



Institut de recherche  
pour le développement

**VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE  
AGUA POTABLE DE LA PAZ  
SUBSISTEMAS ACHACHICALA Y PAMPAHASI**



PACIVUR

## ÍNDICE

Introducción.....	4
I. El abastecimiento de agua en la aglomeración paceña: un tema sensible dentro de un contexto social e institucional poco favorable.....	6
1. El agua en el valle de La Paz: una fuente aparentemente abundante pero cuya disponibilidad en el futuro es incierta .....	6
1.1. Una cuenca andina rodeada de glaciares.....	6
1.2. Breve historia del abastecimiento de agua y de la constitución del gran sistema.....	7
1.3. Intensificación de la urbanización y amenaza sobre el recurso.....	8
2. La gestión de los recursos naturales, fuente de conflictos en Bolivia .....	11
2.1. La guerra del agua de Cochabamba 1999-2000 .....	12
2.1. La guerra del agua de La Paz-El Alto 2002-2007.....	12
3. Nacionalización y reforma institucional del sector agua .....	13
4. Varios modos de abastecimiento en la aglomeración paceña.....	13
II. La vulnerabilidad de dos subsistemas de abastecimiento de agua potable del municipio de La Paz : Achachicala y Pampahasi .....	16
1. Características de los dos subsistemas Achachicala y Pampahasi .....	16
1.1. El gran sistema .....	16
2. Característica del subsistema Achachicala.....	18
2.1. Las fuentes de captación del agua .....	18
2.2. El sistema de toma de agua .....	19
2.3. La estación de potabilización Achachicala .....	20
3. Características del subsistema Pampahasi .....	21
3.1. Las fuentes de captación del agua .....	21
3.2. El sistema de toma de agua .....	22
3.3. La estación de potabilización Pampahasi.....	23
4. cambio climático e incertidumbre en cuanto a las cantidades de agua disponibles.....	24

4.1. El retroceso glaciar.....	24
5. Metodología de las matrices.....	27
6. Vulnerabilidad del subsistema Achachicala .....	29
6.1. Exposición de los elementos a amenazas externas y posibilidad de deterioros.....	29
6.2. Dependencia de los elementos a otros elementos.....	36
6.3. Vulnerabilidad intrínseca del subsistema: Estado de funcionamiento .....	41
6.4. Elementos que tienden a reducir la vulnerabilidad (capacidad de control, preparación para una situación de crisis, alternativas de funcionamiento).....	48
6.5. Síntesis.....	52
7. La vulnerabilidad del subsistema Pampahasi .....	54
7.1. Exposición de los elementos a amenazas externas y posibilidad de deterioros.....	54
7.2. Dependencia de los elementos a otros elementos.....	63
7.3. Vulnerabilidad intrínseca: Estado de funcionamiento .....	66
7.4. Elementos que tienden a reducir la vulnerabilidad (capacidad de control, preparación para una situación de crisis, alternativas de funcionamiento).....	72
7.5. Síntesis .....	77
conclusión – límite del estudio .....	78
TABLA DE LAS ILUSTRACIONES.....	79
FIGURAS.....	79
CUADROS.....	80



## INTRODUCCIÓN

El aprovisionamiento de agua potable, indispensable para el buen funcionamiento de los hospitales, de los establecimientos escolares y de las actividades industriales, forma parte de los elementos esenciales de una ciudad. Su interrupción podría causar si no una crisis, al menos graves perturbaciones (Hardy, 2009). Varias situaciones críticas pusieron en evidencia la vulnerabilidad del sistema de aprovisionamiento de agua potable en la aglomeración de La Paz-El Alto.

El 22 de junio de 2010 las comunidades de Milluni protestaron contra la designación del subalcalde del distrito 13 de El Alto, Sergio Laura, nombrado por el alcalde para hacer escuchar sus reivindicaciones, las comunidades pusieron tablones de madera en la entrada principal de la represa Milluni para impedir la escorrentía del agua desde el lago de Milluni hasta la planta de potabilización de Achachicala, ocasionando el cierre de la represa. Durante un día, los barrios 14 de Septiembre, Gran Poder, Alto San Pedro, Alto Olímpic y Tembladerani de La Paz dejaron de tener acceso al agua por tubería fueron cerca de 120 000 personas afectadas por el corte de agua (La Razon, 24 de junio de 2010). Otro ejemplo, el 25 de enero de 2008 la ruptura de la canalización Hampaturi, canalización que transporta el agua cruda hacia una planta de potabilización, había privado a más de 272 000 habitantes el acceso al agua potable por canalización durante 19 días. A 46 centros de salud les faltó agua para el tratamiento de los pacientes. Algunas empresas, y principalmente las empresas textiles, muy numerosas en La Paz, se vieron obligadas a reducir su actividad en un 50%. Además, el inicio de clases tuvo que ser postergado por una semana en el conjunto de los establecimientos escolares, situación que provocó un nuevo problema socioeconómico para numerosas familias paceñas (Hardy, 2009). Estas situaciones que se repiten ponen en evidencia la necesidad de mejora de la gestión en una situación de crisis para el abastecimiento de agua de la aglomeración paceña.

Estas situaciones nos muestran que en el caso del abastecimiento de agua, la interdependencia es particularmente compleja. En primer lugar es lineal. Para funcionar, un elemento del sistema necesita de los anteriores. La pérdida de un elemento aguas arriba provoca la pérdida del sistema aguas abajo, por transmisión de la crisis. Para anticipar esta situación, se debe actualizar ciertas vulnerabilidades internas del sistema de abastecimiento de agua. Pero la vulnerabilidad es también transversal. La pérdida del sistema de abastecimiento de agua podrá, en efecto, provocar problemas en otros elementos de funcionamiento urbano –como el sistema de salud- pudiendo a su vez generar crisis (Hardy, 2009). A fin de anticipar mejor los diversos problemas y fallas posibles del sistema de abastecimiento de agua potable en la aglomeración paceña, conviene identificar los diferentes factores de vulnerabilidad de este elemento urbano esencial.

En La Paz, coexisten al menos dos modos de producción: existe un gran sistema que da servicio esencial a la ciudad, administrado por la empresa concesionaria del servicio de producción y de distribución de agua por canalización: EPSAS. Los barrios periféricos disponen de redes de distribución comunitarias precarias que les pertenecen, en base a la participación colectiva.

El gran sistema de abastecimiento de agua potable está dividido en tres subsistemas: El Alto, Achachicala y Pampahasi. En este caso nos proponemos realizar el estudio de la

vulnerabilidad de los subsistemas Achachicala y Pampahasi, retomando la metodología utilizada para el estudio de la vulnerabilidad del subsistema El Alto (Hardy, 2009).

El abastecimiento de agua potable de un espacio resulta de tres grandes operaciones: la captación y la aducción del agua hasta una planta de potabilización, el tratamiento del agua y, finalmente, la distribución al consumidor. Si bien las canalizaciones que conectan a los consumidores a la red de agua presentan factores de vulnerabilidad (fugas, deterioros por los trabajos en la red caminera, etc.), la multiplicidad de las conexiones en la red a esta escala permite garantizar cierta continuidad del servicio, en caso de fallas, por medio de transferencias dentro de la red de distribución. Nuestro estudio se concentra entonces en los elementos esenciales de la producción de agua potable, desde su captación hasta su almacenamiento, es decir desde las represas que retienen el agua, las tomas de la represa de agua hasta la planta de potabilización. Estos elementos serán analizados a través del análisis de vulnerabilidad externa, teniendo en cuenta la exposición a las amenazas externas (movimientos sociales, deslizamientos de terreno, sequía, etc.) y las dependencias del sistema (productos químicos...) así como a través de la vulnerabilidad intrínseca que depende directamente de los equipos de la empresa. También se analizan la capacidad de control, el nivel de preparación en situación de crisis y las alternativas de funcionamiento.

Este estudio proporciona a la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento - EPSAS, empresa concesionaria del servicio de producción y de distribución de agua por canalización, un panorama de las debilidades de los elementos de su sistema de abastecimiento de agua (Hardy, 2009). Dicho estudio pone sus esfuerzos para incrementar la seguridad del sistema de abastecimiento de agua de La Paz; asimismo, posibilita una reflexión sobre las alternativas de funcionamiento para reducir la vulnerabilidad de un elemento, sobre las posibilidades de reforzar el control con la vigilancia a distancia de ciertos elementos de difícil acceso, Así como sobre las simulaciones de crisis para obtener experiencias (Hardy, 2009).

## I. EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA AGLOMERACION PACEÑA: UN TEMA SENSIBLE EN UN CONTEXTO SOCIAL E INSTITUCIONAL POCO FAVORABLE

### 1. EL AGUA EN EL VALLE DE LA PAZ: UN RECURSO APARENTEMENTE ABUNDANTE PERO CUYA DISPONIBILIDAD FUTURA ES INCIERTA

#### 1.1. UNA CUENCA ANDINA RODEADA DE GLACIARES

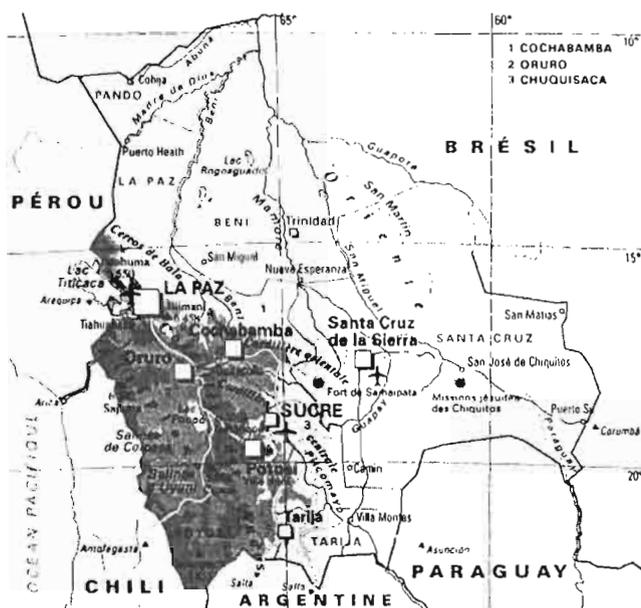


Figure 1 : Situation géographique de l'agglomération de La Paz

Source : [www.lexilogos.com/bolivie\\_carte.htm](http://www.lexilogos.com/bolivie_carte.htm)

La aglomeración de La Paz está situada al oeste de Bolivia, al pie occidental de la Cordillera Real cuyas cumbres superan, en esta región, los 6000m. El punto culminante es el Illimani, con 6462m de altitud (figura 1).

La aglomeración paceña está dividida en dos entidades: la ciudad de La Paz y la ciudad de El Alto. Ésta, que durante mucho tiempo fue la periferia de La Paz, constituye un municipio independiente desde 1988 (capítulo 1.1.3.).

El valle de La Paz se fue encajonando progresivamente por la erosión regresiva, captando los cursos de agua y los arroyos provenientes de la

Cordillera Real.

Hoy en día, la hoyada de La Paz está marcada por una red hidrográfica importante. El curso de agua principal es el río La Paz, resultante de la afluencia de tres cursos de agua principales: el Choqueyapu al Noreste, el Orkojahuirá al centro y el Irpavi al Sureste.

El abastecimiento de agua de la aglomeración paceña depende enormemente de la escorrentía superficial del agua pluvial y glaciar que proviene de las cuencas de drenaje de las montañas circunvecinas. Sin embargo, los glaciares andinos van perdiendo su volumen y se observa una aceleración de este fenómeno desde los años 1980. Según los investigadores del equipo *Great Ice* del IRD, los glaciares han ido perdiendo en promedio de 0,5 a 1,5 metros de agua cada año,

valores 3 a 5 veces superiores a los de los decenios anteriores (Ramírez, 2007). Por lo tanto, el retroceso de los glaciares podría, en unos decenios, originar serios problemas (capítulo II. 4.1.) y el déficit de recursos hídricos de origen glaciar se confrontaría a un fuerte aumento de la demanda de agua proveniente de los centros urbanos y periurbanos donde la población va en aumento.

---

## 1.2. RESEÑA HISTÓRICA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA Y DE LA CONSTITUCIÓN DEL GRAN SISTEMA

### 1.2.1. LAS PREMISAS DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO

A partir de 1906 aparecieron las premisas de un sistema de abastecimiento público en la ciudad de La Paz. Al principio, se creó una pequeña red de distribución a partir de una captación del agua de las fuentes de Tacagua (GTZ, 1988). Progresivamente se construyeron embalses y se instalaron redes de distribución aisladas, a partir de la captación de aguas subterráneas en las vertientes que bordean el valle de La Paz. En esa época no existía ningún sistema de tratamiento del agua. El sistema de abastecimiento público estaba compuesto de cinco pequeños sistemas aislados: tres redes pequeñas que permitían abastecer de agua a una parte del centro de la ciudad; otra ya había sido instalada para abastecer una parte de Obrajes; y una quinta, en la zona Sur.

En 1930, la cooperación técnica alemana (GTZ) inicia un plan de extensión del sistema de abastecimiento de agua y prevé principalmente la construcción de la primera planta de potabilización de la ciudad: la planta Achachicala. La responsabilidad del abastecimiento de agua potable fue transferida a la Junta Impulsora de Saneamiento, una comisión pública municipal dedicada al desarrollo y saneamiento urbano.

### 1.2.2. CREACIÓN DE UNA EMPRESA MUNICIPAL DESCENTRALIZADA

En 1966, entre los 495 000 habitantes que tenía La Paz, solamente el 17% tenía acceso al agua potable suministrada por la municipalidad: el 10% de la población disponía de una conexión a domicilio, y el 7% se abastecían en servicios públicos. Para mejorar el servicio de agua potable de la población, en 1966, la enmienda N° 7597 crea SAMAPA (Servicio Autónomo Municipal de Agua Potable y Alcantarillado), una empresa municipal descentralizada, encargada de los servicios de agua potable y saneamiento urbano, dándole una identidad jurídica y patrimonial, así como una autonomía de gestión operativa y administrativa. Por lo que la municipalidad transfiere a SAMAPA el conjunto de los servicios de abastecimiento de agua

potable y saneamiento. En 1982 la población urbana estaba en fuerte aumento y el porcentaje de la población que tenía acceso al agua potable casi se había cuadruplicado con más del 65% de la población conectada a la red.

Sin embargo SAMAPA se fue endeudando progresivamente y esto ya no le permitió mantener la red ni extenderla. Las dos causas principales del déficit de gestión residía en: 1) la insuficiente recaudación de los costos debido a una política tarifaria inapropiada, y 2) el gran coste suplementario, resultado de un mal mantenimiento, de un envejecimiento prematuro de las instalaciones y de una mala gestión de los recursos humanos (Jaglin, 2002). Por otro lado, SAMAPA no tenía una gestión transparente y presentaba problemas de clientelismo (Hardy, 2009) y corrupción (Jaglin, 2001).

---

### 1.2.3. LA PRIVATIZACIÓN DEL SERVICIO

En 1997, en un contexto complejo de privatización de los servicios públicos en Bolivia iniciado por las instituciones financieras internacionales (Hardy, 2009), el servicio de agua potable de la aglomeración de La Paz-El Alto fue privatizado. Como resultado de una licitación pública, el consorcio AISA S.A., cuyo accionario mayoritario era la empresa francesa *Lyonnaise des eaux* (grupo Suez) obtuvo una concesión de treinta años sobre la distribución y la gestión del agua para la aglomeración de La Paz-El Alto.

Según los datos de AISA. S.A., el porcentaje de la población conectada a la red habría aumentado hasta el 2000 con un 97% de la población conectada (en el espacio definido en el momento del contrato, es decir sin tomar en cuenta la expansión urbana posterior) antes de fracasar a partir de 2001. Aunque el rápido crecimiento de El Alto explica en parte esta bajada, las relaciones entre la población y la empresa se habían deteriorado, debido a que ciertas zonas de la aglomeración habían sido excluidas del contrato, y además por las tarifas aplicadas. Esto condujo a la segunda "guerra del agua" en Bolivia (capítulo I.2.). En 2007, la negociación para el retiro de Suez terminó con su partida y el reemplazo por EPSAS S.A (Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento). En 2008, EPSAS estimaba que el porcentaje de conexiones se elevaba a un 91,8% (EPSAS, 2009).

La ciudad de La Paz fue fundada en 1548. Primero tuvo un crecimiento demográfico lento, hasta la primera mitad del siglo XX. Durante los siglos XVI<sup>o</sup>, XVII<sup>o</sup>, XVIII<sup>o</sup>, y la primera mitad del siglo XIX, los principales cursos de agua jugaron el rol de fronteras, delimitando los barrios de la ciudad cuya extensión llegaba a los lechos mayores, con un declive bastante suave, alrededor del valle del Choqueyapu. A partir de 1850, La Paz superó los 80 000 habitantes y se convirtió en la primera ciudad de Bolivia. Se construyeron los grandes barrios residenciales de San Jorge, Sopocachi, Chijini y de Challapampa. En el mismo tiempo, el río Choqueyapu fue canalizado en su travesía por la parte central de la ciudad. Desde 1912, el crecimiento demográfico se aceleró fuertemente traduciéndose en una densificación de la construcción y la urbanización de las terrazas de Miraflores, la de Obrajes hasta Calacoto, así como la urbanización de las primeras pendientes de las vertientes que bordean el valle (Sopocachi, Calampaya, Pura-Pura, Challapampa, Choropaia, Orkojahuirá Este) (figura 2) (PDU, 1977).

Figura 2: Plano de la ciudad de La Paz en 1912



Fuente: Municipalidad de La Paz, 1912

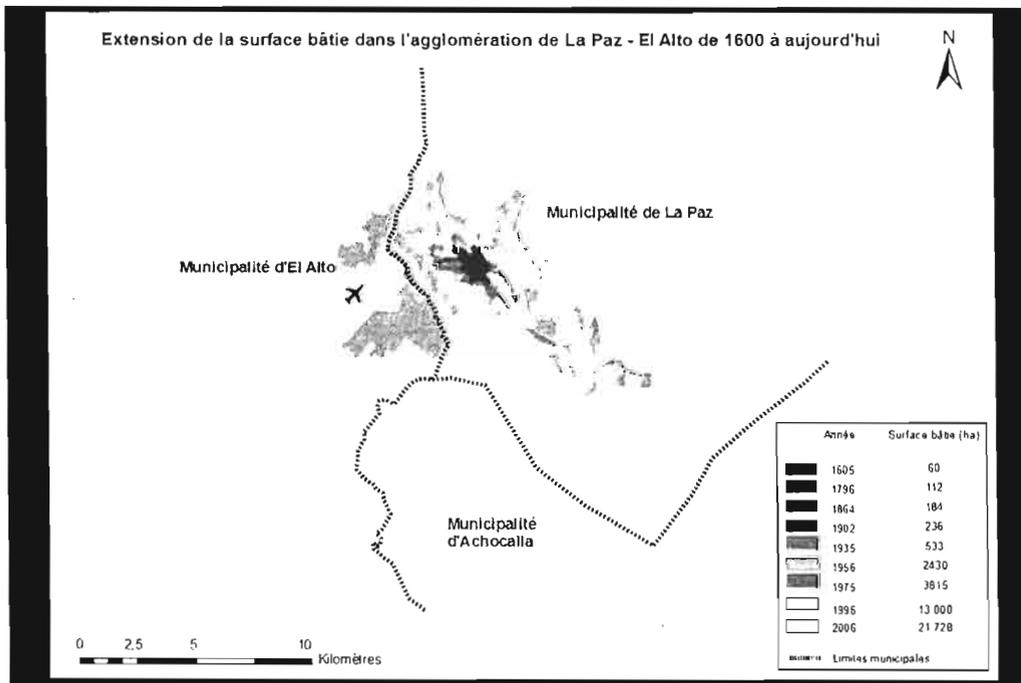
El fin de la Guerra del Chaco (1932-1935) provocó la primera ola de ocupación de los terrenos de las vertientes de La Paz. Numerosos antiguos combatientes provenientes de las zonas rurales migraron hacia la ciudad para ejercer las profesiones técnicas que aprendieron durante la guerra.

Esta época coincidió con la crisis de 1929 y la Segunda Guerra mundial que estimularon la actividad industrial del país. Se crearon importantes industrias manufactureras, de textiles y de material de construcción. En consecuencia, la población de La Paz se multiplicó por cinco entre 1900 y 1950. En 1951, la población de La Paz representaba el 50 % de la población urbana total

del país. Durante este periodo, la extensión urbana se extendió en la mayoría de los terrenos propicios para la urbanización dando fácilmente acceso a las zonas industriales y comerciales paceñas. Paralelamente, aparecen en el paisaje urbano los primeros barrios espontáneos, instalados sobre fuertes pendientes, periféricas, aisladas de las grandes obras urbanas.

En 1953, la promulgación de la Reforma Agraria generó la migración de aproximadamente 8 000 campesinos y sus familias hacia las ciudades durante el periodo 1953-1976. Esto provocó una nueva aceleración del crecimiento demográfico de La Paz, acompañado de una profunda modificación de la morfología urbana: de una organización lineal en las inmediaciones del Choqueyapu, se pasó a una organización radio-concéntrica en dirección de El Alto, de los valles bajos de la cuenca y de las pendientes de drenaje periféricas (figura 3). A mediados de los años 1970, la aglomeración contaba con 655 000 habitantes.

Figura 3: Extensión de la superficie construida en la aglomeración de La Paz-El Alto desde 1600 hasta hoy



Fuente: C. BARRET, 2009

En 1985 se produjo en La Paz una nueva corriente migratoria debido a la crisis del estaño, que dio lugar a la emergencia de El Alto. Este crecimiento urbano en el Altiplano provocó la división de la aglomeración en 1988 en dos municipios autónomos: La Paz y El Alto. En 1992, la aglomeración había alcanzado 1 118 900 habitantes, de los cuales 405 492 residían en El Alto (INE, 1992). Durante el siguiente decenio la población continuó aumentando rápidamente, sobre

todo en el municipio de El Alto. Según los datos del último Censo de Población y Vivienda de 2001, la población de La Paz había alcanzado 793 293 habitantes, y la de El Alto 649 958.

Esta urbanización rápida y poco controlada ha generado fuertes presiones sobre el medio:

- ❖ La ausencia de redes de drenaje, la construcción en espacios fuertemente sometidos a la erosión y a los movimientos de terreno tendientes a provocar la inestabilidad de los terrenos.
- ❖ La ausencia de redes de saneamiento compromete enormemente la calidad de los suelos y de las aguas subterráneas a nivel del espacio urbano y también en las regiones situadas más abajo de la aglomeración.
- ❖ El rápido aumento del número de habitantes y la evolución de los usos del agua (diversificación, aumento de la cantidad media consumida por habitante) provocan un incremento importante del consumo de agua.

