

CENTRO  
A. G. U. A.

# GESTIÓN DE LOS RESIDUOS URBANOS EN LA CUENCA HIDROSOCIAL PUCARA



Luís Pérez  
Mauricio Andrade  
Alan Camacho

Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua

Instituto Danés para Estudios Internacionales

Reporte de Investigación N° 2





Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua  
(Centro AGUA-UMSS)

Reporte de Investigación Nro. 2

# Gestión de los residuos urbanos en la cuenca hidrosocial Pucara

Luís Pérez  
Mauricio Andrade  
Alan Camacho



Universidad Mayor de San  
Simón



Facultad de Ciencias Agrícolas  
y Pecuarias

Proyecto GIRH

Estrategia para la Gestión  
de Recursos Hídricos  
en Cuencas de Bolivia



DANISH INSTITUTE  
FOR INTERNATIONAL  
STUDIES

Instituto Danés para Estudios  
Internacionales

© Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)  
Universidad Mayor de San Simón  
Av. Petrolera Km. 4,5 (Facultad de Agronomía)  
Teléfono: +591 4 4762382  
[www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)  
Cochabamba, Bolivia

Agradecimientos a:

Raúl Ampuero, por su participación en el diseño conceptual de la investigación  
Oscar Delgadillo, por la revisión del documento y valiosos comentarios

Diseño y Edición:  
Franz Quiroz

Impresión:  
Live Graphics

Cochabamba, Bolivia

Mayo, 2011

## **CENTRO AGUA - UMSS**

El Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) es un centro de investigación y enseñanza, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas y Pecuarias de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS, Cochabamba-Bolivia). Inició sus actividades el año 1991 gracias a un convenio de cooperación internacional entre la UMSS y la Universidad de Wageningen (Holanda). En base a las experiencias y conocimientos acumulados desde su creación, actualmente trabaja en forma interactiva y multidisciplinaria en la profundización del conocimiento sobre la gestión y los usos del agua.

El Centro AGUA se proyecta como un referente nacional en la investigación y enseñanza para la gestión integral, equitativa y sostenible del agua. Mediante sus líneas de acción (formación académica, investigación, coordinación institucional y servicios) pretende contribuir en la gestión concertada y al uso sostenible del agua y a largo plazo en la solución de los problemas hídricos en Bolivia.



# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>2. CONTEXTO LOCAL Y METODOLOGÍA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Contexto local</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Metodología</b> .....	<b>6</b>
<b>3. DEFINICIONES Y CONCEPTOS NECESARIOS</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1 Desechos urbanos</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2 Aguas residuales</b> .....	<b>7</b>
Aguas residuales domésticas .....	7
Aguas residuales industriales .....	7
Aguas residuales agropecuarias .....	7
Tratamiento de aguas residuales .....	8
<b>3.3 Residuos sólidos y su gestión</b> .....	<b>8</b>
Residuos domiciliarios urbanos .....	9
Residuos especiales .....	10
Residuos industriales .....	10
Residuos inertes .....	10
<b>3.4 Riesgos y amenazas</b> .....	<b>10</b>
Riesgo sanitario .....	11
Riesgo ambiental .....	11
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1 Contexto normativo en Bolivia</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2 Aguas residuales y excretas en la cuenca hidrosocial Pucara</b> .....	<b>14</b>
Sistemas de alcantarillado .....	14
Aguas residuales especiales .....	21
Sistemas familiares de baños con arrastre de agua .....	22
Pozos ciegos .....	22
Aire libre .....	23
<b>4.3 Residuos sólidos</b> .....	<b>23</b>
Generación de desechos sólidos .....	23
Recolección y transporte de residuos sólidos .....	23
Residuos peligrosos .....	26
<b>4.4 Impactos y/o riesgos generados</b> .....	<b>27</b>
Riesgo sanitario .....	28
Riesgo ambiental .....	28
Vulnerabilidad ambiental .....	30
<b>4.5 Percepción de organizaciones locales</b> .....	<b>32</b>
Alcaldías municipales y sus unidades técnicas .....	32
Usuarios de las aguas residuales .....	33
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>34</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>37</b>
<b>7. ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>40</b>
<b>8. ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>40</b>



# PRESENTACIÓN

Las características climáticas combinadas con la calidad de sus suelos, han hecho del Valle Alto de Cochabamba una zona tradicionalmente agropecuaria. Aprovechando las fuentes de agua de la zona cordillerana cercana y fuentes de agua subterráneas, la práctica de la agricultura regada ha tenido también un gran desarrollo en la zona, principalmente en la zona alta de la cuenca (Tiraque) y el abanico de Punata. Adicionalmente, durante los últimos años la zona ha sufrido un incremento importante en su población, lo que ha complejizado aún más el uso y la gestión del agua al incrementarse el aprovechamiento del agua para consumo humano, así como los riesgos de contaminación del agua en sus cuencas.

La tradición y vocación agropecuarias del Valle Alto han cobrado una mayor importancia para el departamento debido a la inminente urbanización del valle central de Cochabamba. En este contexto, durante los últimos años el Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) de la Universidad Mayor de San Simón, viene ejecutando varios proyectos de investigación en esta zona, abordando la problemática del uso y gestión del agua desde una perspectiva caracterizada principalmente por un abordaje socio-técnico a la temática del agua. Como producto de estas investigaciones se ha generado gran cantidad de información, importante para el ámbito académico y la formación universitaria, pero que consideramos puede ser también de mucha utilidad para la planificación y ejecución de acciones que promuevan una mejor calidad de vida para los pobladores de Tiraque y Punata, manteniendo su tradición agropecuaria y conservando sus fuentes de agua.

En ese sentido la elaboración de esta serie de reportes de investigación tiene como objetivo proporcionar información resultante de proyectos de investigación del Centro AGUA que son o fueron ejecutados en gestiones pasadas, de manera que puedan ser utilizado en procesos de planificación del uso y gestión del agua a diferentes niveles, así como también para la ejecución de proyectos, tanto de aprovechamiento como de conservación del agua. De esa manera estos reportes están dirigidos hacia autoridades y técnicos municipales, profesionales vinculados a ONG's, consultores, asesores y líderes de organizaciones campesinas, preocupados e involucrados en la búsqueda de una mejor vida para la población de sus comunidades y municipios, a través de una gestión adecuada y sustentable del agua, así como de su conservación en cantidad y calidad.

El presente reporte de investigación es uno de los resultados de la implementación del Proyecto GIRH (Estrategias para la gestión integral de recursos hídricos en cuencas de Bolivia), proyecto de investigación financiado por la cooperación danesa. El reporte se centra en el análisis de la situación actual de la gestión de residuos urbanos (líquidos y sólidos) en la cuenca hidrosocial Pucara (municipios de Tiraque y Punata), encontrando indicios de una deficiente gestión de los residuos generados y la existencia de coberturas bajas en saneamiento básico. Asimismo, corrobora una debilidad institucional en la que se desenvuelven las instituciones públicas, condicionando su capacidad de respuesta ante la situación actual y futura. Finalmente, se identifican grupos sociales que intervienen en la gestión de residuos líquidos en la cuenca, y se rescata sus percepciones y se identifican su relacionamiento con otros grupos de interés en la gestión del agua en la cuenca.

Ing. Msc. Alfredo Durán  
Coordinador General Centro AGUA

# 1. INTRODUCCIÓN

En el pasado, los residuos producidos por las actividades humanas estaban constituidos casi exclusivamente por materia orgánica y, como las concentraciones humanas eran pequeñas, su disposición era de fácil solución y sin implicar mayores daños debido a la capacidad de asimilación de la naturaleza (Consoni, 2005). Hoy se reconoce que dicha capacidad ha sido sobrepasada en muchos casos, tornándose esta situación más evidente cuando se trata de grandes asentamientos urbanos. Así, el problema de la gestión de los residuos, progresivamente, está asumiendo dimensiones críticas para la mayoría de los municipios.

En las ciudades pequeñas y zonas rurales de América Latina, el abastecimiento de agua, energía eléctrica y el transporte figuran entre los servicios de alta prioridad (Alegre, 1999), en desmedro de una adecuada gestión de los residuos líquidos y sólidos generados. Factores como el crecimiento demográfico, la urbanización de áreas agrícolas, la tecnificación y la mayor difusión de productos descartables han generado, por una parte, un extraordinario incremento en la generación y variedad de residuos (Consoni, 2005) y, por otra, una gran deficiencia en la cobertura de servicios de saneamiento (Egocheaga y Moscoso, 2002).

En Bolivia, la disposición de los residuos sólidos es una cuestión aún pendiente en las principales ciudades, presentando problemas en sus sistemas de recolección, transporte y ubicación. Sólo se cuenta con datos de generación de residuos sólidos a nivel de ciudades capitales de departamento y El Alto. Estos reflejan que el volumen de residuos generado se habría incrementado en un 193% entre 1993 y 2004 (Escobari *et al*, 2004). Existe muy poca información respecto a la magnitud de esta problemática en el área rural.

Respecto a los servicios de recolección y disposición de residuos líquidos (saneamiento básico), Prada *et al* (2008) reportan que la cobertura de estos servicios alcanzaba a un 53% en el área urbana del país y un 36% en el área rural. Menos del 40% de las aguas residuales generadas reciben algún tipo de tratamiento (Mattos y Crespo, 2000). Si bien existen datos aproximados sobre el número y estado de las PTAR que atienden a las zonas urbanas, la situación no es la misma para el área rural, donde la información es muy escasa. Sin embargo, considerando el desequilibrio en las coberturas entre las ciudades y el campo, se pueden anticipar deficiencias en cobertura y/o estado de funcionamiento de las PTAR rurales.

Es evidente que la inadecuada disposición de los residuos es una de las principales causantes de impactos ambientales, muchos de los cuales representan un riesgo para las poblaciones. De hecho, se suele valorar el estado ambiental de un determinado territorio mediante la determinación de dicho riesgo. Sin embargo, Juan (2006) afirma que los efectos y consecuencias de los riesgos son percibidos de diferentes maneras por los grupos sociales, es decir que su importancia se vincula con las variables tiempo y lugar. Indica además que aspectos tales como la equidad ante el riesgo, las circunstancias alrededor del proceso de generación del riesgo y el manejo de la respuesta son descuidados por el análisis técnico del riesgo, principalmente por no considerar en su análisis el contexto social y cultural. Dicho de otra forma, la problemática de la gestión de los residuos trasciende los aspectos netamente técnicos, jugando la percepción de los grupos sociales un papel fundamental en su análisis.

Así, en la determinación del riesgo ambiental deben confluír la valoración técnica y la percepción que los grupos sociales implicados tienen sobre ese riesgo. Esto significa que una adecuada gestión de dichos riesgos, debe incluir tanto la resolución de los aspectos técnicos como la sensibilización de la población.

La cuenca hidrosocial Pucara<sup>1</sup> no es la excepción a la problemática descrita anteriormente. Aunque la información al respecto es escasa y se encuentra dispersa, es posible observar indicios de una deficiente gestión de los residuos generados. Además, este ámbito comprende una zona predominantemente rural de gran extensión con dos núcleos urbanos, abarcando a dos municipios: Tiraque en la parte alta y Punata en la parte baja. La gestión de los residuos sólidos y líquidos es abordada sectorialmente, con varias limitaciones y en medio de una incierta percepción del riesgo derivado de ella por parte de los pobladores locales, configurando un panorama delicado para los recursos hídricos.

Considerando las implicaciones para el ambiente y la salud que tendría la contaminación de sus recursos hídricos, se ha visto por conveniente elaborar el presente reporte, con el propósito de conocer la gestión de los residuos sólidos y líquidos generados en la cuenca Pucara, y la percepción de los grupos sociales implicados. Esto contribuirá a una mejor comprensión y dimensionamiento de su problemática ambiental, además de identificar aspectos críticos con miras a su resolución.

El objetivo principal del presente reporte de investigación fue analizar la problemática en la gestión de los residuos sólidos y líquidos generados en la cuenca Pucara, principalmente a nivel urbano, para contribuir a la comprensión y resolución de la problemática ambiental de la cuenca.

Considerando el objetivo principal y principalmente la metodología, se ha visto por conveniente desarrollar un breve marco conceptual donde se expongan los aspectos fundamentales para la comprensión del presente documento. Posteriormente, en el capítulo de resultados, el primer acápite es sobre el marco legal y/o jurídico donde se resumen las normas legales vigentes en Bolivia y parte del Plan Nacional de Saneamiento Básico (PNSB), para tener una idea de la situación actual y la dirección que se debe tomar según la visión del Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Luego se encuentran los demás acápites del capítulo de resultados, incluyendo coberturas determinadas, estado de los servicios, amenazas detectadas y parte de las percepciones de algunos grupos sociales. Finalmente, se exponen las conclusiones del presente reporte.

---

<sup>1</sup> El espacio geográfico considerado como Cuenca hidrosocial Pucara será descrito en la descripción del Contexto Local. Para una explicación más detallada del concepto de Cuenca hidrosocial, el lector puede consultar el libro publicado por el Centro AGUA-UMSS sobre la experiencia del Proyecto GIRH que será publicado en Julio de 2011.

## 2. CONTEXTO LOCAL Y METODOLOGÍA

### 2.1 Contexto local

Política y administrativamente, la cuenca hidrográfica Pucara pertenece en su mayor proporción al municipio de Tiraque, que es la parte alta, y sólo el abanico de la parte más baja al municipio de Punata. Sin embargo, hay varias razones para considerar ambas zonas como una misma unidad indivisible desde la perspectiva de la planificación, mismas por las que se ha seleccionado este ámbito geográfico para analizar la gestión de los residuos urbanos. A continuación se explican algunas de ellas. (Delgadillo y Durán, 2011).

- A través del río Pucara se transporta gran parte del agua para riego en Punata. Su origen son varias represas ubicadas en Tiraque o escurrimientos superficiales provenientes de Tiraque captados mediante sistemas de riego. De forma análoga, el origen de una parte del agua que recibe Tiraque para riego son otras cuencas aledañas (mediante trasvases) y escurrimientos, los cuales también son transportados –en algunos casos- por el río Pucara. Esta situación es el resultado de varios procesos largos (la mayor parte iniciados en la década de los 70) en torno a la gestión del agua y su desarrollo, involucrando paulatinamente e inter-relacionando a distintas organizaciones de usuarios del agua, autoridades, iniciativas externas, territorios, comunidades y obras de infraestructura, todos ellos orientados hacia el mejoramiento de la producción agrícola. Es decir que existe un importante relacionamiento histórico, aún vigente, construido alrededor del agua y que vincula ineludiblemente a los espacios geográficos mencionados.
- El agua para uso doméstico de Tiraque proviene de fuentes superficiales, por lo que es parte de procesos similares a los mencionados. En el caso de Punata, una gran parte del agua para uso doméstico –y también para riego- es

obtenida de fuentes subterráneas (pozos). En ese sentido, el recorrido de las aguas del río Pucara –incluyendo la de los sistemas de riego- es un aporte fundamental para la recarga de las aguas subterráneas en Punata (Delgadillo y Lazarte, 2007), más aún considerando el aparente descenso de sus niveles freáticos por la creciente explotación (Rojas y Montenegro, 2007).

- La cuenca del río Pucara presenta problemas de escasez hídrica y de contaminación (del Callejo y Vásquez, 2007), mayormente en las partes bajas. El río atraviesa zonas agrícolas y varios asentamientos poblacionales, coexistiendo diversas formas de producción y procesos de urbanización (Rocha y Mayta, 2007). Así, es claro que los procesos contaminantes –o cualquier proceso en general- en la parte alta de la cuenca o a lo largo del río tendrían repercusión sobre las zonas ubicadas aguas abajo, incluyendo las aguas subterráneas.

