valle central de Cochabamba no presenta intereses hidrogeológicos notables para la implantación de pozos profundos.

- **Zona 2 “Conos aluviales del norte”.** Situada al norte y nor-oeste de la cuenca, separada de la zona 1 por una flexura este-oeste que rebaja de 100 a 200 metros, el compartimiento norte en relación a la meseta areno-arcillosa situada al sud, esta zona, fuertemente subsidente, es el dominio de todo un sistema de conos aluviales. Se distinguen ahí dos subzonas morfológicas.

-La zona A es la del abanico dicho de “San Miguel”. Ancho cono aluvial que prolonga la inmensa cuenca vertiente de los ríos Tacata y Jankho Khala. Este sistema aluvial evolucionado y granoclasificado está ámpliamente desplegada y simplemente perturbada por llegadas sobreimpuestas de NW más locales. Es la parte más subsidente que corresponde al depocentro de la cuenca. El espesor de los depósitos plio-cuaternarios ahí alcanza a 1450 m en la región del paso.

-La zona B. Es la de los conos de ladera formados de material inmaduro, heterométrico, desde pequeñas gravas hasta bloques métricos, depositado de manera brutal. El origen del material

es local, su extensión es reducida. Influyen una banda del orden de 2 a 3 km paralela al relieve de la falla del Tunari que constituye el límite norte de la cuenca de la cual resultan.

- **Zona 3 “ de la Llave-Viloma”.** Separada de la zona 1 y de la zona 2 por un eje NW-SE de cuarcitas ordovícicas que afloran en el sud de Vinto y su ensillamiento prolongándola (Vinto, cerro Cara Marca), la zona de la “Llave-Viloma” se extiende al oeste del área de estudio, de la Comunidad Cala Trancani al sud de Sipe Sipe. Está caracterizada por la presencia de dos paleovalles de la Llave y de Viloma, incisos en los sedimentos lacustres arcillosos, localmente hasta el basamento paleozoico. El espesor de los depósitos plio-cuaternarios, máximo en el eje de estos paleovalles, alcanza ahí localmente 800 m.

Solamente las zonas 2 y 3 así individualizadas presentan un interés para la búsqueda de agua subterránea mediante pozos profundos.

Se constata que bajo el efecto de la fuerte subsidencia tectónica, fuera de los ejes resistentes constituidos por rocas paleozoicas, de dirección NW-SE, las formaciones plio-cuaternarias constituyen un prisma sedimentario cuyo espesor crece de menos de 100m al SE a más de 1450 n, al Norte, en la región de El Paso.

Geometría del sistema acuífero - Delimitación de los sectores con gran espesor de aluviones y con fuerte potencialidad acuífera

Extensión

El sistema acuífero se extiende sobre el conjunto del valle central de Cochabamba, con espesores muy variables. Cubre una superficie de 454 km². Está limitado sobre el perímetro del valle por el contacto impermeable entre las formaciones aluvionarias acuíferas y las formaciones paleozoicas, ordovícicas y silúricas, por una parte y las formaciones secundarias y terciarias, por otra parte, encontradas en el afloramiento y que no presentan reales propiedades reservorios. Prosigue, hacia el este, en dirección del valle de Sacaba por un corredor de aproximadamente 2 km de largo y 1,5 km de ancho. No obstante, los datos hidrogeológicos adquiridos durante este estudio muestran que no existe, en el estado actual del hidrodinamismo de la napa, circulaciones de aguas subterráneas entre estas dos unidades.

Espesor

El espesor de las formaciones aluvionarias acuíferas es extremadamente variable. Localmente inferior a 20 m sobre la meseta situada al sud este de la cuenca, puede alcanzar 500m en su sector oeste y superar por lugares los 600 m en su parte septentrional.

Más precisamente, la distribución de los espesores del acuífero está esquematizada por el mapa en isópacos (ver mapa), establecido a partir de los resultados de los sondeos AMT y afinado por

tratamiento geoestadístico. Refleja la estructuración de la cuenca evocada anteriormente y testimonia de la diversidad de los conjuntos sedimentarios hallados.

Tres cuerpos sedimentarios (representados en rojo) se individualizan netamente sobre este mapa. De Este a Oeste son:

- Un cono de escarpadura inmadura, situado al nor - este de Tiquipaya (“cono de la Taquiña”).
- Un cono aluvial de gran amplitud, que corresponde a la estructura simétrica pero en profundidad de la cuenca vertiente de los ríos Jankho Khala y Tacata, localizado en el oeste de El Paso (“cono del río San Miguel”).
- Un relleno de los paleovalles mencionados precedentemente, situado entre los pueblos de Vinto y Sipe Sipe, que incisan las formaciones lacustres localmente hasta el zócalo paleozoico.

El espesor de estos diferentes cuerpos sedimentarios es superior a 300 m. Los valores máximos alcanzan 450 m para el cono de la Taquiña, 660 m para el cono del río San Miguel y 580 m para el relleno del paleovalle de la Llave.

Estos tres conjuntos, que poseen por otra parte excelentes propiedades reservorias puestas en evidencia por las investigaciones hidrogeológicas, constituyen los sectores del valle de Cochabamba que presentan las mejores potencialidades acuíferas.

Los pasos bajos entre estas estructuras y la parte central de la cuenca presentan un espesor del acuífero comprendido entre 180 m y 300 m. Disminuye hacia el sud-este, en dirección de la meseta de la Mayca. Esta meseta está caracterizada por espesores de depósitos aluvionares débiles, que no exceden 100 m, que disminuyen hacia su centro donde son inferiores a 20 m.