El crecimiento urbano acompañado del rápido retroceso de los glaciares, que son los que forman los embalses naturales de agua potable de este valle, constituye a largo plazo una amenaza real sobre el recurso disponible para el gran sistema de abastecimiento, en el estado de los modos actuales de explotación y de consumo del agua. Pero también, los que fragilizan el gran sistema de abastecimiento de agua potable son los problemas de gestión vinculados en parte a la rapidez de la urbanización. Antes de analizar con más detalle los factores de vulnerabilidad de este sistema, es necesario reubicar la problemática de la gestión de los servicios de abastecimiento de agua potable en un contexto nacional.

## 2. LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES, FUENTE DE CONFLICTOS EN BOLIVIA

Si bien los casos son numerosos en el mundo, los fracasos de privatización de los servicios públicos en Bolivia son particularmente ejemplares. De 1999 a 2005, el país ha sufrido fuertes movimientos sociales por la reapropiación de los recursos naturales: las guerras del gas han sacudido al país en 2003, 2004 y nuevamente en 2005; por otro lado, las guerras del agua han trastornado la gestión de este recurso en 2000 en Cochabamba y después en 2005 en El Alto.

Las guerras del agua designan insurrecciones populares que han tenido lugar en Cochabamba y en La Paz-El Alto. Tuvieron como consecuencia la ruptura de los contratos de gestión del agua con las empresas privadas Bechtel y Suez. Este movimiento se inscribe en un replanteamiento de la privatización de las empresas públicas de gestión y de distribución del agua, entablada por las instituciones financieras internacionales en los países en vías de desarrollo en la segunda mitad de los años 1990.

---

## 2.1. LA GUERRA DEL AGUA DE COCHABAMBA 1999-2000

El 4 de septiembre de 1999, el gobierno boliviano concede la gestión del agua en el valle de Cochabamba a *Aguas del Tunari*, un consorcio manejado en un 55 % por *International Water Limited*, propiedad de la firma privada americana *Bechtel*, por una duración de cuarenta años. Simultáneamente, el gobierno del presidente Hugo Banzer promulga la ley sobre el agua potable y el saneamiento (*Ley n°2029-1997*), destinada a facilitar la liberación del sector del agua en Bolivia. Como resultado de esta ley, en enero de 2000, los precios del agua habían aumentado aproximadamente en un 35 % en promedio (más del 100% en ciertos casos).

El aumento de los precios del agua, así como la privatización del servicio provocaron importantes protestas apoyadas por corporaciones profesionales, asociaciones de barrios, sindicatos de empresas y de campesinos. La *Coordinadora en defensa del agua y de la vida* (plataforma sindical opuesta a la privatización), se organizó como dirigente del movimiento contestatario y lanzó un movimiento exigiendo la salida de Aguas del Tunari y modificaciones radicales de la nueva ley. Ante la magnitud y la duración de la movilización, el gobierno se vio obligado a anular el contrato de concesión firmado con la compañía *Bechtel*, y a modificar la ley sobre el agua potable y el saneamiento (De la Fuente, 2002).

---

## 2.1. LA GUERRA DEL AGUA DE LA PAZ-EL ALTO 2002-2007

En 1997, el consorcio Aguas del Illimani, mayoritariamente administrado por el grupo Suez, obtuvo la concesión de la gestión del agua de la aglomeración de La Paz-El Alto por una duración de 30 años. Uno de los objetivos era mejorar las infraestructuras y favorecer el acceso al recurso. El contrato prometía nuevas conexiones pero a fines del año 2004, entre 160 000 a 200 000 alteños aún no tenían acceso al agua (Perreira, 2007). Las asociaciones de barrios se organizaron en federaciones, principalmente con la FEJUVE (Federación de Juntas Vecinales), y manifestaron sus desacuerdos con la empresa por la insuficiente cobertura de la red, los precios de empalme a la red y los precios del consumo de agua potable.

En 2002, la presión popular se hizo más fuerte, obligando al gobierno de Carlos Mesa a negociar con la FEJUVE que obtuvo, en 2005, la anulación del contrato de concesión y la instalación de una nueva estructura institucional responsable de la distribución del agua. En 2006, la elección de Evo Morales (líder sindical unido a la Coordinadora de Cochabamba) a la presidencia de la República, une la causa de la FEJUVE a la del gobierno.

En 2007, la negociación para el retiro de Suez termina en su partida, por medio de una compensación financiera (Hardy, 2009). En efecto, el gobierno boliviano pagó US\$ 5,5 millones para compensar las pérdidas de beneficios, así como US\$ 9,5 millones de deudas que tenía AISA con instituciones financieras multilaterales (Spronk, 2005 y 2008). Reemplazó a AISA S.A. por una nueva compañía de agua: EPSAS S.A. (Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento, Sociedad Anónima) que aún debe pagar con la mitad de las ganancias las deudas contraídas anteriormente, lo que deja a la actual empresa con pocos fondos financieros sobre todo cuando hay que restablecer rápidamente una situación de crisis como fue el caso en febrero de 2008 (Hardy, 2009).

### 3. NACIONALIZACIÓN Y REFORMA INSTITUCIONAL DEL SECTOR DEL AGUA

En 2006, el Movimiento al Socialismo (MAS) llegó al poder con Evo Morales a la cabeza, quien inició una reforma del sector del agua para la instalación de nuevas instituciones. El 28 de febrero, el gobierno de Evo Morales creó el Ministerio del Agua, nombrando como ministro a Abel Mamani, uno de los líderes de las manifestaciones durante la guerra del agua en El Alto. El ministerio del agua tiene como misión realizar una gestión equitativa, participativa y sostenible de los recursos hídricos y de los servicios correspondientes. El objetivo es satisfacer las necesidades de la población en cuanto a cantidad y calidad de agua suficiente para el consumo de los hogares como para las actividades productoras respetando el medio ambiente. La meta que se fijó el gobierno de Evo Morales era hacer de la gestión del agua una responsabilidad nacional. Creando el ministerio del agua, los temas de gestión ligados a este recurso han pasado al dominio público.

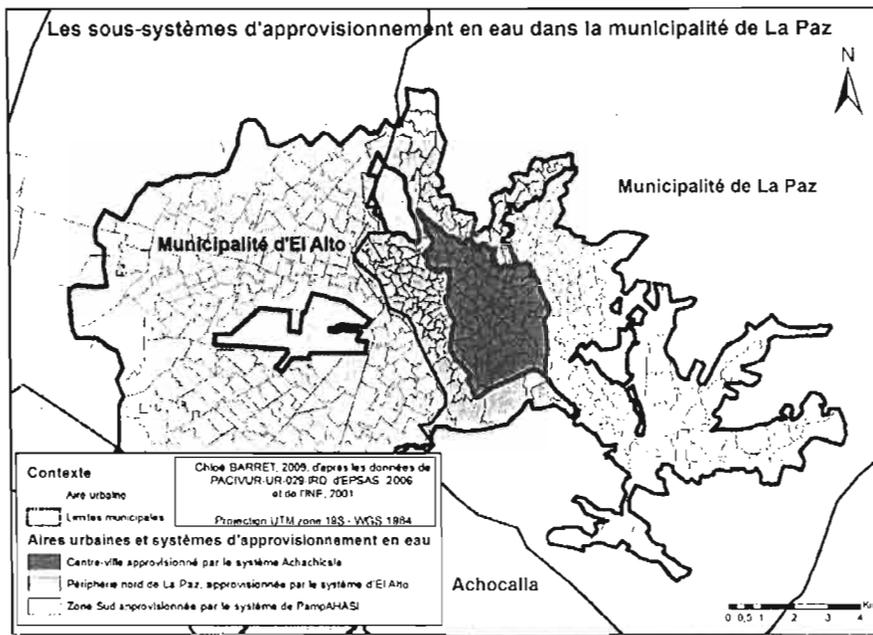
A nivel local, la gestión del agua, en la aglomeración La Paz-El Alto, fue confiada a la empresa pública EPSAS, heredera de la empresa AISA. La FEJUVE defendió el proyecto de "una empresa pública con participación social". El modelo de empresa presentado por la FEJUVE buscaba un reequilibrio de las tarifas a través de un sistema de subvenciones indirectas hacia los usuarios más despojados y una mayor participación de los usuarios en la gestión de la empresa.

De esta manera, los diferentes sistemas de gestión que se fueron sucediendo en La Paz y El Alto muestran que el problema del acceso al recurso no depende solamente de la oferta disponible. El acceso a un abastecimiento de agua mejorado depende de la distribución y del establecimiento de una gestión adecuada de este recurso (PNUD, 2008).

### 4. VARIOS MODOS DE ABASTECIMIENTO EN LA AGLOMERACIÓN PACEÑA

Coexisten varios modos de abastecimiento de agua en la aglomeración paceña. Lo esencial de la producción del agua potable está garantizado por "el gran sistema" o el sistema principal, que está constituido de tres grandes subsistemas: El Alto, Achachicala y Pampahasi (figura 4). El sistema principal es administrado por la empresa EPSAS S.A.

Figura 4: Los subsistemas de abastecimiento de agua en el municipio de La Paz



Según los datos del censo de la población de 2001, el 92% de la población de aglomeración tiene acceso al agua potable por canalización a través del gran sistema (INE, 2001). Si se observa los subsistemas Achachicala y Pampahasi, se constata que (figura 5):

- El centro urbano y los barrios centrales de la zona Sur están bien abastecidos de agua potable;
- los barrios que presentan el acceso más bajo al agua potable se encuentran en la periferia de la aglomeración. Se distingue especialmente los barrios de Llojeta en las vertientes oeste de la ciudad, donde el 54% de los hogares no tienen ninguna conexión a una red de agua, así como los barrios de Pasankeri y de Rosal Norte, al límite del municipio de El Alto, respectivamente con el 28% y el 48% de los hogares sin acceso al agua potable por canalización. Al norte, los sectores de la Autopista y de Pura Pura también están mal comunicados por las redes de agua de la ciudad: sólo el 48% de los hogares tienen acceso al servicio básico. En las vertientes este de la ciudad, el barrio de Villa Copacabana se distingue con más del 60% de los hogares privados de acceso al agua corriente. En la zona Sur, los barrios más desfavorecidos en cuanto al acceso a estos servicios se sitúan por encima de Chasquipampa: con más del 50% de la población está privada de agua en Ovejuyo y más del 60% en el sector de Alto Ovejuyo. Según los datos del censo de población, el 8% de la población total de la aglomeración no tiene acceso al agua potable por canalización. La ausencia de los servicios elementales en los barrios citados anteriormente puede explicarse por la rápida extensión urbana, la informalidad

de estos barrios, los bajos recursos financieros de los habitantes, o incluso por las condiciones topográficas que hacen imposible la extensión de la red de abastecimiento.

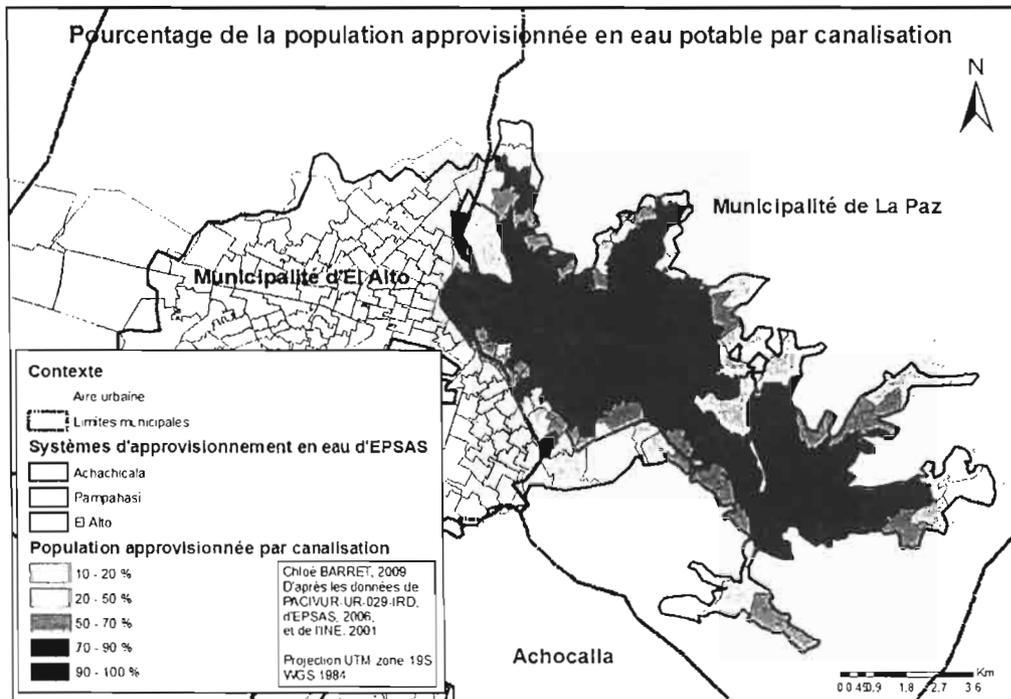


Figura 5: Porcentaje de la población abastecida de agua potable por canalización

En las zonas que no tienen acceso al agua potable por canalización a través del gran sistema administrado por EPSAS (figura 5), se encuentran varias modalidades de abastecimiento alternativas: algunos barrios disponen de un modo de abastecimiento de agua potable indirecto por medio de tomas de aguas públicas o por entrega de agua potable por camión cisterna. Otros se abastecen generalmente por medio de pozos comunitarios o privados, directamente en los cursos de agua, o captando agua subterránea de una fuente. Estas formas de abastecimiento alternativas se presentan más o menos organizadas: del pozo individual, de la asociación de barrio hasta la cooperativa de agua, se encuentran formas de gestión comunitaria bastante diferentes.

## II. LA VULNERABILIDAD DE LOS DOS SUBSISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE LA PAZ: ACHACHICALA Y PAMPAHASI

### 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS DOS SUBSISTEMAS ACHACHICALA Y PAMPAHASI

#### 1.1. EL GRAN SISTEMA

El sistema de abastecimiento de agua de la aglomeración es bastante complejo: no distingue los límites de las dos ciudades, ya que La Paz y El Alto constituían el mismo municipio hasta 1988. No obstante, tres subsistemas son identificables, correspondientes a tres zonas de abastecimiento diferentes (Cuadro 1): Milluni-Achachicala, Hampaturi-Pampahasi y Tuni-Condoriri-Tilata-El Alto.

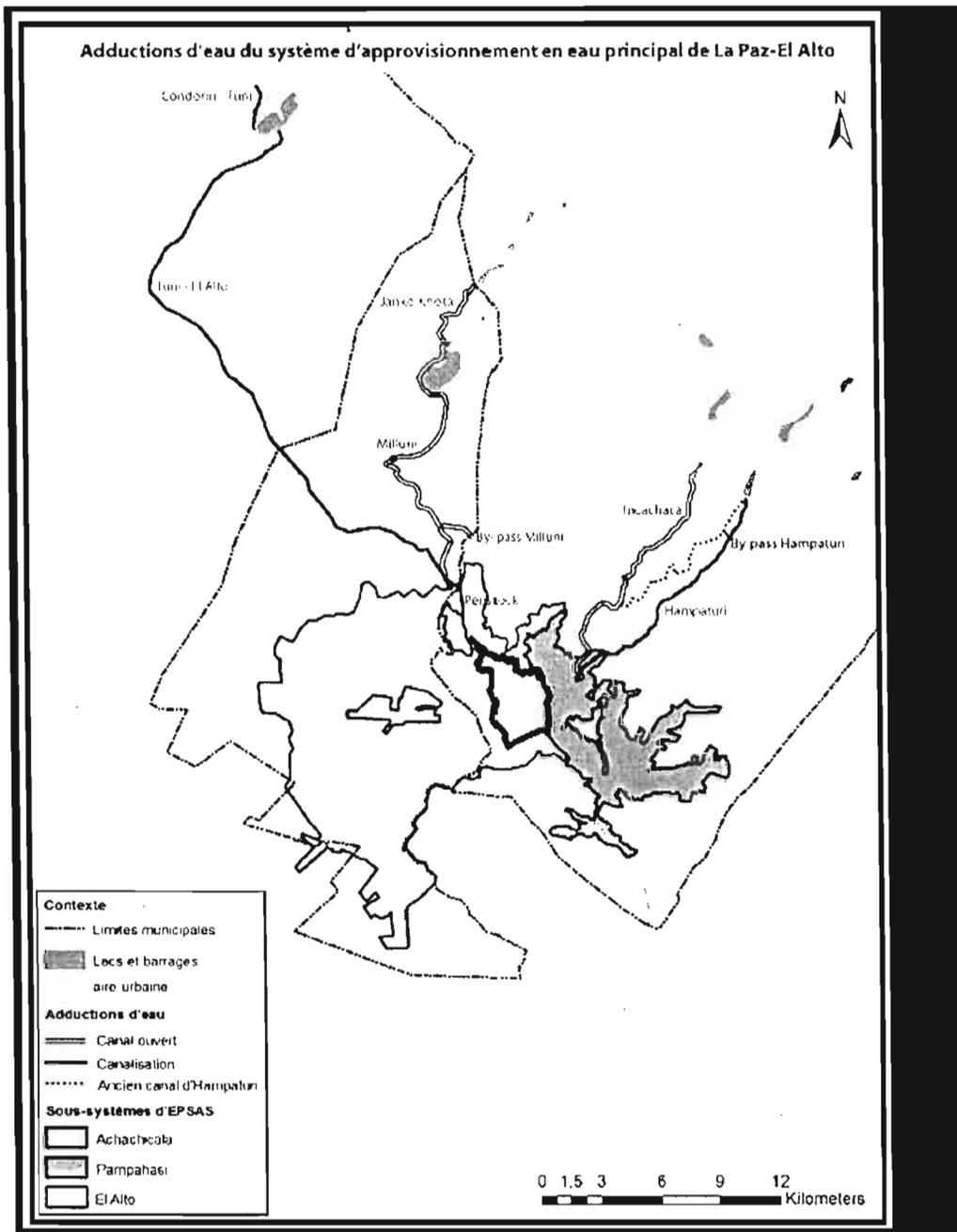
Sistemas	Fuente	Planta de potabilización	Zona de cobertura
Achachicala	Represa Milluni Río Choqueyapu	Achachicala	Centro de La Paz
Pampahasi	Represa Incachaca Represa Hampaturi Represa Ajuankhota	Pampahasi	Barrio Miraflores de La Paz, vertientes oriental y sur de la Paz
El Alto	Represa Tuni Condoriri Río Huayna Potosí	El Alto	Meseta de El Alto. Vertiente (El Alto y La Paz)
Tilata	Pozos de Tilata	Tilata	Meseta sureste de El Alto

Cuadro 1: Servicio de los diferentes subsistemas de abastecimiento de agua potable de la aglomeración paceña

En 2010, el abastecimiento de agua de la aglomeración paceña depende mucho de la captación de la escorrentía del agua pluvial desde las cuencas vertientes de las montañas cercanas (capítulo I.1.1.).

El sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de La Paz está constituido de cuatro cuencas hidrológicas. De Norte a Sur, las cuencas son: Tuni - Condoriri, Milluni, Hampaturi e Incachaca. El agua recolectada en cada una de las cuencas de drenaje es conducida hacia tres plantas de tratamiento. La planta El Alto recibe el agua de Tuni Condoriri, la planta de Achachicala recibe el agua de Milluni y la planta de Pampahasi recibe el agua de Hampaturi e Incachaca (RAMIREZ et al. 2007). Una cuarta planta de potabilización del agua recibe el agua de los pozos de Tilata, en el Altiplano (figura 6) (Hardy, 2009).

Figura 6: Represas y toma de agua del sistema de abastecimiento de agua de La Paz-El Alto



Fuente: C. Barret, 2009

El estudio que nos proponemos llevar a cabo se limita a los subsistemas Achachicala y Pampahasi, el subsistema El Alto ya fue objeto de esta investigación en 2007-2008 (Hardy, 2009).

El abastecimiento de agua potable de un espacio resulta de tres grandes operaciones: la captación y la toma del agua hasta una planta de potabilización, el tratamiento del agua para hacerla potable y, finalmente, la distribución al consumidor a través de una red de embalses de almacenamiento y de canalizaciones de distribución.

Si bien las canalizaciones que conectan los consumidores a la red de agua presentan factores de vulnerabilidad (fugas, deterioros durante trabajo en la red caminera, etc.), la multiplicidad de las conexiones dentro de la red en esta escala permite, por intermedio de transferencias al interior de la red de distribución, garantizar cierta continuidad del servicio en caso de disfuncionamiento. Por lo tanto, el estudio de la vulnerabilidad del sistema se concentrará en este caso únicamente en los elementos esenciales de la producción de agua potable, de su captación a su almacenamiento, es decir las represas que retienen el agua, las tomas de la represa de agua hasta la planta de potabilización. En efecto, la avería de uno de estos elementos compromete el abastecimiento de agua del conjunto de un subsistema.

## 2. CARACTERÍSTICA DEL SUBSISTEMA ACHACHICALA

El subsistema de Achachicala es el más antiguo de los tres subsistemas de EPSAS. Con una capacidad de 11 000 000 m<sup>3</sup>, da servicio al centro de la aglomeración. Es el subsistema de abastecimiento de agua de La Paz menos afectado por los problemas de extensión de la red. En efecto, la cobertura del centro de la aglomeración, densamente urbanizado y rodeado por la zona sur y la zona llamada de las "laderas" (barrios periféricos situados en las vertientes al norte y al oeste de la ciudad), no presenta ninguna extensión posible. Este conjunto, que agrupa a un gran número de edificios de oficinas, es menos residencial que otros. La demanda de agua no aumenta en este lugar.

### 2.1. LAS FUENTES DE CAPTACIÓN DEL AGUA

<b>Represas de agua</b>	<b>Milluni-Jankokhota</b>
<b>Año de construcción</b>	1935 (funciona desde 1940)
<b>Altitud</b>	4533 m
<b>Capacidad</b>	11 000 000 m <sup>3</sup>

Cuadro 2: Características de las represas de agua del subsistema Achachicala

El agua de escorrentía pluvial captada y almacenada en dos represas: Jankhokota y Milluni. Este sistema capta también el agua de un curso de agua: el Choqueyapu (cuadro 2). La represa Jankhotkota es una laguna natural. Las aguas son de origen pluvial y glaciar y son de buena calidad. El lago de Milluni es un lago artificial y las aguas de origen pluvial están muy contaminadas por metales pesados debido a la presencia de minas más arriba (capítulo II. 6.1.1.). En cuanto al Choqueyapu, en temporada de lluvias, el nivel de turbidez del agua es elevado debido a la fuerte erosión de su lecho. En promedio, el 80% del agua tratada en la planta de potabilización Achachicala proviene de las represas de agua Milluni y Jankhokota y el 20% del río Choqueyapu. Estos datos varían en función del periodo del año. En temporada de lluvias, el aporte del río Choqueyapu es más importante.