Entonces, la cuenca hidrosocial Pucara (ver Figura 1) comprende: (1) la *Cuenca hidrográfica Pucara*, que pertenece a la región mesoandina de la provincia Tiraque y que también abarca partes de las provincias Punata, Carrasco, Arani y Chapare del departamento de Cochabamba; (2) parte de la *Cuenca hidrográfica de Ch'ullku Mayu* (subcuenca Koari-Ch'ullku Mayu), desde donde se hacen trasvases de agua y que pertenece al municipio de Tiraque; y (3) el *Abanico de Punata*, que se encuentra ubicado al extremo Nor Este del Valle Alto, en su mayor porcentaje dentro de la primera sección municipal<sup>2</sup> de Punata y una pequeña parte en los municipios de Arani, San Benito y Villa Rivero.

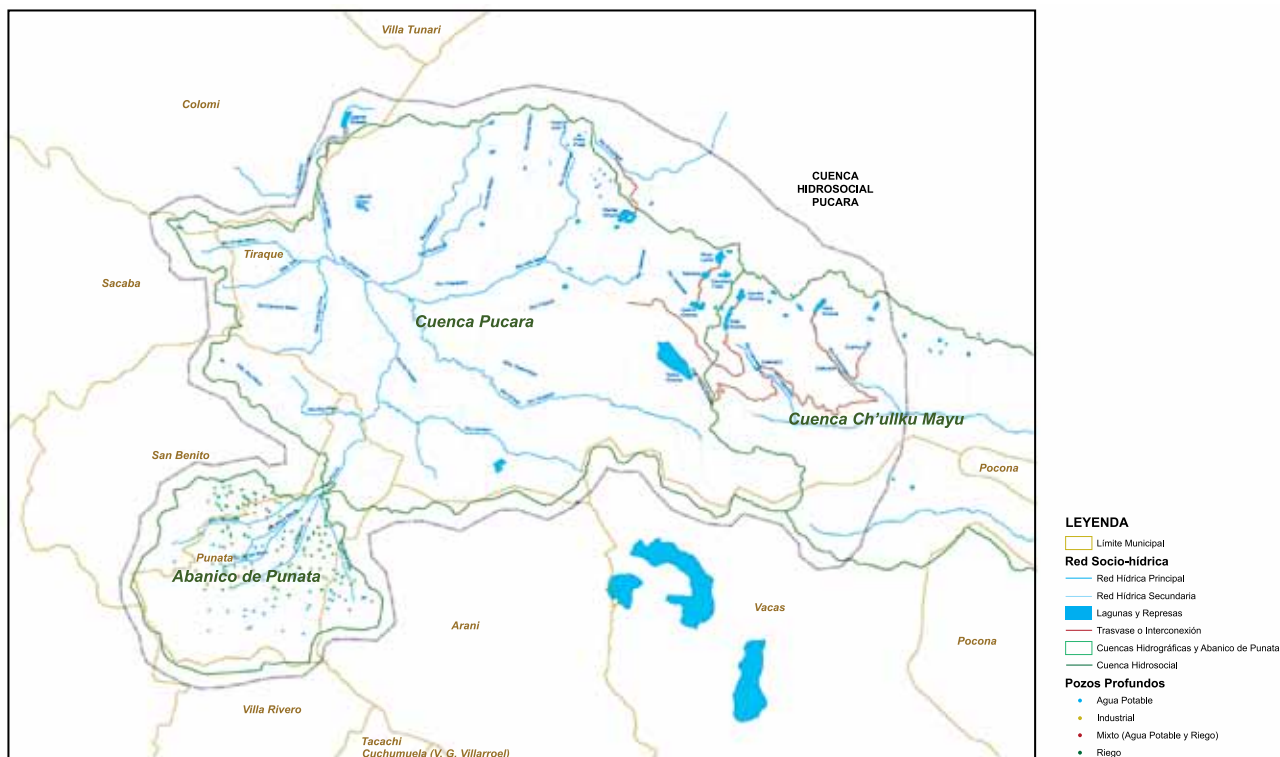
En la siguiente figura se resumen datos de ubicación, acceso y otros de los ámbitos geográficos que en conjunto conforman la cuenca hidrosocial Pucara.

<sup>2</sup> La provincia de Punata tiene 5 secciones municipales: Punata (donde se encuentra la capital de Provincia del mismo nombre, Villa Rivero, San Benito, Tacachi y Villa Gualberto Villarroel (Cuchumuela)

Tanto en la cuenca hidrográfica Pucara como en la de Ch'ullku Mayu, la agricultura es la principal actividad económica de sus pobladores, constituyéndose la papa en el cultivo de mayor relevancia económica. Éste se comercializa en ferias y mercados del Valle alto, Cochabamba y Santa Cruz. La siguiente actividad en importancia

es la cría de ganado bovino y ovino, la cual complementa la alimentación de las familias y permite cubrir gastos inmediatos. Otra actividad importante es la explotación forestal, considerada como la tercera alternativa económica para la cuenca, desarrollándose de forma intensiva en los últimos años (Fundación ATICA, 2009).

Figura 1. Datos básicos de la cuenca hidrosocial Pucara



Ámbito geográfico	Ubicación				Altitud (msnm.)		Área (ha)	Temp (°C) Promedio	PP (mm) Promedio	Distancia de la capital de departamento por la carretera antigua Cochabamba - Santa Cruz (km)
	Desde		Hasta		Desde	Hasta				
	Latitud Sur	Longitud Oeste	Latitud Sur	Longitud Oeste						
Cuenca Ch'ullku Mayu	17° 24'	65° 22'	17° 35'	65° 38'	2930	4645	28331	10	651	80
Cuenca hidrográfica Pucara	17° 19'	65° 34'	17° 32'	65° 53'	2800	4650	43959	12	587	60
Abanico de Punata	17° 30'	65° 46'	17° 36'	65° 54'	2705	2800	9467	14	367	40

En el abanico de Punata, la mayor actividad económica también es la agricultura, seguida por la producción de leche y queso, la elaboración de chicha, la manufactura de artesanías y la comercialización de todos estos productos, así como empleos temporales en otros rubros (Durán, 1995). Es necesario resaltar que la migración a ciudades del interior, el Chapare y al exterior del país (EEUU, España, Argentina) para desempeñar diferentes actividades económicas como fuente adicional de ingresos, se constituye en un fenómeno de mucha importancia social y económica en los últimos años.

## 2.2 Metodología

La elaboración del presente reporte se fundamenta principalmente en la revisión bibliográfica de documentos y estudios previos realizados por diversas instituciones y proyectos. Para ello se han recurrido a diferentes niveles de información bibliográfica: datos específicos de estudios en elaboración, tesis de grado, reportes de investigación y documentos más elaborados como planes de desarrollo municipal, informes finales de proyectos, etc. Asimismo, se basa en información recolectada directamente de personeros de los municipios de Tiraque y Punata (técnicos responsables de medio ambiente, residuos sólidos, agua potable y alcantarillado), y de recorridos de campo.

Una primera consideración obedece, por tanto, a las propias limitaciones de los estudios utilizados como fuentes de información. Por ejemplo, la mayor parte de las caracterizaciones de la calidad de las fuentes de agua han sido obtenidas mediante muestras puntuales, como parte de monitoreos realizados, aunque en algunos casos durante cortos periodos de tiempo. Otro aspecto similar es la estimación de la población: existe una gran variación entre los datos de población obtenidos por los diferentes estudios. Esto obedece en gran parte a que el último censo realizado data del año 2001, careciéndose de cifras oficiales actuales. Se han logrado obtener datos del

número aproximado de familias por comunidades mediante información secundaria (i.e. documentos de trabajo del proyecto SIDAGUA del Centro AGUA y de la ONG Water For People), los cuales han sido multiplicados por cuatro, que es el promedio de habitantes por familia para la zona según el mencionado censo, para realizar cálculos de población, cobertura, distribuciones, etc. De la misma forma, muchos datos han sido obtenidos mediante la extrapolación de otros o el empleo de promedios generales encontrados en revisión bibliográfica.

También es necesario aclarar que la mayor parte de la información sobre las percepciones de los grupos sociales, han sido obtenidas a través de fuentes secundarias de información (i.e. documentos ya publicados). Cabe mencionar que algunos datos han sido complementados con entrevistas, condicionados básicamente por su factibilidad y por la importancia de su actualización para los fines del presente documento. Así, los datos utilizados y obtenidos tienen un carácter aproximado, y deben ser considerados como tal.

## 3. DEFINICIONES Y CONCEPTOS NECESARIOS

### 3.1 Desechos urbanos

Son aquellos que se originan en los núcleos de población como consecuencia de la actividad habitual y diaria del ser humano. Esto implica que, mientras mayor sea la diversidad de las actividades realizadas y/o mayor sea el nivel de desarrollo de una población, mayor será también la variedad de los desechos generados y, por consiguiente, su gestión será más compleja. De la misma forma, implica el establecimiento de escenarios diferentes para la gestión de residuos según el tipo de núcleo poblacional atendido.

La gestión de residuos, consiste en la recolección, transporte, procesamiento o tratamiento de residuos, reciclaje o disposición de desechos, generalmente producida por la actividad humana, en un esfuerzo por reducir efectos perjudiciales en la salud humana y la estética del entorno, aunque actualmente se trabaja en reducir los efectos perjudiciales ocasionados al medio ambiente y en recuperar los recursos del mismo (Wikipedia, 2010). La gestión de residuos puede involucrar a sustancias sólidas, líquidas o gaseosas con diferentes métodos para cada uno. Los residuos urbanos se pueden clasificar en dos grandes grupos: los Residuos Sólidos (RS) y las Aguas Residuales (AR).

### 3.2 Aguas residuales

Son aguas procedentes de usos domésticos, industriales y agropecuarios. Por eso pueden clasificarse, según su origen, en aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias. Las propiedades físicas y los componentes químicos y biológicos del agua residual varían según su uso y tienen una gran importancia para la definición de su destino final. Este puede abarcar desde el simple vertido hasta su re-utilización previo tratamiento.

### Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son un complejo de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas o disueltas que, dependiendo de la zona, los hábitos y el nivel de vida de la población, puede variar sustancialmente (Sandóval, 2003). Son el resultado de la actividad normal de sus habitantes, siendo usadas básicamente para atender las necesidades personales de higiene, lavado y alimentación. Generalmente se incluyen también las aguas de los servicios de equipamiento público.

### Aguas residuales industriales

Se trata del agua utilizada para cubrir las necesidades de la industria y sus procesos. Están constituidas por desechos líquidos provenientes de una fábrica o empresa que produce cualquier tipo de material sometido a oferta y demanda en el mercado. Habitualmente contiene concentraciones elevadas de contaminantes. La característica más importante de las aguas residuales industriales es su variabilidad, lo que imposibilita la depuración conjunta con las aguas residuales domésticas (Ronzano y Dapena, 1995). Por eso, generalmente las industrias que las producen como residuo suelen estar obligadas a tratarlas en sus mismas instalaciones hasta obtener una calidad aceptable para ser vertida al alcantarillado.

### Aguas residuales agropecuarias

Son las aguas remanentes que quedan luego de haber sido utilizadas para riego o para actividades pecuarias. La dieta de los animales, los remanentes de pesticidas y fertilizantes utilizados posibilitan que el agua cambie su pH, incremente salinidad, y contenga carbonatos, bicarbonatos, elementos traza, tóxicos y nutrientes (Ronzano y Dapena, 1995). Generalmente requieren técnicas avanzadas para su tratamiento por lo que es mejor adoptar

medidas de prevención, especialmente cuando se trata de contaminación difusa.

### Tratamiento de aguas residuales

Una vez utilizada el agua, ésta se convierte en residual y se recoge en la red de saneamiento o alcantarillado. Idealmente, el saneamiento de las aguas residuales es un proceso completo que comprende la recolección, evacuación, tratamiento y control de las aguas residuales, los cuales determinan su destino final (i.e. vertido o reuso).

El objetivo del tratamiento es separar y concentrar o transformar los distintos tipos de contaminantes presentes, para garantizar la calidad del agua para su vertido o re-utilización. Generalmente consiste en una serie de etapas u operaciones unitarias secuenciadas. En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las operaciones de tratamiento según su ubicación en el proceso.

### 3.3 Residuos sólidos y su gestión

Residuos sólidos son los materiales de desecho generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó y que posean suficiente consistencia para no fluir por sí mismos (Norma Boliviana 742). Ante la magnitud del problema que constituye la generación de residuos sólidos urbanos, han surgido diversos procedimientos y políticas que conforman auténticos sistemas de manejo de dichos residuos; a éste conjunto de actividades se les denomina gestión de residuos sólidos. Según CONAM/CEPIS/OPS (2004), se denomina gestión de residuos sólidos a toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de residuos sólidos en un ámbito regional, nacional y local. Ésta

**Tabla 1. Clasificación de las operaciones de tratamiento de aguas residuales**

Tipo de Proceso de Tratamiento	Objetivo
Pretratamiento	Separar sólidos groseros: gruesos flotantes, arena, grasas y aceites.
Primario	Sedimentación de sólidos en suspensión, reduciendo la DBO <sub>5</sub> en al menos un 20% y los sólidos en suspensión en, como mínimo, un 50%
Secundario	Tratamiento biológico para la reducción de la DBO <sub>5</sub> entre 70-90% complementado con una sedimentación secundaria para reducir los sólidos totales en un 90%
Terciario	Eliminar los contaminantes orgánicos no biodegradables y los nutrientes minerales
Desinfección	Eliminar bacterias enteropatógenas y virus.

Fuente: Elaboración propia en base a Folch (2007)

Existe un grupo de procesos de tratamiento denominado “de afinamiento” o “de maduración”, generalmente ubicados después del secundario y en vez del terciario. Su objetivo es reducir algunos parámetros específicos de forma que sean aceptables para su reutilización. Obviamente su opción está en función del contaminante a eliminar.

abarca básicamente tres etapas: i) la recogida, ii) el transporte y iii) el tratamiento o disposición.

Existen dos tipos de recogida: la selectiva y la no selectiva. En la primera, los residuos se depositan mezclados en los contenedores, sin ningún tipo de separación. La recogida selectiva se hace separando los residuos según su clase y depositándolos en diferentes contenedores, facilitando su clasificación

y así su reciclaje/reuso. La etapa de transporte implica el traslado de los residuos sólidos hasta su destino final, pudiendo ser éste una planta de clasificación y reciclaje, un incinerador o algún tipo de vertedero.

