



# **GESTIÓN EN BASE A ESTÁNDARES MÍNIMOS**

Plantas de Tratamiento  
de Aguas Residuales  
Modelo conceptual



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Embajada de Suiza**

**Cooperación Suiza en Bolivia**

*Gestión en base a estándares mínimos: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales  
Modelo conceptual*

## **Autoras**

Cecilia Saldías Zambrana  
Alexandra Kappeler

## **Equipo Gestión Ambiental Municipal HELVETAS Swiss Intercooperation Bolivia**

Carlos García Barrón  
Iván Colquehuanca Domínguez  
Roy Córdova Salcedo  
Eddy Lemus Vásquez  
Marco Loma Zurita  
Emilio Madrid Lara  
Juan Pablo Morante  
Rigliana Portugal Escóbar  
Claudia Rivadeneira Canedo  
Cecilia Saldías Zambrana

## **Edición**

Rigliana Portugal Escóbar  
Víctor Orduna

## **Fotografías**

Proyecto Gestión Ambiental Municipal, HELVETAS Bolivia, Fundación Aguatuya

## **Diseño e impresión**

Plural editores  
Enoé Aliaga Flores  
Marco Guerra Medrano

Esta publicación ha sido elaborada con la asistencia técnica y financiera del proyecto Gestión Ambiental Municipal de la Cooperación para el Desarrollo de la Embajada de Suiza en Bolivia, implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation y la Fundación Aguatuya. El material recupera el conocimiento generado en el marco de la consultoría "Modelo Conceptual de Gestión en base a estándares mínimos - piloto PTAR Tupiza" realizada por Alexandra Kappeler.

Nº de Depósito Legal: 4-2-1239-2023

La Paz, marzo de 2023

Disponible en:

Embajada de Suiza en Bolivia  
Cooperación Suiza en Bolivia  
La Paz, Bolivia

Teléfono: +591 2 2751001

[www.edaadmin.ch/lapaz](http://www.edaadmin.ch/lapaz)

 Embajada de Suiza en Bolivia

 Cooperación Suiza en Bolivia



# Contenido

Presentación	5
Introducción	6
1. Contexto del tratamiento de las aguas residuales en Bolivia	8
2. Marco normativo	10
3. El modelo de gestión	13
3.1. Dimensiones del modelo conceptual	14
3.2. Modelo conceptual de gestión generalizado	14
4. Aplicación del modelo - caso PTAR Tupiza	20
4.1. Evaluación básica de la PTAR Tupiza	20
4.1.1. Gestión del personal	20
4.1.2. Configuración y diseño de la PTAR Tupiza	21
4.1.3. Proceso de tratamiento y parámetros de diseño	22
4.1.4. Infraestructura y reducción del riesgo de desastres	23
4.1.5. Operación y mantenimiento de la PTAR y rendimiento del tratamiento	24
4.1.6. Monitoreo	25
4.1.7. Área de captación y afluente/aguas residuales no tratadas	28
4.1.8. Seguridad ocupacional y protección de la salud	28
4.1.9. Planificación financiera	28
4.1.10. Reutilización de las aguas residuales tratadas	29



4.1.11. Comunicación: relación con la población y los usuarios	30
4.1.12. Visión futura PTAR Tupiza	30
4.2. Modelo conceptual de gestión aplicado a la PTAR Tupiza	31
4.2.1. Introducción al modelo conceptual	31
4.2.2. Gestión del personal	32
4.2.3. Diseño e infraestructura	32
4.2.4. Reducción del riesgo de desastres	33
4.2.5. Operación y mantenimiento	34
4.2.6. Seguridad ocupacional y protección de la salud	38
4.2.7. Planificación financiera	38
4.2.8. Reúso de las aguas residuales tratadas	39
4.2.9. Comunicación: Relación con la población y los usuarios	40
4.2.10. Plan a futuro de la PTAR Tupiza	41
4.3. Conclusiones del estudio de caso - PTAR Tupiza	43
4.4. Acciones de fortalecimiento a EMPSAAT en el marco del modelo conceptual de gestión	44
5. Conclusiones generales	47
Referencias	48

## Índice de tablas y figuras

Tabla 1	Indicadores de efecto ( <i>outcomes</i> ) del proyecto Gestión Ambiental Municipal	7
Tabla 2	Principales tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Bolivia	9
Tabla 3	Indicadores y variables para el seguimiento y monitoreo de la PTAR	11
Tabla 4	Modelo conceptual de gestión en base a estándares mínimos para PTAR, propuesto para municipios pequeños e intermedios	15
Tabla 5	Límites permisibles para descargas líquidas monitoreados por la AAPS (Anexo 2 de Ley 1333, RMCH)	25
Tabla 6	Reporte de índices e indicadores de desempeño de PTAR, gestión 2021, de la AAPS - datos PTAR Tupiza	27
Tabla 7	Análisis internos del laboratorio de aguas residuales: Análisis mínimo recomendado	35
Tabla 8	Modelo conceptual de gestión PTAR Tupiza	42
Tabla 9	Acciones de fortalecimiento promovidas por el proyecto GAM	45
Figura 1	Dimensiones de análisis del modelo conceptual	14
Figura 2	Organigrama funcional de EMPSAAT	21
Figura 3	Vista de la PTAR de Tupiza (2021)	21
Figura 4	Esquema de los componentes de tratamiento PTAR Tupiza	22

# Siglas, acrónimos y símbolos

AAPS	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico
ACC	Adaptación al Cambio Climático
ARI	Análisis de Resiliencia en Inversiones
DBO5	Demanda Biológica de Oxígeno o Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EMA	Entidad Municipal de Aseo
EMPSAAT	Empresa Municipal Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario Tupiza
EPSA	Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario
ENTAR	Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales
GAM	Proyecto Gestión Ambiental Municipal
ha	Hectáreas
MAE	Máxima Autoridad Ejecutiva
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
mg/l	miligramos por litro
NB	Norma Boliviana
O&M	Operación y Mantenimiento
EPP	Equipo de Protección Personal
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAR	Resolución Administrativa Regulatoria
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario
RASIM	Reglamento Ambiental del Sector Industrial y Manufacturero
RMCH	Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica
RTA	Reglamento de Tuberías y Accesorios
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TRH	Tiempo de Residencia Hidráulico
UFV	Unidad de Fomento a la Vivienda
VAPSB	Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico



# Presentación

La contaminación ambiental es un problema que supone riesgos importantes para la población afectada directa o indirectamente, y también para el medio ambiente. En el caso de las aguas residuales, al ser estas descargadas en los cuerpos de agua y suelos sin un tratamiento adecuado generan exposición a enfermedades y el deterioro de la calidad del agua y suelo, reduciendo el potencial para su aprovechamiento seguro, tanto por el ser humano como por los ecosistemas. Los centros urbanos, ya sean pequeños, medianos o grandes, son los principales espacios donde se generan aguas residuales, que resultan del uso que se le da al agua, sea este doméstico, industrial u otros. A nivel mundial, se producen unos 359 mil millones de metros cúbicos de aguas residuales, de los cuales aproximadamente un 48% se descarga sin recibir ningún tipo de tratamiento<sup>1</sup>; estas cifras dan cuenta de la magnitud del problema. En Bolivia, el tratamiento de las aguas residuales es un desafío y se da en un ámbito complejo en términos de tecnología instalada, capacidades desarrolladas, institucionalidad y normativa vigente.

El proyecto Gestión Ambiental Municipal de la Cooperación para el Desarrollo de la Embajada de Suiza en Bolivia, que implementan HELVETAS Swiss Intercooperation y la Fundación Aguatuya, ha realizado esfuerzos considerables para apoyar la sostenibilidad de los servicios de gestión ambiental (tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos sólidos); generar un cambio de comportamiento de la población con relación a la corresponsabilidad en la gestión ambiental; y fortalecer la institucionalidad en las entidades para una prestación de servicios de gestión ambiental adecuada. El trabajo se ha desarrollado desde un enfoque participativo y a medida. Asimismo,

destaca la coordinación permanente con actores del sector y locales que son clave en los municipios de intervención del proyecto.

El material que presentamos, producido por HELVETAS Swiss Intercooperation, es resultado del trabajo en el marco del proyecto, que priorizó la gestión en base a estándares mínimos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, apuntando a la construcción de un modelo conceptual. Este modelo tiene como finalidad guiar a las entidades prestadoras del servicio en el camino para alcanzar una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales, considerando sus capacidades y limitaciones, para mejorar la gestión ambiental en los municipios. En este sentido, el documento está dirigido principalmente a tomadores de decisión de los gobiernos autónomos municipales y entidades prestadoras de servicios que tienen la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales.

El documento *Gestión en base a estándares mínimos: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Modelo conceptual* capitaliza las experiencias y lecciones aprendidas del proyecto Gestión Ambiental Municipal - Fase II.

Confiamos que este trabajo sea una contribución importante para la gestión ambiental municipal y el sector de agua y saneamiento en el país, en el marco del reto de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, principalmente el ODS 6 Agua limpia y saneamiento para todos.

La Cooperación Suiza en Bolivia, comprometida con el apoyo al desarrollo del país, y desde la gestión del conocimiento recupera buenas prácticas y experiencias, fortaleciendo acciones sostenibles que permitan a los municipios avanzar en la gestión ambiental –agua y saneamiento– sin dejar a nadie atrás.

---

<sup>1</sup> “Según una investigación, el tratamiento de aguas residuales en el mundo aumenta al 50%”, Europa Press, 8 de febrero de 2021, en: <https://bit.ly/401HeeK>

# Introducción

El proyecto Gestión Ambiental Municipal es una iniciativa de la Cooperación para el Desarrollo de la Embajada de Suiza en Bolivia implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation y la Fundación Aguatuya. Trabaja en 11 municipios pequeños e intermedios de las regiones del Valle Alto de Cochabamba, la Mancomunidad de los Chichas en Potosí, el Chaco tarijeño y chuquisaqueño, y en la ciudad de Sucre.

A través de las acciones desarrolladas en el marco del proyecto, se busca mejorar la calidad de vida de las poblaciones de los municipios de intervención, principalmente de aquellas más vulnerables<sup>2</sup> a las enfermedades por contaminación ambiental. De esta forma, se procura contribuir a la sostenibilidad de los servicios de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos, desde los siguientes ámbitos: 1) calidad y eficiencia del servicio; 2) corresponsabilidad social; y 3) institucionalidad.

En la lógica del proyecto la contaminación ambiental se reduce si se logra la sostenibilidad<sup>3</sup> en los servicios de gestión ambiental; así como el cambio de comportamiento de la población promoviendo la corresponsabilidad en la gestión ambiental; y fortaleciendo la institucionalidad, que involucra normas y responsabilidades definidas y claras en las entidades para la adecuada prestación de los servicios de gestión ambiental.

Con relación al servicio de tratamiento de aguas residuales, este es, sin duda, fundamental para poder reducir los niveles de contaminación de los cuerpos de agua y suelos, y en ese sentido mejorar el entorno ambiental y la calidad de vida de las personas, reduciendo los riesgos de exposición a enfermedades. Sin embargo, en muchas ocasiones, este servicio es desatendido y tiene dificultades para ser priorizado en las agendas municipales y de las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (EPSA). El principal desafío para las EPSA es dar cumplimiento al marco normativo vigente respecto a descargas de aguas residuales, considerando la tecnología implementada y los recursos limitados.

El proyecto Gestión Ambiental Municipal propone un modelo conceptual de gestión en base a estándares mínimos para Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de municipios pequeños e intermedios en Bolivia, cuyo objetivo es permitir a las PTAR alcanzar una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales y así, consecuentemente, mejorar la gestión ambiental en los municipios. De este modo, este documento está dirigido principalmente a los tomadores de decisión de los gobiernos autónomos municipales y las entidades prestadoras de servicios que tienen en sus manos la responsabilidad de la prestación de un servicio eficiente de tratamiento de aguas residuales.