## 2.2. EL SISTEMA DE TOMA DE AGUA

Toma	Jankhokota- Canal de Milluni	Canal de Milluni: Milluni-Embalse de Forebay	Penstock: Embalse de Forebay- Planta Achachicala	By- pass Milluni: Milluni- Choqueyapu	Choqueyapu- Planta Achachicala
Años de construcción	1983	1940	1940	1998	Comienzo de los años 1970
Tipo de toma	Canal de piedra y tierra de 1200mm de diámetro	Canal de piedra y tierra	Canalización en acero de 800mm de diámetro	Canal de piedra y cemento en 1,7km + Canalización de 800mm de diámetro en 300m	Canalización de 800mm de diámetro
Longitud	8,3km	13km	1,2km	2km	0,5km
Capacidad máxima de transporte	200L/s	1200L/s	1200L/s	1000L/s	800L/s
Caudales medios utilizados por EPSAS (en 2008)	Ausencia de datos	530L/s	530L/s	Ausencia de datos	100L/s
Caudales máximos utilizados por EPSAS (en 2008)	Ausencia de datos	700L/s	700L/s	Ausencia de datos	700L/s

Cuadro 3: Características del sistema de toma del subsistema Achachicala

Se distingue dos ramas de toma (cuadro 3):

- La rama principal une las represas de agua a la planta de potabilización Achachicala. El agua de Jankhokota es transportada por un canal de piedra y tierra de 8,3km hasta la entrada del canal de Milluni. En este lugar, las aguas del Milluni son captadas y transportadas a través del canal de Milluni hasta el embalse Forebay (primera cuenca de decantación). En el canal de Milluni, las aguas provenientes de la represa Milluni y la de Jankhokota se mezclan. En temporada de lluvias,

el 30% del agua dentro del canal de Milluni proviene del agua de la laguna Jankholota y el 70% del lago de represa de Milluni. En temporada seca, el aporte de agua de Jankhokota es reducido hasta alcanzar un mínimo de 10%. La toma Milluni-Forebay es un canal a cielo abierto de piedra y cemento de 13 km. Pasa por un molino de cal (la caldera Milluni) donde se realiza un primer tratamiento del agua. A nivel del embalse Forebay, el agua pasa por una primera cuenca de decantación antes de llegar a la estación de potabilización a través de una canalización de acero llamada la canalización Penstock.

- La rama secundaria permite el traslado del agua del río Choqueyapu hasta la planta de potabilización Achachicala a través de una canalización de acero de 0,5 km.
- Entre Milluni y el molino de cal, el by pass Milluni-Choqueyapu permite la derivación del agua proveniente de Milluni y de Jankhokota hasta el río Choqueyapu. Esto permite controlar el caudal de entrada de las aguas de Milluni, derivando el excedente hacia el curso de agua. También es utilizado en casos de disfuncionamiento o en casos de trabajos de mantenimiento en la canalización Penstock.

### 2.3. LA ESTACIÓN DE POTABILIZACIÓN ACHACHICALA

<b>Año de construcción</b>	1935 + ampliación en 1971
<b>Capacidad de tratamiento</b>	1 000 L/s
<b>Producción media</b>	515 L/s
<b>Capacidad de almacenamiento</b>	10 000 m <sup>3</sup> (2x 5 000 m <sup>3</sup> )

Cuadro 4: Características de la estación de potabilización Achachicala

La planta Achachicala trata las aguas provenientes de las represas Jankokhota y Milluni, así como las del río Choqueyapu, las cuales llegan por el canal de Milluni y la canalización Choqueyapu respectivamente.

Es la primera planta de potabilización construida en la aglomeración de La Paz. Opera desde 1935 y fue extendida en 1971. Produce en promedio 515L/s de agua potable (cuadro 4), y distribuye 44 539 m<sup>3</sup> de agua potable por día (EPSAS, 2010). La planta abastece a 208 101 habitantes, en el centro de la ciudad de La Paz (EPSAS, 2010). Los principales procesos que se operan en la planta para potabilizar el agua son: la presedimentación, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección.

### 3. CARACTERISTICAS DEL SUBSISTEMA PAMPAHASI

El subsistema Pampahasi es operativo desde 1945; está conectado al barrio de Miraflores y las vertientes orientales y sur de La Paz. Inversamente al subsistema Achachicala, debe adaptarse a una rápida extensión urbana, particularmente en la zona Sur. Con dos fuentes de abastecimiento distintas, a primera vista parece presentar alternativas de funcionamiento interesantes. Pero la crisis ocurrida en febrero de 2008 ha puesto de relieve la vulnerabilidad de este sistema (capítulo II. 7.1.2), así como la falta de preparación para una situación semejante (Hardy, 2009).

#### 3.1. LAS FUENTES DE CAPTACIÓN DEL AGUA

Lagos artificiales	Hampaturi - Ajuan Khota	Incachaca - Kinquillosa - Estrellani
Año de construcción	1945	1990
Altitud	4 203 m	4 369 m
Capacidad	3 500 000 m <sup>3</sup>	4 600 000 m <sup>3</sup>

Cuadro 5: Características de las represas de agua del subsistema Pampahasi

La producción de agua se realiza a partir de aguas de la escorrentía pluvial superficial y de los aportes secundarios de los glaciares del valle de Zongo. Para la captación de agua, se explotan dos sub cuencas de drenaje: Incachaca y Hampaturi.

Dentro de la cuenca de drenaje Incachaca, se utilizan 3 represas de agua: de arriba hacia abajo: Estrellani, Kinquillosa e Incachaca. Las represas Estrellani y Kinquillosa son lagunas naturales que contribuyen a la alimentación del lago de represa Incachaca. El aporte de agua de esta cuenca de drenaje representa alrededor del 25% del abastecimiento de agua potable de la zona comunicada por el subsistema Pampahasi.

Dentro de la cuenca de drenaje Hampaturi, se explotan dos lagos de represa: de arriba hacia abajo: Ajuankhota y Hampaturi. El agua de Ajuankhota fluye de manera natural hasta la represa Hampaturi. El aporte de agua de esta cuenca de drenaje, más rico que la cuenca de drenaje Incachaca, representa alrededor del 75%.

### 3.2. EL SISTEMA DE TOMA DE AGUA

Toma	Canal de Incachaca: Incachaca - Planta Pampahasi	Canal Hampaturi: Hampaturi- Planta Pampahasi	Antiguo canal	By-pass Hampaturi (antiguo canal EIP)
Año de construcción	1945	1993	1945	2008
Tipo de toma	Canal de piedra y cemento hasta el dragador luego 2 canalizaciones de acero de 350 y 250mm de diámetro	Canalización de acero de 800mm de diámetro	Canal semiabierto de piedra y cemento. Algunos tramos han sido reemplazados por una canalización de hierro	4 canalizaciones paralelas de PVC de 250mm de diámetro
Longitud	12km + 3km	13,5km	17,7km	0,547km
Capacidad máxima de transporte	300L/s luego 380L/s	1400L/s	280L/s	400L/s
Caudales medios utilizados por EPSAS (en 2008)	220L/s	390L/s	Utilizado solamente en caso de problemas en la toma de Hampaturi	Utilizado solamente en caso de problemas en la toma de Hampaturi
Caudales máximos utilizados por EPSAS (en 2008)	300L/s	920L/s	Ausencia de datos	Ausencia de datos

Cuadro 6: Características de toma del subsistema Pampahasi

Se distinguen dos ramas principales que permiten la toma de las aguas de la cuenca de drenaje Incachaca y de la cuenca de drenaje Hampaturi (cuadro 6):

- La primera toma permite el encauzamiento del agua desde el lago de represa Incachaca hasta la planta de potabilización Pampahasi, por un canal de cemento con tramos a cielo abierto y otros cubiertos, hasta el dragador, a medio recorrido, luego por dos canalizaciones de acero de 350 mm y de 150 mm de diámetro. Esta toma, llamada canal Incachaca, tiene una longitud total de 15km.
- El agua de Ajuankhota desemboca en la represa de Hampaturi por un curso de agua, luego una segunda toma permite encauzar el agua de Hampaturi hasta la planta de potabilización de

Pampahasi, a través de una canalización de acero de 800 mm de diámetro y de 13,5 km de longitud. La canalización pasa por una estación rompecarga que permite la regulación de la presión en la canalización.

- El antiguo canal Hampaturi permitía encauzar el agua hasta la planta de potabilización a través de un tramo del canal de Incachaca. Algunas partes del canal, al estar muy expuesto a los deslizamientos de terreno en los años 70, fueron reemplazadas por canalizaciones de acero de 800 mm. Finalmente, el canal fue abandonado en 1993.
- Luego de la ruptura de la canalización Hampaturi, en enero de 2008, se instaló un by pass que permite unir el antiguo canal de Hampaturi a la estación rompecarga situada a nivel de la canalización Hampaturi. Los primeros tramos del antiguo canal están en buen estado, lo que permite encauzar el agua hasta la entrada del by pass. Este tramo está constituido de 4 canalizaciones en PVC y es de una longitud de aproximadamente 0,5 km. Se lo utiliza en caso de fallas o de trabajos de mantenimiento en la parte Hampaturi-estación rompecarga de la canalización del mismo nombre.

### 3.3. LA ESTACIÓN DE POTABILIZACION PAMPAHASI

<b>Año de construcción</b>	1971
<b>Capacidad de tratamiento</b>	705 L/s
<b>Producción anual</b>	600 L/s
<b>Capacidad de almacenamiento</b>	7500 m <sup>3</sup> (3x 2 500 m <sup>3</sup> )

Cuadro 7: Características de la estación de potabilización Pampahasi

La planta Pampahasi trata las aguas provenientes de las represas Ajuankhota, Hampaturi e Incachaca que llegan por la canalización Hampaturi y por el canal Incachaca.

Esta planta opera desde 1971. Produce en promedio 600L/s de agua potable, y distribuye 51 867 m<sup>3</sup> de agua potable por día (EPSAS, 2010). Abastece a 319 228 habitantes, en el barrio de Miraflores de La Paz, las vertientes orientales y sur de la Paz (EPSAS, 2010). Los principales procesos que se efectúan en la planta para volver el agua potable son la disipación de energía, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección.

#### 4. CAMBIO CLIMÁTICO E INCERTIDUMBRE EN LAS CANTIDADES DE AGUA DISPONIBLES

El cambio climático actual genera un retroceso glaciar acelerado y una irregularidad de las precipitaciones, lo que afecta directamente la disponibilidad del recurso agua para el abastecimiento de las zonas conectadas al subsistema Achachicala y Pampahasi.

---

##### 4.1. EL RETROCESO GLACIAR

Se ha observado una aceleración del retroceso glaciar en los Andes bolivianos desde los años 80. Nos proponemos comprender el impacto que tiene este retroceso sobre el recurso agua.

El subsistema Achachicala es alimentado por las represas de agua de las cuencas de drenaje de Milluni y el subsistema Pampahasi por las represas de las cuencas de drenaje de Hampaturi y de Incachaca (capítulo II.1.1). A fin de determinar la parte glaciar en las cantidades de agua disponible para alimentar estos dos subsistemas, conviene hacer la distinción entre el agua proveniente de los glaciares, dicho de otra manera el aporte de las superficies glaciales y el agua proveniente de otras fuentes (lluvias, resurgencias y zonas húmedas), es decir el aporte de las superficies no glaciales.

La primera cuantificación de la importancia de los glaciares en términos de recursos de agua potable para la aglomeración paceña fue evaluada por A. Soruco, a partir de la evaluación de balances de masa de 21 glaciares, gracias a la técnica de fotogrametría aérea (Soruco, 2008). El cálculo de los aportes de agua de los glaciares al sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de La Paz, se hizo a partir de 5 variables: El balance de masa, las precipitaciones, la sublimación, el coeficiente de escorrentía y las superficies glaciales y no glaciales de las diferentes cuencas. Sólo presentamos aquí los resultados finales.

##### 4.1.1. CONTRIBUCIÓN DE LOS GLACIARES AL APORTE DE LAS CUENCAS DE MILLUNI, HAMPATURI E INCACHACA

Se diferenciará aquí la contribución de los glaciares en el año, en temporada seca y en temporada de lluvias, ya que los aportes hídricos entre las dos temporadas son muy diferentes.

Cuadro 8: Contribución de los glaciares a las subcuencas Achachicala y Pampahasi en el periodo 1997-2006

	Cuenca Milluni			Cuenca Hampaturi			Cuenca Incachaca		
	Anual	Temporada húmeda	Temporada seca	Anual	Temporada húmeda	Temporada seca	Anual	Temporada húmeda	Temporada seca
Cuenca (en M m3/año)	25,12	20,8	4,3	22	18	4	7,2	5,8	1,4
Superficie glacial en M m3/año)	1,7	1,1	0,58	2,5	1,7	0,86	1,5	0,97	0,5
Contribución de la superficie glacial	7%	5%	13%	12%	9%	22%	20%	17%	36%

Fuente: según la tesis de A. Soruco, 2008

Según el estudio de A. Soruco (2008) (cuadro 9):

- El aporte glaciar de la cuenca de Milluni es del 7% en promedio sobre la totalidad del recurso de agua disponible en la represa que alimenta la estación de potabilización de Achachicala.
- El aporte glaciar de las cuencas Hampaturi e Incachaca es del 4% en promedio sobre la totalidad del recurso de agua disponible que alimenta la planta de potabilización de Pampahasi.

A continuación, la cuantificación de los caudales de los subsistemas de abastecimiento Achachicala y Pampahasi se calcula considerando la desaparición total de los glaciares de las cuencas de Milluni, Hampaturi e Incachaca.

Cuadro 9: Cuantificación esperada cuando los glaciares hayan desaparecido en las cuencas hidrológicas que alimentan los subsistemas Achachicala y Pampahasi

	Cuenca Milluni			Cuenca Hampaturi			Cuenca Incachaca		
	Anual	Temporada húmeda	Temporada seca	Anual	Temporada húmeda	Temporada seca	Anual	Temporada húmeda	Temporada seca
Aporte actual de la cuenca en M m3/año	25,12	20,8	4,3	22	18	4	7,2	5,8	1,4
Aporte sin los glaciares en M m3/año	23,9	20	3,8	20	16,8	3,2	6	5,1	0,97
Disminución del caudal	-5%	-4%	-12%	-9%	-7%	-20%	-17%	-12%	-31%

Fuente: Tesis de A.Soruco

Según el estudio de A. Soruco (2008) (cuadro 10):

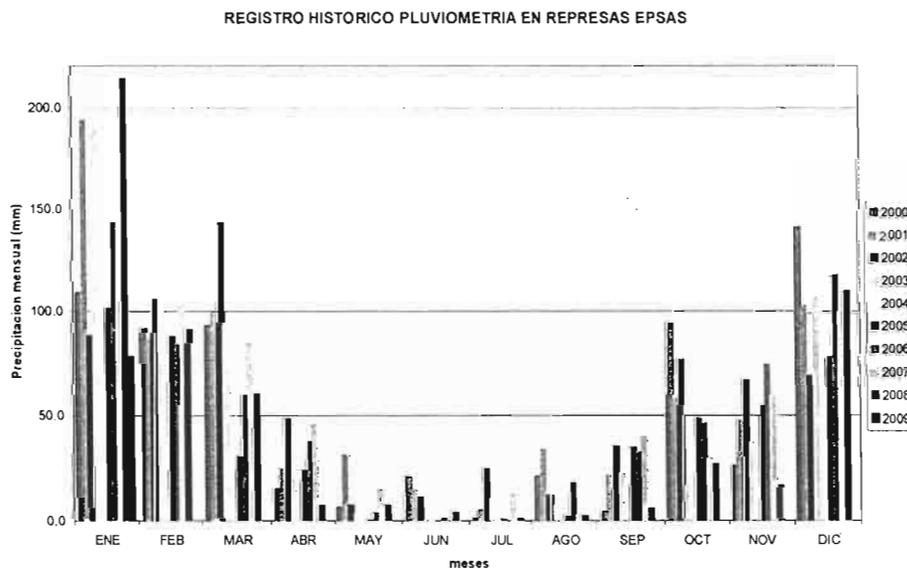
- El deshielo total de los glaciares de la cuenca de Milluni supondrá una disminución del 5% del caudal de agua a nivel del subsistema Achachicala, con una disminución del 12% en temporada seca.
- El deshielo total de los glaciares de las cuencas Hampaturi e Incachaca supone una disminución del 11% del caudal de agua a nivel del subsistema Pampahasi, con una disminución del 31% en temporada seca para la cuenca Incachaca.

Considerando las cuatro cuencas hidrológicas que alimentan la aglomeración de La Paz, parece que, en caso de desaparición de los glaciares, la disminución de agua potable disponible sería del 12% para el conjunto del sistema de abastecimiento (9% durante la temporada húmeda y 24% durante la temporada seca). Esto volvería vulnerable al gran sistema.

#### 4.2. IRREGULARIDAD DE LAS PRECIPITACIONES

De esta manera, el agua de las represas utilizadas para el abastecimiento de agua potable de los subsistemas Achachicala y Pampahasi es en su mayoría de origen pluvial. Ahora bien, la reciente acentuación del retroceso de los glaciares andinos corresponde también a una mayor frecuencia de los eventos El Niño. Durante los episodios El Niño, las precipitaciones anuales son deficitarias y la temperatura promedio aumenta.

Figura 7: Registro histórico pluviométrico a nivel de las represas de la empresa EPSAS



Fuente: EPSAS, Plan de contingencia, evento climático sequía, 2009



Figura 8: Represa Hampaturi, EPSAS, 2009

Se constata que las precipitaciones varían en el transcurso de un año: bajas precipitaciones en temporada seca, de abril a septiembre; y fuertes precipitaciones en temporada de lluvias, de octubre a marzo, (figura 8).

Se observa también irregularidades de un año al otro. Por ejemplo, en enero de 2008, la cantidad de agua caída es superior a 200 mm, mientras que en enero 2009 la cantidad de agua caída es de aproximadamente 80 mm. En enero 2008, la temporada de lluvias comenzó más tarde que en años anteriores, con muy bajas precipitaciones en octubre y en noviembre (figura 8). De esta manera, la irregularidad de las precipitaciones, con el aumento de la frecuencia de fenómenos extremos, puede conducir a la sequía de las represas de agua (figura 9), a inundaciones o

lavas torrenciales de mayor magnitud y de manera más frecuente. Por lo tanto es necesario ver si los diferentes elementos del sistema de abastecimiento de agua potable son vulnerables o no a estos fenómenos extremos.

## 5. METODOLOGÍA DE LAS MATRICES

El análisis, cuya metodología se explicará, apunta a aumentar la seguridad del sistema de abastecimiento de agua potable de los dos subsistemas, Achachicala y Pampahasi, del subsistema de abastecimiento de agua potable de la aglomeración paceña. Su objetivo es "comprender lo que hace vulnerable al sistema de abastecimiento de agua potable de la aglomeración de La Paz, a fin de anticipar mejor los diversos problemas y fallas posibles" (Hardy, 2009).

El estudio consiste en analizar la vulnerabilidad de los principales elementos de los dos subsistemas, según diferentes factores. Esto se basa primero en la adaptación a estos dos subsistemas de una metodología puesta a punto en Quito (D'ERCOLE, METZGER, 2004), apuntando a descomponer el sistema según sus elementos esenciales, sin los cuales el abastecimiento de agua potable sería imposible. Esta descomposición pretende aclarar las fallas potenciales del sistema. El método implica la construcción de matrices que permitan apreciar las diferentes formas de vulnerabilidad.

Se podrá dividir estas formas en dos categorías: las que acentúan la vulnerabilidad del sistema y las que tienden a reducirlo:

- Los factores que acentúan la vulnerabilidad serán expuestos en tres matrices :
  - la exposición de los elementos a amenazas que son externas al sistema de abastecimiento (fenómenos torrenciales, inundaciones, movimientos de masa, contaminación, sequía y actividades humanas);
  - las dependencias de los elementos a otros elementos (productos químicos, electricidad, telecomunicaciones);
  - la vulnerabilidad intrínseca del subsistema (antigüedad de las infraestructuras relacionada a su duración de vida útil, experiencia técnica y estado de funcionamiento).
- Los factores que tienden a reducir la vulnerabilidad de estos elementos en una sola matriz comprenden:
  - la capacidad de control de los elementos;
  - el nivel de preparación en una situación de crisis;
  - las eventuales alternativas de funcionamiento.

Los elementos a considerar en este análisis son las represas que permiten constituir reservas de agua durante la temporada de lluvias, las líneas de toma y las plantas de potabilización del agua.

El trabajo de adaptación del método a los terrenos paceños, particularmente la búsqueda de la escala pertinente, el análisis y la identificación de los elementos se realizó a partir de entrevistas con los técnicos de la empresa EPSAS, de viajes de campo a los sitios de la empresa y el análisis de diversos documentos de la empresa (plan de contingencia, informe sobre el mantenimiento de las infraestructuras, etc.). A continuación, junto con los técnicos de EPSAS, se atribuyó un valor de vulnerabilidad a cada elemento, a partir de los datos disponibles de cada elemento y por comparación de los elementos entre sí. Este valor comprende entre 0 y 3; 0 corresponde a una vulnerabilidad nula de color blanco; 1 corresponde a una vulnerabilidad pequeña de color amarillo; 2 corresponde a una vulnerabilidad media de color anaranjado; y 3 corresponde a una vulnerabilidad fuerte de color rojo.

“Esta metodología de evaluación por matriz proporciona por lo tanto al asociado un panorama de las debilidades de los elementos de su sistema de abastecimiento de agua. El proyecto pretende aportar a la empresa EPSAS conocimientos útiles y utilizables a corto plazo” (Hardy, 2009).

Por lo tanto, se trata de aportar un diagnóstico suficientemente concreto para prevenir eventuales fallas de los dos subsistemas de abastecimiento de agua potable.

## 6. VULNERABILIDAD DEL SUBSISTEMA ACHACHICALA

### 6.1. EXPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS A AMENAZAS EXTERNA Y TENDENCIA AL DE DETERIORO

#### 6.1.1. REPRESAS DE AGUA

Retenues d'eau		
Exposition et susceptibilité d'endommagement	Lagune Jankokhota	Lac de barrage Milluni
Phénomènes torrentiels	0	0
Inondations	0	1
Glissements de masse	0	2
Contamination	0	
Sècheresse	2	2
Mouvements sociaux	0	1
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Cuadro 10: Exposición de las represas de agua del subsistema Achachachicala a amenazas externas

#### LAGUNA JANKOKHOTA

Las aguas de la laguna Jankokhota son de buena calidad y la cuenca no está expuesta a los sucesos extremos como los flujos de fango, las inundaciones o los deslizamientos de masa. No obstante, es susceptible de secarse en ausencia prolongada de precipitaciones. Se observará también que el sitio no está protegido y de difícil acceso, lo que aumenta su vulnerabilidad a las actividades humanas (cuadro 11).