Los vertederos son el método más tradicional de disposición de residuos sólidos y se mantienen como una práctica común en la mayoría de los países. Un vertedero correctamente diseñado y bien gestionado puede ser un método higiénico y relativamente barato de eliminar materiales de desecho reduciendo al mínimo su impacto sobre el entorno local. Los vertederos viejos, mal diseñados o mal gestionados pueden generar impactos ambientales adversos como la basura arrastrada por el viento, la atracción de insectos y la generación de lixiviados<sup>3</sup> que pueden contaminar aguas subterráneas. Otro subproducto de los vertederos es el gas de vertedero que es producido por la descomposición de la basura orgánica. Este gas puede crear problemas de olor, mata a la vegetación de superficie y es un gas de efecto invernadero (Wikipedia, 2010). Al respecto se pueden hacer las siguientes distinciones:

- 1) Botadero es aquel lugar donde se arrojan residuos sólidos a cielo abierto, en donde no existen técnicas de manejo y en el que no se ejerce control y, por tanto, representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.
- 2) Vertedero es un lugar donde se disponen los residuos en un espacio y condiciones determinadas. Según la rigurosidad de las condiciones, en relación con la contaminación producida, se establecen tres tipos. i) Controlado, cuando no se producen alteraciones que puedan significar un peligro para la salud humana

---

<sup>3</sup> Lixiviado es el líquido resultante cuando el agua atraviesa cualquier material permeable. En el caso de la gestión de residuos se considera así al líquido resultante del paso del agua a través de desechos.

o el medio ambiente, ii) Semicontrolado, cuando el acondicionamiento sólo evita los efectos para la salud humana o para el medio ambiente de forma parcial, y iii) Incontrolado, cuando la disposición se realiza sin acondicionamiento de los residuos, es decir que sus efectos contaminantes son desconocidos (SEMARN, 2003).

La incineración o valoración energética es un método de procesamiento que implica la combustión de la basura a altas temperaturas. La incineración convierte la basura en calor, emisiones gaseosas y ceniza residual sólida que se debe disponer adecuadamente. Es aplicable a diferentes escalas, tanto en incineradores individuales como en hornos de tipo industrial para atender grandes poblaciones. Es reconocido como un método práctico de eliminar ciertos materiales de desecho peligrosos (i.e. los biológicos), aunque en general es un método polémico debido a cuestiones como la emisión de residuos contaminantes gaseosos (Wikipedia, 2010).

La cantidad de materiales y sustancias que los residuos sólidos pueden contener es bastante grande debido a la variedad de sectores generadores de basura. Una clasificación presentada por Silveira (1996), los agrupa en residuos domiciliarios urbanos, residuos hospitalarios, residuos industriales y residuos inertes.

#### **Residuos domiciliarios urbanos**

Son aquellos provenientes de la actividad diaria de los seres humanos en sus hogares. Según la legislación boliviana, pueden ser además los residuos comerciales de servicios e institucionales, aquellos procedentes de la limpieza de áreas públicas, los industriales asimilables a domiciliarios y los residuos sólidos sanitarios no peligrosos. Su composición varía según el nivel de vida y los hábitos de la población. La principal fuente

contaminante de estos materiales proviene de la descomposición de materia orgánica presente en la basura. Ésta genera como producto un líquido oscuro, ácido y de alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), pudiendo alcanzar hasta 60000 mg/l. Estas características le confieren un notable poder agresivo sobre el medio ambiente, sobre todo acuático. Además, por ser ácido, puede solubilizar y arrastrar los metales presentes en la basura, aumentando su poder de contaminación. Por eso, las formas inadecuadas de deposición, como rellenos y basurales, constituyen una seria amenaza para el entorno (Consoni, 2005).

### Residuos especiales

La legislación boliviana incluye en esta categoría a los residuos hospitalarios peligrosos, de mataderos y animales muertos. El principal peligro de este tipo de residuos son los microorganismos patógenos<sup>4</sup> presentes en la basura. Cabe aclarar que no son sólo patógenos para los humanos, también pueden estar presentes patógenos para los animales y las plantas. Éstos pueden encontrar condiciones de gran proliferación en los desechos y así afectar a los seres vivos con los que tienen contacto. Por otro lado, muchas veces los residuos hospitalarios contienen principios químicos activos y/o sustancias tóxicas (Silveira, 1996).

### Residuos industriales

Son desechos provenientes de procesos industriales; sus características y poder contaminante varía según su procedencia. Aunque, en su mayoría, los residuos industriales poseen un bajo tenor de materia orgánica, el líquido que percola de estos materiales tiene un poder de contaminación aún mayor que el de los residuos sólidos (Sánchez, 1995). Y es que contiene sustancias tóxicas a muy bajas concentraciones, tales como componentes orgánicos y diversos metales pesados.

### Residuos inertes

Engloban materiales como escombros de construcción civil, algunos residuos de excavaciones y demás tipos de materiales que no tengan ingrediente alguno que se solubilice. Así, su percolado no representa riesgo de contaminación. Cada caso debe ser evaluado porque inclusive los escombros pueden contener sustancias peligrosas como restos de pinturas, solventes, metales, etc. (Sánchez, 1995).

### 3.4 Riesgos y amenazas

A pesar de que se han realizado varios intentos, no existe un acuerdo sobre los conceptos de riesgos y amenazas. Existen actualmente diversas definiciones que pueden estudiarse desde el punto de vista ambiental, social, cultural, salud pública, económico y político (Juan, 2006). Éstos varían según enfoques, la especialidad que aborda el tema, o la época en la que hayan sido conceptualizados (Cardona, 2001).

Según Wikipedia (2010), una amenaza es todo aquello que tenga una posibilidad o probabilidad de ocurrir, como causante de daño. El concepto de riesgo puede ser entendido de cuatro formas generales:

- Puede denotar una probabilidad
- Puede denotar un factor que incremente la probabilidad de un resultado adverso
- Puede denotar una consecuencia
- Puede denotar una adversidad o amenaza potencial, en cuyo caso es sinónimo de amenaza

Nótese que las dos primeras definiciones incluyen la probabilidad, es decir que son expresadas de forma cuantitativa. En cambio las segundas hacen referencia a descripciones cualitativas del riesgo. En este documento se adoptará la última definición. Uno de los aspectos del riesgo es el concepto de exposición al peligro. La exposición a un peligro

<sup>4</sup> Patógeno significa aquello que produce enfermedad

puede ser voluntaria o involuntaria. Es voluntaria cuando se decide libremente correr el riesgo de sufrir un efecto adverso. Evidentemente, para los efectos del presente estudio es considerado el riesgo involuntario.

### **Riesgo sanitario**

El riesgo sanitario estima el peligro de enfermedades para un humano expuesto a sustancias con las que entra en contacto (Cazevene *et al*, 2004). Habitualmente se aplica para hacer referencia a las condiciones en las que se desenvuelven los trabajadores de la salud. Sin embargo, también expresa dicha situación para la población de un área determinada.

Para el presente caso, aplica la clasificación de riesgos sanitarios según su origen (Macmillan profesional, 2010). Así, existe riesgo sanitario originado por agentes infecciosos que provienen esencialmente de residuos orgánicos. Por otro lado, está el riesgo sanitario originado por residuos químicos (sustancias tóxicas).

Los efectos negativos de una exposición a este tipo de riesgo sanitario dependerán de la toxicidad de la sustancia, de la dosis, el tiempo y la frecuencia de la exposición (Juan, 2006). Es necesario aclarar que ambos tipos de riesgos sanitarios pueden también suponer un riesgo ambiental.

### **Riesgo ambiental**

Se refiere a un fenómeno que afecta directa o indirectamente al medio ambiente de forma negativa, debido a un fenómeno natural o a una acción humana (Wikipedia, 2010). Puede afectar a los diversos elementos que forman parte del medio ambiente, incluidos los humanos. También se puede distinguir entre riesgo ambiental y ecológico. Ecológico como la probabilidad de que un sistema ecológico sufra un efecto adverso, aunque algunos autores usan ambos conceptos como sinónimos. En el presente documento se asumirá el riesgo ambiental como una amenaza al sistema ecológico, pudiendo ésta afectar de forma directa o indirecta al ser humano.

Además, se suele hacer una distinción entre riesgo ambiental y riesgo de desastres naturales. Este último se define como la probabilidad de que un espacio geográfico sea afectado por las consecuencias de un proceso natural (vulnerabilidad), los cuales afectarán los asentamientos y las actividades humanas (Juan, 2006). Por ejemplo, uno de los varios aspectos perjudiciales de la deposición de la basura en los ríos es la modificación u obstrucción del lecho porque se incrementan las posibilidades de que las crecidas constituyan desastres naturales. En ese caso, la basura actúa incrementando la vulnerabilidad del medio, aunque no es propiamente un riesgo ambiental.

## 4. RESULTADO

### 4.1 Contexto normativo en Bolivia

El marco general sobre el tema ambiental y la gestión de residuos está definido por la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia y la Ley del Medio Ambiente. En su artículo 20, la Constitución establece al alcantarillado y al agua potable como derechos humanos y, por tanto, su acceso universal. Por otro lado, en su artículo 299 indica que los proyectos de agua potable, riego, protección de cuencas y tratamiento de residuos sólidos son competencias concurrentes entre el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas. Los servicios de agua potable y alcantarillado pueden ser, según el artículo 309, administrados por empresas públicas, comunitarias, cooperativas o mixtas. Por otro lado, el artículo 302 delega a los gobiernos municipales el manejo y tratamiento de residuos sólidos de manera que estén enmarcados en la política del Estado.

En concordancia con estas normas generales se tienen otras de aplicación más específica sobre ciertos recursos naturales, actividades productivas, medidas de protección y control, ámbitos institucionales y otros (Bustamante y Durán, 2005).

La Tabla 2 describe las normas nacionales vigentes más importantes en materia ambiental.

La Ley del Medio Ambiente y sus reglamentos establecen claramente el marco institucional, responsables, fiscalizadores y límites permisibles de contenido de contaminantes en distintos medios. En ese sentido, gran parte de las responsabilidades recae sobre las prefecturas (ahora gobernaciones) y otro tanto sobre los municipios.

El Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos indica, entre otros aspectos, la obligación del recojo y manejo separado de residuos sólidos considerados peligrosos o no adecuados para su disposición en rellenos sanitarios, el cobro de una tarifa municipal cuyo 2% deberá ser empleado en programas de educación ambiental, y la prohibición del establecimiento de botaderos municipales, admitiéndose sólo la figura de rellenos sanitarios (vertederos controlados).

El Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica establece límites permisibles, condiciones de descarga de aguas residuales, autoridades responsables del control y diferentes mecanismos para su efectivización. Además, indica los 18 parámetros básicos<sup>5</sup> de control de calidad de aguas para su clasificación y monitoreo.

Hasta el momento no existe una visión clara respecto a las modificaciones que implicarán las nuevas normas, como la Ley Marco de Autonomías, en las competencias o aspectos normativos.

Por su parte, el Plan Nacional de Saneamiento Básico (Prada *et al*, 2008) establece una estrategia para el mejoramiento del sector a nivel nacional y explica sus fundamentos. Así, puede proporcionar una idea de la forma en que el estado pretende encarar esta problemática. Establece en primer lugar un cambio en la orientación de sus políticas de forma que constituyan procesos que sean orientados hacia la GIRH. También plantea entre sus principales objetivos el incremento de las coberturas de saneamiento con servicios integrales

<sup>5</sup> Los 18 parámetros básicos son: DBO<sub>5</sub>, DQO, Colifecales, Oxígeno disuelto, Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cromo hexavalente, Fosfato total, Mercurio, Plomo, Aldrín, Clordano, Dieldrín, DDT, Endrín, Malatión, Paratión.

y sostenibles. Así mismo, resalta la necesidad de mejorar la sostenibilidad de los servicios ya existentes. Como parte de su estrategia, plantea la creación del Instituto Nacional de Saneamiento Básico, que se constituirá en la matriz del desarrollo de capacidades sectoriales, apoyando con líneas de asistencia técnica a las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua (EPSAs), para mejorar su capacidad operativa y administrativa, orientadas hacia su sostenibilidad.

El PNSB reconoce a la contaminación de los recursos hídricos como uno de los problemas

más complejos que enfrenta la gestión del agua, por los costos elevados y los grados de dificultad tecnológica que supone el tratamiento de las aguas residuales, para cumplir con los estándares de calidad admitidos por Ley del Medio Ambiente, que permitan el vertido en cursos naturales o el suelo, además de las debilidades institucionales y descoordinación de las instituciones públicas con funciones de control. Finalmente establece la necesidad de la descentralización de los servicios y la priorización de áreas rurales y periurbanas porque son las que tienen las coberturas más bajas en agua y saneamiento (Prada *et al*, 2008).

**Tabla 2. Normas ambientales vigentes**

AÑO	DISPOSICIÓN	
	LEY	DECRETO SUPREMO
1972	Creación de las empresas públicas municipales para los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario	
1992	Ley del Medio Ambiente (N° 1333)	
1993	Ley de Participación Popular (N° 1551)	
1994	Ley del Sistema de Regulación Sectorial (N° 1600)	
	Ley de Electricidad (N° 1604)	
1995	Ley de Descentralización Administrativa	
		Reglamentos a la Ley del Medio Ambiente (N° 24176)
1997		Reglamento de uso de bienes de dominio público y de servidumbres para servicios de aguas (N° 24716)
		Reglamento de la organización institucional y de las concesiones del sector de aguas (N° 24716)
1999	Ley de Municipalidades (N° 2028)	
2000	Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (N° 2066), posteriormente derogada por Ley N° 2029	
2002		Creación del CONIAG (N° 26599)
2004	Ley de crédito público para las entidades prestadoras de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario (N° 2649)	Política Financiera Sectorial (N° 27487)
		Creación de la FUNDASAB (N° 27486)
	Ley de promoción y apoyo al sector riego para la producción agrícola y forestal (N° 2878)	
2007	Ley de entidades mancomunitarias sociales de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario (N° 3602)	
2008		Creación del SENASBA (N° 29741)
		Creación del MICSA (N° 29751)

Fuente: Modificado de Prada et al (2008) y MMAyA (2010)

En ese marco, indica que las acciones deben estar orientadas a reducir la brecha entre saneamiento y agua potable planteando para ello varias metas en concordancia con algunos de los objetivos del milenio. De éstas, las más importantes para los objetivos del presente estudio son lograr para el año 2015 un 61% de cobertura en saneamiento para zonas rurales, 67% para zonas urbanas, y un 65% de cobertura de PTARs sobre las aguas residuales generadas.

#### **4.2 Aguas residuales y excretas en la cuenca hidrosocial Pucara**

Este apartado describe la situación de la generación, transporte y disposición final de aguas residuales en la cuenca Pucara. Como básicamente se trata de la disposición de desechos producidos por las necesidades fisiológicas de sus habitantes, se ha visto por conveniente incluir otro tipo de sistemas de saneamiento que no generan aguas residuales como tales, pero sí implican la incorporación al medio ambiente de los mismos contaminantes, como materia orgánica biodegradable, nutrientes y microorganismos. En ese sentido, de los sistemas abordados, sólo el alcantarillado y las letrinas con arrastre de agua generan aguas residuales; los restantes sistemas constituyen sistemas “secos” de disposición de excretas, incluyendo la deposición al aire libre.

##### **Sistemas de alcantarillado**

La cobertura de este sistema de saneamiento alcanza a aproximadamente el 30% de la población. Es significativa la diferencia entre las zonas urbanas de la cuenca y las zonas rurales. En la primera, es mayor al 63% del total de viviendas, en cambio en la segunda es aproximadamente el 8%. Esto era esperado considerando las características de este tipo de sistema (le favorecen las poblaciones concentradas debido a la necesidad de colectores principales) y su costo.

Se han identificado 10 sistemas de alcantarillado que recolectan las aguas residuales en la cuenca Pucara, los cuales son caracterizados en la Tabla

3. Algo destacable es que ocho de los sistemas de alcantarillado han sido construidos en los últimos 10 años, es decir que se trata de sistemas nuevos, por lo que no deberían presentar problemas en su funcionamiento. Cabe esperar lo contrario de los dos sistemas restantes; éstos son el del centro urbano de Punata, construido a fines de la década de 1970 y ampliado en el 2000; y el de Mayor Rocha-Pampa Grande, construido a principios de la década de los 80.