Litología

Existe, en el seno de los depósitos aluviales que constituyen el sistema acuífero estudiado, una gran heterogeneidad litológica, tanto vertical como horizontal, demostrada por una parte por las variaciones de la resistividad de estas formaciones (resultados de los sondeos AMT), por otra parte por las observaciones geológicas de superficie y de subsuperficie (pozos). De una manera general, en su parte septentrional, el acuífero está constituido de materiales gruesos, pudiendo ir de bloques a guijarros y gravas, con matriz arenosa o areno-arcillosa más o menos abundante, según los tipos de cuerpos sedimentarios concernidos y la posición en el seno de estos cuerpos. Hacia el centro de la cuenca, los dispositivos aluviales se tornan más evolucionados y granoclasificados y los depósitos aparecen gradualmente más finos (arenas) con intercalaciones de horizontes arcillosos. Estos niveles arcillosos que se presentan bajo forma de lentejas y no de capas continuas de acuerdo con el modelo de sedimentación que rige su puesta en plaza, muestran espesores crecientes a medida que uno se desplaza hacia el sud. Por último, en su parte meridional y particularmente en su sector sud-este, el sistema acuífero está constituido de limos a

gravas de limos arenosos o de limos arcillosos que presentan muy mediocres características hidrodinámicas y de hecho muy débiles potencialidades acuíferas.

Piezometría de la napa

El mapa piezométrico de la napa del sistema acuífero aluvionario ha sido establecido a partir de 724 mediciones fiables de los niveles piezométricos. Representa un estado medio de la napa del acuífero estudiado después del período de recarga (que corresponden a los años relativamente secos). El número elevado de datos piezométricos fiables de los cuales disponíamos, repartidos sobre la casi totalidad del valle, permite garantizar la validez de esta piezometría.

El flujo general de la napa está globalmente orientado hacia el centro de la cuenca, perpendicularmente a los límites del valle constituidos por los afloramientos paleozoicos, mesozoicos y cenozoicos. Testimonia de una recarga del acuífero a partir de las aguas superficiales provenientes de la cordillera. Las ondulaciones observadas sobre las curvas piezométricas por debajo de los principales ríos (Viloma, Llave, Tiquipaya), reflejan la existencia de una alimentación de la napa a partir de estos últimos y de ejes preferenciales de circulación de las aguas subterráneas.

El aspecto de la superficie piezométrica de la napa certifica claramente que el conjunto de los flujos subterráneos convergen hacia dos zonas que constituyen salidas de la napa:

- Una zona situada al oeste del aeropuerto de Cochabamba, correspondiente a la meseta de la Mayca. En este sector, subrayado en superficie por la presencia de zonas pantanosas, las aguas subterráneas remontan hacia la superficie por drenaje ascendente a través de una cobertura arcillo-arenosa, antes de evaporarse. Paralelamente, la salinidad de las aguas subterráneas aumenta en esta zona.
- Una zona localizada en el extremo sud-oeste de la cuenca. La forma de las isopiezas en este sector sugiere fuertemente la presencia de una salida de la napa que constituyen las numerosas vertientes que emergen en esta región, desde el pueblo de Vinto hasta el pueblo de Suticollo situado en la extremidad del valle, por una parte y el río Rocha que recorta en los alrededores de Suticollo formaciones aluviales arenosas acuíferas.

Características Hidrodinámicas

Transmisividad

Los valores de transmisividad del acuífero disponibles están sacados de la interpretación realizada por el BRGM, de 114 pruebas de bombeo, 76 de estos ensayos han sido seleccionados de estudios anteriores y reinterpretados, los otros 38 han sido realizados en el marco de este proyecto. Los datos de transmisividad así obtenidos, repartidos sobre el conjunto del valle central de Cochabamba, permitieron proponer una distribución espacial de las transmisividades del sistema acuífero del valle.

Los sectores que presentan buenas propiedades hidráulicas se superponen, globalmente a las zonas de gran espesor de aluviones definidas precedentemente. Los valores de transmisividad pueden alcanzar, localmente 7×10^{-2} m²/s en estas zonas.

Fuera de estas zonas con fuertes valores, la transmisividad disminuye de norte a sud. Varían, globalmente entre 5×10^{-3} m²/s y $0,4 \times 10^{-4}$ m²/s. Este decrecimiento de la transmisividad del acuífero, desde su límite norte hacia su borde sud, resulta por una parte de la disminución importante de su espesor útil, por otra parte, de las variaciones de la litología de las formaciones acuíferas que presentan, hacia el sud, facies más y más arcillosas y con granulometría más y más fina.

Coefficiente de almacenamiento

Los valores del coeficiente de almacenamiento obtenidos en el transcurso de este estudio son conformes a ellos generalmente encontrados en este tipo de formaciones aluviales acuíferas. En el sector de la napa libre, el coeficiente almacenamiento es del orden de 4×10^{-2} . En el dominio cautivo de la napa, es del orden de 1×10^{-3}

Características hidroquímicas de las aguas subterráneas

La caracterización de las principales facies químicas y de las principales propiedades fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca de Cochabamba se realizó a partir del conjunto de las informaciones hidroquímicas colectadas en el curso de este proyecto: datos obtenidos durante los inventarios de pozos realizados por GEOBOL y SEMAPA / BRGM (temperatura, pH, conductividad, salinidad); datos de los 107 análisis químicos menores (pH, alcalinidad, dureza total, turbiedad, conductividad, cloruros) realizadas sobre las aguas subterráneas recogidas en pozos perforados, pozos excavados y vertientes, por último, datos de los 51 análisis completos efectuados, sobre las aguas extraídas igualmente de pozos perforados, excavados y vertientes.

A partir del análisis del conjunto de estos datos, cuatro zonas que presentan características hidroquímicas distintas, pueden ser individualizadas en la cuenca de Cochabamba.

- **Zona 1.** Las aguas subterráneas en este sector, ubicado al sud oeste del valle, al sud de los ríos Viloma y Chaco, están caracterizadas por una facie sulfatada magnesio-cálcica o sulfatada bicarbonatada calcio-magnesiana ligada a la naturaleza litológica del acuífero y de las formaciones cretácicas y terciarias aflorantes sobre este borde oeste del valle (rocas carbonatadas y dolomitas, arcillas rojas, pelitas y de niveles evaporíticos yesíferos). La presencia de hierro en las aguas subterráneas de este sector debe encontrar su origen en la erosión de las rocas arcillosas aflorantes, ricas en hierro y en la disolución de este elemento. Las concentraciones en cloruros de las aguas subterráneas aumentan de la parte central de esta zona hacia el oeste y el este, según se va acercando de los bordes de la cuenca.