#### LAGO DE REPRESA DE MILLUNI

La represa de Milluni está muy contaminada por los residuos mineros, lo que constituye un problema importante (cuadro 11). La historia minera de esta represa ya es antigua. Las primeras explotaciones mineras se remontan a la conquista de América: los españoles, a su llegada extrajeron plata de la mina de Huayna Potosí, la cual quedó abandonada durante varios años antes del descubrimiento de estaño en la región. Recién en 1960 COMSUR S.A. 11 reactivó su explotación, actual propietario que ha administrado la explotación de estaño, de zinc y de plomo hasta comienzos de los años 1990 (Salvarredy Aranguren, 2008). Hoy, sólo queda una pequeña actividad artesanal que la practican los mineros desempleados (Raffailac, 2002). Así,

durante cerca de un siglo, se depositó una gran cantidad de desechos mineros en este sector y no se ha llevado a cabo ningún programa de rehabilitación de las minas. Los desechos, dispersos a lo largo de 4 kilómetros en el eje del valle, presentan un estado de alteración avanzado. Los desechos recubren la parte desecada de la cuenca del lago Milluni Chico en el cual se mide el pH ácido que varía entre 3,5 en temporada seca y 2,6 en temporada de lluvias. Ahora bien, el lago de represa Milluni es principalmente alimentado por las aguas ácidas provenientes del lago de Milluni Chico. El color del agua es anaranjado oscuro con matices rojos (figura 9) y el pH generalmente no pasa de 3.



Figura 9 En primer plano, el lago de Milluni Chico, que alimenta directamente al lago de embalse de Milluni Grande, aguas abajo. Fotografía tomada en enero de 2009 desde el camino La Paz-Zongo

El retroceso de los glaciares y la irregularidad de las precipitaciones pueden ocasionar un desecamiento de la represa y plantear una gran incertidumbre a corto plazo respecto a la disponibilidad del recurso de agua para el abastecimiento del subsistema Achachicala. En enero de 2009 se ha podido constatar que el nivel de la represa de Milluni era extremadamente bajo en comparación al promedio de la temporada (figura 10).



Figura 10: El embalse de Milluni, en enero de 2009, un nivel crítico para la temporada

Como la laguna Jankokhota, el lago de embalse Milluni no está protegido y las comunidades ribereñas tienen acceso a éste fácilmente; esto lo vuelve muy vulnerable a las actividades humanas. A fines de junio de 2010, las reivindicaciones de las comunidades de Milluni, en protesta contra la nominación del subalcalde del distrito 13 de El Alto, ocasionaron el cierre parcial de la represa de Milluni. Las comunidades pusieron tablones de madera en la entrada principal de la represa para impedir que fluya el agua desde el lago Milluni y además bloquearon el camino La Paz-Zongo que permite el acceso a la represa (La Razón, 23 de junio de 2010). Esto, tuvo como consecuencia la reducción importante del caudal de agua durante más de un día desde el sistema de toma hasta la planta de potabilización y, por lo tanto, la red de abastecimiento, afectando a los barrios de San Pedro, Sopocachi, el centro y el Norte paceño, Max Paredes y Miraflores.

### 2.1.2 TOMA DE AGUA

Adductions d'eau	Canal de Milluni		By-pass Milluni- Choqueyapu	Penstock	Canalisation Choqueyapu- Achaichicala	Moulin à chaux (Cajera Milluni)
	Jankokhota - Milluni	Milluni- Forebay				
	Phénomènes torrentiels	0	0	0	0	
Inondations	0	0	0	0		0
Glissements de masse	0	1	1	1	0	0
Contamination	0				0	0
Sécheresse	0	0	0	0	0	0
Mouvements sociaux	2	2	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>1</b>

Cuadro 11: Vulnerabilidad del sistema de toma de agua del subsistema Achaichicala a las amenazas externas

Se observará primeramente que el factor de vulnerabilidad común de cada toma de agua del subsistema es el factor de actividad humana. En efecto, en la gran mayoría del sistema, las tomas de agua están descubiertas y no protegidas y por lo tanto de fácil acceso (figuras 12 y 13). Aquí, la actividad humana constituye un factor de deterioro recurrente.

### CANAL DE MILLUNI

Las aguas del tramo Milluni-Forebay, provenientes del lago de embalse de Milluni están muy contaminadas por metales pesados (Capítulo II. 6.1.1.). Se observa por ejemplo una concentración de magnesio de 7mg/L (EPSAS, 2009).

**Commentaire [I1]** : en note  
pê une idée des maximales  
recommandées par l'OMS?

El tramo Milluni-Forebay, así como el tramo Jankokhota-Milluni es vulnerable a las actividades humanas, debido a que los sitios no están protegidos (Figuras 11 y 12). Por ejemplo, los movimientos sociales constituyen una amenaza para la toma, la cual representa un blanco fácil para las comunidades rurales que buscan hacer escuchar sus reivindicaciones. El personal de EPSAS señala algunos casos de deterioros del canal Milluni efectuados por las comunidades ribereñas, impidiendo a veces el total encauzamiento del agua hacia la ciudad. EPSAS no es propietaria de los terrenos sobre los cuales pasa la toma de agua, por lo tanto la situación es más delicada aún. Sin embargo, las comunidades aceptan la presencia de infraestructuras destinadas al abastecimiento de agua potable (a condición de una compensación de parte de la empresa de agua potable) a pesar de que no siempre se benefician del acceso a este servicio.



Figura 12 : Entrada del tramo Milluni- Forebay, 2009

Figura 11 : Canal de Milluni, tramo Milluni-Forebay, 2009



#### PENSTOCK

---

Las aguas de la canalización Penstock provienen de las aguas del canal de Milluni y por lo tanto están muy contaminadas por los metales pesados. La canalización no está enterrada lo que la hace vulnerable a las actividades humanas. Pero es menos que el canal de Milluni, ya que su extensión es menor (13 km de canalización para Milluni y 1,2 km de canalización para Penstock).

#### BY PASS MILLUNI- CHOQUEYAPU

---

Las aguas del by pass, como las del Penstock, están muy cargadas de metales pesados lo que provoca su contaminación. Además, se observará la vulnerabilidad del by pass a las actividades humanas. Un ejemplo es el deterioro de la canalización en 2007 por empresa INGLOBOL durante la construcción del camino Cumbre-Alto Lima. Su reparación está en curso.

## CANALIZACIÓN CHOQUEYAPU-ACHACHICALA

La canalización Choqueyapu–Achachicala está particularmente expuesta a los fenómenos torrenciales de gran magnitud o a las inundaciones capaces de dañar la infraestructura. En enero de 2008, la toma de agua fue totalmente destruida por las escorrentías superficiales extremas en el Choqueyapu, impidiendo la toma de agua del Choqueyapu a la estación de potabilización de Achachicala. Para asegurar la captación, se construyeron infraestructuras provisionales.

### 6.1.3 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Traitement de l'eau	
Exposition et susceptibilité d'endommagement	Station de potabilisation Achachicala
Phénomènes torrentiels	0
Inondations	0
Glissements de masse	0
Contamination	0
Sécheresse	2
Mouvements sismiques	0
<b>Total</b>	<b>5</b>

Cuadro 12: Exposición de las infraestructuras de tratamiento del subsistema Achachicala a las amenazas externas



Figura 13: Llegada de las aguas de Milluni (a izquierda) y del Choqueyapu (a derecha) a la planta de potabilización Achachicala, 2009

A pesar de un primer tratamiento a nivel del molino de cal, las aguas que llegan de la canalización Penstock a la estación de potabilización Achachicala están muy contaminadas (figura 13). El pH en la entrada de la planta es de 5. En caso de sequía de las reservas de agua, la planta funciona en subrégimen y no trata la cantidad suficiente para responder a las necesidades de agua del subsistema Achachicala.

La planta de Achachicala es custodiada permanentemente por agentes de seguridad y se efectúa un control de entradas fuera del personal. El acceso al sitio está muy reglamentado, lo que disminuye la vulnerabilidad a las actividades humanas.

---

#### 6.2.4. MAPA BALANCE

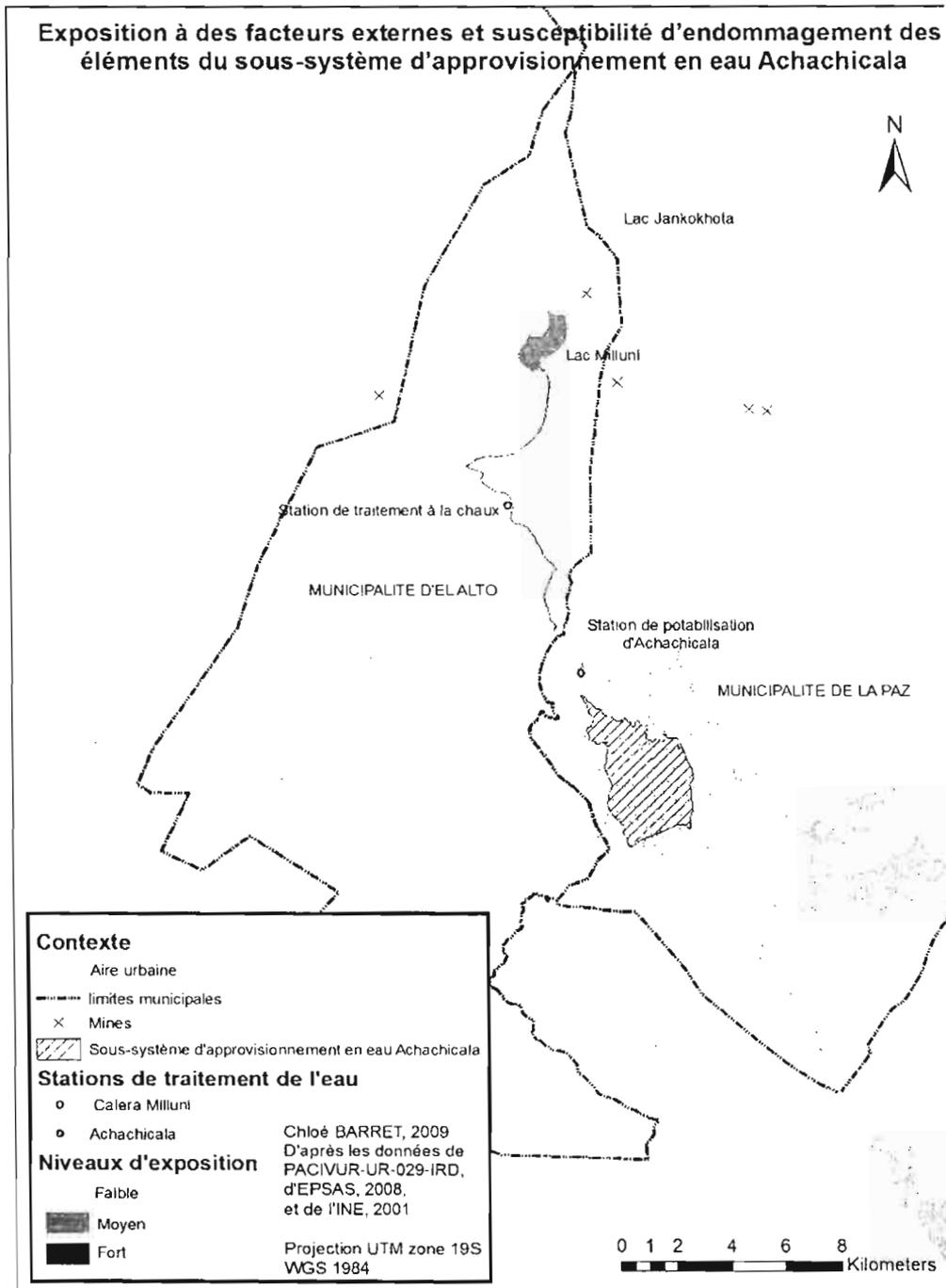


Figura 14: Exposición a factores externos y susceptibilidad de deterioro de los elementos del subsistema Achachicala

## 6.2. DEPENDENCIA DE LOS ELEMENTOS A OTROS ELEMENTOS

### 6.2.1 REPRESAS DE AGUA

Retenes d'eau		
Dépendances	Lac de barrage Jankokbota	Lac de barrage Milluni
Electricité	0	0
Télécommunications	0	0
Produits chimiques	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Cuadro 13: Dependencia de las represas de agua del subsistema Achachicala a otros elementos

Las represas de agua del subsistema Achachicala pueden funcionar normalmente sin electricidad, productos químicos o telecomunicaciones (Cuadro 14).

### 6.2.2 TOMAS DE AGUA

Adductions d'eau						
Dépendances	Canal de Milluni		By-pass Milluni-Choqueyapu	Penstock	Ancien canal d'Hampaturi	Moulin à chaux (Caldera Milluni)
	Jankokbota - Milluni	Milluni - Forebay				
Electricité	0	0	0	0	0	1
Télécommunications	0	0	0	0	0	0
Produits chimiques	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

Cuadro 14: Dependencia de las tomas de agua del subsistema Achachicala a otros elementos

Debido a la acidez del agua y los problemas de corrosión que genera, el subsistema Achachicala necesita fuertes aportes de productos químicos para el tratamiento del agua. Un primer tratamiento con cal a las aguas de Milluni, a nivel del molino de cal, permite un aumento del pH (paso de un pH de 3 a 5) (figura 16). Se utiliza la cal para suavizar el agua, combatir las "aguas rojas" neutralizando el agua ácida, reduciendo así la corrosión de las infraestructuras hidráulicas. La cal ayuda a reducir la concentración en metales pesados eliminando en parte el silicio, el magnesio, el flúor, los taninos orgánicos y el hierro contenidos en el agua.



Figura 16: Añadido de cal en el canal Milluni a nivel de la calera Milluni. Mayo 2009



Figura 15: Reserva de cal de la calera Milluni. Mayo 2009

Existen dos sistemas de dosificación de la cal: una para la temporada seca y otra para la temporada de lluvias. En efecto, durante la temporada de lluvias, el agua que llega presenta una concentración en metales pesados más baja que el resto del año, y requiere una inyección de cal menos importante para llegar a un pH equilibrado. Se almacenan 200 toneladas de cal en el molino Milluni (figura 15), lo que corresponde, durante el periodo crítico (temporada seca) a una autonomía del molino de 20 días. Un único camino permite acceder al molino, y un bloqueo prolongado del camino podría impedir el abastecimiento de cal y así comprometer el proceso de potabilización y la buena calidad del agua. Según EPSAS, las reservas de cal deberían duplicarse pronto. El buen funcionamiento del molino de cal depende también de la electricidad, necesaria para hacer funcionar el mezclador de cal.

### 6.2.3 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Traitement de l'eau	
Dépendances	Station de potabilisation Achachicala
Electricité	2
Télécommunications	1
Produits chimiques	2
<b>Total</b>	<b>5</b>

Cuadro 15: Dependencia de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Achachicala a otros elementos

#### DÉPENDENCIA DE ELECTRICIDAD

El funcionamiento de la planta necesita una cantidad importante de bombas: dosificadoras de cal, de sulfato de aluminio y de cloro, de lavado de filtros, bombas que permitan evacuar el barro residual de tratamiento. Las bombas, que son indispensables en el proceso de potabilización, dependen de la energía eléctrica. Algunas válvulas también son automatizadas y

todo el sistema de control del agua funciona también gracias a la electricidad. Por lo tanto, la planta de potabilización depende grandemente del abastecimiento de energía eléctrica.

En caso de corte de electricidad de la red, la alternativa para la planta de potabilización reside en un generador eléctrico alimentado con diesel por un recipiente de 200 litros. Además de este depósito, se almacena otra reserva en un cuenco cerrado, que permite una autonomía total de funcionamiento las 24 horas. Cada semana se pone a prueba el buen funcionamiento de este generador. Además, en caso de problema de electricidad en una planta de potabilización, las reservas de diesel de otra planta pueden ser transportadas y utilizadas, lo que aumenta la autonomía del funcionamiento de la planta, sin electricidad. El generador tiene una potencia de 45KVA y permite el funcionamiento del laboratorio de análisis de agua, de los procesos de dosificación y de la floculación. En caso de corte de electricidad, el lavado de los filtros no se efectúa y no hay iluminación en las oficinas. Sólo los elementos indispensables para la potabilización del agua a corto plazo son alimentados por el generador de seguridad.

#### DEPENDENCIA DE TELECOMUNICACIÓN

---

En caso de constatar un problema dentro de la planta de Achachicala, se hace un llamado telefónico a los técnicos, los cuales deben presentarse en el lugar de la avería para proceder a repararla rápidamente (capítulo II.6.4.3).

#### DEPENDENCIA DE PRODUCTOS QUÍMICOS

---

##### **Dependencia de cal:**

Las aguas de Milluni son tratadas con cal por segunda vez cuando entran a la planta de potabilización de Achachicala. En cuanto a las aguas del Choqueyapu, cuyo nivel de turbidez es alto debido a la fuerte erosión de su lecho durante la temporada de lluvias, también son tratadas con cal en la estación de potabilización. Esta inyección de cal permite aumentar el pH del agua hasta 11. A este nivel de pH, los metales pesados se precipitan y entonces pueden ser eliminados por sedimentación en las cuencas. Esta etapa es estratégica en el proceso de potabilización del agua. Sin tratamiento con cal, las concentraciones en metales pesados serían muy altas, lo que comprometería mucho la calidad del agua. La dependencia de cal dentro de la estación es muy alta, pero las cantidades de cal almacenadas permiten una autonomía de 3 meses, lo que disminuye el riesgo de escasez. La cal se produce en La Paz y los proveedores son elegidos por medio de una licitación. Actualmente, las dos empresas proveedoras son Nevada y Sonia Tombo, pero otras empresas pueden proporcionar la cal en La Paz. Esto disminuye el riesgo de escasez.

##### **Dependencia de sulfato de aluminio:**

El sulfato de aluminio es utilizado en el proceso de floculación para aumentar la densidad. Este tratamiento facilita una sedimentación rápida. Dada la fuerte concentración de metales en el agua que llegan a la planta de potabilización, se requiere el sulfato de aluminio para esta etapa importante de potabilización en Achachicala. Sin embargo, el hierro presente naturalmente en el agua de Milluni puede servir también de agente floculante, disminuyendo la dependencia de productos químicos durante la fase de floculación. El sulfato de aluminio es un producto importado de Argentina y se lo trae por tierra; esto lo vuelve vulnerable, por un lado, por el largo

trayecto que se debe recorrer por tierra para su importación y, por otro lado, a la posibilidad de un bloqueo de caminos por parte de los movimientos sociales. La empresa proveedora es Meranold. Por esta razón los técnicos de EPSAS buscan otras alternativas para la importación de este producto desde otros mercados de América del Sur, principalmente de Chile y Brasil. En caso de problema con el asociado argentino, EPSAS puede importar el aluminio desde estos otros países.

**Dependencia de cloro:**

La etapa de desinfección es clave en el proceso de potabilización del agua ya que permite eliminar virus y bacterias. Una planta de potabilización del agua depende mucho del cloro.

Las reservas de cloro en la planta de Achachicala tienen forma de garrafa de gas. Permiten una autonomía de funcionamiento de las pompas dosificadoras durante 4 meses. En caso de escasez de gas o de disfuncionamiento de las garrafas, el cloro puede ser reemplazado por hipoclorito de calcio que es almacenado en costales. La reserva de hipoclorito de calcio permite a la estación tener una autonomía de una semana. Además, se observará que el hipoclorito de calcio se encuentra fácilmente en el mercado (utilización para el tratamiento del agua de las piscinas especialmente), pero cuesta mucho más caro que el cloro. El cloro es un producto importado del Perú. Para abastecerse de cloro, EPSAS pasa por un intermediario situado en Santa Cruz. Se trata de la empresa Hygien Urban. Esto constituye una fuente de vulnerabilidad debido igualmente al trayecto que hay que recorrer, y en caso de bloqueo de los caminos.

---

6.2.4. MAPA BALANCE

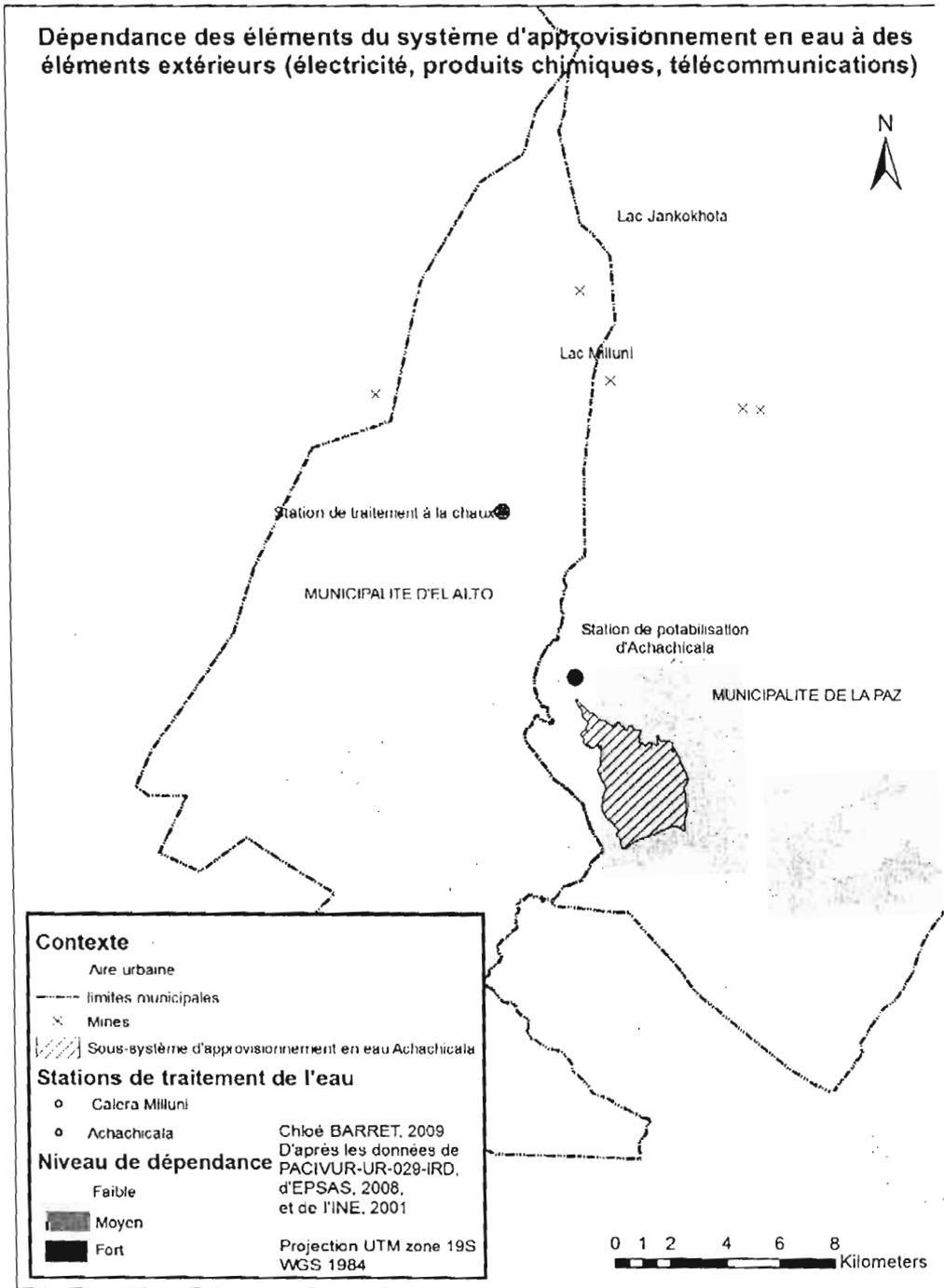


Figura 17: Dependencia de los elementos del subsistema Achachicala a la electricidad, las telecomunicaciones y los productos químicos.