Un aspecto a destacar es que muchos de los sistemas nuevos de alcantarillado aún no han alcanzado el número de conexiones previsto. Esto se debe a que, aunque el sistema contempla la acometida hacia cada una de las viviendas de la zona, muchas veces los vecinos no tienen los recursos o el interés suficiente para cambiar sus sistemas de saneamiento de pozo ciego al sistema nuevo de alcantarillado.

Las actividades de operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado son realizadas, la mayor parte de las veces, cuando se presentan problemas evidentes en su funcionamiento. Una de las principales razones para esta situación es el limitado presupuesto de las unidades a cargo. Por ejemplo, ASOAPAL cuenta con sólo un plomero para atender las demandas tanto del sistema de agua potable como del alcantarillado.

Como se ha observado en la figura 1, la mayor parte de los sistemas de alcantarillado descarga sus aguas en una PTAR, alcanzando una cobertura del 90% de las aguas residuales generadas. Esto es muy destacable porque contrasta con las cifras nacionales que reportan coberturas menores de aguas residuales generadas que reciben algún tipo de tratamiento (40% según Mattos y Crespo, 2000; 30% según Prada *et al*, 2008).

La situación de cada PTAR o punto de vertido del alcantarillado en la cuenca es descrita a continuación. Es necesario mencionar el reuso

Tabla 3. Características de los sistemas de alcantarillado de la cuenca Pucara

Municipio	Comunidades/Barrios atendidos	Sistema de alcantarillado	N° de conexiones		Ubicación PTAR
			Proyectado	Real	
Tiraque	Centro urbano de Tiraque	ASOAPAL*	900	350	Cementerio
	Virvini, Payco Mayu, Grupo Pequeño, 15 de octubre	Payco Mayu	434	165	Payco Mayu
Punata	Área urbana	Área urbana	3600***	2914	Colque Rancho
	Thacko Norte, Thacko Sur	Thacko	s.i.	37	Thacko
	El Rosal, Pujro "A", Pujro "B", Villa Sujumi, Jusk'u Molle,	Jusk'u Molle	s.i.	s.i.	Jusk'u Molle
	Tajamar "A", Tajamar "B", Laguna Sulti, Villa Arenal, Laguna Sulti Grande, Laguna Sulti Centro, Laguna Sulti Chico	Laguna Sulti	s.i.	90	Laguna Sulti
	Av. Gualberto Villarroel, Villa Barrientos, León Rancho Grande, León Rancho "B"	León Rancho	-	15	León Rancho**
	San José Centro, San José Grande "A", San José Grande	San José Grande	s.i.	s.i.	San José Centro
	Camacho Rancho, Villa Carmen Norte, Villa Carmen Sur	Villa Carmen	s.i.	s.i.	Villa Carmen
	Av. Mayor Rocha – Pampa Grande	Pampa Grande	s.i.	250	Pampa Grande

\* ASOAPAL es la Asociación de Agua Potable y Alcantarillado de Tiraque

\*\* No es una PTAR propiamente, es un punto de vertido de aguas residuales

\*\*\* Dato calculado

s.i. = sin información

de las aguas residuales de las distintas plantas de tratamiento en la parte baja de la cuenca por parte de la alcaldía municipal de Punata para el riego de áreas verdes. Este uso es realizado de forma independiente al reuso particular de cada PTAR.

#### ASOAPAL

Se encuentra en un terreno amurallado al interior del cementerio general de Tiraque. Atiende a las 350 conexiones del centro urbano de Tiraque. Está bajo la administración y supervisión de la Asociación de Agua Potable y Alcantarillado de Tiraque (ASOAPAL).

La PTAR consta de una cámara de sedimentación pequeña sin rejillas de desbaste como pretratamiento.

A continuación existen tres tanques Imhoff<sup>6</sup> conectados en serie, de los cuales dos se encuentran en funcionamiento mientras que el tercero será conectado para realizar el mantenimiento del primero o el segundo, cuando se colmaten. Vale decir que, según lo planificado, esta PTAR brindaría un tratamiento primario a las aguas residuales.

Las labores de operación y mantenimiento requeridas para el buen funcionamiento de esta tecnología son sencillas y no requieren mucho tiempo. Sin embargo, se ha evidenciado que las realizadas no son suficientes, a juzgar por el estado

<sup>6</sup> Los tanques Imhoff son estructuras de tratamiento primario de aguas residuales formadas por una o más cámaras superiores por las que pasa el agua residual para su sedimentación y otra cámara inferior donde los lodos sedimentados tienen las condiciones para ser degradados anaeróbicamente

del pretratamiento y la cantidad de material grosero presente en el tratamiento primario. Básicamente se extraen los grandes sólidos como trapos, bolsas, etc. con una frecuencia semanal. Es muy probable que los rendimientos aún sean los esperados porque se trata de una infraestructura nueva (construida hace tres años) y porque la PTAR aún no atiende a la cantidad de conexiones proyectadas.

Las aguas efluentes atraviesan aproximadamente 80 metros de canal de tierra y finalmente son vertidas al río Tiraque. No se ha evidenciado su reuso en riego. Esto se debe a que la zona cuenta con agua proveniente de sistemas de riego cuyas fuentes se encuentran en zonas más altas.

#### *Payco Mayu*

Recibe el agua residual de 165 conexiones domésticas. Es un caso muy particular dentro de la cuenca debido a que el sistema de alcantarillado y su PTAR han sido gestionados por los miembros del sistema de agua potable, y son ellos mismos quienes se encargan de su mantenimiento y operación.

El sistema consta solamente de un tanque Imhoff sin pretratamiento. De forma similar a la PTAR de ASOAPAL (cementerio), alcanzaría un nivel de tratamiento primario. Tampoco se ha necesitado todavía de labores importantes de mantenimiento. Se pueden anticipar futuros problemas en su funcionamiento debido a la falta de una infraestructura de pretratamiento. De cualquier forma, aunque la PTAR presentará un deficiente nivel de tratamiento, la comunidad no ha considerado la realización de actividades de operación y mantenimiento ante la ausencia de mal olor. Es necesario reiterar que aún no se han presentado problemas por ser una infraestructura nueva y por estar funcionando con una carga contaminante menor a la del diseño.

El tanque Imhoff vierte las aguas tratadas a la quebrada Payco Mayu que confluye con el río Ch'ayo a aproximadamente un kilómetro del punto de vertido. No se ha evidenciado su reuso en riego.

#### *Colque Rancho*

Es la PTAR más grande de la cuenca Pucara. Se encuentra en la comunidad de Colque Rancho, ubicada a aproximadamente 4 kilómetros al suroeste del centro urbano de Punata. Recibe el agua residual de 2914 conexiones de diferentes tipos. Éstos son detallados parcialmente en la Tabla 4. En dicha Tabla no se muestra el total de las conexiones por encontrarse en actualización una parte de los datos al momento de su recolección.

Los datos de la anterior Tabla tampoco reflejan la existencia de curtiembres clandestinas, laboratorios fotográficos y la elaboración ocasional de chicha en varios domicilios. Es decir que la PTAR de Colque Rancho recibe también aguas residuales de tipo industrial.

Se encuentra bajo la administración de la unidad de agua potable y alcantarillado, misma que se encuentra en proceso de descentralización aunque sigue perteneciendo a la alcaldía municipal de Punata. El año 2001 fue concluida la construcción y comenzó su funcionamiento.

**Tabla 4. Características de las conexiones del sistema de alcantarillado de la ciudad de Punata**

Tipo de conexión	Número de conexiones
Hospital de 2 do nivel	1
Doméstica	1615
Fábrica de chicha / Local de venta de chicha	24
Local de fiesta	2
Posta de salud / Clínica pequeña	3
Restaurant	12
Taller mecánico	28
Tienda de abarrotes	100
<b>Total</b>	<b>1785</b>

Fuente: Modificado de Camacho (2005)

La PTAR consta de un desarenador subdimensionado como pretratamiento, seguido de un sistema de lagunas de oxidación. Éste está compuesto por dos lagunas anaerobias, dos facultativas y tres de maduración. De forma complementaria, existen dos humedales de flujo subsuperficial a escala piloto que toman agua de una de las lagunas de maduración, o sea que están diseñados para tratar sólo una pequeña parte (10%) del caudal total del sistema. Así, se esperaría que el efluente de la PTAR alcance un nivel de tratamiento secundario complementado con un afinamiento para reducción de microorganismos patógenos<sup>7</sup>.

El diseño del sistema de lagunas ha sido realizado con una metodología muy antigua. Por consiguiente, no se consideraron algunos factores para un apropiado flujo del agua residual. Además, se planteó una construcción modular del sistema que no ha sido completada hasta la fecha lo que se traduce en un recorrido innecesariamente complicado y no muy claro del agua en su interior. Ambas situaciones han provocando anomalías en las condiciones del sistema y, por tanto, una disminución de la capacidad de tratamiento de las lagunas.

Además, según el diseño, los periodos de vaciado de las lagunas varían entre 3 a 8 años (Crites y Tchobanoglous, 1995). Hasta la fecha no se ha realizado el vaciado de las lagunas de Colque Rancho. Las actividades de operación y mantenimiento de las lagunas se han limitado a la limpieza de los taludes y a la extracción de lodos de las lagunas anaerobias mediante maquinaria y sin vaciado, es decir hasta donde alcanza el “brazo” de la retroexcavadora. En cuanto a los humedales, las actividades de mantenimiento han sido nulas. Esto se explica por la poca importancia del caudal tratado en comparación con las lagunas.

7 El lector interesado en profundizar sobre alternativas y procesos de tratamiento de aguas residuales, puede consultar Crites y Tchobanoglous (1995)

Todo ello determina una eficiencia de tratamiento cada vez menor, incumpliendo las normas legales e incrementando el riesgo de contaminación provocada por el efluente. Además, pone en riesgo la existencia misma de la PTAR porque se han provocado procesos de colmatación<sup>8</sup> y eutrofización<sup>9</sup>, lo cual significa que, a la larga, las lagunas podrían secarse. Este panorama se ve más complicado si se considera que el sistema aún no ha alcanzado el número de conexiones para el que fue diseñado.

El efluente de la PTAR es de tal magnitud (12 l/s en promedio), que cinco comunidades vecinas (i.e. Tajamar Centro, Colque Rancho, Chirusi Rosario, Sobra Chirusi y Chirusi Grande) se han organizado para utilizarla en el riego de sus cultivos. A cambio, los regantes se han convertido en responsables de las limpiezas anuales, en las cuales se procede básicamente al deshierbe de los accesos y taludes de las lagunas. El nivel organizacional alcanzado es muy similar al de un sistema de riego, donde se establecen derechos, obligaciones, restricciones, etc. El reuso de estas aguas ha adquirido una gran importancia por constituir la principal fuente de agua para riego durante todo el año en las mencionadas comunidades.

También se han producido conflictos por el uso de las aguas residuales, especialmente en la época seca y debido a la escasez de lluvia. El más reciente es el “robo” del agua residual sin tratar de parte de comunarios de Román Calle, quienes bombean agua residual directamente del alcantarillado que comunica al centro poblado con la PTAR de Colque Rancho. Si bien existe una disposición municipal que prohíbe esto, no existe la logística

8 Fenómeno que se produce cuando los restos sólidos que contienen las lagunas alcanza una cantidad tal que impide su adecuado funcionamiento

9 Enriquecimiento de nutrientes en un ecosistema acuático, ocasionando un incremento excesivo de biomasa y con importantes consecuencias para la composición, estructura y dinámica del ecosistema. En el caso de cuerpos de agua cerrados, tal incremento puede significar su agotamiento o sequía.

para un control efectivo. Además, los vecinos de Román Calle argumentan que ellos utilizaban el agua residual antes de la construcción del colector del alcantarillado y la PTAR en Colque Rancho, y que sus prácticas de riego son tales que no implican mayor riesgo de contaminación. Este conflicto aún no ha sido resuelto.

### *Thacko*

Está ubicada en la comunidad de Thacko. Atiende a 37 conexiones domésticas o agroindustriales aplicables a domésticas (elaboración de chicha o de queso). Si bien esta PTAR fue construida por la alcaldía, el presupuesto se terminó antes de finalizarla según la versión del presidente la comunidad, así que la PTAR se vio muy limitada en su funcionamiento y fue abandonada por el municipio. En los hechos se encuentra bajo la administración de la comunidad de Thacko.

La infraestructura con la que cuenta es un desarenador, un tanque séptico, una laguna facultativa y una batería de humedales subsuperficiales de flujo vertical. Las tres primeras unidades comenzaron a funcionar el año 2004, siendo complementadas por los humedales durante el 2009. Al respecto:

- El desarenador cuenta con una reja y está subdimensionado, por eso se encuentra constantemente colmatado y su funcionamiento se ve muy limitado.
- El tanque séptico nunca ha sido mantenido hasta la fecha y rebalsa cuando la lluvia es muy intensa. Es evidente que se necesita un vaciado y el nivel de tratamiento esté por debajo de lo esperado para un tratamiento primario (30% de remoción de sólidos y 50% de remoción de DBO<sub>5</sub>).

- La laguna facultativa tiene problemas de diseño y el estado de la infraestructura es muy deficiente. El resultado es que el nivel de tratamiento es muy variable y es muy poco probable que corresponda a secundario.
- Los humedales artificiales hasta ahora no han reportado problemas en su funcionamiento. Esto puede deberse a que la infraestructura es nueva y aún no atiende al número de personas para el que fue diseñado. Considerando el estado de las unidades anteriores a éstas, se esperaría que el nivel de tratamiento obtenido sea el de secundario.

Como ya fue mencionado, la operación y mantenimiento de la PTAR son realizadas por miembros de la comunidad de Thacko. Las actividades se limitan al deshierbe, limpieza de rejilla y al bombeo de emergencia cuando la laguna estaba por rebalsar (antes de la construcción de los humedales). Aunque no son suficientes para garantizar la sostenibilidad de la PTAR, la comunidad ha demostrado un grado de compromiso tal que parecen existir altas posibilidades de lograr una gestión comunitaria sostenible.

El efluente es evacuado a un canal de riego de la comunidad. Se han encontrado evidencias de su reuso en el riego de pequeñas superficies (melgas de 15 m<sup>2</sup>) de alfalfa. El caudal del efluente no permite un uso a mayor escala, además que la comunidad recibe agua de riego de otros sistemas, por lo que el uso de agua residual aún produce cierta resistencia por parte de los agricultores. Sin embargo, existe el propósito de construir un pequeño tanque de almacenamiento para vender el efluente para riego cuando se alcance un volumen suficiente.

### *Jusk'u Molle*

La PTAR de Jusk'u Molle fue construida el año 2007. Se encuentra bajo la administración de la alcaldía municipal de Punata, sin embargo son los pobladores aledaños a la PTAR quienes realizan algún tipo de actividades para su operación. No existe ningún tipo de información disponible respecto al número de conexiones que atiende ni su diseño original.

Las unidades con las que cuenta son:

- Pretratamiento, mediante un desbastador y rejillas. Esta unidad se encuentra subdimensionada; si bien no se tienen datos respecto al número de conexiones para el que fue diseñado, es posible afirmar que la cámara de desbaste no guarda relación proporcional respecto a las lagunas. Esta es la causa más probable para que se encuentre en proceso de colmatación.
- Laguna anaerobia como tratamiento primario, la cual aparenta encontrarse en buen estado. Son previsible dificultades en su funcionamiento debido a que el pretratamiento no está funcionando bien y permite el paso de sólidos gruesos a la laguna anaerobia.
- Laguna facultativa. Presenta problemas de diseño: la ubicación de la salida induce al flujo preferencial, dificultando los procesos depuradores en su interior. Algo notable respecto a esta unidad es que la salida ha sido obstruida por los vecinos con el objetivo de que funcione como tanque de almacenamiento y así su efluente pueda ser utilizado para riego mediante bombeo.