En el capítulo 1 se describe el contexto del tratamiento de las aguas residuales en el país. A su vez, en el capítulo 2 se presenta un resumen del marco legal y normativo de las aguas residuales en Bolivia. El capítulo 3 describe el modelo de gestión, incluyendo las dimensiones de análisis. Luego, en el capítulo 4 se presenta el estudio de caso de la aplicación del modelo a la PTAR Tupiza para, finalmente, precisar las conclusiones en el capítulo 5.

---

2 Niñas/os menores a cinco años, mujeres, personal operativo de servicios de saneamiento y residuos sólidos.

3 El proyecto define la sostenibilidad como la "satisfacción de necesidades presentes sin comprometer las capacidades para satisfacer necesidades futuras, manteniendo equilibrio entre aspectos económicos, ambientales y sociales". La sostenibilidad involucra las siguientes dimensiones: social, ambiental, tecnológica, económica, institucional y de conocimiento.



El proyecto GAM se implementó en 11 municipios pequeños e intermedios de todo el país. En la imagen, la planta de tratamiento de aguas de la localidad de Huasa Calle (Cliza, Cochabamba).



**Tabla 1**  
**Indicadores de efecto (outcomes) del proyecto Gestión Ambiental Municipal**

<b>Calidad y eficiencia de servicios</b>	<b>Corresponsabilidad social</b>	<b>Institucionalidad</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IE 1.1: al menos 75% del agua tratada de los sistemas de alcantarillado existentes en las zonas urbanas de los municipios de intervención. LB (línea de base): 57% (sin Sucre).</li> <li>• IE 1.2: 50% de residuos sólidos recolectados en los municipios de intervención se depositan en rellenos sanitarios o botaderos controlados, o son aprovechados. LB: 5 municipios cuentan con relleno sanitario o botadero controlado, y depositan en estos más del 50% de los residuos recolectados (Villazón – relleno sanitario; Villa Montes – relleno sanitario; Tolata – botadero controlado; Cliza – botadero controlado; Arbieta – botadero controlado).</li> <li>• IE 1.3: al menos 7 gobiernos municipales con presupuestos para servicios sostenibles y sensibles a género en aplicación. LB: 0.</li> <li>• IE 1.4: 8 municipios en los que se ha integrado todos los elementos de la prestación de los servicios de gestión ambiental, desde recolección hasta adecuada disposición final y/o reúso. LB: 0.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IE 2.1: 60% de la población de cobertura (300.000 habitantes) aplica al menos dos buenas prácticas de manera sostenible, tomando en cuenta brechas de género: utiliza adecuadamente el alcantarillado sanitario, separa los residuos sólidos en el hogar, aprovecha los residuos y paga tarifas justas por los servicios de gestión ambiental. LB: 54% (121.000 hab.) de la población de cobertura (202.000 hab.).</li> <li>• IE 2.2: en al menos 6 municipios de intervención se ha logrado al menos un proceso de institucionalización de la comunicación/educación ambiental: cuenta con recursos humanos capacitados, conoce y aplica herramientas y/o cuenta con presupuesto para desarrollar actividades. LB: 0.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IE 3.1: 2 gobiernos departamentales cuentan con estructura, normativa y capacidad técnica para realizar seguimiento y asesorar a gobiernos locales en la adecuada prestación de servicios de tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos sólidos. LB: 0.</li> <li>• IE 3.2: al menos 3 EPSA y 3 EMA adicionales a la línea base con capacidades institucionales desarrolladas para una mejor prestación del servicio. LB: 2 EPSA y 1 EMA con capacidades institucionales desarrolladas. (EPSA Villazón; EPSA MANCHACO Villa Montes, Muyupampa; EMA Villazón).</li> <li>• IE 3.3: un modelo de estándares mínimos de calidad en el servicio de residuos sólidos aprobado por el nivel nacional y en implementación en al menos 1 gobierno autónomo departamental y 4 gobiernos autónomos municipales. LB: 0.</li> </ul>

Fuente: Documento de Proyecto GAM Fase II (2019).

# 1. Contexto del tratamiento de las aguas residuales en Bolivia

En los sistemas centralizados de saneamiento urbano, el tratamiento de aguas residuales está necesariamente vinculado a los sistemas de alcantarillado sanitario. En ese sentido, es necesario considerar las coberturas de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario que condicionan el tratamiento de las aguas residuales.

En Bolivia, se ha avanzado considerablemente con relación a la cobertura de agua. Según datos oficiales del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) al 2018 se tiene una cobertura de servicios de agua potable del 86% (94,3% en el área urbana, 67,3% en el área rural). En tanto que la cobertura de alcantarillo sanitario está rezagada, alcanzándose un registro del 60% a nivel nacional (68% en el área urbana, 44% en el área rural). Los datos presentados muestran que existe todavía una brecha importante entre las áreas urbana y rural, así

mismo, las coberturas son diferenciadas a nivel de departamentos y de municipios.

Con relación al tratamiento de aguas residuales, se reporta, al año 2016, una cobertura de 30,5%. Esta cobertura incluye sistemas de tratamiento primario y secundario, y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que presentan diferentes estados de funcionamiento. El inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales realizado por el MMAyA en 2017, reportó que al menos un tercio de las plantas estaban abandonadas y solamente el 22% de las mismas presentaban un estado de funcionamiento adecuado. Se inventariaron un total de 219 PTAR. El departamento de Santa Cruz presenta mayor número de PTAR en buen estado de funcionamiento (50%); mientras que los departamentos con porcentajes menores son Pando (0%), Beni (0%) y La Paz (9%). Estos números muestran la situación precaria de las PTAR en el país.



Detalle de las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales en San Isidro (Valle Alto de Cochabamba).

Según los datos presentados en la Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales (ENTAR), las tecnologías de tratamiento de aguas residuales que predominan en el país son los sistemas naturales (conformados por lagunas de estabilización, incluidas lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración; humedales naturales o artificiales; y biofiltración aeróbica dinámica). Además, las lagunas de estabilización son las más utilizadas debido a que su requerimiento de operación y mantenimiento es relativamente menor comparado con otras tecnologías. Una desventaja de estos sistemas es su requerimiento de superficies de terreno considerables para su implementación. Considerando la simplicidad en la operación de los sistemas de lagunaje, estos presentan mejores estados de funcionamiento en el país.

Por otra parte, según el inventario nacional de plantas de tratamiento en Bolivia la mayor parte de las mismas alcanza un tratamiento secundario, y hasta un 50% de las instalaciones analizadas llegan a un tratamiento terciario, principalmente utilizando las siguientes tecnologías: humedales artificiales para pulimento final y remoción de nutrientes, lagunas de maduración y desinfección para la eliminación de patógenos.

La Tabla 2 presenta las principales tecnologías empleadas en Bolivia para el tratamiento de las aguas residuales.

Con relación a la gestión de lodos producidos en una PTAR –que incluye una o varias de las siguientes etapas dependiendo de la tecnología implementada: espesamiento, estabilización, deshidratación y disposición final o reúso–, a nivel nacional solamente un 12% de las plantas evaluadas (219) presenta una gestión adecuada de lodos. En los casos en los que las plantas realizan gestión de lodos, se desconoce el grado de estabilización de los lodos (datos del Inventario Nacional de PTAR, 2017, en MMAyA, 2020). Por otro lado, la única tecnología de línea de lodos encontrada en el país es la de lecho de secado, y en pocos casos se reúsan los lodos. La aplicación más común es en agricultura, sin embargo, no se evalúa la calidad de lodos, con excepción de las localidades de Postrevalle y Saipina en Santa Cruz (MMAyA, 2020).

La información presentada permite entender la situación del tratamiento de las aguas residuales en Bolivia para, a partir de esto, comprender la lógica del por qué es importante plantear un modelo de gestión en base a estándares mínimos para las PTAR de municipios pequeños e intermedios en Bolivia.

**Tabla 2**  
**Principales tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Bolivia**

Tecnologías anaeróbicas	Tecnologías aeróbicas	Sistemas naturales	Sistemas primarios
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtros anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA).</li> <li>• Reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA).</li> <li>• Reactores anaeróbicos de lecho fluidizado (RALF).</li> <li>• Bioreactores anaeróbicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtros percoladores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagunas de estabilización (lagunas anaeróbicas, facultativas, de maduración).</li> <li>• Humedales naturales o artificiales.</li> <li>• Biofiltración aeróbica dinámica (vermicultura).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanques sépticos.</li> <li>• Tanques Imhoff.</li> <li>• Cámaras de sedimentación.</li> </ul>

Fuente: "Inventario Nacional de PTAR 2017", en MMAyA, 2020.

## 2. Marco normativo

En Bolivia, la Constitución Política del Estado (CPE) establece que el acceso a los servicios básicos (agua potable y saneamiento) es un derecho humano, y en consecuencia es deber del Estado garantizar el acceso universal de estos servicios para el pueblo boliviano, en condiciones de equidad y en armonía con la Madre Tierra.

Asimismo, la CPE define las competencias con relación a los servicios básicos por nivel de gobiernos. En este sentido, es competencia exclusiva del nivel central del Estado las políticas de servicios básicos. En tanto que, los gobiernos municipales tienen competencia exclusiva para la prestación de los servicios básicos a través de entidades públicas sin fines de lucro. Por su parte, los gobiernos departamentales tienen la obligación de coadyuvar con el nivel central del Estado en la asistencia técnica y planificación de los servicios básicos.

Las leyes que proporcionan el marco legal con relación a las aguas residuales son:

- Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Ley 031 Marco de Autonomías y Descentralización "Andrés Báñez".
- Ley 1333 del Medio Ambiente y sus Reglamentos (Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica: RMCH).
- Ley 2066 de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.
- Ley 071 de Derechos de la Madre Tierra.
- Ley 300 Marco de la Madre Tierra.
- Ley 602 Gestión de Riesgos.
- Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM).

En el marco de competencias del nivel central del Estado, a la cabeza del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, se ha formulado la Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales (ENTAR) que se constituye en la política pública para el sector específico (MMAyA, 2020).

Además, se dispone de normas que proporcionan los lineamientos de carácter técnico con relación al tratamiento de las aguas residuales y más ampliamente a los sistemas de alcantarillado:

- Norma Boliviana NB 688-01: Instalaciones Sanitarias - Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales (segunda revisión).
- Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias.

Asimismo, cabe resaltar que la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) realiza el seguimiento y monitoreo del desempeño de las PTAR de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario (EPSA) reguladas (77 EPSA reguladas según datos al 2020). Aproximadamente 48% de las EPSA pertenecen a la categoría C que corresponde a ciudades intermedias con población entre 10.000 y 50.000 habitantes, y 22% pertenecen a la categoría D que corresponde a ciudades menores con población entre 2.000 y 10.000 habitantes.

Las EPSA reguladas deben presentar información ante la AAPS que permite evaluar el desempeño de la PTAR a partir de cinco indicadores, que se muestran en la Tabla 3.

Estos indicadores permiten evaluar a una PTAR según el marco normativo vigente.

Instalaciones de la PTAR de Cliza (Cochabamba), donde también se implementó el proyecto GAM.