La conductividad de las aguas subterráneas en esta parte sud oeste del valle, relativamente fuerte, varía de norte a sur entre 974 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1592 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- **Zona 2.** Este segundo sector corresponde globalmente a las partes septentrional, central y occidental del valle y cubre las regiones de Vinto, Quillacollo, Pairumani, El Paso y Tiquipaya. Las aguas subterráneas en esta zona son globalmente bicarbonatadas cálcicas y magnesianas pero pueden localmente presentar una facies un poco más sódica, en detrimento del magnesio.

Esta diferenciación de la facies química entre las zonas 1 y 2 puede justificarse por el cambio de litología de las formaciones que constituyen el acuífero ligado a la modificación de la litología de las rocas aflorantes en el norte de la cuenca (formaciones ordovícicas constituidas por siltitas micáceas).

Desde las regiones norte y oeste del valle (región de Vinto, Pairumani, El Paso) se observa en dirección del sud este, un aumento de la concentración en sodio, que se acompaña de una disminución concomitante de la concentración en magnesio. Esta variación progresiva de la facies química en esta zona 2 se debe buscar en el cambio de la litología del acuífero hacia el sud este (pasaje de gravas y areniscas gruesas débil a muy débilmente arcillosas a areniscas finas y limos, arcillosos pudiendo localmente presentar caracteres de formaciones depositadas en un contexto evaporítico).

Las aguas subterráneas de esta zona presentan una débil mineralización. De allí resultan débiles valores de conductividad de las aguas más bajas encontradas en el valle, comprendidos entre 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 428 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el sector situado al oeste de Vinto, las aguas subterráneas pueden presentar tenores en hierro excesivamente elevados, fuera de las normas de potabilidad, cerca del linde oeste del valle. Estas fuertes concentraciones están ligadas a la presencia de formaciones arcillosas ferruginosas en este sector. Estos tenores disminuyen hacia el este de manera relativamente rápida para llegar a despreciables al este de Vinto. Las concentraciones en manganeso, generalmente muy débiles, pueden localmente alcanzar valores fuera de las normas de potabilidad.

- **Zona 3.** Esta zona se extiende al oeste de Cochabamba y del aeropuerto. Corresponde a la parte norte de la meseta de LA MAYCA. En este sector, las aguas subterráneas se enriquecen en sodio y se empobrecen, de manera relativa, simultáneamente en magnesio y en una menor medida en calcio, confirmando así la evolución ya comenzada en la zona 2 en ligazón, por una parte con las variaciones litológicas del acuífero y por otra parte, con los tiempos de residencia más largos de las aguas subterráneas en esta parte del valle, de acuerdo con el hidrodinamismo de la napa (convergencia de los flujos subterráneos hacia este sector indicando una salida de las aguas subterráneas del acuífero por evaporación). Presentan una facies bicarbonatada sódica, ligeramente cálcica. Se constata globalmente, sobre el conjunto de esta zona, un aumento de la mineralización. Los tenores en cloruros de las aguas subterráneas de

este sector crecen de manera importante y son ampliamente superiores a los determinados en las otras zonas de la cuenca.

El aumento observado de la mineralización de las aguas subterráneas en esta zona, del norte-norte oeste al sud-sud este, está confirmado por un crecimiento de su conductividad en la misma dirección. Los valores de conductividad son máximos en el sector del aeropuerto donde exceden 8400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Son esos los valores más fuertes encontrados sobre el conjunto del valle. La evolución progresiva de la facies de estas aguas subterráneas hacia un polo más sódico, desde el norte del valle hacia el sud este, tendería a corroborar la hipótesis según la cual este fenómeno de salinización sería por lo esencial el resultado de una disolución de las formaciones evaporíticas favorecida por la lenta subida de las aguas subterráneas en esta zona (salida de la napa por evaporación).

Las aguas subterráneas de esta zona pueden presentar una concentración importante en hierro.

- **Zona 4.** En esta zona, ubicada al sud del aeropuerto y correspondiente a la terminación sud este de la cuenca de Cochabamba, se encuentran aguas subterráneas que poseen una facies nétamente bicarbonatada sódica (aumento de los tenores en HCO_3^- y Na^{++}) con, localmente enriquecimiento en relación a la zona 3 en sulfatos.

Las aguas subterráneas en este sector pueden presentar concentraciones en hierro importantes, incluso fuera de las normas de potabilidad. Estos tenores elevados en hierro se deben aparentemente buscar en la presencia de las formaciones silúricas aflorantes en esta parte sud este de la cuenca ricas en hierro.

La conductividad de las aguas subterráneas disminuye, desde el norte de esta zona 4, donde la conductividad es del orden de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hacia el este, el sud y el oeste en dirección de los afloramientos. Sobre el linde sud oeste de esta zona, la conductividad no excede 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta baja de la conductividad se explica fácilmente por los aportes de agua superficial provenientes de relieves ordovícicos cercanos que aseguran la recarga de la napa en este sector. De manera similar, podría notar una baja de los tenores en cloruros desde el norte de esta zona 4 hacia el sur, el oeste y el este.

Elaboración de un modelo conceptual hidrodinámico del sistema acuífero-Modelización hidrodinámica

El conjunto de los datos adquiridos y analizados en el curso de este estudio, de tipo factual (extensión, límites verticales, espesor, litología, características hidrodinámicas e hidroquímicas del sistema acuífero), y de tipo temporal (piezometría, flujos entrantes en el sistema constituidos por la recarga ligada por lo esencial a los aportes a partir de las aguas superficiales y al riego y flujos salientes que corresponden a los exutorios naturales y a las del sistema acuífero aluvial de

la cuenca de Cochabamba y establecer un modelo conceptual de su funcionamiento hidrodinámico, elementos esenciales a la realización de un modelo matemático que deba permitir una gestión eficaz de los recursos de aguas subterráneas del valle de Cochabamba. El modelo hidrodinámico permitió testar las hipótesis formuladas, cuantificar y demarcar los flujos que transitan en este sistema acuífero. Este modelo dará indicaciones sobre el comportamiento de la napa para nuevas explotaciones y por ahí, constituye un instrumento de primer orden para optimizar la implantación de las nuevas perforaciones en las zonas hidrogeológicamente más favorables, precisando la influencia de cada una de ellas sobre la napa. En este sentido, aporta una preciosa ayuda a la decisión. Además, permite estimar los volúmenes globales que podrán ser extraídos del acuífero sin ocasionar disminución alarmante de la superficie piezométrica de la napa.