No han sido realizadas actividades de operación y mantenimiento de ningún tipo. Lo más cercano ha sido la obstrucción de la salida para el bombeo además de ocasionales limpiezas del pretratamiento.

Esta última es realizada coyunturalmente y sin ningún tipo de planificación o acuerdos. Hasta el momento no se han registrado problemas graves en su funcionamiento debido fundamentalmente a lo nuevo de la infraestructura. Por el tipo de unidades de la PTAR, se esperaría un nivel secundario de tratamiento. Sin embargo, los problemas descritos influyen de forma que las remociones no son las esperadas (40% de DBO<sub>5</sub> desde el ingreso hasta la salida de la PTAR), de donde se puede inferir su mal funcionamiento.

Como ya fue mencionado, el efluente es utilizado para el riego de parcelas aledañas. Esto se realiza mediante bombeo desde la laguna facultativa hasta las parcelas vecinas. Existen 4 familias que utilizan el agua residual para el riego de cultivos forrajeros. No existen una estructura compleja de organización, simplemente un reparto de turnos para regar debido a la disponibilidad de la bomba.

### *San José Centro y Villa Carmen*

Se trata de dos PTAR construidas bajo criterios muy similares y con la misma tecnología de tratamiento de aguas. La construcción de ambas fue concluida el año 2009. No están disponibles los datos de su diseño. Están bajo la administración del municipio.

Cumplen algunas normas básicas de infraestructura, como la delimitación perimetral mediante malla olímpica. Constan de un pretratamiento consistente en un desarenador y rejillas, un tratamiento primario conformado por un tanque séptico y un tratamiento secundario provisto por una laguna anaerobia y una laguna facultativa. El nivel de tratamiento proyectado es de nivel secundario.

Hasta el momento no ha sido necesario realizar ninguna actividad de operación o mantenimiento. Sin embargo, la presencia de cercos perimetrales convertirá a estas actividades en responsabilidad

exclusiva del municipio. El destino final de su effluente no es claro considerando que no existe una salida para las aguas residuales desde las lagunas facultativas.

#### *Laguna Sulti*

Su construcción fue concluida el año 2009, en la comunidad del mismo nombre. Recibe las aguas residuales de 90 conexiones de alcantarillado. No están disponibles los datos de su diseño. Se encuentra en funcionamiento bajo la administración de la alcaldía municipal de Punata.

Consta de un desarenador con rejillas de desbaste y un tanque séptico a manera de tratamiento primario. Una característica notable de esta PTAR es que, a raíz de las cotas empleadas para la construcción del sistema de alcantarillado, se encuentra por debajo del nivel general del terreno. Esto ha provocado que el sistema se encuentre permanentemente inundado, ya sea por agua de lluvia, rebalse del agua residual o por el agua subsuperficial de la laguna Sulti. Esto ha causado en primera instancia que el pretratamiento no funcione de forma adecuada. Por lo tanto, no existe una certeza respecto al nivel de tratamiento alcanzado, aunque sí una fuerte sospecha respecto a su mal funcionamiento actual y futuro.

La configuración de la planta conduce a pensar que el destino final de las aguas residuales planificado era la infiltración. Sin embargo, algunos vecinos han habilitado terrenos aledaños a la PTAR para la agricultura, aprovechando el agua almacenada por la inundación para el riego. La calidad del agua utilizada para riego dependerá del origen del agua que provoca la inundación.

#### *Pampa Grande*

Es la PTAR más antigua de la cuenca. No se ha precisado el año pero pobladores locales indican

que tiene aproximadamente 25 años. Tampoco se pudo acceder al diseño original. Actualmente atiende 250 conexiones domiciliarias, aunque existe una gran posibilidad de que reciba aguas residuales de dos surtidores. Se encuentra bajo la administración de la alcaldía municipal de Punata.

El sistema está conformado por tres lagunas. Aunque la antigüedad y el tipo de diseño no dejan claro el criterio con el que fueron diseñadas, parece tratarse de una laguna anaerobia, una facultativa y una de maduración, alcanzando un nivel de tratamiento secundario. No se han realizado labores de operación y mantenimiento, por lo que las lagunas han sufrido la invasión de macrófitas, disminuyendo su volumen útil y provocando el proceso de eutrofización. Además, es claro que el número de conexiones ha sobrepasado la capacidad de tratamiento de la PTAR. Por tanto, lo más probable es que el nivel de tratamiento alcanzado esté por debajo de lo esperado.

No se realiza ninguna actividad de operación o mantenimiento. El agua de la PTAR es utilizada para el riego de parcelas aledañas. No existe ningún tipo de organización local, pues el agua es bombeada de diversos puntos (incluyendo las tres lagunas), al mismo tiempo y sin mayor conflicto. Se ha encontrado evidencia de su uso para el riego de hortalizas.

#### *León Rancho*

Como se ha precisado anteriormente, no se trata de una PTAR sino de un punto de desfogue de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado del mismo nombre. Ha sido habilitado el año 2007 y consiste en una fosa excavada que sirve como tanque de almacenamiento y punto de infiltración a la vez. Recibe el agua residual de 15 conexiones domésticas.

Existen cuatro familias que utilizan esta agua para riego de cultivos forrajeros. Esto se realiza mediante una bomba de agua que impulsa el agua hasta sus parcelas. No existe una organización compleja en ese sentido, pues simplemente se turnan para regar cuando es necesario, estimando en ese momento el tiempo de riego.

### **Aguas residuales especiales**

En la cuenca se han identificado dos fuentes de aguas residuales industriales. Ambos son de tipo doméstico de alta concentración. Esto quiere decir que la materia contaminante que predomina en ellos es orgánica, sin embargo su alta concentración debe ser tomada en cuenta necesariamente.

Una primera fuente es el matadero municipal de Punata. Si bien cuenta con su propio sistema de infiltración de las aguas residuales, es decir que no está conectado al sistema de alcantarillado, será necesario tomarlo en cuenta como un importante punto de vertido de aguas residuales ante el potencial de nutrientes y sustancias contaminantes a ser infiltradas, además de constituir un posible foco de infecciones. No se encontraron evidencias de su reuso. Por otro lado, existen numerosos mataderos clandestinos y ocasionales que, por su condición ilegal hacen difícil estimar su número y saber si están conectados a las redes de alcantarillado.

La segunda fuente es la Industria Láctea del Valle Alto (ILVA). Se trata de una empresa de gran importancia local porque puede procesar 12500 litros de leche diarios, generando también aguas residuales. Una parte de sus aguas residuales es vertida al alcantarillado y otra (que representa una mayor carga orgánica) es evacuada a una acequia e infiltrada. La situación es similar a la del matadero por constituir un punto de vertido aguas residuales

de elevada cantidad de materia orgánica y posible foco de infección.

Finalmente, existe la sospecha de otro tipo de aguas residuales presentes en la cuenca. Se trata de las aguas residuales agrícolas, que en el presente caso son aquellas que escurren de las parcelas agrícolas hacia los ríos, arrastrando remanentes de productos químicos agropecuarios como fertilizantes y pesticidas. No existen estudios que indiquen su presencia de manera concluyente, aunque alguna información preliminar (ATICA, 2009) y la actividad agrícola intensiva en la cuenca sugieren esta posibilidad.

### **Sistemas familiares de baños con arrastre de agua**

Las cifras indican que ocupa el cuarto lugar como alternativa de sistemas de saneamiento en la cuenca Pucara. Se aprecia una notable diferencia en cuanto al número de viviendas atendidas por este sistema, siendo mayor su difusión en la zona rural. De cualquier forma, no es un sistema demasiado común en la cuenca, si se considera que su presencia porcentual no supera el 10% para ninguna de las zonas (rural y urbana). La mayor parte de sus implementaciones se da cuando el saneamiento ha sido financiado por alguna institución externa (ONGs, cooperación internacional).

Este tipo de sistemas son conocidos también como sistemas in-situ (Crites y Tchobanoglous, 1995). Tradicionalmente consisten en un tanque séptico que concentra las aguas residuales de una vivienda y, luego de un tiempo de permanencia en el que se obtiene un nivel de tratamiento primario, el agua es vertida sobre el terreno para su infiltración. En el caso de la cuenca Pucara se trata de sistemas que vierten el agua residual en pozos de absorción de 3 a 5 m<sup>3</sup> donde se acumulan y degradan los

sólidos, y el efluente líquido es infiltrado. Es decir que el nivel de tratamiento obtenido para las aguas residuales no es el mismo que los sistemas in-situ tradicionales, aunque es mejor que su vertido directo al terreno. El principal inconveniente de este sistema es la incertidumbre en el destino del líquido infiltrado y los procesos que le afectan.

No son sistemas que requieran de actividades difíciles de operación o mantenimiento. Se han registrado algunos casos (menos del 2%) donde estos sistemas no son utilizados, aunque sólo un porcentaje muy pequeño (inferior al 0,3%) se debe a que el sistema ha colapsado. Estos datos contrastan con los reportados por ATICA (2009) en el sentido de que la mayor parte de las letrinas se encuentran en desuso. De cualquier forma, los datos del presente estudio pueden explicarse porque la construcción de las estructuras identificadas es relativamente reciente, no habiendo excedido aún su periodo de vida útil.

### **Pozos ciegos**

En la cuenca se han identificado dos tipos básicos de sistemas de saneamiento que utilizan pozos ciegos. El primero es conocido como pozo abierto y consiste en una excavación sobre la que se dispone algún tipo de soporte para uso de la persona. Por sus características, constituye un foco de infecciones, además de producir molestias a los usuarios. El segundo tipo son las letrinas mejoradas, que incluyen una estructura mejorada para el usuario, además de una chimenea de ventilación. Ambos sistemas son incluidos dentro de los pozos ciegos porque el destino final de las excretas es el mismo, y presentando los mismos riesgos ambientales, diferenciándose en el riesgo microbiológico para los usuarios. ATICA (2009) afirma que no pueden

considerarse sistemas de saneamiento debido a la gran cantidad de problemas que implica su uso y que provocan su rápido abandono.

Las letrinas de pozo abierto alcanzan una cobertura total de aproximadamente el 6% del total de la cuenca. Su difusión es mucho mayor en las zonas rurales, donde alcanza al 10% de la población, siendo menor al 1% en las zonas urbanas. Vale decir que no es un sistema muy difundido y esto se debe probablemente a la incomodidad en su uso, dificultando su aceptación, y reflejándose en que es común (20% de los casos en la parte alta de la cuenca) encontrarlas en desuso.

Las letrinas ventiladas en cambio son la tercera alternativa de saneamiento más común en la cuenca, alcanzando un 14% del total de la población. Su importancia crece a nivel rural, pues significa el 20% de los sistemas de saneamiento, siendo el más difundido. A nivel urbano su importancia no es demasiada, aunque es más aceptado que las letrinas de pozo abierto, con un 3% de cobertura. Si bien existen también infraestructuras de este tipo en desuso, gran parte se debe al colapso de la estructura como resultado de una mala construcción, o al llenado del pozo.

Una gran ventaja de los sistemas de pozo ciego es que no precisan casi de ninguna actividad de operación o mantenimiento. Por otro lado, el riesgo ambiental no se limita sólo a la transmisión de enfermedades, sino también al destino incierto de los lixiviados que se producen por la disposición en conjunto de las excreciones líquidas con las sólidas, y por tanto su almacenamiento húmedo.

### Aire libre

La deposición al aire libre es la forma más común de disponer las excretas en la cuenca Pucara. Es practicada por más del 40% de la población, siendo este hábito más común en la parte alta de la cuenca. Su difusión es mucho mayor en las zonas rurales, donde es practicada por el 50% de las familias. En cambio llega a sólo el 25% en las zonas urbanas. El 73% de la población que practica esta forma de disposición de excretas lo hace en quebradas o ríos.

### 4.3 Residuos sólidos

#### Generación de desechos sólidos

El promedio de generación de residuos sólidos para las zonas cubiertas por el servicio de recojo de basura del municipio de Punata es de 0.65 kg/hab/día según la Mancomunidad de Municipios del Valle Alto (2005). Utilizando este dato para la zona urbana de Tiraque se obtiene un promedio estimado para las zonas urbanas de la cuenca de 21 tn/día de basura. No existen datos similares para las zonas rurales de la cuenca, por lo que el anterior dato está subestimado si se considera toda la cuenca. En la Tabla 5 se muestran los resultados de la caracterización de residuos sólidos realizada para Punata.

Tabla 5. Composición porcentual de los residuos sólidos de Punata

Subproducto	%
Materia Orgánica	43
Papel	3
Vidrio	2
Metales	1
Plásticos	6
Residuos Tóxicos	1
Otros	10
Residuos finos	34
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fuente: Mancomunidad de Municipios del Valle Alto (2005)

Como se observa en la anterior Tabla, la mayor parte de los residuos generados son materia orgánica, es decir que son residuos fácilmente biodegradables. Nótese que la mayor parte de la basura corresponde a materiales reciclables.

#### Recolección y transporte de residuos sólidos

Esta sección describe la cobertura de los servicios de recojo de basura y las operaciones realizadas durante su recolección, a cargo de las unidades municipales de Tiraque y Punata.

#### Cobertura

Los servicios de aseo de la cuenca Pucara atienden principalmente a las áreas urbanas, alcanzando una cobertura del 75% en dichas zonas. Sin embargo, cuando se considera a la totalidad de la población de la cuenca, la cobertura disminuye a aproximadamente el 30%. El detalle de las zonas y comunidades atendidas se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6. Cobertura por zonas de servicios de recolección de basura**

Municipio	Tipo de zona	Zonas
Punata	Urbana	Av. Mayor Rocha Av. Siles Área Central
	Periurbana - Rural	Santa Ana Pampa Grande Yacanhuyo Laguna Sulti Tajamar Roman Calle Jusk'u Molle Rosal Camacho Rancho La Era
Tiraque	Urbana	Cala Cala Concordia del Norte Exaltación Campo ferial

Es necesario aclarar que las comunidades mencionadas no son atendidas en su totalidad por los servicios públicos. Es decir que existe la posibilidad de que la cobertura real de recojo de basura sea menor.

Considerando los datos obtenidos por la Mancomunidad de Municipios del Valle Alto (2005), la cantidad recolectada diariamente corresponde al 85% de la cantidad de basura generada en el área urbana de la cuenca. Cabe recalcar que estos datos no incluyen a la basura generada en zonas donde no existe recojo de basura.

#### *Operación de recolección*

La forma predominante de recojo de basura es mediante volquetas en ambos municipios, alcanzando el 97% del total recolectado. El porcentaje restante es realizado mediante carritos de mano. El método de recolección varía según el tipo de zona atendida, como se ve en la Tabla 7. Los carritos de mano atienden exclusivamente el área urbana de Punata, siendo las volquetas las encargadas de otras partes de las ciudades y, si es el caso, de las áreas periurbanas y rurales (población dispersa).