## 6.3. VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DEL SUBSISTEMA: ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

### 6.3.1. REPRESAS DE AGUA

Retenues d'eau		
Vulnérabilité intrinsèque : état de fonctionnement	Lac de barrage Jankokhota	Lac de barrage Milluni
Ancienneté rapportée à la durée de vie utile de l'élément	0	3
Expérience technique	2	1
Dysfonctionnements enregistrés	0	2
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>6</b>

Cuadro 16: Vulnerabilidad intrínseca de las represas de agua del subsistema Achachicala



Figura 18: Lago de Jankokhota y entrada del canal de Milluni. Enero de 2009

#### REPRESA JANKOKHOTA

Jankokhota es una represa natural cuyas aguas son de buena calidad (figura 18). Constituye un elemento bastante importante en el sistema de abastecimiento de agua en la medida que se mezcla con las aguas de Milluni y permite obtener un agua de mejor calidad por dilución de los metales pesados presentes en el agua de Milluni. Sin embargo, en caso de desecación del lago, las dosis de cal inyectadas en el agua son aumentadas a nivel del molino de Milluni y el sistema puede funcionar sin el aporte de agua de la laguna.

La represa es reciente y presenta un modo de funcionamiento simple: una sola compuerta, manual, que permite controlar el caudal de agua cruda que sale de la represa.

#### REPRESA MILLUNI

En cambio, por varias razones, la represa de Milluni revela una vulnerabilidad elevada. Primero, la represa fue construida hace ya 75 años, y dada la concentración elevada de metales en el agua, el equipamiento de la represa sufre de un deterioro prematuro con importantes problemas de corrosión y tiene problemas de fugas. El mantenimiento de las instalaciones se hace una vez por año y consiste particularmente en el taponamiento de esas fugas. El mantenimiento de los diferentes elementos de la represa puede resultar difícil y a menudo se necesita vaciar el agua de la represa para cambiar las piezas deterioradas. Además, se observará que la represa Milluni es un elemento estratégico en el sistema de abastecimiento de agua potable del subsistema de

Achachicala, ya que es la fuente principal de abastecimiento de agua de la planta de potabilización Achachicala. En caso de mantenimiento de la represa, cuando es necesario cambiar una pieza por ejemplo, la cuenca de regulación Forebay, situada más arriba de la planta de potabilización citada es utilizada como cuenca de reserva de agua.

### 6.3.2 TOMAS DE AGUA

Adductions d'eau						
Vulnérabilité intrinsèque : état de fonctionnement	Canal de Milluni		By-pass Milluni - Choqueyapu	Penstock	Canalisation Choqueyapu - Achachicala	Moulin à chaux (Caldera Milluni)
	Jankokhota - Milluni	Milluni-Forebay				
Ancienneté rapportée à la durée de vie utile de l'élément	1	1	1	0	1	0
Expérience technique	2	1	1	2	2	2
Dysfonctionnements enregistrés	1	2	2	0	2	1
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

Cuadro 17: Vulnerabilidad intrínseca del sistema de toma del subsistema Achachicala

Cada canal y canalización (incluyendo el antiguo canal) es controlado una vez por semana. La empresa EPSAS efectúa cada año trabajos de mantenimiento preventivo en todo el sistema de toma.

#### CANAL DE MILLUNI



La parte Jankokhota-Milluni es relativamente reciente (año de construcción: 1983). Esta parte del canal está en buen estado de funcionamiento (figura19).

Figura 19: Tramo Jankokhota-Milluni del canal de Milluni. Enero de 2009



Figura 20: Tramo Milluni-Forebay del canal de Milluni.  
Enero 2009

Se constata una alta vulnerabilidad en la parte Milluni – Forebay. En efecto, la instalación data de 1940 y las fuertes concentraciones de metales en el agua proveniente de Milluni han ocasionado una degradación rápida del canal (figura 20). La empresa experimenta importantes problemas de fugas, cerca de un 20% de pérdidas en el canal, y esto a pesar de su mantenimiento anual que consiste en el taponamiento de las fugas.

El canal de Milluni es el único que permite encauzar el agua de las represas de Jankokhota y de Milluni. Esto lo vuelve un elemento muy importante para todo el sistema. En caso de problemas graves en esta toma, un 80% del agua ya no llega a la planta Achachicala, y las consecuencias serían catastróficas para todo el sistema de abastecimiento de agua potable del subsistema Achachicala.

#### CANALIZACIÓN PENSTOCK

---

La canalización Penstock, que permite la toma del agua del embalse Forebay hasta la planta de potabilización, es un elemento estratégico para el sistema de abastecimiento de agua potable. Sin embargo es menos vulnerable que el canal ya que presenta un buen estado de funcionamiento, debido a que fue reparada en 2006 gracias a la aplicación de un revestimiento interior anticorrosivo. Además, durante trabajos de mantenimiento en esta canalización, o en caso de un problema grave, el agua es desviada hacia el torrente Choqueyapu por el by-pass Milluni. Aguas abajo, la canalización Choqueyapu tiene una capacidad de transporte suficiente para encauzar hasta la planta de potabilización las cantidades de agua necesarias para todo el subsistema.

#### BY-PASS

---

El by-pass fue construido recientemente (1998). Sin embargo, la fuerte concentración de metales en el agua que fluye por el canal puede provocar a más largo plazo problemas de corrosión. Además, pueden formarse precipitaciones químicas a lo largo de las paredes de la canalización de acero, reduciendo el diámetro y por lo tanto el caudal. El by-pass es mantenido anualmente. Actualmente, está fuera de uso debido a que se dañó durante unos trabajos realizados por la prefectura de La Paz.

## CANALIZACIÓN CHOQUEYAPU

La canalización del Choqueyapu fue construida a comienzos de los años 1970, pero el agua que transporta desde el río Choqueyapu está menos contaminada y la infraestructura está en un buen estado de funcionamiento general. Se observará sin embargo un riesgo de obstrucción de la canalización en temporada de lluvias, debido a la presencia de materiales (piedras, ramas, etc.) transportado por las aguas del torrente Choqueyapu. Es necesario efectuar un mantenimiento regular de la entrada del canal en la época de las lluvias, ya que en esta temporada el Choqueyapu representa una fuente de abastecimiento de agua muy importante, lo que lo convierte en un elemento estratégico importante.

## MOLINO DE CAL MILLUNI

El molino de cal Milluni es un elemento importante del sistema ya que permite efectuar un primer tratamiento con cal en el agua contaminada que llega de Milluni. No se notan fallas mayores de la infraestructura.

### 6.3.3. POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Traitement de l'eau	
Vulnérabilité intrinsèque : état de fonctionnement	Station de potabilisation Achachicala
Ancienneté rapportée à la durée de vie utile de l'élément	
Expérience technique	2
Dysfonctionnements enregistrés	1
<b>Total</b>	

Cuadro 18: Vulnerabilidad Intrínseca de las Infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Achachicala

#### Justificación:

Con el fin de juzgar la vulnerabilidad intrínseca de la planta de potabilización de Achachicala, un desglose en elementos esenciales se efectuó con ayuda de los técnicos de EPSAS. De esta manera, se hizo una anotación sobre la vulnerabilidad de cada uno de estos elementos cuyo promedio permite dar un valor de vulnerabilidad general en la planta.

Elementos considerados	Antigüedad relacionada a la vida útil del elemento	Experiencia técnica	Disfuncionamiento registrado
Presedimentador	2	0	0
Válvula de entrada del disipador	1	2	1
Disipador de energía	2	1	0
Dosificador de cal y de sulfato de aluminio	1	2	2
Bombas de cal y sulfato de aluminio		2	2
Floculadores	2	1	1
Sedimentadores	2	1	1
Punto evacuador de barro			2
12 Filtros	2	1	2
Bombas de lavado de los filtros		2	0
Dosificadores de cloro		2	2
Cuencas de almacenamiento	2	1	0
Generador de urgencia	1		0
Tablero de control	2		0
<b>Total</b>		<b>24</b>	<b>13</b>

Cuadro 19: Descomposición de la planta Achañcalca en elementos esenciales y vulnerabilidad de estos elementos

El agua que llega a la planta se encuentra todavía muy cargada de elementos pesados y esta contaminación genera una degradación prematura de las infraestructuras. En efecto, la corrosión debida a la presencia de los metales daña las válvulas y otros elementos metálicos. Las bombas de cal son requeridas más frecuentemente que en otra planta de potabilización. Esto genera una disminución de la duración de vida útil de los elementos. Se observa una vulnerabilidad elevada ligada a la antigüedad relacionada a la vida útil en las bombas de cal y al sulfato de aluminio, el punto evacuador de barro, las bombas de lavado de los filtros y los dosificadores de cloro.

Los elementos presentes tienen una función precisa en el proceso de potabilización y todos son muy importantes. Estos son múltiples, así que la multiplicidad del elemento reduce su vulnerabilidad. Por ejemplo, se observa que hay dos floculadores y dos sedimentadores (figura

22), doce filtros (figura 21), tres dosificadores de cal y dos dosificadores de sulfato, tres bombas de cal y dos bombas de sulfato, tres bombas de lavado de filtros y tres dosificadores de cloro. Por lo tanto, los elementos más vulnerables están presentes en la unidad, por ejemplo, el puente evacuador de barro. En efecto, la planta de Achachicala produce grandes cantidades de barro debido a la fuerte presencia de los metales pesados que van a caer durante el proceso de floculación y que después se sedimentan. La cantidad de barro producido representa de 3 a 4% del volumen de agua que llega al sedimentador. Una bomba situada al pie del puente evacuador de barro permite la evacuación del lodo que se encuentra en el fondo de los dos sedimentadores. El evacuador de lodo es por lo tanto de gran importancia estratégica ya que sin éste el lodo se acumularía en el sedimentador, paralizando rápidamente el proceso de sedimentación. Ahora bien, sólo hay una bomba que asegura la evacuación del lodo de los dos sedimentadores. En caso de disfuncionamiento de esta bomba, la planta sólo tiene autonomía para un día. La empresa registró algunos disfuncionamientos, particularmente problemas de tipo mecánico. Los técnicos de EPSAS informan un problema cada año en las bombas de cal y de sulfato de aluminio, los dosificadores de cal, de aluminio y de cloro, el puente evacuador de lodo y las válvulas de los filtros. Debido a la corrosión, los técnicos informan un problema cada cinco años sobre la válvula de entrada del disipador de energía que permite el control del caudal del agua de toda la planta.



Figura 21: Los doce filtros de la planta tratamiento



Figura 22: Los dos sedimentadores de la planta de tratamiento Achachicala. Enero de 2009

#### 6.3.4. MAPA BALANCE

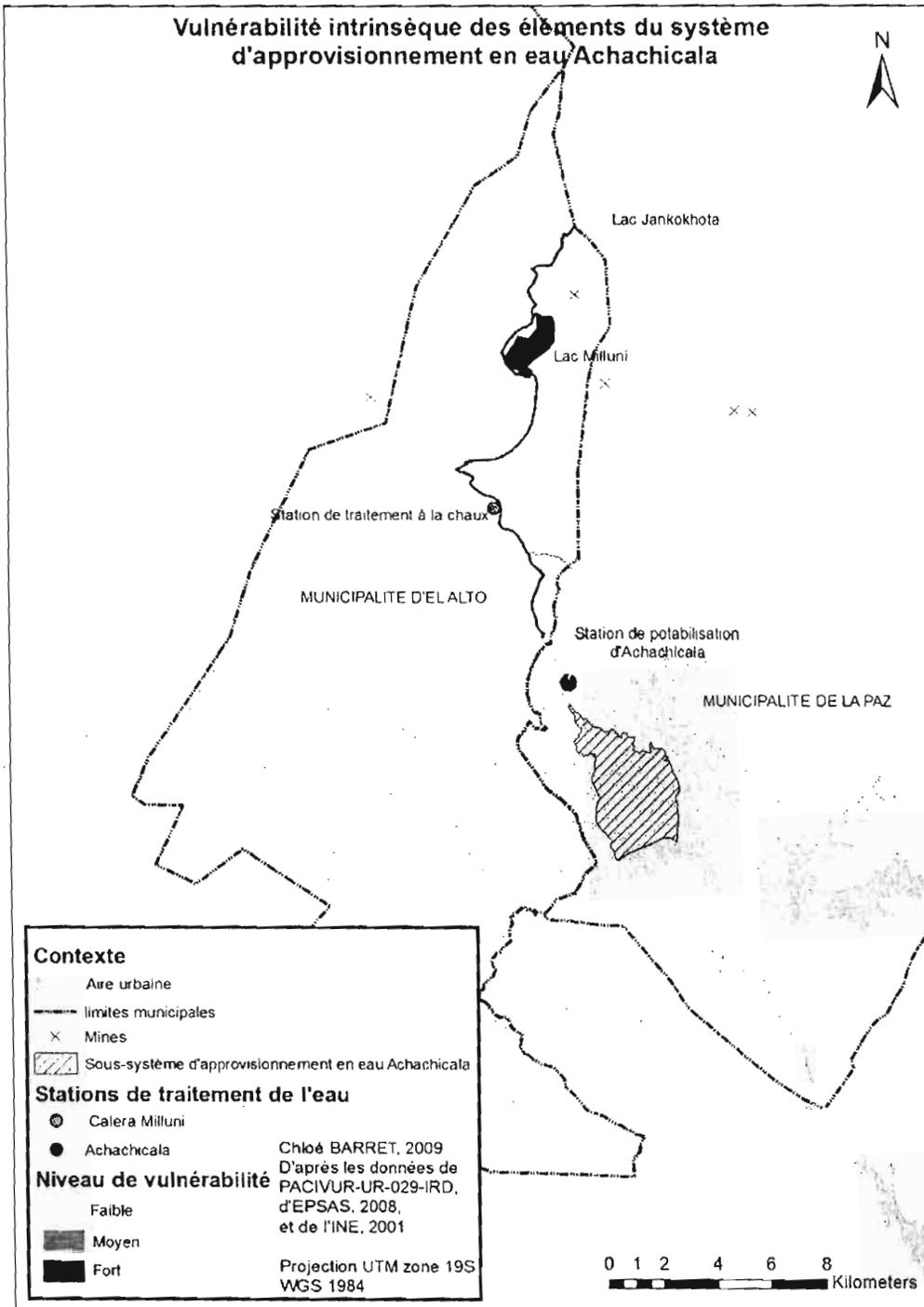


Figura 23: Vulnerabilidad intrínseca de los elementos del subsistema Achachicala

6.4. ELEMENTOS QUE TIENDEN A REDUCIR LA VULNERABILIDAD (CAPACIDAD DE CONTROL, PREPARACIÓN PARA UNA SITUACIÓN DE CRISIS, ALTERNATIVAS DE FUNCIONAMIENTO)

6.4.1. REPRESAS DE AGUA

Lacs artificiels		
Réduction de la vulnérabilité	Laguna Jankokbota	Lac de barrage Milluni
<b>Capacité de contrôle</b>		
Accessibilité par voie terrestre	2	2
Accessibilité directe à l'élément	3	3
Personnel qualifié	1	1
Télévigilance		
<b>Préparation à une situation de crise</b>	1	1
<b>Alternatives de fonctionnement</b>	1	
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>7</b>

Cuadro 20: Reducción de la vulnerabilidad de las represas de agua del subsistema Achachicala

La capacidad de control de la represa de Milluni es buena pues es de fácil acceso en coche por la carretera La Paz-Zongo que une La Paz con el pueblo de Botijlaca. También se tiene acceso a la laguna gracias a un camino que parte de la carretera La Paz – Zongo.

Cada una de las represas es objeto de un control regular:

- Control de filtración: una vez por semana
- Control de grietas: dos veces por mes
- Control de presión: dos veces por año
- Control de calidad: dos veces por año

Dos técnicos de EPSAS van a controlar regularmente las infraestructuras y a verificar el nivel de agua. No se observa un sistema de tele vigilancia. En caso de una fuerte sequía, existe un plan de contingencia como herramienta de gestión que obliga a restringir el bombeo del agua con el fin de minimizar los efectos que podrían ocasionar sequía. El personal de EPSAS no está actualmente preparado para enfrentar un problema grave en la represa de Milluni que provoque una interrupción prolongada del aporte de agua de la represa al sistema de abastecimiento. En temporada de lluvias, si el caudal es suficientemente importante, el río Choqueyapu puede ser una alternativa interesante para la represa Milluni. En cambio, en temporada seca, el caudal del río es demasiado reducido: por lo tanto no hay solución alternativa de funcionamiento del sistema. Si el agua de la represa Milluni no llega a la planta, todo el sistema de abastecimiento de agua potable se paraliza, generando una verdadera situación de crisis.

## 6.4.2. TOMA DE AGUA

Adductions d'eau						
Réduction de la vulnérabilité	Canal de Milluni		By-Pass Milluni - Choqueyapu	Penstock	Canalisation Choqueyapu- Achachicala	Calera Milluni
	Jankokhota - Milluni	Milluni - Forebay				
Capacité de contrôle						
Accessibilité par voie terrestre	1	2	2	1	3	2
Accessibilité directe à l'élément	3	3	3	2	3	2
Personnel qualifié	1	1	1	1	1	1
Télévigilance						
Préparation à une situation de crise	1	1	1	1	2	2
Alternatives de fonctionnement	1	1	2	2	2	2
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>9</b>

Cuadro 21: Reducción de la vulnerabilidad del sistema de toma de agua del subsistema Achachicala

No se observa un sistema de tele vigilancia para el sistema de toma de agua, de la fuente donde el agua es captada hasta la planta de potabilización de Achachicala. Sin embargo, hay puntos de control regular a nivel de la toma Milluni, y se puede detectar rápidamente si hay una disminución de presión debido a una fuga, una obstrucción o una ruptura de la toma. Los técnicos de EPSAS se dedican a la inspección regular de las tomas y de los caminos que permiten el acceso a los canales o canalizaciones del sistema de toma.

### CANAL DE MILLUNI

#### Parte Jankokhota - Milluni

El comienzo del canal parece muy poco accesible. Cuando la toma comienza a ir por la orilla del lago Milluni por el lado oeste, el canal es únicamente accesible con motocicleta por un camino. En caso de problema a nivel del canal, no hay alternativa de funcionamiento. Recordemos que el agua de Jankokhota es utilizada principalmente para obtener un agua de mejor calidad a nivel de la salida de la represa de Milluni. De esta manera, el sistema de toma puede funcionar sin el aporte de Jankhota. No obstante, la concentración en metales pesados será mayor, por lo que necesitará cal adicional en mayor cantidad a nivel del molino de cal y de la planta de potabilización, generando a largo plazo un desgaste precipitado de las infraestructuras.

#### Parte Milluni- Forebay

El primer tramo costea la carretera La Paz - Zongo y es accesible en coche. Después el canal sólo es accesible en motocicleta por un camino que lo bordea. El camino corta la carretera La Paz-Zongo en varios tramos, haciendo que el acceso al camino sea más fácil. Si un problema ocurre durante la temporada de lluvias impidiendo la toma del agua, el caudal del Choqueyapu es suficientemente importante para llevar si no la totalidad, al menos una buena parte del agua necesaria durante el tiempo de los trabajos de reparación. Además la capacidad máxima de la toma Choqueyapu-Achachicala es tal que permite la toma de las cantidades de agua suficientes

hasta la planta de potabilización. En temporada seca, el caudal en el Choqueyapu es insuficiente para satisfacer las necesidades de agua de la planta y si ocurre un problema en la parte Milluni-Forebay podría tener consecuencias graves que comprometerían el sistema de abastecimiento. Sin embargo, se observará que una reparación en el canal de Milluni puede hacerse rápidamente, en la medida que es un canal abierto de piedra: los trabajos de corrección se facilitan.

#### PENSTOCK

La canalización Penstock pasa por espacios con fuertes declives y a veces de manera subterránea, haciendo que el acceso sea difícil. Una reparación en la canalización, en función de la localización del problema, puede resultar complicada. No obstante, los técnicos de EPSAS no informan problemas graves en esta canalización: sobre todo hay problemas de fugas que no obstaculizan el buen funcionamiento del sistema. Si una ruptura o una obstrucción total de la canalización se produjeran, existe una alternativa, el by-pass Milluni, que permite la desviación de las aguas de Milluni hasta el río Choqueyapu. La capacidad de la canalización Choqueyapu – Milluni permite encauzar una cantidad de agua suficiente hasta la planta de potabilización. Sin embargo, actualmente está fuera de uso ya que fue dañada durante unos trabajos viales realizados por la prefectura de La Paz. Por lo tanto, por el momento no constituye una alternativa suficiente para la canalización y no existe otra alternativa.

#### BY-PASS MILLUNI

Se puede acceder al by-pass Milluni por un camino que bordea el canal. El by-pass está actualmente en curso de reparación.

#### CANALIZACIÓN CHOQUEYAPU- ACHACHICALA

La accesibilidad de la canalización es buena. Esta canalización es corta y un punto de control de la presión del agua a la entrada de la planta de potabilización permite detectar rápidamente cualquier fallo. En caso de problema, la toma Milluni permite encauzar la cantidad de agua necesaria al sistema.