Las simulaciones efectuadas a partir de este modelo muestran que un aumento de la explotación de las aguas subterráneas, del orden de 1.0 m³/s (obtenida esencialmente a partir del reforzamiento de los campos captantes existentes de SEMAPA y de la creación de uno o dos nuevos campos que pueden corresponder a la realización de perforaciones profundas), entrenaría en los sectores circundantes de los campos de captación donde están concentrados estos bombeos, un abatimiento de la napa prácticamente estabilizado después de cinco años de explotación que no debería exceder alrededor de 10 a 20 m. Se recordará que actualmente los caudales sustraídos del acuífero a partir de bombeos son del orden de 1.5 m³/s, 0,3 m³/s provenientes de los pozos de SEMAPA y 1.2 m³/s de los pozos privados o pertenecientes a comunidades.

Proposición de implantación de pozos profundos.

Los estudios geofísicos, geológicos e hidrogeológicos realizados en el transcurso de este proyecto han permitido delimitar tres sectores con fuerte potencialidad acuífera que se caracterizan por un gran espesor de los depósitos aluviales acuíferos, excelentes características hidrodinámicas y una recarga importante. Se trata de:

- **Los paleovalles incisos en los sedimentos lacustres arcillosos**, encontrados en la línea de los ríos Llave y Viloma, al oeste del valle, entre los pueblos de Vinto y Sipe-Sipe, con un espesor de aluviones acuíferos máximo en el eje de estos dos paleovalles (proposición de dos sitios de perforación profunda);
- **El cono aluvial del “San Miguel”**, ubicado al nor oeste de la cuenca (norte de Quillacollo), ampliamente extendido y que se dibuja en el aval de las cuencas vertientes de los ríos Tacata y Jankho Khala. Este abanico corresponde a un sistema aluvial evolucionado y granoclasificado (proposición de tres sitios para la realización de pozos profundos).
- **El cono de la ladera de “la Taquiña”**, situado al nor este de la población de Tiquipaya, formado de material inmaduro, heterométrico, de pequeñas gravas a los bloques métricos (proposición de un sitio de perforación profunda).

En el seno de estas zonas, han sido propuestas en resumen seis sitios posibles para la implantación de pozos profundos con objeto de mejorar cualitativa y cuantitativamente el

abastecimiento de agua potable a la ciudad de Cochabamba. Estas ubicaciones corresponden a los mejores compromisos entre:

- el espesor y la extensión de las formaciones aluvionales,
- la calidad del reservorio ligada a la presencia o la ausencia de arcillas y a la granulometría de los depósitos que condicionan las características hidráulicas,
- la proximidad de la zona de recarga.

En el marco de este proyecto de cooperación, se debe realizar en el primer semestre de 1994, con financiamiento del gobierno boliviano (como contraparte boliviana a la donación francesa), un primer pozo profundo de explotación pero con una óptica necesariamente exploratoria estando comprendido que ningún pozo no ha sido hasta hoy efectuado a tales profundidades en el valle de Cochabamba. Este pozo no ha sido implantado al oeste de VINTO, sobre la base de los resultados geofísicos e hidrogeológicos obtenidos durante este proyecto de cooperación. Las especificaciones técnicas de este pozo han sido redactadas sobre la base de una perforación a 600 m de profundidad, adaptadas al sitio elegido, susceptible de asegurar un caudal de explotación mínimo del orden de 70 l/s. Este caudal resulta de un compromiso entre el precio de realización de tal pozo, tanto más elevado que el caudal deseado es importante y la óptica necesariamente exploratoria de tal obra. Este primer pozo profundo permitirá juzgar de la factibilidad técnica y económica de la explotación de los recursos en aguas subterráneas profundas en la cuenca de Cochabamba. Según los resultados de esta primera perforación, si la factibilidad técnica y económica de la explotación de los recursos en aguas subterráneas profundas en el valle de Cochabamba esta demostrada, podría ser entrevista la realización de nuevas perforaciones profundas, de diámetro superior, susceptibles de proporcionar caudales de explotación más elevados.

4. USUARIOS PRINCIPALES DEL AGUA EN EL VALLE DE COCHABAMBA

ESTUDIOS SOBRE DEMANDA DE AGUA POTABLE

Los estudios efectuados por la Consultora Dames & Moore; dentro el programa de capitalización para el proyecto múltiple de Misicuni I, y los estudios de privatización de SAMAPA y SEMAPA “Inversiones y Costos Operativos” efectuados por la consultora inglesa Halcrow muestran en el cuadro siguiente la demanda de agua potable incluido para el desarrollo industrial de toda el área metropolitana de ciudad de Cochabamba:

CUADRO 7

DEMANDA AGUA POTABLE AREA METROPOLITANA + INDUSTRIA

AGUA POTABLE CERCADO	UNIDA D	1997	2000	2001	2002	2005	2007	2010
POBLACION	[HAB]	511,97 7	606,32 7	640,28 1	675,49 7	788,69 3	870,36 2	1,001,80 6
COBERTURA AGUA POTABLE	[%]	60%	89%	90%	90%	90%	91%	92%
DEMANDA DE AGUA POTABLE CERCADO	[L/S]	759	1,343	1,463	1,550	1,835	2,065	2,454
AGUA POTABLE MUNICIPIOS								
POBLACION	[HAB]	174,74 7	206,95 1	218,54 0	230,56 0	269,19 6	297,07 1	341,935
COBERTURA AGUA POTABLE	[%]	0%	0%	50%	60%	90%	91%	92%
DEMANDA DE AGUA POTABLE MUNICIPIOS	[L/S]	0	0	205	278	578	705	837
DEMANDA DE AGUA INDUSTRIA	[L/S]	0	0	281	296	346	382	440
TOTAL DEMANDA DE AGUA POTABLE	[L/S]	759	1,343	1,949	2,124	2,759	3,152	3,731

DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO

Un análisis efectuado por el Programa Nacional de Riego (PRONAR), se observa un decremento sucesivo de las áreas potencialmente regables, dentro de este contexto, se estima una disminución de 1,000 has regables por cada 100,000 nuevos habitantes, por lo que se proyectó que para el año 2010 existirán 23,000 has regables en todo el Valle central de Cochabamba, siendo la proyección de la demanda estimada de agua para riego la siguiente:

CUADRO 8

DEMANDA RIEGO VALLE CENTRAL

Año	2000	2005	2010	2015
Area Regada has	12,500	15,000	23,000	23,000
Demanda m3/s ¹	11.29	10.82	10.44	9.98

CUADRO 9

DEMANDA TOTAL AGUA POTABLE Y RIEGO

VALLE CENTRAL COCHABAMBA

AÑO	2000	2005	2010	2015
RIEGO M3/S	11.3	11.0	10.5	10.0
AGUA POT. M3/S	1.35	2.0	3.7	4.5
TOTAL M3/S	12.65	13.0	14.2	14.5

¹ La demanda disminuye debido a que paulatinamente aumenta la eficiencia de riego

5. INSTRUMENTOS LEGALES VIGENTES RELACIONADOS AL AGUA Y SU USO

En el país no existe un marco legal actualizado que administre los recursos hídricos y que defina una autoridad de aguas.

La Ley vigente que administra dichos recursos es la Ley de 1906 denominada "Dominio y Aprovechamiento de Aguas", que es insuficiente para responder a la problemática de la demanda actual y que no incluye la información existente.

En 1988 se elaboró un proyecto de Ley denominado "Ley General de Aguas" que toma en cuenta la Constitución Política del Estado, la Ley de Reforma, el Código Civil, etc. Sin embargo, se requiere que dicho instrumento legal sea compatible con el Código de Minería, la Ley de Medio Ambiente y otras disposiciones recientes.

Con la revisión y discusión de las bases legales existentes, se busca la elaboración de un proyecto de Ley de Aguas que establezca:

- El reconocimiento del dominio originario del estado sobre las aguas, en el sentido de un derecho de la soberanía nacional.
- Priorizar los usos del agua: consumo humano, animal, agrícola, industrial y usos recreativos.
- Proponer un reglamento de agua para riego conteniendo los derechos de uso, concesión y distribución, además de normas para la constitución de organización de regantes así como especificar el tratamiento a las organizaciones de regantes, respetando sus usos y costumbres.
- Establecer una autoridad que defina conflictos independiente de la autoridad normativa.

5.1. Beneficios de una ley de aguas

Una nueva legislación de los recursos hídricos proporcionará elementos para:

- Eliminar incompatibilidades y conflictos entre usuarios de distintos sectores: riego, agua potable, energía, minería e industria.
- Contemplar el uso y administración de los recursos hídricos mediante los dispositivos legales y reglamentos adecuados.
- Contribuir a una legislación actualizada que reafirme el dominio del estado sobre el recurso agua.
- El establecimiento de una autoridad que de cumplimiento a los dispositivos legales y sancione las infracciones previstas en la ley de medio ambiente.

5.2. Reglamento de Riego

Además de ley que contempla los aspectos globales del manejo del recurso, es pertinente un reglamento para su implementación. Este documento conteniendo los derechos de uso, solicitudes de concesión, distribución, obras de infraestructura y organización de regantes ya se

encuentra elaborado y en revisión. Con el reglamento se busca garantizar una mejor y equitativa distribución del agua, como también normar la administración de los sistema de riego. Por el momento se convierte en un paso transitorio hasta que se dinamice el proceso para la aprobación de la ley de aguas.

De acuerdo a la Ley de Organización del Poder Ejecutivo, la autoridad nacional de aguas y cuencas hidrográficas es el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Siendo atribuciones de la Autoridad nacional de Cuencas, formular las políticas, estrategias, planes y normas de alcance nacional sobre el régimen de los recursos hídricos de la Nación.

La nueva Ley del Recurso Agua demarcará sus atribuciones específicas a nivel de las Cuencas Hidrográficas del país, así como la modalidad de aprovechamiento y conservación del recurso a nivel nacional, departamental y municipal.

Las Leyes de Participación popular No.1551 y de Descentralización Administrativa No.1654, confieren atribuciones a los Municipios y Prefecturas para la gestión de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente, por lo que éstas instancias deben precautelar el manejo de los recursos hídricos en el marco del manejo integral de cuencas.

La Ley Forestal No. 1700 y la Ley INRA No.1715, demarcan responsabilidades desde el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente hasta las Prefecturas y Municipios para la gestión de los recursos forestales y las tierras en el marco del manejo integral de cuencas que permitan su ordenamiento, manejo y conservación. Desde este marco legal, las superintendencias sectoriales también deben fiscalizar el cumplimiento de la Ley.

6. INSTITUCIONES RESPONSABLES DEL MANEJO DEL AGUA Y PRECIOS

6.1. Instituciones Responsables en el Manejo del Agua

A nivel Nacional el Comité Nacional de Riego (CNR), es el mecanismo superior de coordinación intersectorial y tiene la responsabilidad de concertar políticas y estrategias para el desarrollo del riego. Es también su atribución coordinar las inversiones en el subsector riego, aprobar todos los proyectos de riego, asegurar que los proyectos tengan una adecuada representación geográfica, provengan de las comunidades y no tengan impactos ambientales negativos. Esta instancia está presidida por el Ministerio de Agricultura, reúne a los viceministerios de Desarrollo Rural, de Recursos Naturales, de Inversión Pública y Financiamiento Externo.