**Tabla 7. Sistemas de recolección según tipo de zona en la cuenca Pucara**

Tipo de Zona	Sistema de recogida	Equipos
Urbana	Esquina/Domiciliaria	Volqueta y Carritos de mano
Rural	Tramos de 500 metros	Volqueta
Urbana/rural	Puntos críticos	Volqueta y pala cargadora

Los puntos críticos son zonas no autorizadas para el vertido de basura, pero que la población utiliza por diversos motivos. Algunas veces se debe a que fueron botaderos, otras veces a que durante algún tiempo se instalaron allí contenedores de basura y luego fueron removidos, o simplemente a la comodidad de los vecinos de dejar la basura en lugares públicos de forma que no quede más remedio que su recolección. Con el transcurso del tiempo se constituyeron en pequeños botaderos a cielo abierto que los municipios deben limpiar con frecuencia para evitar problemas de salubridad, estética y contaminación del área circundante. En un recorrido por las zonas urbanas se han identificado 11 puntos críticos, que son detallados en la Tabla 8.

**Tabla 8. Puntos críticos de vertido de basura en la cuenca Pucara**

Municipio	Lugar	Observaciones
Punata	Puente río Wasa Mayu	
	Escuela Litoral	Frente a esta escuela existe un parque infantil
	Jusku Molle	Botadero cerca a tanque de agua potable
	Plazuela del estudiante	
	Playa de ganado	
	Cooperativa Integral de socios Leche	
	Coliseo Municipal	
Tiraque	Cala Cala	Calle Ingavi y 6 de agosto
	Concordia del Norte	Calle Palmar y Pereira
	Exaltación	Calle Alameda y Montes
	Campo Ferial	Mercado campesino

La frecuencia del recojo de basura varía entre 2 y 4 veces a la semana por cada tramo. Es necesario considerar la diferencia en el tamaño de las dos principales zonas urbanas de la cuenca. Así, se tiene que los trabajadores del servicio de aseo urbano de Tiraque hacen recorridos de 3 a 4 veces por semana. En cambio los de Punata deben realizar recorridos toda la semana en dos turnos para así cubrir todos los tramos con la frecuencia planificada.

Una de las principales dificultades en el recojo de la basura es la de los escombros. Se han presentado casos donde, pese a las prohibiciones, la gente depositaba sus escombros en los contenedores dispuestos por las alcaldías. Ante el rápido deterioro de los contenedores se ha optado por recogerlos.

lo suficiente como para ser considerada adecuada. El vertedero de Punata se encuentra a orillas del río Wasa Mayu, mientras que en Tiraque se ubica en el río Millu Mayu. En ambos casos se procede a la acumulación de basura, sin ningún tipo de impermeabilización en su lecho, durante cierto tiempo para posteriormente ser cubierta con una capa de tierra y escombros, es decir que tienen las características de vertederos semi-controlados. La principal diferencia es que en Tiraque se realiza una quema previa al entierro, es decir que se entierran las cenizas. Ambos vertederos están próximos a cumplir sus ciclos de vida, por lo que los municipios están gestionando nuevos lugares.

Finalmente, mencionar que hace tres años, los recolectores municipales de Tiraque comenzaron

**Tabla 9. Características de los antiguos botaderos de la cuenca Pucara**

Municipio	Anteriores botaderos		Tiempo operación	Forma operación
	Lugar	Comunidad		
Tiraque	Río/quebrada	Chejta Rumi Chaqui Mayu Chauca Pila	12 años	Vertido a cielo abierto, quema de basura en forma mensual
Punata	Río/quebrada	Blanco Rancho San José Grande	5 años	Vertido a cielo abierto

Actualmente, estos residuos especiales son vertidos en algunos puntos críticos y/o cursos de agua obstruyendo los cauces de los ríos, lo que obliga a las alcaldías a hacerse cargo.

De cualquier forma, y a pesar de que el establecimiento de un nuevo relleno significó también el traslado de la basura desde el antiguo relleno en el caso de Punata, parte de la basura se ha quedado en el primer lugar o ha significado el establecimiento de puntos críticos de vertido. Nótese que dichos lugares son ríos y/o quebradas.

Actualmente, la disposición de la basura en ambos municipios ha mejorado, aunque aún no

a separar los materiales plásticos reciclables (principalmente botellas de plástico) y los vendieron en la ciudad de Cochabamba. La alcaldía prohibió dicha actividad ante la susceptibilidad que se creó entre la gente respecto a que estaban empleando vehículos de la alcaldía para ganar dinero extra. Por otra parte, algunos separadores de basura del municipio de Punata rescataban también botellas PEP para su venta en la ciudad de Cochabamba, sin embargo el bajo precio que actualmente se paga en las recicladoras determinó que esta actividad deje de ser rentable. La ausencia de servicios de reciclaje en la cuenca acaba de configurar un panorama complejo para la gestión de la basura.

*Disposición no autorizada*

Es necesario mencionar que no se realiza ningún tipo de cobro por el servicio de recolección, transporte o disposición final de la basura que brinda el municipio. Según los responsables de las unidades municipales de aseo urbano, la principal razón es la resistencia de la población al pago, argumentando que el pago de impuestos y los recursos que le corresponden a cada municipio por la Ley de Participación Popular deberían cubrir los costos. Esto repercute en las unidades municipales encargadas, pues ven limitadas sus posibilidades por razones presupuestarias.

La falta de presupuesto limita la disponibilidad de maquinaria para la recolección de basura. Además, condiciona la situación del personal encargado de los servicios de aseo. En el municipio de Punata los recolectores son trabajadores eventuales, por lo que las exigencias que se les pueden hacer excluyen otro tipo de trabajo de apoyo al servicio de recolección. El resultado final son las coberturas mencionadas (aceptables en los núcleos urbanos pero mínimas en el área rural de la cuenca) y, algunas veces, una deficiente calidad del servicio brindado, pero fundamentalmente problemas a la hora de encarar otras tareas, como su disposición final. Por otro lado, el anterior sistema de recolección en Punata era puerta por puerta; esto ha provocado que algunas personas no se acostumbren hasta ahora al nuevo al sistema de esquinas. Así, la población que no es atendida por estos servicios o es atendida de forma deficiente, opta por verter los residuos sólidos en ríos, quebradas, y terrenos baldíos. Existen ordenanzas que prohíben botar la basura en estos espacios, sin embargo no son cumplidas.

En las comunidades dispersas de ambos municipios no existe servicio de recolección de basura. Por lo tanto, la basura generalmente es depositada en los ríos y riachuelos o canales de riego próximos, generando muchas veces puntos

críticos. En este grupo destacan los puntos críticos de disposición de basura sobre la carretera que une Punata con Tiraque, especialmente en el tramo de subida desde Cuchu Punata hasta la primera entrada a Tiraque. Allí se han identificado cuatro puntos de depósito de basura (Figura 2) con una cantidad significativa de residuos sólidos que son depositados por la población local y la que transita en automóviles, llegando, con el pasar del tiempo, a acumulaciones significativas. Lo que llama la atención de estos puntos críticos es que se encuentran en quebradas o inicios de quebrada, por tanto la basura es transportada hacia riachuelos que confluyen con el cauce principal que es río Pucara en época de lluvias.

Esta práctica ocasiona problemas al municipio, a regantes y a poblaciones circundantes a estos botaderos. El origen de esta costumbre parece ser el hecho de que los ríos constituyen espacios sin dueño, es decir que nadie hará el reclamo correspondiente y las molestias generadas a los vecinos serán reducidas. Por otra parte, las crecidas anuales en época de lluvias se llevan los residuos.

**Residuos peligrosos**

Los principales residuos peligrosos generados en la cuenca corresponden a los residuos hospitalarios. Existen dos hospitales principales en la cuenca: el de Punata que es de segundo nivel y el de Tiraque que es de primer nivel<sup>10</sup>, cada uno con una diferente forma de gestionar su basura.

En el hospital de Punata, los residuos son seleccionados antes de su entrega a los carros basureros. Se divide la basura en residuos peligrosos y residuos comunes. Los últimos son entregados a los carros basureros y los peligrosos son

<sup>10</sup> El nivel de los centros de atención médica tiene que ver con su capacidad y equipamiento para atender los requerimientos de la población. A grandes rasgos, los de primer nivel atienden las necesidades básicas de una determinada área y aseguran el traslado de los pacientes a otros centros si es necesario. Los de segundo nivel tienen algunas especialidades, contando con medios tecnológicos que serían demasiado caros para tenerlos en los de primer nivel, por no usarse con la suficiente frecuencia.

incinerados en el hospital. Sin embargo, en Punata existen además laboratorios, farmacias, clínicas privadas y centros de salud, los cuales vierten sus residuos sin clasificar a los carros basureros.

Los residuos provenientes del hospital general de Tiraque son seleccionados previamente antes de ser entregados al carro basurero. La selección considera residuos peligrosos y comunes. Los residuos peligrosos se dividen en tres subgrupos; 1) residuos de organismo; 2) residuos de curaciones y consulta externa; y 3) de laboratorios. Los trabajadores de aseo urbano recogen los residuos de curaciones, consultas externas, laboratorios y los residuos comunes; en cambio, los residuos de organismo son incinerados en una fosa excavada en el mismo hospital.

#### 4.4 Impactos y/o riesgos generados

En este acápite se relacionan los datos disponibles en un intento por obtener una idea aproximada de los impactos y/o riesgos que supone el actual manejo de desechos sólidos y líquidos en la cuenca Pucara, tanto para el ambiente como para la salud de los habitantes de la misma.

Considérense dos matrices de datos como materia prima para el presente análisis. La primera se muestra en la Tabla 10 y muestra los aportes potenciales de contaminantes que supone la generación de heces fecales de la población total de la cuenca Pucara y su destino según los datos del presente estudio.

La segunda se observa en la Tabla 11 y se trata de un procesamiento de datos análogo al anterior, sólo que para los desechos sólidos de la cuenca. Para éste se debe tener en cuenta que las cifras obtenidas sólo son aplicables a las zonas urbanas y periurbanas atendidas por el servicio de recojo de basura, por tratarse de una extrapolación en base a los datos de la zona urbana de Punata.

En la Figura 2 se muestra la ubicación de varios puntos de vertido de residuos sólidos y líquidos en relación con la red hídrica de la cuenca Pucara. Allí se aprecia que la mayor parte de los puntos identificados se encuentran sobre algún curso natural de agua. Esto incrementa las posibilidades del transporte de contaminantes a diversos puntos que se encuentran aguas abajo. A continuación se detallan los riesgos identificados como producto de la actual gestión de residuos de la cuenca.

**Tabla 10. Aportes potenciales de contaminantes (toneladas/año) por la disposición de excretas en la cuenca Pucara**

PARÁMETROS	TOTAL	PTAR	Infiltración húmeda	Infiltración seca	Quebrada o río	Parcela
Habitantes	57848	15300	5461	11992	18106	6699
Generación de DBO	950	251	90	197	297	110
Generación de SS	1425	377	134.5	295	446	165
Generación de NT	238	63	22.5	49	74	27.5
Generación de PT	63	17	5.9	13	20	7

Fuente: elaboración propia en base a Tapias (2007)

**Tabla 11. Aportes potenciales de residuos sólido por la generación de basura en la cuenca Pucara**

Subproducto (tonelada/año)	Botaderos municipales	Botaderos no autorizados
Materia Orgánica	3296	1936
Papel	230	135
Vidrio	153	90
Metales	77	45
Plásticos	460	270
Residuos Tóxicos	77	45
Otros	766.5	450
Residuos finos	2606	1531
<b>Total (tn/año)</b>	<b>7665</b>	<b>4502</b>

Fuente: elaboración propia en base a Mancomunidad de Municipios del Valle Alto (2005)

### Riesgo sanitario

En la cuenca se trata básicamente del riesgo sanitario que supone la inadecuada disposición de las excretas, el destino final de las aguas residuales y la disposición de los residuos sólidos.

Respecto a la disposición de las excretas, pueden distinguirse dos tipos de población en riesgo según el lugar donde se realiza. El 27% de la población que realiza sus necesidades al aire libre (11% del total de la cuenca) utiliza su propia parcela. Así, el riesgo de enfermedades es en su mayor parte, para la propia familia. La utilización de letrinas de pozo abierto supone un riesgo similar considerando que afecta a los miembros de la misma familia, y significa un 7% adicional sobre la población total de la cuenca.

Por otro lado, el 73% de la población que realiza sus necesidades al aire libre (31% del total de la cuenca) utiliza quebradas o ríos. Es de suponer que debido a la molestia producida por el olor y los insectos, además del riesgo para la salud, la mayoría

de la gente opta por utilizar lugares deshabitados como terrenos vacíos, quebradas y ríos. Si bien el riesgo de enfermedades no es inmediato para su familia, supone un riesgo para la población que entra en contacto con dichos lugares.

La excesiva incorporación de materia orgánica biodegradable cuyo origen pueden ser las excretas o las casi 2000 toneladas de basura orgánica dispuesta de forma no autorizada, constituye un factor que promueve la aparición de vectores de enfermedades, como moscas, mosquitos, cucarachas, etc. Además, constituyen auténticos medios de cultivo para la sobrevivencia y proliferación de microorganismos patógenos.

Finalmente, la inadecuada disposición de residuos de hospital y laboratorio en los botaderos, representan riesgos para la salud de los recolectores y los segregadores de basura.

### Riesgo ambiental

De la tabla 10 es posible inferir la magnitud aproximada de algunos riesgos químicos ambientales en la cuenca Pucara, derivados de la situación del saneamiento. Por ejemplo, que existe la posibilidad de incorporación de 22 toneladas anuales de nitrógeno en sus diferentes formas y 6 toneladas anuales de fósforo a los acuíferos de la cuenca debido a la infiltración. A este riesgo se debe sumar la posibilidad de que una parte de los nutrientes originados en las heces fecales depositadas en quebradas o ríos formen residuos líquidos similares a aguas residuales al mezclarse con el agua, y sean incorporados también a los cuerpos de agua. Por otro lado, aunque se debe resaltar la cobertura alcanzada por las diferentes PTAR de la cuenca, debe llamar la atención que el estado en el que se encuentra la mayoría está disminuyendo su capacidad de absorber el impacto provocado por las cifras detalladas en la anterior tabla.

La incorporación de una gran cantidad de nutrientes puede representar consecuencias para la cuenca entera. En el caso de cursos de aguas superficial, se incrementa el riesgo de eutrofización, cuya consecuencia final es la pérdida irreversible de los cuerpos de agua. Para los cuerpos de agua subterránea, el riesgo es la contaminación de acuíferos con compuestos nitrogenados o fosfatos. Éstos son tóxicos para diferentes formas de vida, restringiendo su uso y constituyendo una limitación importante en el caso de la cuenca Pucara porque la principal fuente de agua potable para la zona del abanico de Punata son los pozos. Los porcentajes de cobertura de sistemas de saneamiento de cada municipio son mostrados en la Tabla 12.

**Tabla 12. Cobertura de sistemas de saneamiento en la cuenca Pucara**

Sistema de saneamiento	Tiraque		Punata	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Alcantarillado (%)	25	0.5	96	20
Otros sistemas (%)	9	35.5	3.8	51
Aire libre (%)	66	64	0.2	29

La notable diferencia en la cobertura de sistemas de disposición de excretas entre las zonas altas de la cuenca (i.e. Tiraque) y las zonas bajas (i.e. Punata), muestran que se debe priorizar la adecuada disposición de aguas residuales y excretas, especialmente en el municipio de Tiraque por las mencionadas consecuencias para el municipio de Punata.