**Tabla 3**  
**Indicadores y variables para el seguimiento y monitoreo de la PTAR**

N°	Indicador	Índice	Variables (datos a reportar por las EPSA)	Unidad
-	-	Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente (CPTAR)	Caudal medio actual del afluente	m <sup>3</sup> /h
			Caudal de diseño o de la última ampliación	m <sup>3</sup> /h
A	Capacidad de Tratamiento Utilizada en la PTAR (CTUP)	Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Población Servida (CTP)	Población actual servida	Hab.
			Población de diseño o de la última ampliación	Hab.
		Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Carga Orgánica (CCO)	Caudal de diseño o de la última ampliación	m <sup>3</sup> /h
			Concentración DBO5 de diseño	mg/l
			Caudal medio actual del afluente	m <sup>3</sup> /h
			Concentración media de DBO5 en afluente	mg/l
			Volumen medio de lodos de ETRL	m <sup>3</sup> /día
Concentración media de DBO5 de ETRL	mg/l			
B	Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR (CBO)	Infraestructura Adicional y Servicios (IYS)	Datos cualitativos respecto a infraestructura adicional y servicios	Adimensional
		Gestión de Personal Operativo (GPO)	Datos cualitativos respecto a personal operativo	Adimensional
		Documentación Técnica Específica (DTE)	Datos cualitativos respecto a documentación técnica específica	Adimensional
C	Gestión de Mantenimiento de la PTAR (GEM)	Eficacia del Mantenimiento Preventivo (EMP)	Número de actividades ejecutadas	Adimensional
			Número de actividades programadas	Adimensional
		Eficacia del Mantenimiento Correctivo (EMC)	Número de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas	Adimensional
			Número de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas	Adimensional

N°	Indicador	Índice	VARIABLES (datos a reportar por las EPSA)	Unidad
C	Gestión de Mantenimiento de la PTAR (GEM)	Eficiencia de Tratamiento respecto a la DBO5 (EfDBO5)	Concentración media de DBO5 en afluente	mg/l
			Concentración media de DBO5 en efluente	mg/l
			Eficiencia de diseño para remoción de DBO5	%
		Eficiencia de Tratamiento respecto a la DQO (EfDQO)	Concentración media de DQO en afluente	mg/l
			Concentración media de DQO en efluente	mg/l
			Eficiencia de diseño para remoción de DQO	%
D	Eficiencia de Tratamiento de la PTAR (EPTAR)	Eficiencia de Tratamiento respecto a los SST (EFSST)	Concentración media de SST en afluente	mg/l
			Concentración media de SST en efluente	mg/l
			Eficiencia de diseño para remoción de SST	%
E	Tratamiento de Lodos Generados en la PTAR (TLG)	Tratamiento de Lodos Generados en la PTAR (TLG)	Volumen de lodos generados	m <sup>3</sup>
			Volumen de lodos tratados	m <sup>3</sup>

Fuente: *Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia* (AAPS, 2019b).

Con relación a los parámetros de calidad de agua, los efluentes de las PTAR están sujetos al cumplimiento de los límites máximos admisibles señalados en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) de la Ley 1333 de Medio Ambiente. En caso de que los cuerpos de agua receptores de los efluentes estén clasificados, los límites máximos admisibles a cumplir son los señalados en el Anexo I del RMCH, en el caso de que el cuerpo de agua no haya sido clasificado aplican los parámetros transitorios señalados en el Anexo II del RMCH. Existe cierta

flexibilidad para las PTAR que han sido construidas y puestas en operación antes de la promulgación de la ley, para estas aplican los parámetros transitorios.

No obstante, los límites máximos permisibles establecidos en el RMCH no son en todos los casos compatibles con la tecnología instalada en las PTAR. Este factor –sumado a las limitaciones que presentan las EPSA con relación a personal capacitado en tratamiento de aguas residuales, recursos financieros, equipos y otros– dificultan y reducen el desempeño de las PTAR.



Sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales en la localidad fronteriza de Villazón (Potosí), municipio de unos 50 mil habitantes.

### 3. El modelo de gestión



Visita a la PTAR de Villa Montes (Tarija).

El rendimiento necesario de una PTAR está definido por la Ley 1333 y el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), a través de los límites ambientales que deben cumplirse y la calidad y cantidad de aguas residuales que deben tratarse. Se debe considerar que también existen condiciones locales, como el espacio disponible, la ubicación y las medidas de protección necesarias en una PTAR.

El requisito previo para que una PTAR cumpla con el rendimiento requerido y, por tanto, minimice el impacto negativo sobre el medio ambiente, es el diseño adecuado de la PTAR, del sistema de alcantarillado (y drenaje), así como la infraestructura y el equipo funcional. La gestión adecuada de una PTAR requiere de una cantidad óptima de personal, con los conocimientos y la experiencia adecuados, con suficiente tiempo de trabajo asignado para que la operación y mantenimiento sean realizados de

forma apropiada y oportuna. Asimismo, se requiere la recopilación, documentación, análisis y la interpretación de los parámetros y datos operativos, así como la asignación de recursos financieros que el proceso demande.

El modelo conceptual de gestión en base a estándares mínimos resume los aspectos importantes y puntos de acción recomendados que hay que tener en cuenta para la gestión, operación y mantenimiento (O&M) de una PTAR. Este modelo se plantea como herramienta que les permite a las PTAR alcanzar una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales y así, consecuentemente, mejorar la gestión ambiental en el municipio. Del mismo modo, el modelo está propuesto para municipios pequeños e intermedios del país, los cuales presentan mayores dificultades a la hora de asignar recursos de personal, económicos y otros en las PTAR.

En este capítulo se describe el modelo conceptual de gestión en base a estándares mínimos de forma generalizada para facilitar su aplicación en cualquier EPSA de municipios pequeños e intermedios. A continuación, se aplica el modelo a la PTAR del municipio de Tupiza que ha sido utilizada como piloto para el desarrollo y aplicación del modelo, ya que Tupiza representa la situación típica de muchas EPSA en el país.

### 3.1. Dimensiones del modelo conceptual

Una condición básica para aplicar el modelo es contar con una evaluación de la situación actual de la PTAR, sobre la base de información recopilada directamente de la EPSA y, si es posible, de información primaria y secundaria recolectada. La información recabada durante la fase de evaluación permitirá identificar los puntos fuertes y débiles de la prestación del servicio de aguas residuales.

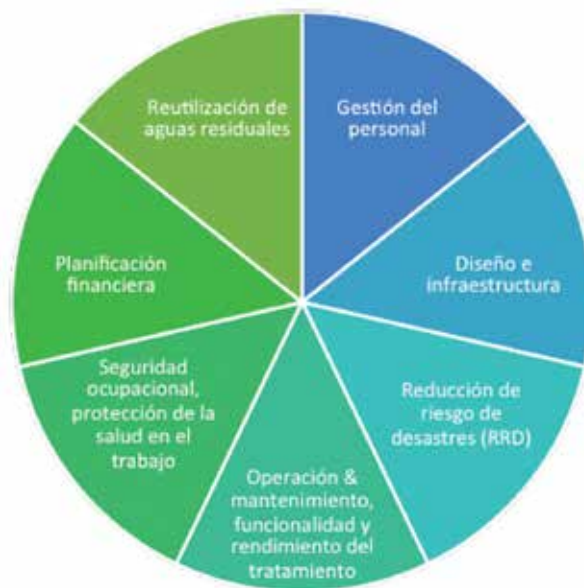
Idealmente, la información recolectada durante la fase de evaluación debe ser lo más completa posible, para que permita conocer a fondo las condiciones de la PTAR, la EPSA y el servicio prestado. Es cierto que, en la práctica, la información completa no siempre está disponible (este es un factor crítico en la mayoría de las EPSA). Preferiblemente, se debe realizar una evaluación técnica detallada de la PTAR, del sistema de alcantarillado, etc.; no obstante, ante posibles dificultades se debe recabar la mayor cantidad de información que permita alimentar el modelo.

El modelo propuesto se basa en la identificación de dimensiones y, dentro de estas, se plantean acciones concretas orientadas a mejorar el nivel de prestación del servicio hasta alcanzar un desarrollo adecuado y una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales.

Las dimensiones propuestas abordan todos los aspectos relevantes para la prestación sostenible del servicio. Estos aspectos son: 1) la gestión del personal; 2) el diseño y la infraestructura; 3) la reducción del riesgo de desastres; 4) la operación y mantenimiento, la funcionalidad y el rendimiento del tratamiento; 5) la seguridad ocupacional y protección de la salud en el trabajo; 6) la planificación financiera; 7) la reutilización de las aguas residuales; y 8) las relaciones con los usuarios del servicio.

El modelo conceptual de gestión propuesto debe entenderse como un catálogo con puntos de acción relevantes o aspectos concretos que son necesarios para la prestación de servicios de tratamiento de aguas residuales sostenible.

**Figura 1**  
**Dimensiones de análisis del modelo conceptual**



Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, el municipio y la EPSA, como responsables del servicio, deben evaluar qué aspectos y/o puntos de acción están cubiertos o no (en algunos casos la información será cualitativa y en otros cuantitativa). En segundo lugar, los puntos de acción deben realizarse y traducirse en acciones concretas (por ejemplo, el desarrollo de un manual de O&M para la PTAR).

Para algunos de los puntos de acción propuestos, se necesitará apoyo técnico (por ejemplo, la elaboración de documentos de diseño si estos no existen), mediante la contratación de un consultor externo o empresa de ingeniería especializada en aguas residuales.

### 3.2. Modelo conceptual de gestión generalizado

Las dimensiones identificadas para el modelo propuesto se presentan y explican en la Tabla 4. Se muestra una lista con un resumen de las actividades específicas recomendadas en el modelo conceptual de gestión que en conjunto buscan lograr una gestión, operación y mantenimiento adecuados en las PTAR, así como un modelo para alcanzar una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales en municipios pequeños e intermedios del país. Asimismo, el modelo se enmarca en la regulación vigente del sector, por tanto, se recomienda adoptar, cuando lo amerite, los indicadores para el seguimiento regulatorio a las EPSA a cargo de la AAPS.



**Tabla 4**  
**Modelo conceptual de gestión en base a estándares mínimos para PTAR,**  
**propuesto para municipios pequeños e intermedios<sup>4</sup>**

<b>Modelo conceptual de gestión generalizado: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales</b>	
<b>Gestión del personal</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
<p>Para la gestión adecuada (profesional) de una PTAR y del sistema de alcantarillado, es crucial disponer de personal suficiente con el tiempo asignado y la cualificación y experiencia adecuadas para gestionar una PTAR y el sistema de alcantarillado correspondiente. Además, es necesario definir claramente las funciones y responsabilidades, las líneas de comunicación y decisión, desarrollar un plan de trabajo del personal y documentar los procedimientos.</p>	<p>Verificar la capacidad y número de personal<sup>5</sup> (y la asignación de tiempos) para la operación profesional y mantenimiento adecuado de la PTAR, incluido el sistema de alcantarillado.</p> <p>Se recomienda adoptar el indicador de la AAPS: personal calificado<sup>6</sup> entre 20 y 25% para EPSA de las categorías C y D.</p>
	<p>Elaborar un plan de desarrollo de la capacidad del personal para garantizar la formación periódica de este, pero también la introducción y formación adecuadas del nuevo personal.</p>
	<p>Elaborar un organigrama de gestión y de personal con el nombre y cargo de cada empleado. Además, las funciones y responsabilidades de cada miembro del personal en relación con la PTAR y el sistema de alcantarillado, incluidas las cualificaciones pertinentes, deben estar claras y documentadas por escrito.</p>
	<p>Definir y documentar las principales líneas de comunicación y los procesos de decisión e indicar la duración de los procesos importantes.</p>
	<p>Desarrollar y actualizar un plan de trabajo del personal que, idealmente, debería incluir un servicio de emergencia de 24 horas mediante un mecanismo de personal de reserva, en caso de problemas, o de suplencia, en caso de ausencia.</p>
<b>Diseño e infraestructura</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
<p>La PTAR y los sistemas de alcantarillado deben estar en buenas condiciones y diseñarse para el rendimiento o eficiencia requeridos de acuerdo con la normativa, lo que significa cumplir con los límites máximos admisibles para la descarga de aguas residuales tratadas en los cuerpos de agua superficiales (o para reutilización si es la intención).</p> <p>El diseño también debe garantizar una O&amp;M sencilla y considerar las medidas de seguridad adecuadas (por ejemplo, vallas). Además, la tecnología de tratamiento debe ser la adecuada para el rendimiento requerido y adaptarse al contexto local.</p>	<p>Evaluar el estado de las infraestructuras y equipos de la PTAR y del sistema de alcantarillado.</p> <p>Se recomienda que la evaluación del estado de la infraestructura y equipos sea cualitativa.</p>
	<p>Verificar el diseño y el sistema mediante la elaboración de un informe de diseño (con parámetros de diseño y filosofía operativa) y planos <i>as-built</i> de la PTAR y del sistema de alcantarillado (por ejemplo, mediante el apoyo de un ingeniero de procesos) si estos documentos no están disponibles.</p>

4 El modelo está pensado para municipios pequeños e intermedios que corresponderían con las categorías poblacionales establecidas por la AAPS: categoría C, entre 10.000 y 50.000 habitantes, y categoría D, entre 2.000 y 10.000 habitantes.