#### MOLINO DE CAL MILLUNI

Una provisión de 200 toneladas de cal se encuentra almacenada en el molino Milluni permitiendo hacer frente a una escasez de cal. Además, hay varias alternativas de funcionamiento. En caso de corte de electricidad, durante un tiempo corto, el mezclador de cal eléctrico puede funcionar manualmente. A más largo plazo, no hay generador de repuesto para hacer funcionar el mezclador de cal, sin embargo puede transportarse rápidamente al lugar un generador móvil. En caso de presentarse problemas que no pudieran ser resueltos de este modo, las cantidades de cal requeridas serán agregadas a nivel de la entrada de la planta de potabilización.

#### 6.4.3. POTABILIZACION DEL AGUA

Traitement de l'eau	
Réduction de la vulnérabilité	Station de potabilisation Achachicala
<b>Capacité de contrôle</b>	
Accessibilité par voie terrestre	3
Accessibilité directe à l'élément	3
Personnel qualifié	2
Télévigilance	3
<b>Préparation à une situation de crise</b>	2
<b>Alternatives de fonctionnement</b>	2
<b>Total</b>	<b>15</b>

Cuadro 22: Reducción de la vulnerabilidad de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Achachicala

La multiplicación de los elementos esenciales de la planta permite preservar la continuidad del proceso de tratamiento del agua en caso de problema serio en uno de estos elementos. Además, la presencia de varios by-pass permite el mantenimiento regular de las cuencas de la planta.

Existe un sistema de control de la calidad del agua en la entrada y en la salida de la planta Achachicala (figura 24). Los datos son registrados y transferidos a un monitor para ser controlados regularmente por un agente de la empresa EPSAS. Esto permite detectar rápidamente cualquier fallo.

Por las noches, los fines de semana y los días feriados, dos técnicos se encuentran permanentemente en la planta Achachicala. En caso de problema, pueden acudir a uno de los tres técnicos de turno del conjunto del sistema de la aglomeración La Paz - El Alto. Según la naturaleza del fallo, se llamará al técnico químico, mecánico u operador de máquinas que acudirán al lugar del problema.

En caso de apagón, el generador de urgencia permite una autonomía de funcionamiento de 24 horas y el diesel de otra planta de potabilización puede ser trasladado hasta Achachicala para aumentar la duración de autonomía.

En caso de escasez de productos químicos, hemos visto que la planta tiene reservas suficientes para un abastecimiento de 3 meses o más.



Figura 24: Sistema de control de la calidad del agua en la entrada de la planta de potabilización Achachicala. Enero 2009

Si ocurre un problema grave que impida el encauzamiento del agua desde las represas, las cuencas de almacenamiento de agua en la planta Achachicala permiten una autonomía de 6 horas en promedio. Sin embargo, recordemos que las cuencas de almacenamiento sirven para absorber las variaciones de consumo de agua en el día. Así cuando el consumo de agua es alto, durante la mañana por ejemplo, las cuencas de almacenamiento se vacían; y si ocurre un problema que impida la toma de agua en ese momento del día, la capacidad de la planta será forzosamente mucho menor.

Se observará por otro lado que las redes de distribución de los tres subsistemas están particularmente interconectadas. Además las otras dos plantas podrán producir más para apoyar a la parte de la red en déficit.

## 6.5. SÍNTESIS

El grupo Lago Jankokhota – canal Jankokhota constituye la primera parte del subsistema Achachicala. Este grupo puede ser afectado por algunos factores, particularmente por las sequías y actividades humanas. Sin embargo, el conjunto es bastante reciente y presenta un buen estado de funcionamiento. Además, la pérdida de este grupo no afecta la continuidad del sistema de abastecimiento pero provoca un aumento de la vulnerabilidad a la contaminación del grupo siguiente, en la medida en que las aguas de Jankokhota conectadas a las aguas de Milluni permiten obtener una mejor calidad de agua (capítulo II.6.3.1.).

El grupo Lago Milluni–Canal Milluni-Forebay-Penstock constituye una segunda parte del subsistema Achachicala. Los elementos de este grupo pueden presentar características similares. Constituyen el tramo principal del subsistema Achachicala. El Lago Milluni constituye la fuente principal de abastecimiento de agua y la toma Canal Milluni-Forebay y Canalización Penstock permiten encauzar el agua hasta la planta de potabilización Achachicala. En temporada de lluvias, el río Choqueyapu y la canalización Choqueyapu-Achachicala pueden presentar una alternativa al subgrupo Lago Milluni – Canal Milluni-Forebay. En temporada seca, no hay alternativa para este grupo y la pérdida de uno de los elementos genera la interrupción del sistema. La canalización Penstock presenta una alternativa en caso de falla importante: el by-

pass, que permite desviar el agua hacia el río Choqueyapu. Sin embargo, actualmente está fuera de uso y, en caso de pérdida de la toma Penstock en temporada seca, también hay corte de alimentación aguas abajo. Cada elemento es vulnerable a la contaminación, por transmisión del factor de vulnerabilidad. En efecto, las aguas contaminadas del Lago Milluni van a transitar por la toma hasta la planta de potabilización. Un primer tratamiento a nivel del molino de cal permite reducir esta vulnerabilidad, pero este tratamiento requiere una cantidad importante de cal, lo que hace que la infraestructura sea dependiente de este producto. El grupo también es vulnerable a las actividades humanas por la no protección de los sitios. A esta fuerte vulnerabilidad a las amenazas externas, se agregan fallas internas particularmente debido a la existencia de residuos mineros en cada elemento del grupo y que genera un deterioro prematuro y una disminución de la vida útil de cada elemento. Esto se añade a la antigüedad del grupo que fue construido en 1935. La acumulación de los factores de vulnerabilidad y la importancia del grupo en el buen funcionamiento del subsistema Achachicala hacen que este grupo sea particularmente frágil.

La canalización Choqueyapu-Milluni constituye la trama secundaria del subsistema Achachicala. Generalmente presenta un buen estado de funcionamiento. Además representa una alternativa interesante para el grupo Lago Milluni-Canal Milluni-Forebay- Penstock en temporada de lluvias, cuando el caudal del río es lo suficientemente fuerte como para constituir una fuente importante de abastecimiento de agua. Sin embargo, durante esta época del año, la canalización es particularmente vulnerable a las amenazas como fenómenos de lavas torrenciales e inundaciones por el riesgo de obstrucción de la canalización es considerable.

La vulnerabilidad a la contaminación del lago Milluni y de la toma principal es transmitida a la planta de potabilización Achachicala que verá estas infraestructuras degradarse de manera prematura. El agua contaminada requiere de un tratamiento importante para que sea potable, lo que genera una fuerte dependencia de la planta de productos químicos y de electricidad para poner en funcionamiento las diferentes bombas. Además hay que tomar en cuenta la antigüedad de la planta, que fue construida en 1935. Esta planta es frágil ante la multiplicación de factores de vulnerabilidad externos e intrínsecos. Sin embargo, existen sistemas de control que permiten darse cuenta con rapidez de un problema. Por otro lado, la planta presenta alternativas de funcionamiento particularmente debido a la multiplicidad de los elementos, de las reservas de productos químicos y de diesel y de la interconexión con las otras plantas de potabilización del gran sistema. Esto tiende a reducir la vulnerabilidad de la planta.

Por lo tanto, parece que el grupo más frágil del subsistema es el del Lago Milluni-Canal Milluni-Forebay-Penstock, que es esencial para el sistema, pero que se ha vuelto vulnerable por un conjunto de factores externos e intrínsecos; la pérdida de uno de estos elementos genera la interrupción del subsistema aguas abajo por transmisión de la crisis.

## 7. LA VULNERABILIDAD DEL SUBSISTEMA PAMPAHASI

### 7.1. EXPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS A AMENAZAS EXTERNAS Y SUSCEPTIBILIDAD DE DETERIORO

#### 7.1.1 REPRESAS DE AGUA

Retenues d'eau			
Exposition et susceptibilité d'endommagement	Lac de barrage Incachaca	Lac de barrage Ajuankhota	Lac de barrage Hampaturi
Phénomènes torrentiels	0	2	0
Inondations	0	1	0
Glissements de masse	0	0	0
Contamination	2	0	2
Sécheresse	2	0	2
Mouvements sociaux	1	1	1
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Cuadro 23: Exposición de las represas de agua del subsistema Pampahasi a amenazas externas

Las tres represas presentan una vulnerabilidad a las actividades humanas ya que son fácilmente accesibles pues no cuentan con una protección que permita la regulación de su acceso. Se observará también que existe una contaminación en metales pesados, aunque menos visibles y menos conocidas que en Milluni, a nivel de las represas Incachaca y Hampaturi. Se observará que en estas zonas la actividad minera se ha acelerado considerablemente desde hace cuatro años y EPSAS ha podido constatar paralelamente un aumento en manganeso en el agua de las represas.

#### LAGO DE REPRESA DE INCACHACA

La disminución del volumen de los glaciares y la irregularidad de las precipitaciones podrían provocar fenómenos de sequía a nivel de la represa de Incachaca. Esto puede plantear problemas en el abastecimiento de agua del subsistema de Pampahasi, puesto que la zona que alimenta este subsistema se extiende con gran rapidez y la demanda de agua aumenta.

Aguas arriba del lago de embalse de Incachaca, habría ocho sitios de extracción de selenita y de oro en actividad, y sólo dos de estas minas están registradas en la prefectura, quien entrega las licencias de explotación. Una de ellas es la mina El Triunfo, que trabaja con una licencia. Pero las cooperativas El Progreso-La Callancha y San Betina no cuentan con licencia de funcionamiento. Estas minas echan los desechos por los alrededores sin ninguna precaución (ninguna membrana de impermeabilización, ni depósitos, etc.), lo que genera una fuente importante de contaminación. Además de esto, el agua que es utilizada en las minas es echada sin ningún tratamiento previo, y aunque que ésta no se junte directamente con la represa de agua durante la estación de lluvias, el agua se escurre a través de los materiales de extracción, o se infiltra en las aguas del suelo. Y resulta de ello un agua altamente contaminada que desemboca en la represa Incachaca. Cuando las precipitaciones son muy fuertes, como a comienzos del año 2008, el agua de las cavidades se desborda hacia la represa llevando consigo las partículas contaminantes en suspensión. La Alcaldía de La Paz inició un programa de vigilancia a fin de reducir el riesgo de contaminación en metales pesados: cada seis meses, se sacan muestras de las fosas cercanas a las minas de selenita, para determinar principalmente la concentración en manganeso y en mercurio. Por otro lado, uso de la dinamita para abrir las vetas de las diferentes minas provoca la contaminación del agua por los desechos de los explosivos. Del mismo modo, más arriba de la mina El Triunfo, otra cooperativa echa sus desechos directamente en el curso de agua, lo que aumenta considerablemente su carga. Como es informal y no reconocida por las autoridades, no es objeto de control.

Existen otras actividades que son fuentes de contaminación del lago Incachaca. En las inmediaciones directas del lago, se nota la presencia de actividades pastoriles y el desecho de basuras domésticas, lo que también puede perjudicar la calidad del agua.

#### LAGO DE EMBALSE DE AJUAN KHOTA

---

La represa de agua de Ajuan khota no es muy afectada por los fenómenos de la sequía, dado que recibe importantes aportes de agua provenientes de los glaciares. En cambio, esto la hace vulnerable a los flujos de fango y a las inundaciones. Las intensas precipitaciones del 25 de enero de 2008 provocaron la formación de una onda a nivel de la represa de Ajuan khota, lo que generó su desbordamiento, la crecida del torrente Hampaturi y un deslizamiento de terreno aguas abajo (Hardy, 2009)(capítulo II.7.1.2.).

#### LAGO DE EMBALSE DE HAMPATURI

---

Como en el caso del lago de embalse Incachaca, el retroceso de los glaciares y la irregularidad de las precipitaciones podrían provocar fenómenos de sequía a nivel de la represa de Hampaturi. El nivel de la represa es muy bajo y debido a la rápida extensión de la zona abastecida por el subsistema Pampahasi, la reserva de agua corre el riesgo de no llegar a ser suficiente a corto plazo. EPSAS prevé la construcción de un lago de embalse adicional entre las represas de Ajuankhota y de Hampaturi.

En la cuenca de drenaje de Hampaturi, entre las represas de Ajuankhota y de Hampaturi, se encuentra una mina en proceso de cierre (empresa minera La Solución). Aunque actualmente ya no hay actividades de extracción, la rehabilitación del sitio todavía no se ha llevado a cabo. Pero

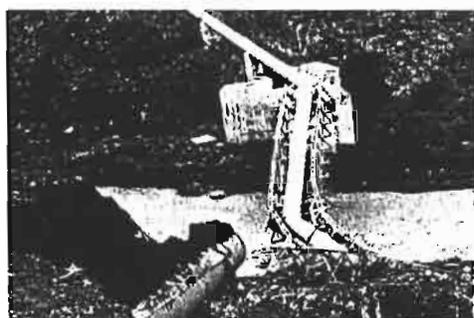
ya se creó una derivación a fin de impedir que las aguas que hayan circulado dentro de la mina desemboquen en las aguas de las represas. Actualmente está en funcionamiento una estación de tratamiento, pero todavía necesita mejoras como sellar e impermeabilizar la mina y las diferentes fosas (reunión con EPSAS, la prefectura y a dirección operativa de La Solución, enero de 2009).

### 7.1.2. TOMA DE AGUA

Adductions d'eau	Canal Incachaca		Canalisation Hampaturi	By-pass Hampaturi	Ancien canal d'Hampaturi	Station brise-charge (EIP)
	Canal semi-ouvert	Canalisation				
	Exposition et susceptibilité d'endommagement					
Phénomènes torrentiels		1	2	2	2	0
Inondations	1	0	0	0	1	0
Gissements de masse		2				
Contamination	1	1	1	1	1	0
Sécheresse	0	0	0	0	0	0
Mouvements sociaux	1	0	1	0	0	0
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>3</b>

Cuadro 24: Exposición del sistema de toma de agua del subsistema Pampahasi a amenazas externas

En cuanto al encause de agua por el sistema de toma proviene de represas con poco contenido de residuos mineros. Por lo tanto no está muy contaminada por metales pesados. Pero como en el caso de las tomas del subsistema Achachicala (capítulo II.6.1.2), las mismas son accesibles a todos y no están protegidas, lo que las hace vulnerables a las actividades humanas. Por otro lado, el sistema de toma podría deteriorarse por derrumbamientos o deslizamientos de tierras en temporada de lluvias. Por ejemplo, la ruptura de la canalización Hampaturi, el 25 de enero de 2008, se debió a un movimiento de tierra provocado aguas arriba por la crecida del torrente Hampaturi. Las otras tomas de este subsistema no se salvan de sufrir estos fenómenos. Pero a pesar de un grado alto de exposición, hay que relativizar su vulnerabilidad frente a tales fenómenos ya que durante la temporada de lluvias sólo se utiliza la canalización de Hampaturi (diciembre-marzo). La riqueza de la cuenca de drenaje y la capacidad de toma de la canalización Hampaturi permite un aporte de agua suficiente para el funcionamiento normal del subsistema Pampahasi.



#### CANALIZACIÓN HAMPATURI

La ruptura de la canalización de Hampaturi el 25 de enero de 2008 ha puesto en evidencia la exposición del sistema de abastecimiento de agua de la aglomeración a un conjunto de factores

Figura 25: El torrente en crecida y la canalización rota. S.HARDY, 26 de enero de 2008

externos al sistema. Las intensas precipitaciones, en enero de 2008, llenaron las represas hasta su máximo nivel. El 25 de enero, un violento viento hizo desbordar la represa Ajuankhota, aguas arriba de Hampaturi, y se formó una poderosa ola, provocando la crecida del torrente en el cual fluyen los excedentes de las dos represas. Mucho más abajo, el torrente forma un codo que erosiona fuertemente la vertiente de la orilla derecha. Esto ha provocado un deslizamiento de terreno que obstruyó el curso del torrente generando una barrera relativamente breve (menos de una hora). Pero la barrera se llevó uno de los pilares del puente que sostenía la canalización que transporta el agua de la represa a la planta de tratamiento de Pampahasi. Y la canalización se rompió (figura 25), impidiendo el encauzamiento del agua de las represas Hampaturi y Ajuankhota hasta la planta de potabilización. La canalización no pudo ser rehabilitada sino hasta el 15 de julio de 2008 (Hardy, 2009), y su ruptura ha privado a cerca de un tercio de la población de la aglomeración paceña de agua potable por canalización durante diecinueve días. Durante los trabajos de rehabilitación de la canalización, se construyó un pequeño muro para limitar las repercusiones de los fenómenos de erosión sobre la vertiente de la orilla derecha a partir de la cual se había formado una barrera en enero de 2008 (figura 26). Las reducidas dimensiones de la obra dan que pensar en cuanto a su eficacia en caso de presentarse un fenómeno extremo. Actualmente la canalización funciona con normalidad.

Además, la ruptura de la canalización no pudo ser advertida inmediatamente ya que el control de presión de la canalización se hace a la entrada de la planta de potabilización Pampahasi y antes de que los técnicos de EPSAS corten la llegada de agua correspondiente, el tiempo había transcurrido (Hardy, 2009). Esto tuvo efectos devastadores para las poblaciones rurales cuyos campos se inundaron. Durante los trabajos de rehabilitación de la canalización, las comunidades rurales de Hampaturi protestaron contra los daños ocasionados por la ruptura de la canalización sobre sus cultivos y sus viviendas. En enero de 2008 bloquearon el acceso a la zona, lo que retardó el comienzo de las reparaciones. En efecto, la empresa no es propietaria de los terrenos en los cuales se ha instalado la canalización. Simplemente dispone de un derecho de servicio. En febrero de 2008, las negociaciones terminaron con el financiamiento de trabajos de protección en caso de crecidas con la realización de muros defensivos en los torrentes Hampaturi y Palcoma. Dada la desprotección del sitio, la canalización es vulnerable a las actividades humanas. Esto la vuelve blanco fácil de los grupos sociales que quieren hacer escuchar sus reivindicaciones, quienes conscientes generan una obstrucción o una ruptura de la canalización.



Figura 26: Una combinación de factores amenazan la canalización Hampaturi. En primer plano, el torrente Hampaturi, fuertemente cargado de metales pesados, el pequeño muro construido para limitar los fenómenos de erosión de la orilla derecha, como resultado del movimiento de terreno el 25 de enero de 2008. Aguas abajo, el puente sobre el cual pasa la canalización de Hampaturi, que había sido arrancado en el derrumbamiento. La canalización no tiene ninguna protección y es de fácil acceso. Mayo de 2009.

#### CANAL INCACHACA

---

La sección semiabierta del canal Incachaca es particularmente vulnerable a los flujos de fango y a los movimientos de masa. Esto induce una fuerte turbiedad del agua (40 a 60 NTU<sup>1</sup> en lugar de 5 NTU en temporada seca). Por esta razón, de diciembre a marzo, EPSAS sólo trata el agua de Hampaturi, cuya toma se hace a través de una canalización de acero y cuya turbiedad es cercana a 5 NTU. El personal de EPSAS señala que la estación de potabilización funciona sin el agua de Incachaca durante 4 meses. El resto del año, el canal es vulnerable a las actividades humanas debido a que la toma no está protegida.

---

<sup>1</sup> NTU: Unidad de turbiedad nefelométrica.

#### ANTIGUO CANAL DE HAMPATURI

---

El antiguo canal se encuentra más abajo de la vertiente y está sometido a una intensa erosión. Varios deslizamientos de terreno afectan el antiguo canal que se encuentra obstruido en varias secciones. Las caídas de bloques de piedras también han contribuido al derrumbamiento de la parte superior del canal.

#### BY-PASS HAMPATURI

---

El by-pass Hampaturi fue instalado después del accidente de enero 2008. Está expuesto a deterioros debido a los movimientos de terreno, derrumbamientos o lavas torrenciales. El agua que circula en el by-pass proviene de la represa Hampaturi y por lo tanto está contaminada por los residuos mineros.

#### LA ESTACIÓN ROMPECARGA

---

La estación rompecarga (EIP) está expuesta a amenazas externas: fue construida en una zona de deslizamientos de terreno (figura 27), y en caso de lluvias intensas, podría fisurarse. Para impedir la infiltración del agua y por ende la fisura de las paredes de cemento de la cuenca, Aguas del Illimani había aplicado una cubierta de lona en el fondo y en las paredes de la cuenca. Se prevé llevar a cabo un proyecto de reubicación: la nueva EIP sería construida algunos metros más lejos y en terrenos más estables.



Figura 27: Estación rompecarga situada en una zona de deslizamiento de terreno. Marzo de 2009

### 7.3.3. TRATAMIENTO DEL AGUA

Traitement de l'eau	Station de potabilisation Pampahasi
Exposition et susceptibilité d'endommagement	
Phénomènes torrentiels	0
Inondations	0
Glissements de masse	0
Contamination	1
Sécheresse	2
Mouvements sociaux	0
<b>Total</b>	<b>3</b>

Cuadro 25: Exposición de las infraestructuras de tratamiento del agua a riesgos externos

El agua encauzada por el sistema de toma de agua, que llega hasta la planta de potabilización, está ligeramente contaminada por los residuos mineros presentes en las represas de agua de Hampaturi y de Incachaca.

Cuando hay sequía, la cantidad de agua que fluye de las represas hasta la estación Pampahasi es escasa. En este caso, la planta de tratamiento no puede responder a las necesidades de agua del subsistema Pampahasi.

Al igual que la planta Achachicala, la planta Pampahasi es permanentemente vigilada por el personal de seguridad, que controla la entrada de personas ajenas a la planta. Por lo tanto, el acceso al sitio está muy reglamentado, lo que disminuye su vulnerabilidad a las actividades humanas.