A nivel de Cuencas se cuenta con un coordinador regional, estas unidades reciben el apoyo de los equipos de asistencia técnica e implantan las actividades descentralizadas de inversiones y fortalecimiento institucional.

A nivel departamental existen los Comités Departamentales de Riego, que están presididos por un Coordinador Departamental de Riego financiado por cada prefectura y fungirán como secretarios técnicos funcionarios de la Dirección Nacional de Riegos y tienen presencia las direcciones Departamentales de la Prefectura, los Consejos departamentales y representantes del Fondo de Desarrollo Campesino.

Las Superintendencias de agua y electricidad de acuerdo a las nuevas normas tienen que ver con la autorización para la concesión de las cuencas en relación al uso que se les dará.

6.2. Precios

La industria el año 1996 ha pagado una tarifa promedio de electricidad de \$us 0,061 kw/h, se considera que el actual consumo de la población esta entre \$us 0,05 a 0,0525 kw/h, para una proyección del mercado para el año 2002 será de aproximadamente 0,055 kw/h.

El precio promedio al usuario del agua producida por SEMAPA ha sido fijada aproximadamente en 0,41 \$us/m³, este promedio ha sufrido incrementos posteriores debido a los planes de expansión y mejoramiento que tiene SEMAPA, siendo actualmente de 0,56 \$us/m³, esto incluye tratamiento, distribución y servicio de alcantarillado.

El precio propuesto por la Empresa Corani de venta de agua cruda fue de 0,21 \$us/m³, que con tratamiento y distribución cubriría el precio actual de SEMAPA.

Actualmente se lleva adelante la licitación de la concesión de Misicuni y SEMAPA, por la estrategia que se está utilizando se considera que el precio del agua estará alrededor de 0,86 \$us/m³

La mayor parte de los usuarios de los sistemas de riego, pagan muy poco por el derecho de agua que les corresponde, ya que únicamente, ellos deben cumplir con la organización participando en

la limpieza de canales y el mantenimiento de la infraestructura, a continuación se muestra un cuadro resumen con los pagos que se efectúan en algunos sistemas de riego:

CUADRO 10

Sistemas de Riego	Precios Agua Riego \$us/m3
S.N.R. N° 1	0,0055
Lagum Mayu	0,0068
Saytu Khocha	0,016
Chankas	0,007
El Paso	0,004-0,037
Bella Vista	0,004-0,037
Pairumani	0,020-0,09
Larati	0,02-0,03
Apaka Punta	0,02-0,03

Tanto el proyecto Corani, como el de Misicuni han ofertado un precio de agua de 0,08 \$us/m3, esto quiere decir que un agricultor deberá pagar por agua de riego alrededor de 640 \$us/ha.

Algunos sistemas de riego provenientes de pozos, establecen tarifas que fluctúan entre los 5 a 8 bolivianos por hora, con un caudal variable de 3 a 6 l/s.

7. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

El valle central de Cochabamba, comprende las ciudades de Cochabamba, Quillacollo y Sacaba, donde están incorporadas poblaciones como las de Sipe Sipe, Suticollo, Vinto, Colcapirhua, Tiquipaya, etc., tienen una población de 620,116 habitantes de acuerdo al censo de 1992 y un área potencialmente regable de 23,000 has según estudios realizados por el PRONAR, toda esta información lleva a realizar un análisis exhaustivo de la demanda de agua tanto para consumo humano, como para riego y su viabilidad técnica financiera. Por otra parte esta estrategia involucrará el viabilizar proyectos potenciales para el Valle Alto.

Con la información señalada en el Cuadro 7 se ha efectuado un análisis profundo para poder definir una estrategia que de solución al problema del agua, la misma que determina que:

El PROYECTO MISICUNI inicia en forma inmediata con la construcción del túnel de 19.2 km a través de la firma del contrato con el consorcio ASTALDI - ICE.

Suscripción de una carta de intenciones con CORANI para el suministro de 2000 l/s para agua potable para el año 2001 y 2000 l/s para agua de riego, desde el año 2005.

Prosecución del proceso de Licitación para la concesión de SEMAPA.

MISICUNI

A partir del año 2001 SEMAPA administrará las aguas de Escalerani, Wara Wara, y de los pozos semi-profundos y profundos para dotar agua de riego a nuevas áreas de riego en los Valles Central y Bajo, con una dotación de 1000 l/s.

Las fuentes de agua cruda permitirán paulatinamente la sustitución de las aguas de riego de la Angostura, y así liberar recursos hídricos para el riego del Valle Alto a través del desarrollo de los proyectos Trasvase Yungas de Vandiola, Pucara y Siches, para beneficiar cerca de 10,000 has de riego.

El año 2002, en base a un proceso de capitalización, con participación privada se efectuará la segunda etapa del Proyecto Múltiple Misicuni, el cual a partir del año 2007 suministrará 3,900 l/s de agua cruda, de los cuales 2,000 l/s serán utilizados para agua potable y 1,900 l/s serán utilizados para riego en los Valles Central y Bajo.

CORANI

Debe actualizarse la propuesta presentada por Corani S.A. en fecha el 23 de mayo de 1997.

La propuesta de Corani incluía los siguientes aspectos:

- Suministro de agua cruda para agua potable hasta 2,000 l/s en 39 meses a partir de la suscripción del contrato entre el Concesionario de SEMAPA y Corani, a los siguientes precios promedio:

Año	2001-2004	2005 en Adelante
Precio (US\$/m³)	0.216	0.235

- Suministro de agua cruda para riego en el Valle de Sacaba a 0.08 US\$/m³ hasta 2,000 l/s, a partir del año 2005 según requerimiento.

El Concesionario de SEMAPA podrá suministrar agua cruda de Corani para riego del Valle de Sacaba, ya sea en bloque a una entidad encargada de la distribución, o distribuirla el mismo.