5 Se recomienda adoptar los indicadores de desempeño de las EPSA según regulación de la AAPS. Por ejemplo, personal calificado que indica el porcentaje de empleados técnicos o profesionales respecto al total de empleados de la EPSA, y número de empleados por cada 1.000

conexiones que mide la eficiencia de la EPSA en la gestión del recurso humano, expresada en términos de la proporción del número de trabajadores por cada 1.000 conexiones de agua potable. En las EPSA cuyos resultados exceden el valor máximo recomendado, la productividad laboral es muy baja (ver: <https://bit.ly/40cC8fl>)

6 Indica el porcentaje de empleados técnicos o profesionales respecto al total de empleados de la EPSA:  $IPC = \frac{[\# \text{ empleados técnicos y/o profesionales}]}{[\text{total personal}]} \times 100$  (ver: <https://bit.ly/3kOCCZA>).

**Modelo conceptual de gestión generalizado: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales**

**Diseño e infraestructura**

Explicación y justificación	Puntos de acción recomendados
<p>Para la comprensión del sistema y la O&amp;M adecuada (profesional), el diseño completo de la PTAR y el sistema de alcantarillado deben documentarse de la siguiente manera, estando disponibles <i>in situ</i>: informe de diseño con los parámetros de diseño y la filosofía de operación, planos <i>as-built</i>, incluyendo un diagrama de flujo e idealmente diagrama de procesos e instrumentación (P&amp;ID) con representación gráfica detallada del sistema de proceso real. Para minimizar el impacto ambiental negativo, también la cobertura del sistema de aguas residuales debería incrementarse aún más y ampliar y rehabilitar su red de recolección, o se deben encontrar otras soluciones (por ejemplo, soluciones descentralizadas) para hogares/industrias que aún no están conectados a un sistema de alcantarillado.</p>	<p>Evaluar las condiciones actuales en el proceso de tratamiento de aguas residuales, con relación a las características de diseño en la PTAR.</p> <p>Se recomienda complementar con los indicadores existentes en el marco del seguimiento regulatorio a las EPSA efectuado por la AAPS<sup>7</sup>.</p> <p>En función de los resultados de las acciones anteriores y, de ser necesario, rehabilitar la PTAR y el sistema de alcantarillado existentes y mejorarlos en la medida adecuada o construir una nueva PTAR<sup>8</sup>.</p> <p>En cualquier caso, desarrollar los planes de mejora del desempeño ambiental que consideren medidas de rápido impacto en las PTAR (por ejemplo, mediante el apoyo de un ingeniero de procesos) si el rendimiento no es suficiente.</p> <p>Verificar la cobertura del sistema de aguas residuales y encontrar soluciones en caso de que no todos los hogares, industrias, etc. tengan una conexión al sistema de alcantarillado u otra solución descentralizada.</p> <p>Se recomienda adoptar los indicadores de desempeño de la AAPS, por ejemplo: cobertura del servicio de alcantarillado que mide el porcentaje de población dentro del área de servicio de la EPSA servida con conexión domiciliar de alcantarillado sanitario; que para EPSA de categoría C y D debe ser mayor a 70%<sup>9</sup>. Esto deberá ser complementado con otros indicadores específicos para medir el desempeño de las PTAR, por ejemplo: la capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR (CTUP)<sup>10</sup>.</p>

**Reducción de riesgos de desastres (RRD)**

Explicación y justificación	Puntos de acción recomendados
<p>La construcción de la PTAR y el sistema de alcantarillado debe considerar los desastres posibles y probables, y se deben implementar medidas apropiadas de reducción del riesgo de desastres que son necesarias para proteger la infraestructura. La ubicación de la PTAR debe ser definida considerando un equilibrio entre la viabilidad y la aceptación social, pero también la minimización del riesgo de desastres.</p>	<p>Realizar una evaluación del riesgo de desastres con instrumentos como el Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI) o MiResiliencia que pueden ser aplicados a una PTAR y a un sistema de alcantarillado (idealmente durante la fase de planificación - considerarlo para la ubicación de la PTAR y aplicar las medidas de RRD adecuadas durante la construcción).</p> <p>Implementar las medidas de RRD adecuadas basadas en la evaluación del riesgo de desastres.</p> <p>En caso de PTAR en las que se identifiquen riesgos significativos, se deben considerar acciones que reduzcan los riesgos.</p>

<sup>7</sup> Mediante RAR AAPS N° 300/2018, se aprueba la "Guía para la aplicación de herramientas e instrumentos de seguimiento, monitoreo y control de la operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR en Bolivia". Esta incorpora cinco indicadores de desempeño para PTAR, a saber: i) capacidad de tratamiento; ii) condiciones básicas para

operación y mantenimiento de la PTAR; iii) gestión de mantenimiento de las PTAR; iv) eficiencia de tratamiento de la PTAR; y v) capacidad de tratamiento de lodos. <https://bit.ly/3RhyOw8>

<sup>8</sup> Aclarar los límites ambientales aplicables.

<sup>9</sup> Ver: <https://bit.ly/3wAWJNl>

<sup>10</sup> Ver: <https://bit.ly/3wAX8iP>

**Modelo conceptual de gestión generalizado: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales**

**Operación y mantenimiento (O&M)**

**General**

Explicación y justificación	Puntos de acción recomendados
<p>La O&amp;M de la infraestructura llevada a cabo de forma adecuada (profesional) es clave para un tratamiento exitoso de las aguas residuales y así asegurar la continuidad y la eficiencia del servicio.</p> <p>El desarrollo y la disponibilidad de un manual de O&amp;M de la PTAR (incluyendo el sistema de alcantarillado) es esencial para una operación profesional, una eficiencia óptima y la funcionalidad adecuada de la PTAR.</p> <p>El manual de O&amp;M debe definir: la operación "normal" de la PTAR con todos los parámetros y aspectos operativos relevantes, el mantenimiento preventivo de los equipos e infraestructuras, el mantenimiento correctivo y procedimientos de emergencia (véase, más abajo, "contingencia y emergencia").</p> <p>No solo es importante tener un manual de O&amp;M, sino también documentar todos los trabajos de O&amp;M mediante una herramienta de documentación de O&amp;M, como un folleto o una herramienta electrónica.</p> <p>Las piezas de repuesto más importantes, así como los consumibles suficientes, que son fundamentales para el funcionamiento de la PTAR (rendimiento mínimo del tratamiento), deben estar disponibles en stock.</p> <p>Además, hay que garantizar la gestión adecuada de los lodos y su eliminación o reutilización seguras.</p>	<p>Elaborar un manual de O&amp;M en el que se debe establecer los procedimientos adecuados de operación y mantenimiento.</p> <p>Se recomienda elaborar un manual de O&amp;M específico para cada PTAR.</p> <p>Elaborar una documentación de las actividades de operación y mantenimiento realizadas en una herramienta de documentación (por ejemplo, un folleto de operación y mantenimiento).</p> <p>Elaborar una lista de herramientas de repuestos y consumibles críticos de los que se dispone o se debe disponer en stock.</p> <p>Desarrollar un plan de gestión de lodos que incluya el tratamiento y la eliminación segura (o la reutilización segura) de estos.</p>

**Monitoreo**

Explicación y justificación	Puntos de acción recomendados
<p>El monitoreo del funcionamiento de una PTAR es importante para identificar problemas operativos como fallas de funcionamiento, desviaciones de la operación normal e incumplimiento de los límites ambientales/concentración de contaminantes, a raíz de una reducción de la eficacia del tratamiento que podría tener un impacto negativo en el medio ambiente.</p> <p>En consecuencia, la rápida detección de cualquier problema permite reaccionar rápidamente y resolver el problema o, al menos, minimizar las consecuencias negativas para el medio ambiente.</p> <p>Esto se consigue mediante análisis de laboratorio o <i>in situ</i> de los parámetros de control de las aguas residuales y un caudalímetro (para medición del flujo). Estos elementos son importantes tanto en el monitoreo de la calidad del agua del efluente como en la identificación de cualquier problema durante el proceso de tratamiento, de modo que pueda abordarse a tiempo.</p> <p>Además, es importante documentar y analizar los parámetros operativos importantes, como la producción y la eliminación/reutilización de los lodos, el uso de consumibles (como productos químicos, EPP), el consumo de energía, el uso de piezas de repuesto, el agotamiento del oxígeno, etc.</p> <p>Los datos recogidos deben ser compartidos con la AAPS, ya que es importante no solo para controlar el rendimiento del tratamiento, así como para identificar posibles impactos negativos en el medio ambiente, sino también para controlar el impacto ambiental acumulado y la situación de las aguas residuales en el país.</p>	<p>Desarrollar un concepto de monitoreo y realizar análisis de laboratorio regulares de los parámetros de las aguas residuales. Idealmente, este análisis se realizaría <i>in situ</i> y en un laboratorio propio de la PTAR, al menos para los parámetros más importantes (dependiendo del sistema de tratamiento y del rendimiento del tratamiento requerido). El concepto de monitoreo debe incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimientos de muestreo y análisis.</li> <li>• Parámetros a controlar y/o analizar, frecuencia de control de cada parámetro, lugar de muestreo, etc.</li> <li>• Gestión de la garantía de calidad, como análisis de control y procedimientos de calibración.</li> </ul> <p>Documentar, analizar e interpretar los datos de monitoreo.</p> <p>Compartir los indicadores (especificados por la AAPS) con la AAPS cada 6 meses.</p>