Otra situación a tomar en cuenta es la incorporación de aproximadamente 100 toneladas de sólidos y 60 toneladas de materia orgánica por año, cuyo origen son las aguas residuales y se distribuyen en la superficie regada con éstas. Si bien se han experimentado mejoras en la fertilidad del suelo, no se cuenta con datos que verifiquen o descarten la incorporación de sustancias tóxicas incluidas en el agua residual (i.e. metales pesados, compuestos

orgánicos no biodegradables, sales). Lo mismo ocurre con algunos microorganismos patógenos y fitopatógenos que podrían estarse instalando en los suelos agrícolas, afectando la salud de agricultores y cultivos.

Los principales riesgos ambientales derivados de la actual gestión de residuos sólidos en la cuenca son para los cuerpos de agua y para el aire. Los cuerpos de agua pueden verse afectados de forma directa porque los botaderos municipales están ubicados en orillas de ríos, de la misma forma que la mayoría de los ilegales, y ambos son afectados por la erosión cuando se producen las crecidas de los ríos, desenterrando la basura. Otro problema es que no siempre se llega a cubrir totalmente la basura debido a problemas con la maquinaria o a que existen vecinos que hacen llegar basura por su cuenta a los botaderos, quedando una gran cantidad de residuos al aire libre.

Sea por cualquier motivo, al entrar los residuos en contacto con el agua se dan diversos procesos cuyo resultado es el transporte de materia orgánica, la solubilización de nutrientes y la formación de lixiviados. Según la composición de la basura, los lixiviados pueden concentrar sustancias tóxicas presentes en la basura de la cuenca, como metales pesados, residuos de medicamentos y compuestos químicos activos. Es decir que existen grandes posibilidades de contaminación en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos cercanos a los botaderos, especialmente por la ausencia de una capa impermeable que se suele instalar cuando se trata de vertederos adecuadamente planificados. El mayor riesgo para la cuenca nuevamente es la contaminación del agua subterránea, especialmente para el municipio de Punata porque la población se abastece de agua para uso doméstico mediante pozos perforados. No se debe descartar tampoco el riesgo para la población de la cabecera del abanico

de Punata, la cual se abastece del agua superficial del río Pucara.

Algunas de las situaciones descritas parecen ser confirmadas por los datos obtenidos por Ampuero y Torres (2009), en el sentido que existen vertientes con problemas crecientes de nitratos. De forma similar, reportan contenidos de materia orgánica que restringen su uso como agua potable y que van en incremento conforme se desciende a través de los cursos de agua de la cuenca, presentando el río Pucara el máximo contenido de contaminantes orgánicos y microbiológicos, seguido de los ríos Tiraque y Toralapa.

Otro riesgo tiene que ver con las prácticas durante el entierro de la basura. Como la descomposición continúa bajo tierra, se producen gases como producto de estos procesos. Para evacuarlos normalmente se recurre a la instalación de chimeneas de ventilación en los botaderos. En el caso de los botaderos de la cuenca, no existen dichas chimeneas. Así, con el transcurso del tiempo se pueden formar bolsas de gas que es tóxico para diversas formas de vida.

El efecto para la atmósfera de un botadero es considerado bajo porque simplemente recibe emisiones gaseosas producidas por la descomposición de la materia orgánica, inorgánica y la volatilización de algunos compuestos. Sin embargo, el riesgo ambiental es mucho mayor cuando se produce la incineración de la basura. En la tabla siguiente se muestra una estimación de la cantidad de sustancias contaminantes que implica la quema de basura practicada en el botadero de Tiraque.

**Tabla 13. Estimación de la generación de contaminantes por la incineración de basura en Tiraque**

Componentes	Magnitud (kg/año)
Partículas	3820
SO <sub>2</sub>	240
Óxidos de nitrógeno	1430
Hidrocarburos	7160
CO	20000

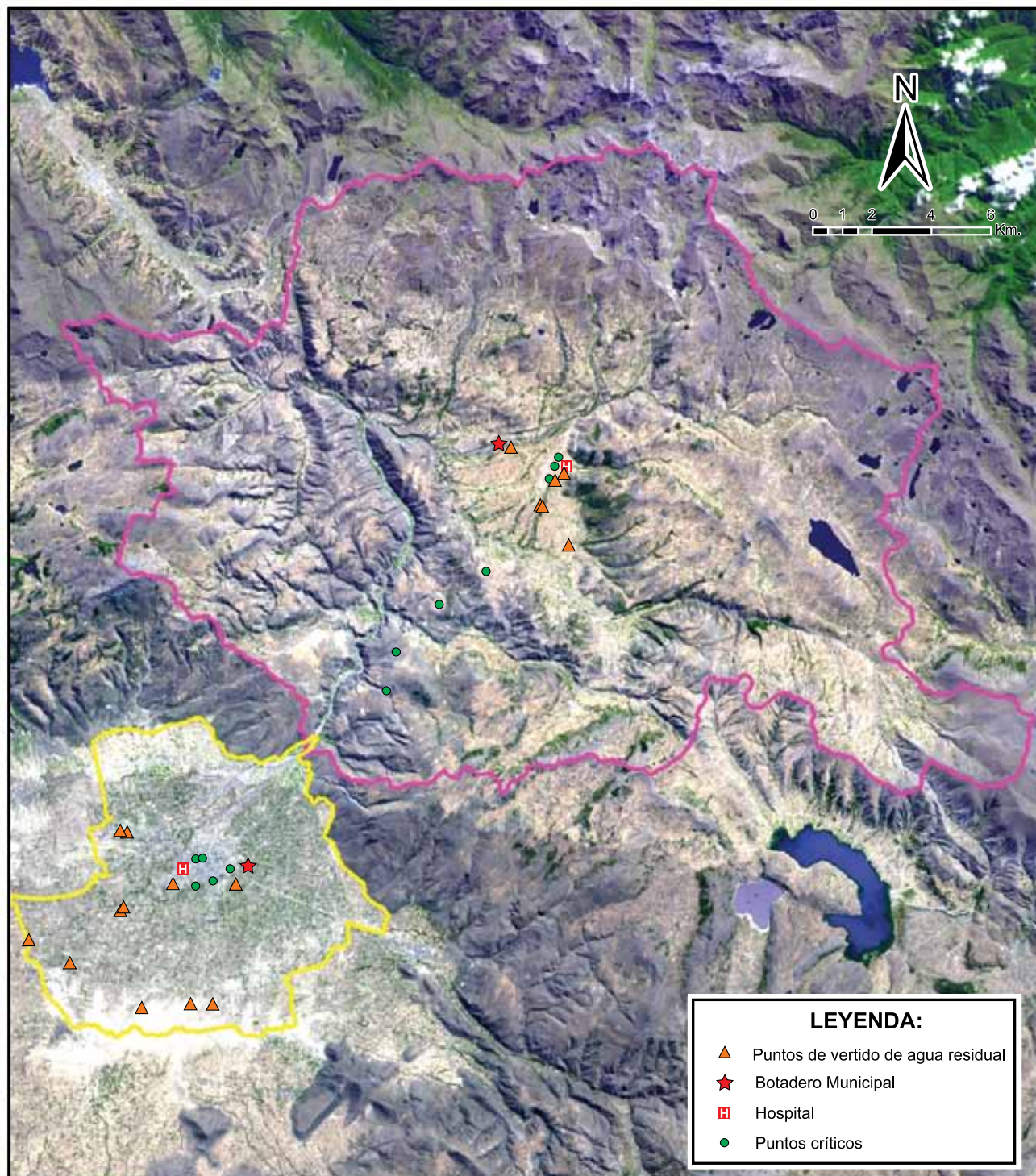
Como se aprecia en la Tabla 13, con la incineración de basura se emiten compuestos nocivos para los seres vivos (CO<sub>2</sub>, CO) y otros que dañan a la atmósfera (gases de invernadero, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno). Así, si bien se reduce el riesgo de contaminación para el suelo y los cuerpos de agua cercanos al botadero, se incrementa la contaminación de la atmósfera.

Finalmente, el empleo generalizado de productos agroquímicos en toda la cuenca constituye una fuente difusa de contaminación que no ha sido evaluada todavía, y que podría explicar también los contenidos de nitratos reportados por Ampuero y Torres (2009). No existe información que sea concluyente en cuanto a la presencia de compuestos químicos tóxicos. Sin embargo, este vacío de información se debe a la falta de estudios ejecutados a gran escala y con la rigurosidad necesaria. Por el momento sólo se cuentan con algunos indicios, como la presencia de compuestos nitrogenados y fosfatos en el agua de algunos pozos, o la presencia de pilas o baterías en los botaderos.

#### **Vulnerabilidad ambiental**

El volumen de basura depositada en botaderos no autorizados supone un volumen estimado de 20600 m<sup>3</sup> anuales. Si bien este volumen se reduce con la descomposición de materia orgánica y la evaporación, constituye un aporte que puede significar obstrucciones en los cursos de agua,

Figura 2. Localización de puntos de vertido de residuos sólidos y líquidos en la cuenca hidrosocial Pucara



Fuente: Elaboración propia en base a Ampuero (2011)

incrementando las posibilidades de erosión y desastres naturales. Este riesgo no es inmediato, sin embargo tiene un efecto acumulador por la disposición de escombros, chatarra o metales, que es muy probable que se manifieste en el futuro o ya se esté manifestando aguas abajo de la cuenca.

#### **4.5 Percepción de organizaciones locales**

En este apartado se recogen diversas impresiones en base a las percepciones de dos organizaciones consideradas importantes en la gestión de los residuos en la cuenca. Las alcaldías son imprescindibles por constituir los principales responsables de la planificación y ejecución de planes para el desarrollo de sus jurisdicciones. También han sido considerados los usuarios de aguas residuales porque han construido diversas relaciones alrededor de un tipo específico de residuos y su reutilización, asumiendo en los hechos responsabilidades compartidas con los municipios en parte de la gestión de dichos residuos, y aglutinando a varias comunidades.

#### **Alcaldías municipales y sus unidades técnicas**

Si bien los gobiernos municipales son los encargados de planificar y cubrir las necesidades básicas de agua y saneamiento de aguas residuales y excretas, éstos carecen de una visión global al satisfacer estas demandas. Generalmente tienden a darle más importancia a la cobertura de agua, dejando de lado lo referente a la eliminación de excretas y aguas residuales (Lizarazu, 2010). Esto se debe a que la principal demanda de la población es el acceso al agua. Por otra parte, su visión respecto al saneamiento y las aguas residuales presenta aún un enfoque de inversión en infraestructura de sistemas de saneamiento *in situ*, construcción y ampliación de la red de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales sin tomar en cuenta cuestiones básicas de operación y mantenimiento,

así como la calidad y sostenibilidad de los servicios (Lizarazu, 2010). Esto se nota, por ejemplo, en el uso de tanques sépticos como primeras opciones de tratamiento en las PTARs sin tomar en cuenta el costo y la ausencia de servicios especializados para la evacuación de lodos en la cuenca, lo que indudablemente reduce sus perspectivas de sostenibilidad.

Este enfoque por parte de los municipios se debe a que los indicadores de crecimiento respecto a los servicios de agua y saneamiento se miden en base al número de conexiones realizadas y de población abastecida (Prada *et al*, 2008). Así, se excluye otro tipo de indicadores respecto tanto a la calidad del servicio como a su efectividad y sostenibilidad. Esto implica en la mayor parte de los casos, la implementación de la estructura por parte de los municipios para su posterior traspaso (o abandono) a las organizaciones locales sin ningún tipo de convenio y/o capacitación.

El diagnóstico general es de una notable debilidad institucional de parte de los municipios por lo menos en lo referente a la gestión de los residuos urbanos. Ésta se manifiesta en una reducida presencia y actividades en las PTAR y en la carencia de información sobre su diseño y funcionamiento, así como la falta de coordinación entre unidades de la misma alcaldía. De la misma forma, las perspectivas del fortalecimiento de las unidades encargadas del aseo urbano y disposición de residuos sólidos son nulas. Éstas se desenvuelven entre diversas limitaciones y la ausencia de voluntad política por encarar la problemática de forma profunda. Las causas primordiales son, según los funcionarios de dichas unidades, tanto los inminentes cambios de administración que ocasionan modificaciones en planes, presupuestos y personal, como la reducida capacidad técnica y logística disponibles.

### **Usuarios de las aguas residuales**

El uso de las aguas residuales es como agua para riego de cultivos. En ese sentido, la opinión que genera es favorable por constituir una fuente segura y más o menos constante de agua. Además, algunos regantes han percibido el incremento en el rendimiento de sus cultivos debido a los nutrientes presentes en el agua residual (Camacho, 2005).

Sin embargo, existe una visión parcial de las PTAR de parte de los usuarios. En efecto, la mayoría son vistas como fuentes de agua y no como infraestructuras de tratamiento que requieren actividades específicas de operación y mantenimiento para su adecuado funcionamiento, y que su uso implica riesgos sanitarios y ambientales. Un ejemplo es el bombeo de aguas para riego desde cualquier unidad del tratamiento, es decir que en algunos casos les da lo mismo bombear desde la parte media de la línea de tratamiento,

como del final. Esto influye sobre la calidad de depuración alcanzada en el efluente. En otros casos, las actividades de mantenimiento realizadas por los usuarios ante la escasa presencia municipal no son las mejores desde el punto de vista técnico y a veces tienden a acelerar el deterioro de las unidades de tratamiento.

Finalmente, los regantes no parecen percibir el riesgo sanitario que supone la manipulación de aguas residuales. Son pocos los que manifiestan haber sufrido alguna patología y que la relacionan con el contacto con el agua residual. La ausencia de medidas de prevención al momento de regar o realizar labores de mantenimiento, implica riesgos para la propia salud de los regantes y probablemente influye en la prevalencia de enfermedades (Camacho, 2005).

## 5. CONCLUSIONES

- La problemática de la gestión de los residuos en la cuenca Pucara tiende a complicarse. El crecimiento poblacional y la elevación del nivel de vida hacen prever una mayor cantidad de residuos, un incremento en la demanda de servicios sostenibles de saneamiento y una mayor complejidad en la adecuada gestión de los residuos sólidos. Por otro lado, se ha corroborado la debilidad institucional en la que se desenvuelven las alcaldías, lo que condiciona su capacidad de respuesta ante la situación actual y futura. En ese sentido, el establecimiento de escenarios de trabajo conjunto entre ambas alcaldías y las diversas organizaciones sociales parece ofrecer un mejor panorama para enfrentar dicha problemática.
- La cobertura de servicios adecuados de saneamiento es baja, alcanzando entre 30 y 45%, dependiendo si se consideran o no a los pozos ciegos como sistemas adecuados. Existen numerosos factores que han posibilitado esta situación; es de esperar que muchos de ellos sean subsanados cuando el Plan Nacional de Saneamiento Básico sea efectivamente ejecutado, ya que los menciona como parte de la problemática de dicho servicio a nivel nacional. Respecto a los sistemas de saneamiento empleados, el aspecto más crítico identificado es el de su sostenibilidad.
- La mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca Pucara están siendo administrados por los regantes de las comunidades vecinas. En casi todas, la falta de conocimientos sobre las adecuadas actividades de operación y mantenimiento limitan su sostenibilidad. Sin embargo, con una adecuada orientación, la fortaleza organizativa de las comunidades puede constituir un factor decisivo hacia la sostenibilidad de los sistemas. En ese sentido, el contexto es favorable porque uno de los pilares del PNSB es el fortalecimiento, apoyo y fomento a la articulación de sistemas comunitarios, cooperativas y organizaciones asociativas de sistemas comunitarios. De forma análoga, cualquier esfuerzo serio por resolver de una forma sostenible la problemática de los residuos sólidos en cualquier territorio, requiere del compromiso y participación de la ciudadanía.
- La gestión de los residuos sólidos en la cuenca Pucara se desenvuelve en medio de limitaciones. El aspecto más crítico es su disposición final. Hasta el momento no se han presentado problemas muy evidentes probablemente debido a que la cantidad de basura generada no es muy significativa considerando el tamaño de la cuenca. Sin embargo, constituye un problema serio a mediano plazo por el cercano cierre de ambos botaderos y por constituir cada botadero una fuente constante de contaminación.