---

#### 7.1.4. MAPA BALANCE

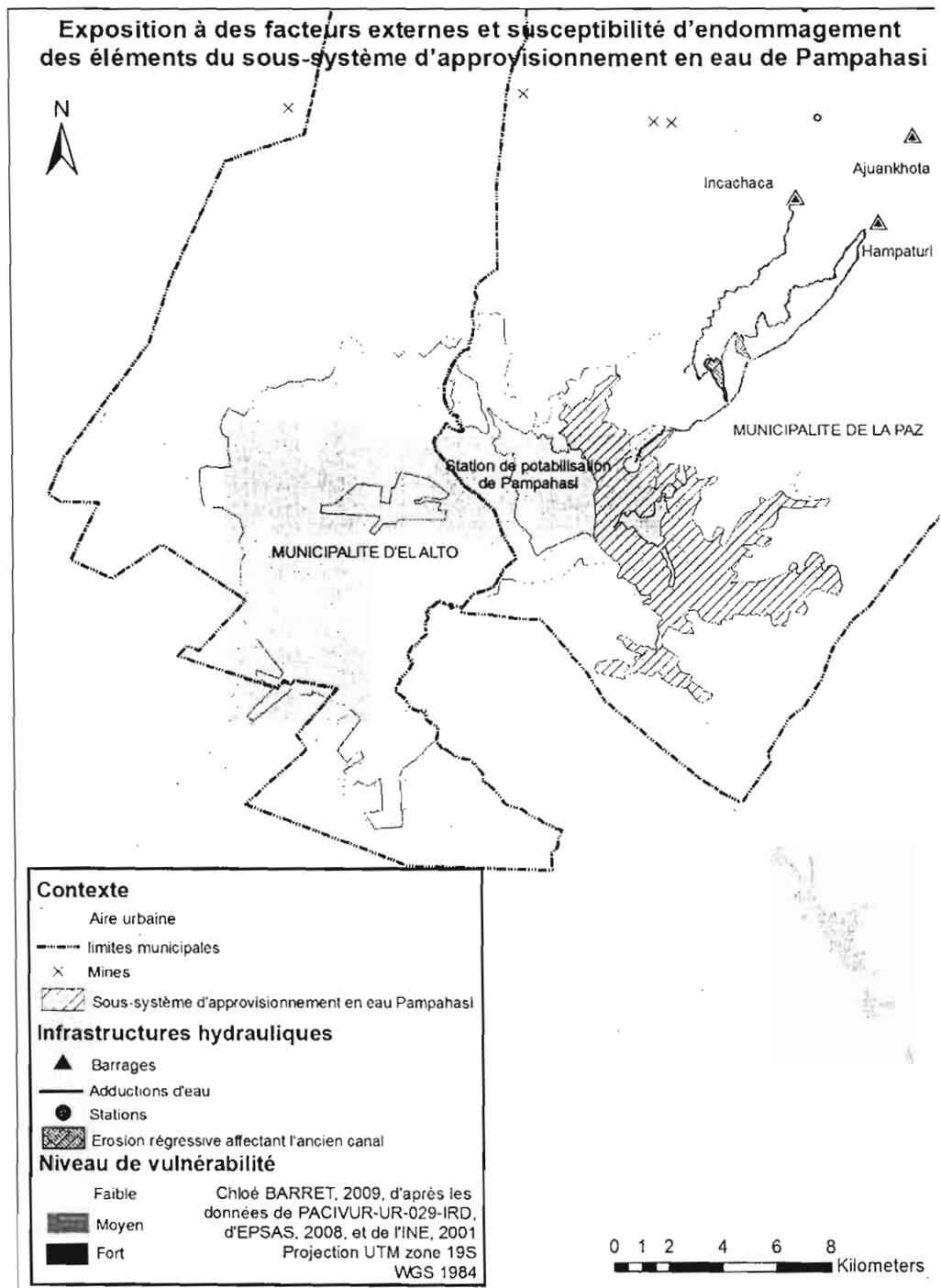


Figure 28: Exposición a factores externos y riesgo de deterioro del subsistema Pampahasi

## 7.2. DEPENDENCIA DE LOS ELEMENTOS A OTROS ELEMENTOS

### 7.2.1. REPRESAS DE AGUA

Retenues d'eau			
Dépendances	Lac de barrage Incachaca	Lac de barrage Ajuankhota	Lac de barrage Hampaturi
Electricité	0	0	0
Télécommunications	0	0	0
Produits chimiques	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Cuadro 26: Dependencias de las represas de agua del subsistema Pampahasi a otros elementos

Las represas de agua no presentan una dependencia particular. Pueden funcionar sin electricidad, ni producto químico, ni telecomunicación.

### 7.2.2. TOMA DE AGUA

Adductions d'eau						
Dépendances	Canal Incachaca		Canalisation Hampaturi	By-pass Hampaturi	Ancien canal d'Hampaturi	Station brise-charge (EIP)
	Canal semi-ouvert	Canalisation				
Electricité	0	0	0	0	0	1
Télécommunications	0	0	0	0	0	0
Produits chimiques	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

Cuadro 27: Dependencias del sistema de toma del subsistema Pampahasi a otros elementos

El sistema de toma no presenta una dependencia particular. Puede funcionar sin electricidad, ni producto químico ni telecomunicación. Las válvulas de la estación rompecarga son automatizadas por un mecanismo eléctrico. El buen funcionamiento de la infraestructura depende de la electricidad. Sin embargo, en caso de problema, las válvulas pueden ser accionadas manualmente.

### 7.2.3. POTABILIZACION DEL AGUA

Traitement de l'eau	
Dépendances	Station de potabilisation Pampahasi
Electricité	2
Télécommunications	1
Produits chimiques	2
Total	5

Cuadro 28: Dependencias de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Pampahasi a otros elementos

Las dependencias de la planta de potabilización Pampahasi son generalmente las mismas que en la planta de potabilización Pampahasi.

Primeramente la planta depende de la electricidad para hacer funcionar las bombas dosificadoras de cal, sulfato de aluminio y de cloro, bombas de lavado de los filtros, para ciertas válvulas y para el sistema de control de la calidad del agua. Antes, durante los cortes de electricidad, se hacía el lavado de los filtros. La planta de Pampahasi disponía entonces de dos grupos electrógenos. Actualmente sólo hay un grupo electrógeno, alimentado por una cuba de 200 litros. La potencia del generador es de 55KVA y permite el funcionamiento normal del laboratorio de análisis de agua, de los procesos de dosificación y de floculación. Al igual que en la planta Achachicala, permite el lavado de los filtros. La capacidad es aproximadamente de 24 horas.

Además, en caso de un problema de electricidad en una planta de potabilización, se pueden transportar las reservas de diesel de otra planta para aumentar la capacidad de funcionamiento de la planta sin electricidad.

En caso de presentarse un problema en las plantas de Pampahasi y Achachicala, se informa telefónicamente a los técnicos de apoyo quienes acuden al lugar para proceder a una rápida reparación (capítulo II.7.3.3.).

La planta de potabilización Pampahasi depende menos de la cal que la planta Achachicala, debido a que las aguas que llegan a la planta son de mejor calidad y necesitan menos tratamiento. Las cantidades de cal y de sulfato de aluminio mantenidos como reserva dan a la planta una autonomía de tratamiento de 3 a 4 meses, en caso de suspensión del abastecimiento. Asimismo, en la estación se almacenan 3 cilindros de dicloro de una tonelada, lo que da una autonomía de tratamiento de aproximadamente dos meses.

### 7.2.4. MAPA BALANCE

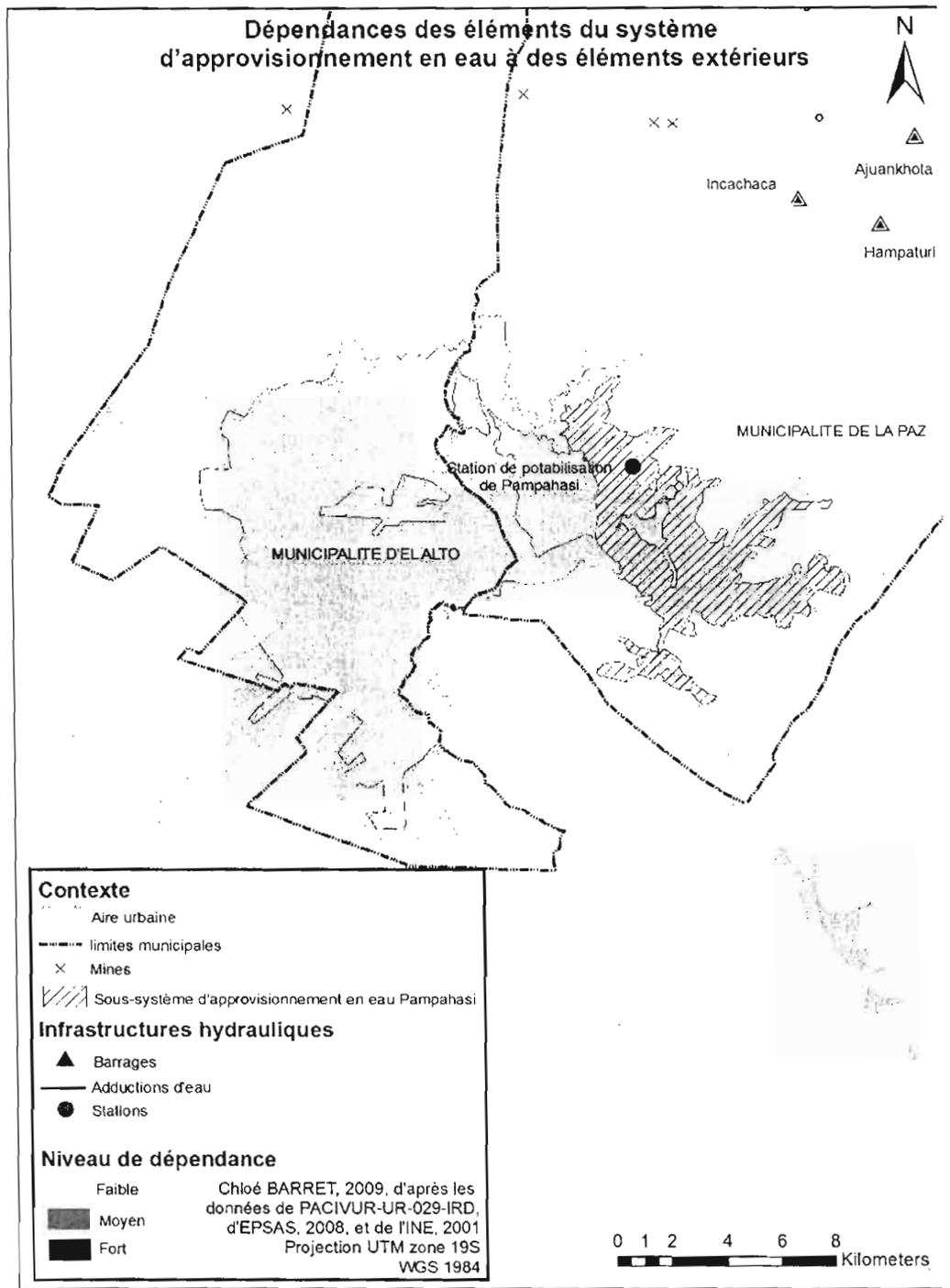


Figura 29: Dependencia a la electricidad, las telecomunicaciones y los productos químicos de los elementos del subsistema Pampahasi

7.3. VULNERABILIDAD INTRÍNSECA: ESTADO DE FUNCIONAMIENTO

7.3.1 REPRESAS DE AGUA

Lacs artificiels			
Vulnérabilité intrinsèque : état de fonctionnement	Lac de barrage Incachaca	Lac de barrage Ajuankhota	Lac de barrage Hampaturi
Ancienneté rapportée à la durée de vie utile de l'élément	0	0	
Expérience technique	2	1	
Dysfonctionnements enregistrés	0	1	2
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	

Cuadro 29: Vulnerabilidad Intrínseca de las represas de agua del subsistema Pampahasi

Las represas de Incachaca y Ajuankhota están en buen estado de funcionamiento (Diagnóstico de seguridad Estructural, COYNE ET BELLIER, 2002 e informe de Monitoreo de represas 2007).

Se puede observar no obstante que la represa Hampaturi es bastante antigua (construida en 1945) y que la mala calidad del agua debido a la contaminación genera un deterioro acelerado de las infraestructuras. Numerosas infiltraciones afectan la represa de Hampaturi. Y aunque no presenten riesgos estructurales a corto plazo, generan cierta pérdida del recurso de agua y en ausencia de medidas preventivas podrían provocar a largo plazo un riesgo de ruptura de la estructura con efectos devastadores para las comunidades rurales cercanas. Se podrá observar, por otro lado, que esta represa es particularmente importante para el abastecimiento de agua potable del subsistema Pampahasi, dado que los  $\frac{3}{4}$  del recurso de agua provienen de la cuenca de drenaje Hampaturi.

7.3.2. TOMA DE AGUA

Adductions d'eau						
Vulnérabilité intrinsèque : état de fonctionnement	Canal Incachaca		Canalisation Hampaturi	By-pass Hampaturi	Ancien canal d'Hampaturi	Station brise-charge (EIP)
	Canal semi-ouvert	Canalisation				
Ancienneté rapportée à la durée de vie utile de l'élément		2	1	0		0
Expérience technique	2	2		1	1	1
Dysfonctionnements enregistrés	1	1		0	2	1
<b>Total</b>		<b>5</b>		<b>1</b>		<b>2</b>

Cuadro 30: Vulnerabilidad intrínseca del sistema de toma de agua del subsistema Pampahasi

Cada canal y canalización (incluyendo el antiguo canal) es controlado semanalmente. Cada año, la empresa EPSAS efectúa trabajos de mantenimiento preventivo en el sistema de toma.



#### CANAL INCACHACA

El canal de Incachaca, que opera desde 1945, presenta un cemento en bastante mal estado. El fenómeno de helada-deshielo agrava los problemas de fisuración en el canal en esta altura (4396 m a nivel de la represa). Sin embargo, los trabajos de mantenimiento permiten reducir las pérdidas de agua por infiltración, que habrían disminuido de un 25% a 5% (EPSAS, 2009). El mantenimiento y las medidas de corrección preventivas se hacen anualmente, al final de la temporada de lluvias. Principalmente hay que desobstruir el canal y tapar las fugas aplicando una capa de secado rápido o una cubierta de lona impermeabilizando el fondo y las paredes del canal (figura 30).

Figura 30: Aplicación de una cubierta de lona para impermeabilizar el fondo y las paredes del canal para reducir las fugas. Marzo de 2009

#### CANALIZACIÓN HAMPATURI

La canalización de Hampaturi es la más reciente. Opera desde 1993 y está en buen estado de funcionamiento. No obstante, su exposición a los flujos de fango la vuelve muy frágil. Además, dado que los  $\frac{3}{4}$  del recurso de agua que permiten abastecer el subsistema de Pampahasi transitan por esta canalización, es un elemento central para el subsistema Pampahasi y lo hace un elemento muy vulnerable. Entre los disfuncionamientos registrados, la ruptura de esta canalización ocurrida en enero de 2008, es el evento que más ha afectado a la aglomeración (capítulo II.7.1.2).

#### BY-PASS PAMPATURI

---

Actualmente existe un by-pass, en caso de problema o de mantenimiento de la canalización, que permite encauzar el agua desde la represa Hampaturi a lo largo de dos kilómetros del antiguo canal, reparado en una emergencia luego de la ruptura de la canalización, para volver a llevar el agua a la canalización a nivel de la cuenca rompecarga (EIP). Opera desde 2008 y está en muy buen estado.



Figura 31: Antiguo canal de Milluni. Algunas partes no existen, por lo que el canal no es funcional. Marzo de 2009

#### ANTIGUO CANAL

---

El antiguo canal está situado más abajo de las vertientes, sometido a una erosión intensa, donde las obstrucciones son comunes. Se observa la alternancia de tramos de canal a cielo abierto, tramos cubiertos y secciones remplazadas por una canalización de acero. Esta toma está en muy mal estado (figura 31). Si bien la primera parte, hasta la confluencia con las canalizaciones en PVC que se unen al EIP, puede ser eventualmente utilizada, la segunda parte del canal no ha sido utilizada hasta la fecha.

#### ESTACIÓN ROMPECARGA (EIP)

---

La estación rompecarga tiene como función principal disipar la energía del agua que llega de la canalización Hampaturi. Asimismo, permite la regulación del caudal del agua del sistema, caudal que debe ser variado a nivel del EIP en función del nivel de la reserva de agua de la planta Pampahasi. Además es una parte integral del sistema de toma que en caso de problema grave ocasionado por una amenaza externa extrema, como por ejemplo un deslizamiento de terreno que ocasionara la pérdida de este elemento, se interrumpiría la alimentación. La cuenca rompecarga es automatizada por válvulas que pueden presentar ciertas disfunciones, pero según los técnicos de EPSAS estos problemas no se producen frecuentemente. Para prevenir las eventuales fisuras, se aplicó una cubierta de lona impermeabilizante sobre el fondo y las paredes de la cuenca (capítulo II.7.1.2.).

### 7.3.3. POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Traitement de l'eau	
Vulnérabilité intrinsèque : état de fonctionnement	Station de potabilisation Pampahasi
Ancienneté rapportée à la durée de vie utile de l'élément	2
Expérience technique	2
Dysfonctionnements enregistrés	1
<b>Total</b>	<b>5</b>

**JUSTIFICACIÓN:** A fin de juzgar sobre la vulnerabilidad intrínseca de la planta de potabilización de Achachicala, se efectuó una división en elementos esenciales con ayuda de los técnicos de EPSAS. De esta manera, se atribuyó una nota de vulnerabilidad a cada uno de estos elementos; el promedio de las notas permite dar un valor de vulnerabilidad general de la planta.

Cuadro 31: Vulnerabilidad Intrínseca de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Pampahasi

Elementos considerados	Antigüedad atribuida a la vida útil del elemento	Experiencia técnica	Disfuncionamiento registrado
Válvulas de entrada a la estación	2	2	1
Disipador de energía	1	1	0
Dosificadores de cal y de sulfato de aluminio	2	2	2
bombas de cal y de sulfato de aluminio	2	2	1
Floculadores	1	1	0
Sedimentador	1	1	0
8 Filtros	2	1	2
Bombas de lavado de los filtros	2	2	0
Dosificadores de cloro	1	2	2
Cuencas de agua filtrada	1	1	0
Cuencas de almacenamiento	1	1	0
Generador	2		0
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>8</b>

Cuadro 32 : Descomposición de la planta Pampahasi en elementos esenciales y vulnerabilidad intrínseca de estos elementos

Todos los elementos presentes tienen una función precisa en el proceso de potabilización y por lo tanto son importantes. En la planta de Pampahasi, la mayoría de estos elementos son múltiples lo que reduce su vulnerabilidad. Por ejemplo, se observa que hay dos entradas para el agua que llega de Incachaca, dos floculadores, ocho filtros, tres bombas y tres dosificadores de cal, dos bombas y dosificadores de sulfato de aluminio, tres dosificadores de cloro y tres cuencas de distribución. Un elemento muy importante es el generador de urgencia que por ser único se vuelve potencialmente vulnerable. Sin embargo, sólo se lo utiliza en caso de corte de electricidad, además su buen funcionamiento es controlado cada semana. Por lo tanto una avería del generador puede ser detectada fácilmente y esto reduce su vulnerabilidad.

La planta de potabilización Pampahasi presenta un estado operativo adecuado. En efecto, el mantenimiento regular de la planta de potabilización de Pampahasi y las ampliaciones y renovaciones hechas en 1978 y 1995 garantizan un estado de funcionamiento correcto de esta planta. Algunos elementos son algo antiguos y han sido largamente utilizados, por lo que deberían ser cambiados. Es el caso por ejemplo de las válvulas de entrada a la estación y de las válvulas de los filtros. Cada año ocurre un problema mecánico a nivel de los dosificadores de cal, de sulfato de aluminio y de cloro, y de las válvulas de los filtros.

---

#### 7.3.4. MAPA BALANCE

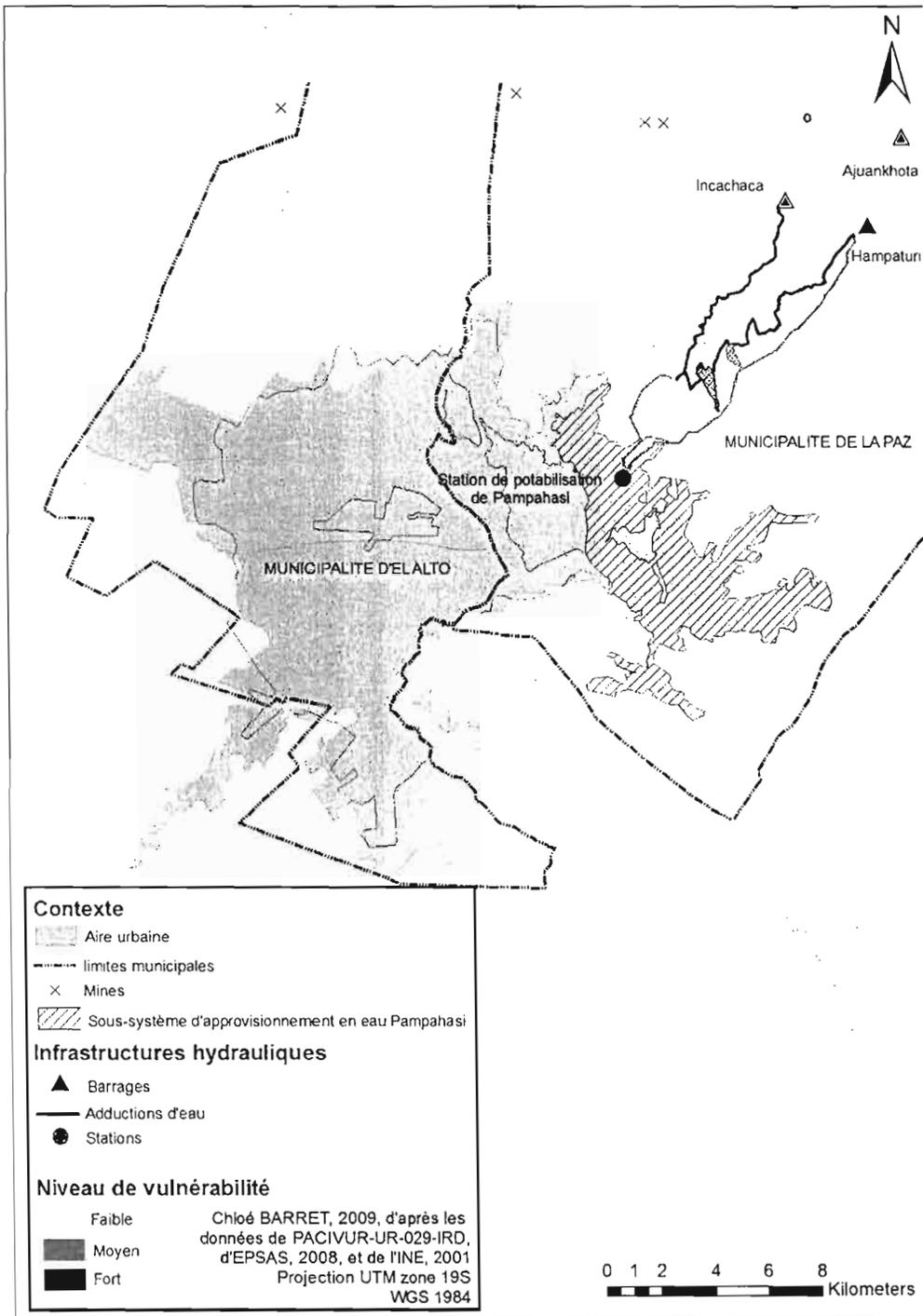


Figura 32: Vulnerabilidad intrínseca de los elementos del subsistema Pampahasi

7.4. ELEMENTOS QUE TIENDEN A REDUCIR LA VULNERABILIDAD (CAPACIDAD DE CONTROL, PREPARACIÓN PARA UNA SITUACIÓN DE CRISIS Y ALTERNATIVAS DE FUNCIONAMIENTO)

7.4.1. REPRESAS DE AGUA

Retenes d'eau			
Réduction de la vulnérabilité	Lac de barrage Incachaca	Lac de barrage Ajuankhota	Lac de barrage Hampaturi
<b>Capacité de contrôle</b>			
Accessibilité par voie terrestre	3	2	2
Accessibilité directe à l'élément	3	3	3
Personnel qualifié	1	1	1
Télévigilance			
<b>Préparation à une situation de crise</b>	1	1	1
<b>Alternatives de fonctionnement</b>	1		
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

Cuadro 33: Reducción de la vulnerabilidad de las represas de agua del subsistema Pampahasi

La capacidad de control de la represa de Incachaca es buena: se puede acceder fácilmente a ella por la carretera asfaltada que une La Paz con Coroico (figura 33). El acceso a las represas Ajuankhota y Hampaturi no es tan fácil, se hace a través de caminos de tierra muy expuestos a los deslizamientos de terreno y a las inundaciones, lo que puede retrasar el comienzo de los trabajos en caso de problema serio en estas dos represas.