<b>Modelo conceptual de gestión generalizado: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales</b>	
<b>Contingencia y emergencia</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
Es importante estar preparado para las emergencias (por ejemplo, la entrada de aguas residuales muy contaminadas, fallas de los equipos o de la planta, las catástrofes naturales y no naturales, la falta de personal, etc.) o el desmantelamiento de los equipos o daños a las obras que podrían perjudicar el proceso de tratamiento, reducir la capacidad y la funcionalidad de la PTAR y tener un impacto negativo en el medio ambiente o en la salud pública.	Desarrollar un plan de contingencia y emergencias con una descripción detallada de las medidas requeridas y los procedimientos para posibles emergencias en la PTAR y en el sistema de alcantarillado.
<b>Área de captación y afluente</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales (y del sistema de alcantarillado) y O&M deben tener en cuenta la cantidad y la calidad de las aguas residuales en el afluente, ya que afectan al proceso de tratamiento, a su funcionalidad y al rendimiento del mismo. Por ejemplo, las aguas residuales con altas (o bajas) cargas de nutrientes u otros parámetros, sustancias tóxicas o residuos (pañales, residuos de cocina, etc.) pueden provocar problemas y dañar gravemente el proceso de tratamiento o incluso la infraestructura y los equipos.	Identificar las instalaciones, fuentes o prácticas potencialmente perjudiciales (por ejemplo, cargas elevadas de contaminantes) en la zona de captación que puedan afectar negativamente a la PTAR y al sistema de alcantarillado y mantener una lista actualizada de dichas instalaciones, fuentes o prácticas.
Por lo tanto, hay que conocer la calidad y la cantidad de aguas residuales no tratadas y controlarlas, y evitar cualquier impacto negativo en el tratamiento de las aguas residuales.	Idealmente, las aguas residuales de las instalaciones potencialmente perjudiciales se controlan y analizan esporádicamente para identificar cualquier problema y carga elevadas (y si es necesario tomar precauciones adecuadas).
	Considerar un tratamiento previo en las instalaciones, fuentes o prácticas potencialmente peligrosas en la zona de captación, si es posible.
<b>Seguridad ocupacional y protección de la salud</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
Para la prevención de accidentes y la protección de la salud del personal en la PTAR es necesario desarrollar un documento con las regulaciones detalladas de seguridad ocupacional y protección de la salud sobre la base de la evaluación de riesgos en una PTAR y que el personal lo aplique.	Desarrollar un concepto con las regulaciones detalladas de seguridad ocupacional y protección de la salud. Esto incluye lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las instrucciones y procedimientos de trabajo (que sean fácilmente accesibles, por ejemplo, mediante señalética).</li> <li>• Lista del equipo necesario y garantía de su disponibilidad en calidad y cantidad suficientes.</li> </ul>
	Aplicar regularmente la formación del personal sobre los procedimientos pertinentes de seguridad ocupacional y protección de la salud.
<b>Planificación financiera</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
A fin de llevar a cabo la O&M, así como las modificaciones necesarias o rehabilitación de una PTAR, es muy importante encontrar el sistema de financiación adecuado para un contexto específico y las posibilidades existentes que permitan cubrir todos los costos de una PTAR y el sistema de alcantarillado; de lo contrario, el tratamiento de las aguas residuales no será sostenible.	Evaluar regularmente la situación financiera y de sostenibilidad de la PTAR.
	Desarrollar un plan financiero plurianual (o plan de inversión) y sostenible para la PTAR y el sistema de tarifas apropiado al contexto local con cobertura de costos totales y basado en un estudio de costos. Adicionalmente, en la planificación financiera hay que considerar las inversiones futuras necesarias como reparaciones menores, sustitución de equipos y costos imprevistos.

**Modelo conceptual de gestión generalizado: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales**

<b>Planificación financiera</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
<p>Las reparaciones y rehabilitaciones de mayor envergadura, la construcción de una nueva PTAR y la ampliación del sistema de alcantarillado son cubiertas por el municipio y otros actores estatales. De lo contrario, es necesario encontrar mecanismos financieros alternativos. Sin embargo, el factor de costo es muy importante, por lo que debe ser cubierto y asegurado.</p>	<p>Elaborar una aplicación de la Unidad de Fomento a la Vivienda (UFV) en las tarifas y/o precios de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario según los requerimientos establecidos por la AAPS.</p>
	<p>Desarrollar y acordar un mecanismo financiero fiable con el municipio para las obras de reparación y rehabilitación de mayor envergadura con un plazo razonable de tiempo (no forma parte del sistema de tarifas en Bolivia, pero puede ser considerado con un arreglo institucional).</p>
	<p>Para tener siempre una visión general de la situación financiera actual y planificar los costos futuros (por ejemplo, inversiones futuras), es importante desarrollar y aplicar un sistema profesional de contabilidad de costos e ingresos (así como la estimación de costos futuros).</p>
<b>Reúso de aguas residuales tratadas</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
<p>El reúso informal, directo e indirecto, de las aguas residuales tratadas y no tratadas parece ser bastante común y requiere atención en Bolivia.</p> <p>Cuando se reúsan aguas residuales (o lodos) en la agricultura (u otro uso), siempre existen riesgos potenciales (por ejemplo, exposición a organismos patógenos, metales pesados) para la salud de los productores (o agricultores), de los consumidores y también para el medio ambiente. Entonces, si la intención es reusar las aguas residuales y/o los lodos, estos deben ser adecuadamente tratados.</p> <p>En este sentido, la PTAR debe estar diseñada y operada para el reúso seguro de las aguas residuales tratadas y los lodos.</p>	<p>Se debe asegurar que la PTAR está diseñada y operada para que el efluente (aguas residuales y lodos) pueda ser reusado de manera segura, si la intención es reutilizar las aguas residuales tratadas y/o los lodos.</p>
	<p>Investigar el uso formal e informal de aguas residuales y problemas relacionados con el fin de planificar las medidas que se requieren.</p>
<b>Comunicación: relación con la población y usuarios</b>	
<i>Explicación y justificación</i>	<i>Puntos de acción recomendados</i>
<p>La comunicación, educación e información de la población (los usuarios) es muy importante para lograr aceptación pública, sostenibilidad del servicio, construcción de confianza, disposición a pagar y ayudar a informar sobre temas relevantes de aguas residuales. Esto es aún más crucial en tiempos de pandemia para evitar las prácticas insostenibles, así como para informar sobre riesgos, falsas creencias, comportamiento adecuado, etc.</p> <p>Además, es importante dar al personal de la PTAR, pero también a las diferentes EPSA, la posibilidad de intercambiar conocimientos y experiencias.</p>	<p>Desarrollar una estrategia de comunicación que ponga énfasis en fortalecer la comunicación e información externa con la población y los usuarios sobre asuntos relevantes de las aguas residuales, como, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incidir en la concientización e información del público sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales.</li> <li>• Educar sobre el uso eficiente del agua y cuidado del alcantarillado (informando, entre otros temas, sobre qué residuos no deben ir al sistema de alcantarillado).</li> </ul>
	<p>Fomentar y apoyar la comunicación e información interna (con los empleados de la EPSA) a cerca de asuntos relevantes relacionados con las aguas residuales.</p>
	<p>Promover el intercambio entre diferentes EPSA para compartir experiencias/lecciones aprendidas o discutir una posible cooperación.</p>

Fuente: Kappeler, 2022.

# 4. Aplicación del modelo – caso PTAR Tupiza

El modelo ha sido aplicado a la PTAR del municipio de Tupiza. Se ha considerado que la PTAR Tupiza es representativa de muchos municipios del país, por lo que ofrece un caso interesante de análisis.

Se ha iniciado con un diagnóstico o evaluación básica de la situación actual de la PTAR Tupiza sobre la información recopilada de la Empresa Municipal Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Tupiza (EMPSAAT) y otras fuentes accesibles, para identificar los puntos fuertes y débiles de la prestación del servicio de aguas residuales. De manera complementaria, se desarrollaron entrevistas con técnicos de EMPSAAT y de la AAPS. La evaluación básica no representa una evaluación técnica detallada de la PTAR Tupiza (o del sistema de alcantarillado).

A partir de la evaluación, se procedió a aplicar el modelo conceptual de gestión con puntos de acción concretos que permita mejorar el nivel de prestación del servicio de la PTAR Tupiza hasta alcanzar una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales.

## 4.1. Evaluación básica de la PTAR Tupiza

En esta sección se presenta la evaluación básica de la situación actual de la PTAR Tupiza con base en la información obtenida de los documentos proporcionados por EMPSAAT, la información de las personas clave entrevistadas, los estudios disponibles y las directrices, leyes y normativas pertinentes que han sido revisadas.

### 4.1.1. Gestión del personal

Según la estructura normativa y las competencias definidas en la CPE, el agua potable y el saneamiento básico es una competencia municipal. En

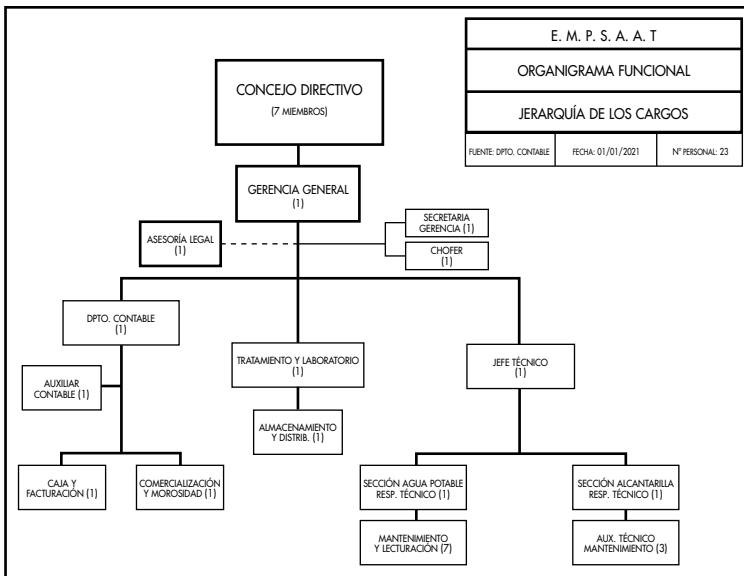
ese marco, los municipios –en este caso el de Tupiza– pueden delegar la prestación del servicio a una empresa municipal, tal como sucede con EMPSAAT, con representación municipal en el directorio.

Veintitrés personas trabajan para EMPSAAT, que incluye la PTAR y el sistema de alcantarillado, acompañados por un Concejo Directivo con siete miembros. Existe un organigrama del personal de EMPSAAT (ver Figura 2), pero las funciones, las responsabilidades concretas y la asignación de tiempo para las aguas residuales no estaban claramente definidas, según los documentos recibidos. El personal de EMPSAAT trabaja al mismo tiempo en las aguas residuales y en el agua potable, aunque no está claro si siempre tienen la capacidad para ambas cosas, incluida la experiencia necesaria.

Además, dado que no existe un manual de funciones ni un plan de trabajo en términos de asignación de tiempos para la PTAR o para la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), no siempre se tiene el tiempo adecuado para el buen funcionamiento de la PTAR por el escaso personal que, además, debe atender distintas solicitudes en toda la ciudad.

Del organigrama, se interpreta que existe un jefe técnico responsable de la sección de agua potable y de la sección de alcantarillado, y cada una de estas secciones cuenta con un responsable técnico. La sección del alcantarillado dispondría de cuatro personas, incluyendo el responsable técnico y tres auxiliares técnicos de mantenimiento (ver organigrama de EMPSAAT). En este sentido, no existe un personal específico o exclusivo para la PTAR, y las tareas de la PTAR estarían cubiertas por personal de la sección de alcantarillado o, más bien, de la PTAP (y viceversa). Destaca también que se cuenta con una persona encargada del tratamiento y laboratorio que cubriría las tareas relacionadas tanto con el agua potable y las aguas residuales.

**Figura 2**  
**Organigrama funcional de EMPSAAT**



Fuente: EMPSAAT, 2021.

#### 4.1.2. Configuración y diseño de la PTAR Tupiza

La PTAR de Tupiza se encuentra aproximadamente a unos 4,6 km de distancia de la población de Tupiza. Inició su operación en 1999 con un caudal

de diseño de 35 l/s (estimado por EMPSAAT). La PTAR de Tupiza basa su tratamiento de aguas residuales en un sistema natural con tecnología de lagunas de estabilización (2 lagunas facultativas y 4 lagunas de maduración). Es una tecnología muy común en Bolivia, considerando que son de fácil operación y mantenimiento y requieren un mínimo de personal y equipo electromecánico, aunque requieren de la disponibilidad de importantes superficies de terreno y presentan una capacidad de tratamiento limitada.