CONCESION DE SEMAPA

La Licitación Pública Internacional para la Concesión de Aprovechamiento de Aguas y la Concesión del Servicio Público de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Cochabamba y sus Alrededores (Concesión de SEMAPA) permitirá la expansión de los servicios de agua potable y alcantarillado en las ciudades de Cochabamba, Quillacollo, Sacaba, Vinto, Tiquipaya y Colcapirhua.

INVERSIONES EN LOS PROXIMOS CUATRO AÑOS (1998-2001)

PROYECTO	MONTO
Construcción del Tunel 19.2 km Misicuni²	65 MUS\$
Proyecto Corani	100 MUS\$
Inversión Concesión de SEMAPA³	70 MUS\$
Total Inversiones	235 MUS\$

RESUMEN DE LA ESTRATEGIA AGUA PARA COCHABAMBA

- La puesta en marcha de los proyectos Misicuni y Corani y la concesión de SEMAPA solucionan en forma definitiva el abastecimiento de agua potable y riego bajo el siguiente detalle:

² Este no es el costo total del Proyecto Misicuni

³ Este es el costo solo para el Cercado

- El Cercado (Ciudad de Cochabamba), para el año 2.001 tendrá una cobertura de agua potable de 90% y alcantarillado 85 %, siempre y cuando exista la concesión de Semapa, con el abastecimiento de aguas de Corani de acuerdo a su propuesta presentada en fecha 23 de mayo de 1997.
- En el contrato con la Empresa Corani deberá incluirse el suministro de 400 l/s de agua a partir de diciembre de 1998
- El valle de Sacaba el año 2001 solucionará su problema de agua potable y a partir de año 2005 se podrá regar el valle de Sacaba.
- A partir del año 2001 SEMAPA administrará las aguas de Escalerani, Wara Wara, y de los pozos semi-profundos y profundos para dotar agua de riego a nuevas áreas de riego en los Valles Central y Bajo, con un caudal promedio de 1,000 l/s.
- El año 2002, en base a un proceso de capitalización, con participación privada se efectuará la segunda etapa del Proyecto Múltiple Misicuni, el cual a partir del año 2007 suministrará 3,900 l/s de agua cruda, de los cuales 2,000 l/s serán utilizados para agua potable y 1,900 l/s serán utilizados para riego en los Valles Central y Bajo.
- El Proyecto Misicuni Fase I incorporará un caudal de 3.900 l/s el año 2.005 para la solución del crecimiento poblacional del área metropolitana y ampliar en 6.000 has. el área de riego.
- Se iniciará en forma inmediata la implementación de los **PROYECTOS DE RIEGO EN EL VALLE ALTO** siendo estos **YUNGAS DE VANDIOLA**, con una capacidad de regulación de 27 millones de m³, riego para 2,100 has y una inversión de 12 millones de dólares, **SICHES** con una capacidad de regulación de 43 millones de m³ riego para 5,000 has y una inversión de 9 millones de dólares y **PUCARA** con una capacidad de regulación de 44 millones de m³ riego para 3,200 has y una inversión de 20 millones de dólares.

8. CONFLICTOS SOBRE EL USO DEL AGUA

En la última década se ha suscitado un sin número de conflictos en relación al uso del agua y esto debido fundamentalmente a la aguda escasez que viene sufriendo nuestro departamento debido a múltiples factores de los cuales resumimos los principales:

- Falta de políticas nacionales y regionales para un manejo integrado de cuencas
- Falta de un marco legal adecuado y su reglamentación para el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos.
- Falta de una infraestructura para regulación y almacenamiento de recursos hídricos
- Falta de inversiones en la región
- Falta de apoyo e incentivos a la producción agrícola bajo riego
- Falta de inversiones para el mejoramiento y modernización en los sistemas de agua potable y riego

El conflicto más importante que se ha suscitado es el de la explotación de aguas subterráneas en el valle bajo (Quillacollo, Tiquipaya, Sipe Sipe, etc), y esto debido fundamentalmente a una sobreexplotación de aguas subterráneas y una falta de control y legislación sobre su uso. El suministro de agua potable para la ciudad de Cochabamba es abastecida fuera de su territorio y es por ello que existen presiones de otras provincias hacia estos recursos.

Otro conflicto potencial que esta siendo debatido en la actualidad es la fuente de abastecimiento futuro para el agua potable a todo el valle cochabambino y para el riego, sobre el particular han existido planteamientos concretos por parte de la Empresa Corani para el suministro de 4000 l/s de agua con fines de consumo humano y riego con inversiones privadas, por otra parte el actual Gobierno está encarando la construcción del túnel de Misicuni y la concesión del aprovechamiento de recursos hídricos de la cuenca del mencionado proyecto y la concesión de la administración de SEMAPA, en lo próximos meses se podrán conocer los resultados de estas iniciativas y cual será el impacto en el desarrollo de la región puesto que los precios del agua determinarán la conveniencia de alguna de estas alternativas.

Las organizaciones de usuarios tanto de agua potable, como de regantes no están consolidadas para la administración, operación y mantenimiento de los sistemas, en virtud a que muchas de ellas carecen de un reconocimiento legal, carencia de estatutos y reglamentos, sistema de administración y personería jurídica, y otros aspectos legales que hacen a la generación de importantes conflictos sociales en torno al agua en los valles de Cochabamba.

Otro aspecto problemático es la fuerte presión urbana sobre los valles para la producción agropecuaria, haciendo que estos en un futuro se conviertan en una “ciudad dormitorio”, perdiendo todo su potencial para su desarrollo agropecuario y el mayor potencial de ingresos económicos que tiene el área rural de los valles de Cochabamba.

9. MARCO REFERENCIAL PARA LOS ESTUDIOS DE CASO A SER REALIZADOS EN CADA SUBCUENCA

La ordenación de una cuenca hidrográfica responde a un proceso de formulación y ejecución de un sistema de acciones que incluye el manejo integral de los recursos de la cuenca para la

obtención de bienes y servicios, sin afectar negativamente a los recursos de suelos y aguas. Debiéndose considerar los factores sociales, económicos, e institucionales que actúan dentro y fuera de la cuenca.