Cada una de las represas es objeto de un control regular:

- Control de filtración: una vez a la semana
- Control de fisuras: dos veces al mes
- Control de presión: dos veces al año
- Control de calidad: dos veces al año

Como en las represas de agua del subsistema de Achachicala, dos operadores se dedican a la vigilancia de las infraestructuras y a la recolección de datos como el nivel de agua de las represas. Durante la temporada lluvias, atraviesan en motocicleta por los diferentes elementos del sistema a pesar del mal estado del camino. En caso de una fuerte sequía, existe un plan de contingencia como herramienta de gestión que obliga a restringirse en el bombeo del agua con el fin de minimizar los efectos que podría ocasionar la sequía. Además, la cuenca hidrológica Hampaturi es más rica que la de Incachaca; si a corto plazo la represa Incachaca se vuelve inutilizable por alguna razón, las represas Ajuankhota y Hampaturi tienen la capacidad de proporcionar la cantidad de agua necesaria para el funcionamiento normal del sistema de abastecimiento de agua. Además, la canalización Hampaturi tiene una capacidad suficiente para transportar el agua hasta la planta Pampahasi. En cambio, la capacidad de la cuenca hidrológica

Incachaca y del canal de Incachaca es muy reducida como para asegurar un aporte de agua suficiente para el buen funcionamiento del sistema. Por el momento no existen alternativas interesantes.



Figura 33: Accesibilidad del lago de embalse Incachaca por el camino asfaltado La Paz-Coroico. Marzo 2009

#### 7.4.2. TOMA DE AGUA

Adductions d'eau		Canal Incachaca		Canalisation Hampaturi	By-pass Hampaturi	Ancien canal d'Hampaturi	Station brise-charge (EIP)
Réduction de la vulnérabilité		Canal semi-ouvert	Canalisation				
Capacité de contrôle							
Accessibilité par voie terrestre				2	1		2
Accessibilité directe à l'élément		2	1		3	1	2
Personnel qualifiés		1	1	1	1	1	1
Surveillance							
Préparation à une situation de crise		1	1	1	1	2	2
Alternatives de fonctionnement		1	1	1	2	2	1
Total		5	4	5	8	6	8

Cuadro 34: Reducción de la vulnerabilidad del sistema de toma de agua del subsistema Pampahasi

#### CANAL INCACHACA

Solo ciertos tramos son accesibles en motocicleta por un camino que bordea el canal. En caso de obstrucción o de deterioro de esta toma, el personal de EPSAS no podría actuar con prontitud. Sin embargo, la capacidad de la toma Hampaturi es suficiente para transportar la cantidad de agua necesaria para el funcionamiento normal del sistema de abastecimiento de agua.

#### CANALIZACIÓN HAMPATURI

Existe un largo camino en ciertas partes de la canalización, que permite el acceso a los vehículos motorizados. Otros tramos son mucho menos accesibles. Se observa también que la canalización de Hampaturi pasa bajo el terreno de una escuela y llega al pueblo de Hampaturi, lo que plantaría un problema si tuvieran que realizarse trabajos de mantenimiento.

Por esta canalización transitan  $\frac{3}{4}$  del agua que llega a la planta de potabilización. Consecuentemente, la canalización Hampaturi es un elemento central en el subsistema Pampahasi, y la ruptura de la canalización, en enero de 2008, generó una verdadera situación de crisis que duró hasta la rehabilitación de la instalación. Por lo tanto sería interesante ver, más de dos años después de este incidente, si actualmente existen soluciones alternativas que permitan evitar una situación como esa.

El antiguo canal Hampaturi podría presentar una alternativa interesante en caso de falla en la canalización Hampaturi, pero debido a la erosión intensa en la región de La Paz, algunos tramos del canal desaparecieron por completo y su rehabilitación parece ser muy difícil. A corto plazo, parece que esta opción es poco factible como alternativa de funcionamiento para el subsistema de Pampahasi. EPSAS afirma sin embargo que este canal va a ser enteramente rehabilitado en los próximos años.

La alternativa llevada a cabo durante la crisis de febrero de 2008 es, en cambio, una alternativa más seria. El estado del antiguo canal permite transportar el agua a lo largo de sus dos primeros kilómetros, enseguida el agua derivada hasta la EIP a nivel de la canalización Hampaturi por cuatro canalizaciones en PVC. Después, el agua transita hasta la planta de Pampahasi por la canalización Hampaturi. Sin embargo, esta alternativa puede permitir la continuidad del sistema de toma solamente si la ruptura o la obstrucción de la canalización Hampaturi se produce antes del EIP. Si ocurre un problema serio en la canalización después de la EIP, no existe ninguna alternativa eficaz que permita transportar las cantidades de agua necesarias hasta la estación de potabilización Pampahasi.



Figura 34: El by-pass, una alternativa en caso de disfuncionamiento de la canalización Hampaturi (antes de la EIP). Marzo de 2009

#### BY-PASS HAMPATURI Y ANTIGUO CANAL DE HAMPATURI

---

El by-pass y el antiguo canal son utilizados solamente en caso de problema en la toma Hampaturi. Como es difícilmente previsible un problema grave para constituir una alternativa interesante, siempre deben estar en buen estado de funcionamiento. Sin embargo, su control es difícil debido a su mala accesibilidad. Por ejemplo, el antiguo canal, situado en ladera de vertiente, únicamente es accesible a pie.

#### ESTACIÓN ROMPECARGA (EIP)

---

Si ocurre un apagón, se puede transportar un generador de repuesto hasta la estación para hacer funcionar el sistema de regulación del caudal, tomando en cuenta que la estación es fácilmente accesible en vehículo motorizado. Además, las válvulas pueden ser accionadas manualmente. En caso de pérdida del elemento, causada por un importante deslizamiento de terreno, habría discontinuidad en el sistema de toma y el agua proveniente de Hampaturi y Ajuan Khota ya no llegaría a la planta. En este caso, no habría ninguna alternativa eficaz, ya que el canal de Incachaca no permite el transporte de una cantidad de agua suficiente para responder a las necesidades de la planta Pampahasi. Esto podría provocar una verdadera situación de crisis.

### 7.4.3. POTABILIZACIÓN DEL AGUA

<b>Traitement de l'eau</b>	
<b>Réduction de la vulnérabilité</b>	<b>Station de potabilisation Pampahasi</b>
<b>Capacité de contrôle</b>	
Accessibilité par voie terrestre	3
Accessibilité directe à l'élément	3
Personnel qualifié	2
Télévigilance	3
<b>Préparation à une situation de crise</b>	2
<b>Alternatives de fonctionnement</b>	2
<b>Total</b>	<b>15</b>

Cuadro 35: Reducción de la vulnerabilidad de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Pampahasi

Si en las tomas de agua ocurre un problema grave que impida el encauzamiento del agua desde las represas, las tres cuencas de distribución de agua de 2500 m<sup>3</sup> permiten cada una en promedio una autonomía de solamente 2 horas, y esta duración varía según la cantidad de consumo de agua de los usuarios durante el día. De esta manera, si ocurre un accidente de esta naturaleza por la mañana, la autonomía de la planta sería breve.

Los factores de reducción de la vulnerabilidad de la planta de potabilización son generalmente los mismos que en la planta de tratamiento de Achachicala:

La multiplicidad de los elementos esenciales de la planta permite garantizar la continuidad del proceso de potabilización del agua en caso de problemas serios en uno de estos elementos. La planta presenta dos dispositivos de potabilización, idénticos y paralelos, lo que permite que se abra uno durante la reparación del otro.

Existe un sistema de control de la calidad del agua a la entrada y a la salida de la planta Hampaturi. Los datos son registrados y transferidos en una computadora y luego son controlados regularmente por un técnico de la empresa EPSAS. Esto permite detectar rápidamente cualquier falla. Durante la noche, el fin de semana y los días feriados, dos operadores están presentes las 24 horas en la planta Pampahasi. En caso de problema, los operadores pueden contactar a uno de los tres técnicos de turno del conjunto del sistema de la aglomeración de La Paz-El Alto. Según la naturaleza de la falla, se llamará ya sea al técnico químico, mecánico u operador de máquinas. En caso de apagón, el generador de urgencia permite una autonomía de funcionamiento de 24 horas y las reservas de diesel de otra planta de potabilización pueden ser transportadas hasta Hampaturi para aumentar la capacidad de

duración. En caso de escasez de productos químicos, hemos visto que la planta tiene reservas suficientes para una autonomía de 3 meses o más.

Se observó además que las redes de abastecimiento de los tres subsistemas están parcialmente interconectadas. Así, otras plantas del sistema podrán eventualmente producir más para apoyar la parte de la red deficitaria.

---

## 7.5. SÍNTESIS

El grupo lago Ajuankhota-lago Hampaturi-canalización Hampaturi-EIP constituye la parte principal del subsistema Pampahasi. Las represas Ajuankhota y Hampaturi constituyen la fuente principal del abastecimiento del subsistema Pampahasi. En promedio, estas represas proporcionan  $\frac{3}{4}$  del agua necesaria al subsistema; en temporada de lluvias éstas proporcionan la totalidad del agua, por lo que ya no se utiliza la represa Incachaca. La canalización Hampaturi, pasando por la EIP, permite de esta manera transportar, según la época del año, los  $\frac{3}{4}$  o la totalidad del agua necesaria para el subsistema Pampahasi, de ahí la importancia del grupo lago Ajuankhota - lago Hampaturi - Hampaturi - canalización Hampaturi - EIP. En temporada seca, el grupo represa Incachaca-canal Incachaca puede presentar una alternativa al grupo principal, pero no permite responder a la totalidad de las necesidades de agua ya que el canal Incachaca no tiene suficiente capacidad. La parte de toma Hampaturi-EIP presenta una alternativa de funcionamiento eficaz, el bay pass instalado después de la ruptura de la canalización de enero de 2008. Este único elemento del grupo lago Ajuankhota - lago Hampaturi - Hampaturi - canalización Hampaturi - EIP presenta una alternativa interesante. Actualmente, en caso de pérdida en los otros elementos del grupo en temporada de lluvias, se interrumpe totalmente el abastecimiento de agua. En temporada seca, este abastecimiento es muy limitado. Por lo tanto, el conjunto de factores contribuye a que este grupo sea muy vulnerable. Primero, el grupo está muy expuesto a los riesgos como los deslizamientos de terreno, flujos de fango, actividades humanas y contaminación debido a la actividad minera cerca de las represas de agua. Por otro lado, también las represas están sujetas a los fenómenos de sequía. Además la zona abastecida por el subsistema Pampahasi se extiende rápidamente y el subsistema Pampahasi debe hacer frente a una creciente demanda de agua, lo que puede plantear problemas a largo plazo. A esto se añaden algunas fallas internas debido a la antigüedad de los elementos o a causa de las amenazas externas. La acumulación de los factores de vulnerabilidad y la importancia del grupo para el buen funcionamiento del subsistema Pampahasi hacen que este grupo sea particularmente frágil.

La planta de potabilización Pampahasi presenta un estado operativo adecuado. La principal vulnerabilidad de la planta vendría del hecho que presenta una fuerte dependencia de productos químicos y eléctricos. Sin embargo, existen diferentes factores que tienden a reducir la vulnerabilidad, especialmente la preparación en caso de escasez de productos químicos o en caso de apagón, existen reservas de cal, cloro, sulfato de aluminio y diesel en la planta. Además existen sistemas de control que permiten darse cuenta de un problema rápidamente: la planta

tiene alternativas de funcionamiento debido a la multiplicidad de los elementos y a la interconexión con las otras plantas del gran sistema. Esto tiende a reducir su vulnerabilidad.

## **CONCLUSIÓN – LÍMITE DEL ESTUDIO**

Debido a que el abastecimiento de agua constituye un desafío para el funcionamiento urbano y que por lo tanto su falla se convierte en un factor de posible de crisis, resulta oportuno realizar este estudio apuntando a un análisis general de la vulnerabilidad de los subsistemas de abastecimiento de agua potable Achachicala y Pampahasi. El objetivo fue poner en evidencia las vulnerabilidades que escapan a la empresa. Este análisis presenta ciertos límites. Tomemos un ejemplo: Se realizaron estudios profundos sobre la represa Milluni que revelaron la fuerte contaminación del lago, con datos precisos. Sin embargo, estos valores no existen respecto a las represas Incachaca y Hampaturi, por lo tanto la nota sobre la vulnerabilidad fue puesta de una manera subjetiva. En este caso, la nota cuenta con el acuerdo del personal de EPSAS en comparación con la represa de Milluni. Por otra parte, fue difícil definir criterios de calificación de objetivos para cada factor de vulnerabilidad, ya que no se dispone de informaciones necesarias para tal efecto.

A pesar de todo, este análisis señala las debilidades principales de los subsistemas Achachicala y Pampahasi, y el asociado EPSAS podrá proceder a realizar estudios detallados sobre los puntos débiles del sistema. Esto le permitirá anticipar y prever la reducción de consecuencias de la vulnerabilidad de los subsistemas Achachicala y Pampahasi a través de una planificación de tareas a poner en práctica, que pueden ser consignadas en un plan de seguridad industrial. Comprendiendo qué, es lo que hace vulnerable a los dos subsistemas de abastecimiento de agua, el asociado EPSAS podrá reflexionar en alternativas de funcionamiento posibles sobre el reforzamiento del control, las simulaciones de crisis, a fin de reducir la vulnerabilidad de los elementos sensibles.

## TABLA DE LAS ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<i>Figura 1: Situación geográfica de la aglomeración de La Paz</i>	1
<i>Figura 2: Plano de la ciudad de La Paz en 1912</i>	1
<i>Figura 3: Extensión de la superficie construida en la aglomeración de La Paz- El Alto de 1600a hoy día</i>	10
<i>Figura 4: Los subsistemas de abastecimiento de agua en la municipalidad de La Paz</i>	14
<i>Figura 5: Porcentaje de la población abastecida de agua potable por canalización</i>	15
<i>Figura 6: Represas de agua y toma del sistema de abastecimiento de agua de La Paz-El Alto</i>	17
<i>Figura 7: Registro histórico pluviométrico a nivel de los embalses de la empresa EPSAS</i>	1
<i>Figura 8: Represa Hampaturi, EPSAS, 2009</i>	1
<i>Figura 9: En primer plano, el lago de Milluni Chico, que alimenta directamente el lago embalse de Milluni Grande, aguas abajo. Fotografía tomada en enero de 2009 desde el camino La Paz-Zongo</i>	30
<i>Figura 10: El embalse de Milluni, en enero de 2009, un nivel crítico para la temporada</i>	1
<i>Figura 11: Entrada del tramo Milluni- Forebay, 2009</i>	1
<i>Figura 12: Canal de Milluni, tramo Milluni-Forebay, 2009</i>	1
<i>Figura 13: Llegada de las aguas de Milluni (a izquierda) y del Choqueyapu (a derecha) a la planta de potabilización Achachicala, 2009</i>	1
<i>Figura 14: Exposición a factores externos y riesgo de daño de los elementos del subsistema Achachicala</i>	35
<i>Figura 15: Reserva de cal de la calera Milluni, mayo 2009</i>	1
<i>Figura 16: Añadido de cal en el canal de Milluni, a nivel de la calera Milluni, mayo 2009</i>	1
<i>Figura 17: Dependencia de los elementos del subsistema Achachicala de la electricidad, las telecomunicaciones y los productos químicos.</i>	40
<i>Figura 18: Lago de Jankokhota y entrada del canal de Milluni, enero 2009</i>	1
<i>Figura 19: Tramo Jankokhota-Milluni del canal de Milluni, enero 2009</i>	1
<i>Figura 20: Tramo Milluni-Forebay del canal de Milluni, enero 2009</i>	1
<i>Figura 21: Los doce filtros de la planta de tratamiento Achachicala, enero 2009</i>	1
<i>Figura 22: Los dos sedimentadores de la planta de tratamiento Achachicala, enero 2009</i>	1
<i>Figura 23: Vulnerabilidad intrínseca de los elementos del subsistema Achachicala</i>	47
<i>Figura 24: Sistema de control de la calidad del agua a la entrada de la planta de potabilización Achachicala, enero 2009</i>	1
<i>Figura 25: El torrente en crecida, y la canalización rota, S. HARDY, 26 de enero 2008</i>	1
<i>Figura 26: Una combinación de factores que amenazan la canalización Hampaturi. En primer plano, el torrente Hampaturi, fuertemente cargado de metales pesados, el pequeño muro construido para limitar los fenómenos de erosión de orilla derecha, como consecuencia del movimiento de terreno el 25 de enero 2008. Aguas abajo,</i>	

el puente sobre el cual pasa la canalización de Hampaturi, que había sido arrastrado en la debacle. La canalización no tiene una protección lo que permite el acceso a todos, mayo 2009.	58
Figura 27: Estación rompecarga situada en una zona de deslizamiento de terreno marzo 2009	60
Figura 28: Exposición a factores externos y riesgo de daño del subsistema Pampahasi	62
Figura 29: Dependencia de la electricidad, las telecomunicaciones y los productos químicos de los elementos del subsistema Pampahasi	65
Figura 30: Colocación de una cubierta de lona impermeabilizante sobre el fondo y las paredes del canal para reducir las fugas, marzo 2009	1
Figura 31: Antiguo canal de Milluni. Algunas partes no existen lo que vuelve que el canal no sea funcional, marzo 2009	1
Figura 32: Vulnerabilidad intrínseca de los elementos del subsistema Pampahasi	71
Figura 33: Accessibilidad del lago de embalse Incachaca por el camino asfaltado La Paz-Coroico, marzo 2009	73
Figura 34: El by-pass, una alternativa en caso de disfuncionamiento de la canalización Hampaturi (antes de la EIP), marzo 2009	1

## CUADROS

Cuadro 1: Servicio de los diferentes subsistemas de abastecimiento de agua potable de la aglomeración paceña	16
Cuadro 2: Características de las represas de agua del subsistema Achachicala	18
Cuadro 3: Características del sistema de toma del subsistema Achachicala	19
Cuadro 4: Características de la estación de potabilización Achachicala	20
Cuadro 5: Características de las represas de agua del subsistema Pampahasi	21
Cuadro 6: Características del sistema de toma del subsistema Pampahasi	22
Cuadro 7: Características de la estación de potabilización Pampahasi	23
Cuadro 8: Contribución de los glaciares a los subsistemas Achachicala y Pampahasi en el periodo 1997-2006	25
Cuadro 9: Cuantificación esperada cuando los glaciares hayan desaparecido en las cuencas hidrológicas que alimentan los subsistemas Achachicala y Pampahasi	25
Cuadro 10: Exposición de las represas de agua del subsistema Achachicala a amenazas externas	29
Cuadro 11: Vulnerabilidad del sistema de toma de agua del subsistema Achachicala a las amenazas externas	31
Cuadro 12: Exposición de las infraestructuras de tratamiento del subsistema Achachicala a las amenazas externas	33
Cuadro 13: Dependencia de las represas de agua del subsistema Achachicala a otros elementos	36
Cuadro 14: Dependencia de las tomas de agua del subsistema Achachicala a otros elementos	36
Cuadro 15: Dependencia de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Achachicala a otros elementos	37
Cuadro 16: Vulnerabilidad intrínseca de las represas de agua del subsistema Achachicala	41
Cuadro 17: Vulnerabilidad intrínseca del sistema de toma del subsistema Achachicala	42
Cuadro 18: Vulnerabilidad intrínseca de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Achachicala	1
Cuadro 19: Descomposición de la planta Achachicala en elementos esenciales y vulnerabilidad de estos elementos	45
Cuadro 20: Reducción de la vulnerabilidad de las represas de agua del subsistema Achachicala	48
Cuadro 21: Reducción de la vulnerabilidad del sistema de toma de agua del subsistema Achachicala	49
Cuadro 22: Reducción de la vulnerabilidad de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Achachicala	51
Cuadro 23: Exposición de las represas de agua del subsistema Pampahasi a amenazas externas	54
Cuadro 24: Exposición del sistema de toma de agua del subsistema Pampahasi a amenazas externas	56

<i>Cuadro 25: Exposición de las infraestructuras de tratamiento del agua a amenazas externas</i>	60
<i>Cuadro 26: Dependencia de las represas de agua del subsistema Pampahasi a otros elementos</i>	63
<i>Cuadro 27: Dependencia del sistema de toma del subsistema Pampahasi a otros elementos</i>	63
<i>Cuadro 28: Dependencia de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Pampahasi a otros elementos</i>	64
<i>Cuadro 29: Vulnerabilidad intrínseca de las represas de agua del subsistema Pampahasi</i>	66
<i>Cuadro 30: Vulnerabilidad intrínseca del sistema de toma de agua del subsistema Pampahasi</i>	67
<i>Cuadro 31: Vulnerabilidad intrínseca de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Pampahasi</i>	69
<i>Cuadro 32: Descomposición de la planta Pampahasi en elementos esenciales y vulnerabilidad intrínseca de estos elementos</i>	69
<i>Cuadro 33: Reducción de la vulnerabilidad de las represas de agua del subsistema Pampahasi</i>	72
<i>Cuadro 34: Reducción de la vulnerabilidad del sistema de toma de agua del subsistema Pampahasi</i>	74
<i>Cuadro 35: Reducción de la vulnerabilidad de las infraestructuras de tratamiento del agua del subsistema Pampahasi</i>	76

Vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable de La Paz : subsistema Achachicala y Pampahasi.

La Paz : IRD, 2011, 81 p. multigr.