Las lagunas de estabilización tienen como principal objetivo remover la materia orgánica contenida en las aguas residuales y eliminar microorganismos patógenos que representan un peligro para la salud pública. La eficiencia del tratamiento de las aguas residuales en

lagunas de estabilización depende de las condiciones climáticas de la zona donde está emplazada la PTAR, la temperatura, la radiación solar, la frecuencia y fuerza de los vientos, y de los factores que afectan la biología del sistema (Rodríguez Serrano, 2008).

La siguiente figura muestra una vista aérea de la PTAR Tupiza.

**Figura 3**  
**Vista de la PTAR de Tupiza (2021)**



Fuente: Google Maps.

### 4.1.3. Proceso de tratamiento y parámetros de diseño

La PTAR Tupiza cuenta con el siguiente tren de tratamiento:

- 2 rejillas en paralelo.
- 2 desarenadores en paralelo.
- 2 canaletas Parshall para medición de caudal (una a la entrada y otra a la salida de la PTAR) y cámaras de distribución.
- 2 lagunas facultativas en paralelo (laguna facultativa N° 2 dañada por desborde de río en 2019); con una altura promedio de 2,20 m, largo 180 m y ancho de 80 m.
- 4 lagunas de maduración separadas cada 2 en serie; con una altura promedio de 1,80 m, largo 100 m y ancho de 50 m, en cada una de las lagunas respectivamente.
- By-pass hacia el río (para evacuación del agua de lluvia cuando supera un caudal de 200 l/s).
- 6 lechos de secado de lodos (no operativos).

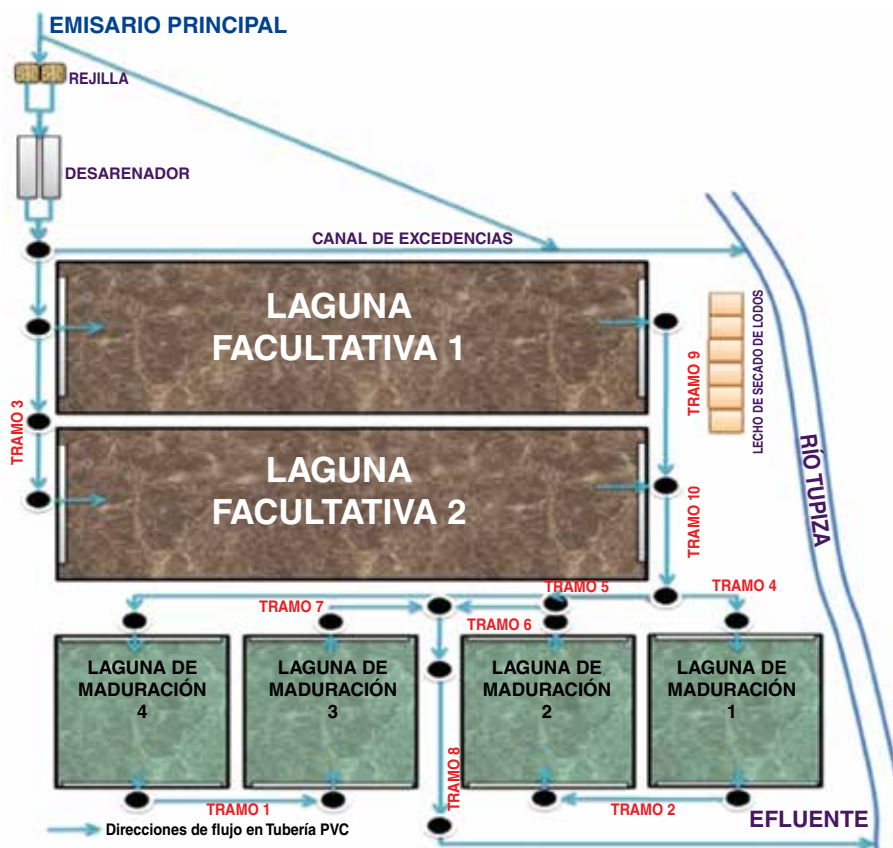
La siguiente figura presenta la configuración de los componentes de tratamiento de la PTAR Tupiza:

El sistema de saneamiento en Tupiza es un sistema mixto (combina las aguas residuales y las aguas de drenaje), aunque inicialmente no estaba pensado para que opere así.

La PTAR tiene acceso a la red eléctrica, aunque no necesita electricidad para el funcionamiento de las unidades de operación de la planta y del sistema de alcantarillado, puesto que el consumo de energía para el sistema de tratamiento implementado es nulo al ser un sistema por gravedad y no tener equipos electromecánicos que requieran energía.

No se dispone de un informe de diseño de la PTAR y del sistema de alcantarillado. La PTAR Tupiza trata actualmente las aguas residuales de aproximadamente 33.044 personas (97% de cobertura). Sin embargo, no está claro si las aguas residuales industriales se consideran en esta cifra ni cómo se realiza la estimación (por ejemplo, mediante el cálculo de la población equivalente). Según EMPSAAT, no existen muchas industrias en la zona de captación de la PTAR Tupiza, pero se registra la existencia de un matadero y hospitales (o postas de salud). El matadero no se conecta a la red de alcantarillado porque está fuera del área de cobertura de EMPSAAT. Este matadero, que

**Figura 4**  
**Esquema de los componentes de tratamiento PTAR Tupiza**



Fuente: EMPSAAT, 2021.



Las lagunas de estabilización son las más utilizadas en el país debido a que su requerimiento de operación y mantenimiento es relativamente menor comparado con otras tecnologías.



actualmente es privado, tiene su propio sistema de tratamiento y posterior descarga al cuerpo receptor (no obstante, no se dispone de datos de esta actividad por no ser el matadero usuario de EMPSAAT). Por otra parte, las postas de salud y hospitales sí realizan descargas a la red de alcantarillado sin previo tratamiento.

El parámetro de diseño del flujo hidráulico fue estimado en 35 l/s por EMPSAAT, pero no hay información disponible sobre otros parámetros de diseño o sobre los detalles del proceso de diseño del sistema de aguas residuales en Tupiza (esto debido a que EMPSAAT nunca recibió todos los documentos referidos al diseño). Por lo tanto, no se conoce en detalle el rendimiento teórico del tratamiento de la PTAR (incluida la calidad esperada de las aguas residuales tratadas), lo que imposibilita la verificación del rendimiento actual del tratamiento en relación con el rendimiento teórico. Además, la filosofía detallada del sistema y del funcionamiento no está clara debido a la falta de un informe de diseño.

En consecuencia, no se puede verificar cuál debería ser el rendimiento del tratamiento de la PTAR (por ejemplo, para qué límites ambientales se diseñó la PTAR o qué calidad de efluente se garantizó en el diseño) ni cómo debería controlarse o funcionar, ya que no se conocen los parámetros del diseño operativo (tal como sucede, entre otros, con el Tiempo de Residencia Hidráulico [TRH]).

Además, no se dispone de planos *as-built* de la PTAR y del sistema de alcantarillado, excepto el plano del esquema de la PTAR elaborado por personal

de EMPSAAT. Aparentemente, aunque no se dispone de planos digitales, sí existen algunos planos físicos de la PTAR y la red de alcantarillado. Sin embargo, los planos están desactualizados, puesto que falta actualización de ampliaciones. Esto dificulta los trabajos de operación y mantenimiento o reparación, que son de carácter empírico y dependen mucho del personal que conoce el sistema, de croquis manuales y de estimaciones.

En todo caso, las primeras estimaciones indican que la PTAR existente –incluso si está en pleno funcionamiento y es operada y mantenida correctamente– podría cumplir con los límites ambientales que son controlados por la AAPS (ver Tabla 5) pero probablemente no con todos los límites ambientales especificados en el Anexo 2 de la Ley 1333, Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, que actualmente es vinculante para la PTAR Tupiza. Por ejemplo, como la PTAR Tupiza no tiene aireación, parece dudoso que se produzca un proceso de nitrificación importante, necesario para alcanzar “Amonio como N” ( $\text{NH}_4$  [ $\text{NH}_4 + \text{NH}_3$ ]-N) de 4 mg/l (diario) y 2 mg/l (mes), respectivamente.

#### 4.1.4. Infraestructura y reducción del riesgo de desastres

Parte de la infraestructura de la PTAR está en muy mal estado. Actualmente, la PTAR Tupiza se encuentra en operación con una sola laguna facultativa<sup>11</sup>, la cual

<sup>11</sup> Durante la gestión 2022, el proyecto GAM ha colaborado con EMPSAAT en la rehabilitación y puesta en

fue afectada, el 5 de febrero del año 2019, con una destrucción total por desborde del río Tupiza, perdiéndose aproximadamente 100 m del emisario (reparado). Asimismo, se presentaron daños considerables en los muros, canales, tuberías de conducción interna, geomembrana, cámaras de inspección, cerco perimetral, etc. A la fecha se encuentran en proceso de rehabilitación sectores del emisario (fisuras) y por falta de recursos se tiene pendiente la reparación de la laguna facultativa N° 2, que fue la más afectada.

Aunque se hicieron algunas reparaciones a la infraestructura, hubo repetidas inundaciones en 2018 y 2019 que afectaron seriamente a la PTAR. Esto generó que la PTAR Tupiza se encuentre en mal estado y parcialmente funcional.

Las inundaciones se ven favorecidas por el hecho de que el río Tupiza se ha enderezado artificialmente y el cauce se ha estrechado en la zona de aproximación a la PTAR, pero también el cambio climático es un factor que ha incrementado la frecuencia de las lluvias extremas en la zona. La destrucción periódica y repetitiva de las infraestructuras debido a las inundaciones es una clara señal de que las mismas no están suficientemente protegidas con medidas estructurales de reducción del riesgo de desastres (RRD), aunque se hayan tomado algunas medidas en este sentido.

EMPSAAT ha elaborado una evaluación del riesgo de desastres utilizando la herramienta Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI) en 2021 con apoyo de HELVETAS Swiss Intercooperation y propuso medidas concretas de reducción del riesgo de desastres, que fueron socializadas con el Gobierno Autónomo Municipal de Tupiza. Por lo tanto, las autoridades tienen conocimiento y se espera que se aproveche la información para la toma de decisiones con relación al funcionamiento de la PTAR actual y reconsiderar así la ampliación o rehabilitación de la PTAR existente en el mismo sitio. Durante la gestión 2022, el proyecto ha costeado el estudio de "Diseño de ingeniería de las medidas para incrementar la resiliencia climática de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tupiza". Este estudio ha generado los modelos hidrológico e hidráulico y el análisis de riesgos de la PTAR, y propone la medida más efectiva en términos de costos para la reducción del riesgo por inundación. Está en manos del municipio la gestión de recursos para la implementación de las medidas, que son

---

marcha de la laguna facultativa N° 2. A partir de 2023, estaría entrando en operación y se contaría con ambas lagunas facultativas en funcionamiento.

prioritarias para proteger la infraestructura y garantizar la continuidad del servicio de tratamiento de aguas residuales en Tupiza.

Por otra parte, EMPSAAT informó de una importante intrusión de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado, lo que también es una señal de que dicho sistema está en mal estado (fugas) y supone un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

La PTAR Tupiza necesita urgentemente ser rehabilitada después del evento de inundación ocurrido en 2019. Está previsto rehabilitar y ampliar la PTAR existente, pero hasta ahora no existe un proyecto definitivo. Se tiene un proyecto encomendado por el Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB) que está en etapa de ajustes y gestión de financiamiento, según la información recibida al 2021.