Si bien los términos de referencia para la realización de los estudios de caso serán discutidos por el equipo técnico en una próxima reunión en Cochabamba, se deben considerar por lo menos los siguientes puntos:

- Caracterización de la subcuenca con especial énfasis en el recurso hídrico.
- Descripción del uso actual del agua y expectativas de las necesidades futuras al corto, mediano y largo plazo.
- Principales conflictos en el uso del agua.
- Principales limitaciones para mejorar la eficiencia en el uso del agua.
- Temas de investigación puntuales que deben de enfocar en el corto plazo.

Adicionalmente los valles de Cochabamba enfrentan una notable disminución y degradación de sus recursos naturales, hídricos con un acelerado proceso de deterioro y contaminación del medio ambiente debido fundamentalmente a los siguientes factores:

- La configuración espacial de los valles del departamento permite observar como patrón predominante marcados desequilibrios en la distribución poblacional expresados en una excesiva concentración en la zona del valle central, procesos de densificación en el valle alto y una dispersión relativamente generalizada en el resto del departamento.
 - El virtual estancamiento de la agricultura a ocasionado fuertes presiones migratorias hacia los centros urbanos, problema que acompañado del limitado dinamismo en la generación de empleo de la actividad industrial a dado lugar a una acelerada expansión de actividades por cuenta propia en el comercio y en la producción de bienes y servicios.
 - La ausencia de estudios integrales que permitan conocer con objetividad y confiabilidad la cantidad y calidad de los recursos naturales del departamento, lo que constituye una restricción dentro del proceso de planificación ya que los estudios existentes hasta la fecha se circunscriben a zonas aisladas, siendo la información muy parcial y dispar.
 - La precaria aplicación del nuevo marco normativo de relacionamiento y de competencias interinstitucionales e intersectoriales nacionales, departamentales y municipales, debido a la poca capacidad técnica y operativa para hacer cumplir las disposiciones legales vigentes.
-
- La falta de normatividad y de criterios técnicos que regulen los procesos de producción y ocupación del espacio en áreas urbanas y rurales en función de los usos del suelo, determinados con base en su capacidad de uso mayor y sus potencialidades.
 - La insuficiencia en la delimitación en el manejo integral de cuencas y microcuencas hidrográficas, como espacios naturales que posibilitan la planificación y administración de los recursos naturales.
 - La ausencia de sistemas de gestión, control y vigilancia de los recursos naturales, con efectos negativos sobre aves, fauna silvestre, plantaciones, productos agrícolas, fuentes de agua, especies acuáticas, etc.

- La falta de promoción, investigación, educación y participación ciudadana en el campo de la conservación de la biodiversidad, el ecosistema, la vida silvestre, el medio ambiente y los recursos naturales renovables.

En base a los criterios anteriormente expuestos, el estudio y planificación de la cuenca deberá realizarse en cuatro niveles orientados a los problemas existentes:

a) Nivel Nacional

La principal finalidad de contar con una clasificación general servirá como base para determinar los siguientes aspectos:

- Naturaleza de las cuencas; es decir, cuencas hidrográficas municipales, cuencas de bosques y tierras vírgenes, cuencas agrícolas, etc.
- Principales problemas y áreas críticas, es decir, problemas ocasionados por el hombre, su naturaleza, gravedad de los problemas, extensión de las áreas críticas, etc.
- Ubicación de las cuencas; es decir, cuencas de cabecera o de montaña, cuencas de tierras bajas, cuencas con interés aguas abajo, cuencas sin interés aguas abajo, etc.

Esta clasificación puede ser a futuro una contribución importante para determinar la política nacional y establecer prioridades.

b) Nivel regional

El estudio y planificación a nivel regional, se deberá realizar ya sea de forma específica para un grupo de cuencas hidrográficas o conjuntamente con los planes regionales de desarrollo. El trabajo abarca una superficie más limitada que el estudio nacional pero no es necesariamente tan detallado como los planes de cuencas hidrográficas individuales. Además estos estudios facilitarán la formulación de planes de desarrollo a largo y mediano plazo.

c) Nivel de Cuenca y Sub –Cuenca

A nivel de cuenca hidrográfica, se deberá realizar un estudio y planificación a detalle, porque la cuenca es una unidad funcional que une en un sistema integral las áreas situadas aguas arriba y las situadas aguas abajo y porque es una unidad adecuada para la planificación y el análisis económico.

d) Nivel de finca agrícola o comunidad

El objetivo principal es mejorar la gestión de las fincas y el desarrollo de las comunidades dentro del área de la cuenca, haciendo hincapié en la conservación y el desarrollo.

El estudio y planificación local proporciona datos básicos y fomenta la participación de agricultores y comunidades en el proceso de planificación.

Bajo este marco de referencia, los principales problemas existentes en las cuencas pueden ser agrupados de la siguiente manera:

I. Socioeconómicos

Pobreza rural en las tierras altas, lo que motiva la emigración a centros urbanos superpoblados y/o la destrucción de los recursos de la Cuenca.

Uso inapropiado de las tierras (tierras de ladera, cultivos, agricultura migratoria, sobrepastoreo, etc) que se traduce en la degradación de suelos y otros recursos de la Cuenca.

II. Técnicos e Institucionales

Actividades de desarrollo mal planificadas y ejecutadas (caminos, viviendas, recreación, minería , etc) que dañan los cursos de agua y contaminan el ambiente natural.

III. Naturales

Desastres naturales (tormentas intensas, deslizamientos de tierras, incendios, etc) que perjudican las condiciones de la Cuenca.

IV. Disponibilidad y limitaciones de recursos

Un plan ambicioso o poco realista tiene menos probabilidades de aprobarse financieramente o ejecutarse con éxito. Las principales limitaciones están principalmente en la falta de recursos económicos, insuficiencia de personal y profesionales, mala coordinación entre organismos de gobierno, falta de datos y de investigaciones para una mejora permanente, limitaciones institucionales y políticas normativas.