- De los riesgos identificados, dos son considerados los más importantes. Uno es la contaminación de acuíferos por los lixiviados generados en los botaderos de basura y/o por el contenido orgánico de aguas residuales y excretas. Su importancia radica en el uso que se le da a estos cuerpos como fuente de agua potable principalmente en la parte baja de la cuenca. El otro es la disposición de las excretas al aire libre o mediante sistemas que no son adecuados desde el punto de vista sanitario porque favorecen la proliferación de vectores transmisores de enfermedades. Su importancia está dada por la gran cantidad de personas que realizan estas prácticas de saneamiento, constituyendo población de riesgo ante las enfermedades.
- La percepción de los grupos sociales considerados en el presente estudio, está influida por dos factores principales. 1) Existe una fuerte visión sectorial en los técnicos y pobladores de la cuenca. La relación entre aguas arriba y aguas abajo se considera solamente cuando se presentan problemas. 2) No existe entre los habitantes y técnicos de las alcaldías, la percepción de que la actual gestión de los residuos en la cuenca constituya una amenaza. Esto puede explicarse porque muchos riesgos que afectan de manera directa e indirecta el bienestar de las familias son considerados como parte de su vida cotidiana.
- Los servicios de saneamiento también constituyen una forma de relacionamiento hídrico. Este relacionamiento puede ser directo, es decir que genera nuevos espacios y dinámicas de aprovechamiento de recursos hídricos. Por ejemplo, el sistema de alcantarillado de la ciudad de Punata constituye un sistema de transporte de agua que está influido por usos y costumbres de la población. Su aprovechamiento es importante en términos de cantidad y de niveles organizacionales implicados, generando constantes conflictos y acuerdos. Por otra parte, dicho relacionamiento puede ser indirecto, es decir, aunque no gire alrededor de sistemas de aprovechamiento del agua, sí produce efecto(s) sobre ellos. Por ejemplo, existe una marcada diferencia en la cobertura de los servicios de saneamiento entre la parte alta (municipio de Tiraque) y la parte baja (municipio de Punata), lo que puede significar consecuencias para las fuentes de agua de los sistemas presentes en la parte baja de la cuenca, sobre todo aguas subterráneas.
- Es evidente la necesidad de estudios más detallados sobre diversos aspectos, entre los cuales sobresalen la generación y caracterización de residuos sólidos en la parte alta de la cuenca, el origen y la dinámica de los contaminantes presentes en diferentes cuerpos de agua, los efectos del aprovechamiento de aguas residuales, etc., para cuantificar los riesgos y ser utilizados como base para toma de decisiones. Por otro lado, se ha evidenciado la necesidad del establecimiento de redes de monitoreo y vigilancia ambiental. Además, ante la existencia de riesgos para las fuentes de agua, especialmente de la parte baja, se evidencia la necesidad de acciones conjuntas de protección de las fuentes de agua. Estas implican, necesariamente, el interés de ambos municipios y la participación de varias comunidades en un

esfuerzo por incrementar las coberturas de saneamiento en Tiraque y realizar acciones para una adecuada gestión de los residuos sólidos.

- Se ha evidenciado la necesidad de complementar y actualizar la normativa existente en varios aspectos. La actual presenta ambigüedades o requiere aclaraciones, además de contemplar algunos aspectos de difícil y costosa aplicación en nuestro medio.

Por ejemplo, la situación actual de la cuenca Pucara parece ser buena porque se ha alcanzado una cobertura de sistemas de saneamiento cercana al 50% para el área rural, 75% para el área urbana y una cobertura de PTARs cercana al 90% de las aguas residuales generadas. Vale decir que está muy próxima a cumplir las metas proyectadas por el PNSB. Sin embargo, un primer punto a aclarar es respecto a lo que se entiende como sistemas de saneamiento. Las letrinas son infraestructuras polémicas en ese sentido porque básicamente consisten en pozos a manera de depósitos de heces fecales, con muchas desventajas desde el punto de vista sanitario. Estas y otras razones ocasionan su abandono o desuso. Sin embargo, si se omitieran como sistemas de saneamiento por las razones expuestas, la cobertura en la cuenca Pucara bajaría a 67% en el área urbana y a 20% en el área rural.

Un segundo punto se refiere a la cobertura alcanzada por las PTARs. Si se considera que sólo el 29% de la población de la cuenca cuenta con servicio de alcantarillado, no es

difícil alcanzar la cobertura proyectada de PTARs. Por tanto, surge la “tentación” de no incrementar las coberturas de alcantarillado para mantener elevada la cobertura de aguas residuales tratadas. Por otra parte, no existen indicadores de la calidad y sostenibilidad del tratamiento brindado. Esto fomenta la implementación de la infraestructura y su posterior abandono o transferencia improvisada a organizaciones locales, omitiendo las labores adecuadas de operación y mantenimiento. Además, nuevamente se hace necesaria la precisión sobre lo que se considera un sistema de tratamiento. Y es que, por ejemplo, las letrinas con arrastre de agua generan aguas residuales que son infiltradas en el terreno sin que quede claro el nivel de tratamiento alcanzado, ante la dudosa eficiencia de los pozos de absorción.

En general, hace falta complementar las normas existentes con aspectos como la definición de indicadores de sostenibilidad para la evaluación ex-post de las implementaciones de saneamiento, revisión y re-definición de los parámetros mínimos a ser analizados, adaptación de valores límite a las condiciones locales, complementación de normativas específicas para el re-uso de aguas residuales, etc.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alegre, M. 1999. Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. En [http://http://www.cepis.ops-oms.org/curso\\_mrsm/e/fulltext/pequena.pdf](http://http://www.cepis.ops-oms.org/curso_mrsm/e/fulltext/pequena.pdf), consultado el 15 de julio de 2010

Ampuero, R., Torres, L. 2009. Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Pucara. Informe técnico N°5. Proyecto Estrategia para una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Centro AGUA, UMSS, Bolivia.

Ampuero, R. 2011. Reporte sobre las principales fuentes de contaminación en la cuenca Pucara (Tiraque y Punata): Su importancia relativa y posibles impactos. Documento de trabajo. Proyecto Desarrollo de un Sistema Demostrativo de apoyo a la Gestión de Recursos Hídricos en la cuenca Pucara. Centro AGUA, UMSS, Bolivia.

ATICA (Fundación Agua y Tierra Campesina). 2009. Plan de Desarrollo Municipal de Tiraque 2009-2013. Gobierno Municipal de Tiraque, Cochabamba, Bolivia.

Bustamante, R., Durán, A. 2005. Servicios ambientales hídricos: análisis del marco legal y de políticas en Bolivia. Fundación NATURA Bolivia.

Camacho, A. 2005. Importancia de la gestión y uso actual de las aguas residuales urbanas en la producción agrícola del municipio de Punata, Cochabamba. Tesis de maestría. Fundación Universitaria Iberoamericana, Universidad de Las Palmas y Gran Canaria, España.

Cardona, O. 2001. Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Tesis de doctorado, Departamento de ingeniería del terreno, cartográfica y geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, España

Cazevene, G., Peluso, F., Usunoff, E., Vives, L. 2004. Análisis areal y prospectivo de riesgo sanitario incorporando modelos de transporte de solutos en aguas subterráneas. Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N° 4, 166-178

CEPIS (Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud/ OPS/OMS). (s.f.). *Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo*. Mexico: Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecológico.

CONAM (Consejo Nacional del Ambiente de Perú), CEPIS/OPS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) 2004. Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos. CEPIS/OPS. Lima, Perú.

Consoni, A. 2005. Selección de sitios y gestión de residuos sólidos municipales. Segundo curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. En <http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/13seleccion.pdf>, consultado el 20 de julio de 2010.

- Crites, R., Tchobanoglous, G. 1995. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, McGraw Hill, Santafé de Bogotá.
- Del Callejo, I., Vásquez, S. 2007. Caracterización y cambios en el uso de agua en Punata. Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia.
- Delgadillo, O., Lazarte, N. 2007. Inventario de pozos perforados en el abanico de Punata. Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia.
- Delgadillo y Durán 2011. Estrategias para la Gestión Integral de Recursos Hídricos (Proyecto GIRH). Cento Agua Informe Académico final. Cochabamba, Bolivia. 57 pag.
- Durán, A. 1995. Introducción a las prácticas campesinas de producción agrícola bajo riego en Punata. PEIRAV. Cochabamba, Bolivia.
- Egocheaga, L., Moscoso, J. 2002. Proyecto regional sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y potencial. Convenio IDRC-OPS/HEP/CEPIS 2000 – 2002. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS). En <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/upf/moscoso.pdf>, consultado el 12 de junio de 2010
- Escobari, J., Caro, V., Malky, A. 2004. Problemática ambiental en Bolivia. Documento de trabajo de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas. Ministerio de Planificación del Desarrollo.
- Folch, M. 2007. Generación de aguas residuales urbanas. Curso Gestión sostenible de las aguas residuales en zonas periurbanas y rurales. Centro AGUA, Universidad Mayor de San Simón.
- Fundación ATICA (Agua y Tierra Campesina). 2009. Plan de Desarrollo Municipal de Tiraque. Gobierno Municipal de Tiraque. Cochabamba, Bolivia.
- Instituto Nacional de Estadística. 2001. Censo Nacional de Población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística, INE, La Paz
- Juan, J. 2006. Manejo del ambiente y riesgos ambientales en la región fresera del Estado de México. Documento de trabajo del proyecto “Historia ambiental y evaluación de riesgos en la región agrícola del sureste del Estado de México”. Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Lizarazu, B. 2010. Análisis sobre las necesidades de saneamiento de aguas residuales municipales en la provincia Punata del departamento de Cochabamba. Tesis de grado, Carrera de Ingeniería ambiental – Universidad Católica; Centro AGUA – Universidad Mayor de San Simón
- Prada, R., Ballón, J., Vargas, G., Sheriff, E., Oviedo, A., Aliaga, J. 2008. Plan nacional de saneamiento básico 2008-2015. Ministerio del Agua, La Paz, Bolivia

- Macmillan profesional. Residuos sanitarios y su gestión. En [http://www.macmillanprofesional.es/fileadmin/files/online\\_files/profesional/enfermeria/Recursos\\_Higiene/Presentacion\\_power\\_residuos.pps](http://www.macmillanprofesional.es/fileadmin/files/online_files/profesional/enfermeria/Recursos_Higiene/Presentacion_power_residuos.pps) consultado el 15 de junio de 2010
- Mancomunidad de Municipios del Valle Alto. 2005. Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Valle Alto (Vol. 3). Punata, Bolivia: MMVA.
- Mattos, R., Crespo, A. 2000. Informe nacional sobre la gestión del agua en Bolivia. En: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsarg/e/fulltext/bolivia/bolivia.pdf>
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2010. Legislación sobre agua. En: [http://www.mmaya.gob.bo/web\\_anexo/juridica/juridica.html](http://www.mmaya.gob.bo/web_anexo/juridica/juridica.html)
- Norma boliviana 742: Residuos sólidos. En <http://www.elaw.org/node/1872> consultado el 15 de junio de 2010
- Pardo, F. 2006. Contaminación de suelos. En Ingeniería Ambiental (Vol. X, pág. 215). Barcelona, España: IEM.
- Rocha, R., Mayta, A. 2007. Dinámica del cambio del uso de tierra en Punata (1983-1996-2005) Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia.
- Rojas, F., Montenegro, E. 2007. Potencial hídrico superficial y subterráneo del abanico de Punata. Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia.
- Ronzano, E., Dapena, J. 1995. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Ediciones Díaz de Santos.
- Sánchez, L. 1995. Control de la contaminación de las aguas. Segundo curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. En: <http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/18control.pdf>, consultado el 7 de junio de 2010
- Sandóval, V. 2003. Evaluación del comportamiento hidrodinámico de lagunas anaerobias modificadas a escala piloto. Tesis de grado. Facultad de ingeniería. Universidad del Valle. Colombia.
- SEMARN (Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de República Dominicana). 2003. En <http://industrial09.obolog.com/norma-gestion-ambiental-residuos-solidos-no-peligrosos-229298> consultado el 15 de junio de 2010
- Silveira, G. 1996. Gestión ambiental de residuos sólidos. Saneamiento ambiental 40:30-35
- Tapias, J. 2007. Características del agua residual: riesgo químico y riesgo biológico. Curso Gestión sostenible de las aguas residuales en zonas periurbanas y rurales. Centro AGUA, Universidad Mayor de San Simón.
- Wikipedia. En <http://es.wikipedia.org/w/index.php?oldid=38040897> consultado el 15 de junio de 2010

## 1. Índice de Figuras

Figura 1	Datos básicos de la cuenca hidrosocial Pucara.....	5
Figura 2	Localización de puntos de vertido de residuos sólidos y líquidos en la cuenca hidrosocial Pucara.....	30

## 2. Índice de tablas

Tabla 1	Clasificación de las operaciones de tratamiento de aguas residuales .....	8
Tabla 2	Normas ambientales vigentes.....	13
Tabla 3	Características de los sistemas de alcantarillado de la cuenca Pucara.....	15
Tabla 4	Características de las conexiones del sistema de alcantarillado de la ciudad de Punata.....	17
Tabla 5	Composición porcentual de los residuos sólidos de Punata.....	23
Tabla 6	Cobertura por zonas de servicios de recolección de basura .....	24
Tabla 7	Sistemas de recolección según tipo de zona en la cuenca Pucara.....	24
Tabla 8	Puntos críticos de vertido de basura en la cuenca Pucara.....	24
Tabla 9	Características de los antiguos botaderos de la cuenca Pucara .....	25
Tabla 10	Aportes potenciales de contaminantes (toneladas/año) por la disposición de excretas en la cuenca Pucara...	27
Tabla 11	Aportes potenciales de residuos sólido por la generación de basura en la cuenca Pucara.....	28
Tabla 12	Cobertura de sistemas de saneamiento en la cuenca Pucara.....	29
Tabla 13	Estimación de la generación de contaminantes por la incineración de basura en Tiraque.....	30

## Gestión de los residuos urbanos en la cuenca hidrosocial Pucara

El presente reporte de investigación es uno de los resultados de la implementación del Proyecto GIRH (Estrategias para la gestión integral de recursos hídricos en cuencas de Bolivia), proyecto de investigación financiado por la cooperación danesa. El reporte se centra en el análisis de la situación actual de la gestión de residuos urbanos (líquidos y sólidos) en la cuenca hidrosocial Pucara (municipios de Tiraque y Punata), encontrando indicios de una deficiente gestión de los residuos generados, la existencia de coberturas bajas en saneamiento básico. Asimismo, corrobora una debilidad institucional en la que se desenvuelven las instituciones públicas, condicionando su capacidad de respuesta ante la situación actual y futura. Finalmente, se identifican grupos sociales que intervienen en la gestión de residuos líquidos en la cuenca, y se rescata sus percepciones y se identifican su relacionamiento con otros grupos de interés en la gestión del agua en la cuenca.



Universidad Mayor de San Simón



Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua

Proyecto GIRH

Estrategia para la Gestión de Recursos Hídricos en Cuencas de Bolivia



Instituto Danés para Estudios Internacionales