No está claro por qué la rehabilitación y ampliación de la infraestructura de aguas residuales existente lleva tanto tiempo. Se supone que esto se debe a que no existen procesos definidos de toma de decisiones (incluyendo el tiempo del proceso), o a que el proceso no está funcionando, o que son procesos complejos que dependen de varios actores. Las acciones con relación a la ampliación o rehabilitación de la infraestructura mayor –por ejemplo, diseño y construcción de una nueva PTAR, ampliación del sistema de alcantarillado sanitario, etc.– siguen siendo responsabilidad del municipio representado por su Máxima Autoridad Ejecutiva (MAE), es decir, el alcalde. Por tanto, esta entidad tiene la autoridad de gestionar el financiamiento y los contratos. Sin embargo, las grandes inversiones en infraestructuras no pueden ser cubiertas únicamente por el municipio, la mayor parte de las veces deben ser financiadas de forma cruzada por otros niveles de gobierno (departamental, nacional), o a través de otros mecanismos financieros. Por lo tanto, no existe un mecanismo financiero definido y fiable para una rehabilitación y ampliación de la PTAR. Esto se demuestra claramente en el mal estado de la PTAR y en las infraestructuras parcialmente destruidas durante años, que presenta el caso de Tupiza, entre otros.

#### **4.1.5. Operación y mantenimiento de la PTAR y rendimiento del tratamiento**

La Operación y Mantenimiento (O&M) profesional de la PTAR Tupiza es un reto, debido a los problemas generados por el mal estado de la PTAR y por las infraestructuras destruidas, pero también por falta

de rehabilitación o mejora tras los daños registrados. Además, tampoco se dispone de suficiente personal o de la asignación de tiempos de trabajo adecuados para la PTAR. Estos problemas, a su vez, generan variaciones de concentraciones químicas, malos olores (intensos) en horas específicas, natas flotantes, etc.

Asimismo, la PTAR de Tupiza se enfrentó a problemas operativos adicionales durante la pandemia de COVID-19, ya que la gente cambió su comportamiento (por ejemplo, aumentó el uso de desinfectante, jabón y agua) y muchas personas no pagaron los servicios prestados por EMPSAAT durante esta etapa. A pesar de haber recibido una compensación por parte del gobierno central, la EPSA seguía teniendo gastos mientras que los ingresos se redujeron.

Además, es difícil operar y mantener una PTAR y un sistema de alcantarillado si no se dispone de toda la documentación técnica de diseño.

Por otra parte, es cuestionable si el personal asignado a la PTAR y al sistema de alcantarillado tiene suficiente capacidad (conocimiento y experiencia) en lo que respecta a las aguas residuales (ya que trabajan tanto en aguas residuales como en agua potable) y no se asigna el suficiente tiempo de trabajo a los servicios de aguas residuales, específicamente.

La falta de equipos, vehículos y consumibles (por ejemplo, de laboratorio) se mencionó como un problema para la gestión profesional de la PTAR y el sistema de alcantarillado. Por ejemplo, debido a la falta de vehículos, la logística es limitada y es muy difícil responder a todas las necesidades (atención de emergencias, nuevas instalaciones, roturas, ampliaciones, renovaciones, verificaciones, administración, transporte de materiales, etc.) por lo que no se puede realizar una buena planificación de la PTAR, más aún por las distancias que se tienen que recorrer.

No existe un plan de contingencia con procedimientos de emergencia específicos para la PTAR y el sistema de alcantarillado, pero EMPSAAT tiene uno general para los servicios que presta y específico para la COVID-19.

No existe un concepto de gestión de lodos para la remoción de estos en las lagunas, su tratamiento, eliminación segura o reutilización. EMPSAAT intentó retirar los lodos de las lagunas en 2019, pero no pudo completar la tarea porque la membrana protectora se rompió durante el proceso de eliminación de lodos y la empresa que se contrató para esta tarea no tenía un equipo de bombeo para eliminación de lodos adecuado. Por lo tanto, los lodos de las lagunas no se eliminaron durante años, lo que provocó pérdidas de lodos en el canal de descarga

de la PTAR, una reducción del rendimiento del tratamiento y un aumento de las concentraciones de descarga, debido al alto contenido de sólidos en las lagunas, lo cual ocasionó un impacto negativo en el medio ambiente.

#### 4.1.6. Monitoreo

##### **Límites ambientales**

Dado que el río Tupiza aún no está clasificado de acuerdo con la Ley 1333 y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, EMPSAAT tiene que cumplir con los límites ambientales (límites permisibles para descargas líquidas) especificados en el Anexo 2 de la referida ley, con más de 20 parámetros (límites permisibles para descargas líquidas) definidos como solución transitoria hasta contar con la clasificación del río Tupiza. Sin embargo, los valores ambientales que se controlan y cuyos resultados de análisis deben ser reportados cada semestre ante la AAPS son únicamente la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

**Tabla 5**  
**Límites permisibles para descargas líquidas monitoreados por la AAPS**  
**(Anexo 2 de Ley 1333, RMCH)**

Parámetro	Unidad	Diario
DBO5	mg/l	80
DQO	mg/l	250
SST	mg/l	60

Fuente. Elaboración propia con datos del RMCH, Ley 1333.

##### **Monitoreo**

EMPSAAT realiza un monitoreo mensual de la calidad de las aguas residuales tratadas y, cada seis meses, un laboratorio externo lleva a cabo el análisis de la calidad de las aguas residuales no tratadas (afluente) y tratadas (efluente). Las mediciones del laboratorio externo con otros indicadores relevantes son reportadas a la AAPS. Los datos de monitoreo interno de EMPSAAT (calidad de las aguas residuales tratadas) no se compartieron para este estudio.

Debido a que no se cuenta con un sereno o encargado de tiempo completo en la PTAR (con un eventual riesgo de pérdida por robo), los equipos de monitoreo fueron instalados en la PTAP donde no se cuenta con ambientes amplios y suficientes para dicho fin (aunque, hay que señalar, que se registra un avance significativo en la construcción de nuevas instalaciones).



La disposición de reactivos y consumibles de manera permanente es importante para que el laboratorio pueda realizar un adecuado análisis tanto de las aguas no tratadas (afuentes) como de las tratadas (efluentes).

Según el responsable del laboratorio, la infraestructura del laboratorio es insuficiente; y este no está separado de la oficina y no se cuenta con espacios separados para el área de agua potable y de aguas residuales. Se dispone de equipo de laboratorio para realizar los análisis, pero aún faltan equipos (por ejemplo, para medición de sólidos suspendidos, aceites y grasas, examen bacteriológico, etc.) y la disponibilidad de los reactivos y consumibles necesarios no es suficiente y no está garantizada. Además, debido a las limitadas posibilidades de desplazamiento, es difícil monitorear y tomar muestras en la PTAR con regularidad, así como realizar mediciones en el lugar.

Solo se compartieron tres análisis de las aguas residuales tratadas (efluentes) que fueron realizados por un laboratorio externo en las gestiones 2019, 2020 y 2021. Un análisis o un conjunto de datos por año no es suficiente para evaluar la situación actual y el rendimiento del tratamiento o identificar problemas específicos de la PTAR Tupiza. Sin embargo, los tres análisis y el informe de indicadores presentado en la plataforma virtual de la AAPS para la PTAR Tupiza considera 5 indicadores diferentes sobre el rendimiento y el funcionamiento de la PTAR (ver Tabla 6). Estos indicadores muestran que el estado y el rendimiento de la PTAR Tupiza no es suficiente<sup>12</sup> y

no siempre se puede cumplir con los límites ambientales mínimos que controla la AAPS, principalmente en DBO5.

Por ejemplo, la concentración de DBO5 en las aguas residuales tratadas era demasiado alta en dos de los tres análisis. Otro ejemplo: en dos de los tres análisis los valores de coliformes fecales eran muy altos en relación a los parámetros del Anexo 2 de la Ley 1333, RMCH. No obstante, este parámetro no se reporta a la AAPS para determinar los indicadores de desempeño, aunque es muy relevante para determinar la posible reutilización de las aguas residuales y para el medio ambiente en general. Además, según los indicadores reportados a la AAPS, en 2019, por ejemplo, tanto las condiciones básicas para la O&M de la PTAR como el tratamiento de lodos generados eran inadecuados. Esta situación no ha cambiado en términos absolutos, pero sí ha habido una mejora en las variables reportadas en 2020 y 2021 (ver Tabla 6).

En general, el seguimiento de las aguas residuales –incluido el seguimiento de la calidad de las mismas– no es suficiente y los parámetros operativos no están documentados o no se han compartido y tampoco existe un concepto de monitoreo por escrito. Además, para el seguimiento interno solo se controla la calidad de las aguas residuales tratadas, pero no la calidad de las aguas no tratadas (afuentes), lo

12 En gran medida se debe a que una de las lagunas facultativas no está en funcionamiento, generando una sobre carga en la única laguna facultativa que está operando

y consecuentemente no se logra la eficiencia mínima esperada.

**Tabla 6**  
**Reporte de índices e indicadores de desempeño de PTAR,**  
**gestión 2021, de la AAPS - datos PTAR Tupiza**

INDICADOR/ ÍNDICE		DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO ÓPTIMO	RESULTADOS PROMEDIO POR GESTIÓN (VALOR/CALIFICACIÓN)			
				2019	2020	2021	
A	CPTAR	Capacidad de tratamiento actual respecto al caudal del afluente.	<70 (%)	257,76	232,47	193,71	
				RIESGO	RIESGO	RIESGO	
	CPT	Capacidad de tratamiento actual respecto a la población servida.	<70 (%)	NSD	204,06	93,77	
				NSV	RIESGO	RIESGO	
	CCO	Capacidad de tratamiento actual respecto a la carga orgánica.	<70 (%)	NSD	215,55	132,29	
				NSV	RIESGO	RIESGO	
	CTUP	Capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR	<70 (%)	NSD	235,06	143,74	
				NSV	RIESGO	RIESGO	
B	IYS	Infraestructura adicional y servicios.	≥45 (%)	0,00	50,00	65,00	
				INADECUADO	ADECUADO	ADECUADO	
	GPO	Gestión de personal operativo.	≥75 (%)	0,00	56,25	59,38	
				INADECUADO	INADECUADO	INADECUADO	
	DTE	Documentación técnica específica.	≥50 (%)	0,00	25,00	25,00	
				INADECUADO	INADECUADO	INADECUADO	
	CBO	Condiciones básicas para la operación y mantenimiento de la PTAR	≥61 (%)	0,00	48,13	51,69	
				INADECUADO	INADECUADO	INADECUADO	
C	EMP	Eficacia del mantenimiento preventivo	≥85 (%)	NSD	4,17	96,15	
				NSV	INADECUADO	ADECUADO	
	EMC	Eficacia del mantenimiento correctivo.	≥85 (%)	NSD	83,33	100,00	
				NSV	INADECUADO	ADECUADO	
	GEM	Gestión de mantenimiento de la PTAR	≥85 (%)	NSD	43,75	98,08	
				NSV	INADECUADO	ADECUADO	
D	EfDBO5	Eficiencia de tratamiento respecto a la DBO5.	≥ Eficiencia DBO5 de diseño	50,00	66,22	52,34	
				NSV (*)	NSV (*)	NSV (*)	
				DBO5 efluente ≤ 80 (mg/l)	65,00	101,00	87,50
				CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	
	EfDQO	Eficiencia de tratamiento respecto a la DQO.	≥ Eficiencia DQO de diseño	50,25	66,33	52,23	
				NSV (*)	NSV (*)	NSV (*)	
				DQO efluente ≤ 250 (mg/l)	100,00	134,00	125,00
				CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
	EfSST	Eficiencia de tratamiento respecto a los SST.	≥ Eficiencia SST de diseño	72,21	47,14	75,24	
				NSV (*)	NSV (*)	NSV (*)	
				SST efluente ≤ 60 (mg/l)	30,00	111,00	35,00
				CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	
EfPTAR	Eficiencia de tratamiento de la PTAR.	-	-	-			
E	TLG	Tratamiento de lodos en la PTAR.	≥10 (%)	0,00	NSD	NSD	
				INADECUADO	NSV	NSV	

NSD: no se determinó.

NSV: no se verificó debido a que no se cuenta con datos suficientes.

NSV (\*): no se verificó debido a que no se cuenta con eficiencia de diseño del parámetro en referencia.

Fuente: AAPS, 2022.

que impide considerar las cargas iniciales, la reducción de la carga o el rendimiento del tratamiento, entre otros.

#### **4.1.7. Área de captación y afluente/ aguas residuales no tratadas**

##### **Sobrecarga hidráulica**

La PTAR de Tupiza, que inició su operación en 1999 con un caudal de diseño de 35 l/s, actualmente opera con 92 l/s, según lo reportado por personal de EMPSAAT. Este caudal se debe a problemas de infiltración en la red antigua de hormigón a orillas del río, donde el nivel freático es de hasta 2 m. Por tal motivo, la PTAR se encuentra en operación a flujo total, con un régimen hidráulico crítico, donde el Tiempo de Residencia Hidráulico (TRH) es mínimo y ya se aprecian deficiencias en cuanto al tratamiento biológico.

##### **Calidad de las aguas residuales no tratadas**

Aunque por el momento EMPSAAT no se ha informado de problemas con las aguas residuales industriales, este podría ser un problema en el futuro, ya que existen hospitales y postas de salud en la zona de captación del alcantarillado sanitario. Las aguas residuales de estas entidades u otras industrias pueden perjudicar el proceso de tratamiento si no se pretratan adecuadamente.

Los problemas antes mencionados (por ejemplo, las variaciones de color y los malos olores) podrían surgir por dificultades en el proceso de tratamiento causadas por el mal estado de la PTAR, la alta carga hidráulica y la falta de O&M, pero también podrían ser un indicio de problemas en la composición de las aguas residuales entrantes (afluente).

Los problemas que se pueden presentar con las aguas residuales domésticas no tratadas (afluentes) son:

- Ingreso de aguas residuales de piscinas (por ejemplo, uso de compuestos para la desinfección).
- Uso excesivo de desinfectantes y detergentes que deterioran los microorganismos que ayudan a la degradación de la materia orgánica (DBO5, DQO, nitrificación, etc.) en el proceso de tratamiento biológico.
- Falta de conciencia de los usuarios en el adecuado uso del alcantarillado sanitario (por ejemplo, la descarga de sustancias potencialmente nocivas en el sistema de alcantarillado, como

aceites, biocidas, residuos sólidos, etc.), puesto que en algunos casos no cuentan con rejillas, cámaras de inspección o tapas.

Además de los problemas señalados en relación con la calidad de las aguas residuales no tratadas –aguas que ingresan a la PTAR–, existen muchas otras fuentes potenciales de problemas para la planta de tratamiento de aguas residuales y el sistema de alcantarillado (por ejemplo, las aguas residuales de las obras de construcción, el vertido de residuos sólidos en el sistema de alcantarillado, etc.).

En todo caso, de la información recibida y revisada, no se evidencia el tipo de actividad y su frecuencia para el control de las aguas residuales “industriales” u otras fuentes potenciales de aguas residuales problemáticas, a fin de evitar cualquier impacto negativo en el sistema de alcantarillado y el proceso de tratamiento.

#### **4.1.8. Seguridad ocupacional y protección de la salud**

EMPSAAT dispone de un plan de emergencia contra la COVID-19 que incluye la seguridad ocupacional y la protección de la salud en relación con los riesgos esta enfermedad (por ejemplo, el personal dispone de Equipo de Protección Personal [EPP]). Sin embargo, no existe un concepto general de seguridad ocupacional y protección de la salud con la definición y documentación de los procedimientos de trabajo en la PTAR y en el sistema de alcantarillado, así como tampoco la formación del personal al respecto. Del mismo modo, no está claro qué tipo de equipo está disponible y se emplea para garantizar la seguridad ocupacional y la protección de la salud.

#### **4.1.9. Planificación financiera**

Durante la elaboración de este estudio no fue posible examinar los cálculos detallados del sistema de tarifas ni evaluar la sostenibilidad financiera (los cálculos detallados y la base de datos no estaban disponibles o no fueron compartidos, aunque también cabe señalar que este análisis financiero hubiera superado el alcance de este estudio).

Sin embargo, EMPSAAT ha determinado las tarifas sobre la base de un estudio tarifario que ha realizado siguiendo la guía para la elaboración de estudios, precios y tarifas de la AAPS. Según EMPSAAT, su situación financiera es más o menos sostenible y cubre los costos de operación, puesto que ha desarrollado e introducido un nuevo sistema de tarifas. Sin embargo, su plan financiero de

cinco años no consideró las repetidas inundaciones y la destrucción de la infraestructura y los equipos de la PTAR, así como las pérdidas económicas por la pandemia, en razón de que muchas personas no pudieron pagar sus facturas a tiempo y se instruyó a todas las EPSA que no cortaran el servicio a ningún consumidor<sup>13</sup>, por lo que la situación financiera de EMPSAAT se ha agravado. No obstante, EMPSAAT recibió una compensación por parte del gobierno central, aunque esta llegó con retraso mientras que la EPSA seguía teniendo que hacer frente a gastos de operación.

El diagnóstico de la situación financiera que se realizó en octubre 2021, impulsado por el Proyecto de Gestión Ambiental Municipal (GAM), para la aplicación de la Unidad de Fomento de Vivienda (UFV) en tarifas y/o precios de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario para EMPSAAT, concluyó:

En cuanto a su razonabilidad económica, EMPSAAT refleja sostenibilidad operativa, sin embargo, aún se encuentra por fuera del rango óptimo. La prueba ácida muestra que la EPSA casi tiene el triple de lo requerido en obligaciones de corto plazo, habiendo mejorado notablemente su liquidez financiera. El índice de endeudamiento total a largo plazo ha disminuido del 86% al 77%, sin embargo, esto sigue impidiendo a la EPSA conseguir nuevos financiamientos para la realización de inversiones de mejoramiento o renovación de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario.

La eficiencia de la recaudación referida a la relación entre las cuentas por cobrar por servicios facturados y el ingreso por servicios ha desmejorado, exponiendo problemas de cobranza que deben ser atendidos por el área comercial. Razón por la que EMPSAAT debe implementar estrategias para mejorar la eficiencia de su recaudación y reducir la mora, lo que resultará en mayores ingresos y sostenibilidad financiera. Sin embargo, debe recordarse que el 2020, en Bolivia, mediante Decreto Supremo No. 4206, del 1 de abril de ese año, se dispuso que: "El nivel central del Estado pagará el cincuenta por ciento (50%) del consumo de agua de la categoría domiciliaria de los meses de abril, mayo y junio de 2020 como consecuencia de la cuarentena total por el Coronavirus (COVID-19)", en este sentido durante 3 meses los usuarios podían cancelar solamente el 50% de sus facturas, el saldo será cancelado por el Gobierno Central en los siguientes meses, con lo que mejoraría el indicador.

Con los resultados de EMPSAAT, referidos a sus ingresos y gastos operativos respecto al volumen de

agua potable facturado, se puede observar que la diferencia positiva entre la Tarifa Media y el Costo Unitario Operativo es marginal y no nos permite asegurar la sostenibilidad de estos indicadores en el futuro, poniendo en riesgo su sostenibilidad.

Los aspectos analizados en los anteriores puntos refuerzan la necesidad de contar con mayores ingresos a partir de la aplicación de la UFV en los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario que presta EMPSAAT.

Por lo tanto, es necesario mejorar aún más el sistema de tarifas. Especialmente, si EMPSAAT quiere seguir adelante con la construcción de una nueva PTAR que permita un mayor rendimiento de tratamiento, con un proceso de aireación que también implicaría mayores costos de operación y mantenimiento. Además, parece que EMPSAAT no tiene suficientes recursos financieros para el O&M profesional de la PTAR, dados los problemas antes mencionados de que no hay suficiente personal o asignación de tiempos de trabajo, vehículos y equipos, etc.

La construcción o rehabilitación de la PTAR no está cubierta por el sistema de tarifas de EMPSAAT, ya que no es responsabilidad de esta. Sin embargo, parece haber un gran problema con la financiación de la construcción de una nueva PTAR (o, en su defecto, la rehabilitación de la antigua PTAR), ya que esta se encuentra parcialmente destruida y no funciona plenamente desde hace dos años, aproximadamente.

Por otra parte, EMPSAAT solo tiene disponible una opción de pago por el servicio: el pago en efectivo en la oficina de EMPSAAT. También se mencionó anteriormente la necesidad de mejorar la eficiencia de la recaudación y reducir la morosidad, lo que se traducirá en mayores ingresos y sostenibilidad financiera. EMPSAAT está estudiando la posibilidad de introducir otras opciones de pago que sean más asequibles al usuario.

#### **4.1.10. Reutilización de las aguas residuales tratadas**

La reutilización de las aguas residuales de manera indirecta es una práctica común en Tupiza, es decir, se utiliza agua del río que contiene aguas residuales tratadas diluidas. Una evaluación realizada en un estudio para mostrar la situación actual del reúso de aguas residuales (tratadas y no tratadas) en Bolivia, denominado *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales* (MMAyA, 2010), estimó la superficie de riego en 29 hectáreas (ha) para el cultivo de maíz, papa, haba, trigo, ajo, cebada, manzana, durazno, higo, membrillo, pera y tuna en Tupiza. El

13 Decreto Supremo 4206, del 1 de abril de 2020.

rendimiento del tratamiento de la PTAR Tupiza fue considerado como “tratamiento deficiente para el riego” durante dicha evaluación. La idoneidad de la PTAR Tupiza para la reutilización de las aguas residuales tratadas no se estudió en detalle durante esta evaluación básica y tampoco es posible hacerlo con los datos y documentos disponibles (por ejemplo, no hay documentos de diseño y no se dispone de suficientes datos de seguimiento de la calidad de las aguas residuales tratadas). Sin embargo, dado el sistema de tratamiento de la PTAR y el rendimiento del tratamiento propio de dicha tecnología, se conoce que la PTAR no está diseñada para la reutilización de aguas residuales tratadas, ya que normalmente es necesario un tratamiento de aguas residuales bien diseñado y eficaz, así como un paso que incluye la desinfección, que no está presente actualmente en la PTAR de Tupiza.

#### **4.1.11. Comunicación: relación con la población y los usuarios**

Se considera que las aguas residuales no son una prioridad para la mayoría de las personas en el municipio de Tupiza, quienes por lo general no están interesadas en este tema, a menos que se sientan afectadas por vivir cerca de una planta de tratamiento. Esta afectación se evidencia cuando la infraestructura de una PTAR se la vincula con malos olores y rebalses de aguas sucias que podrían afectar a la zona donde se encuentra ubicada. Por eso, la PTAR no es bien percibida, ni aceptada por la gente. Esto se traduce en la dificultad que existe al momento de encontrar una ubicación para el funcionamiento de la PTAR, considerando la resistencia social. Por lo tanto, EMPSAAT reconoce que la comunicación es muy importante para sensibilizar y hacer comprender a la población la urgencia del tratamiento de las aguas residuales, de forma tal que se promueva la aceptación de la PTAR y se promoció el uso correcto del sistema de alcantarillado. En ese marco, se llevaron a cabo varias actividades de comunicación pública desde el proyecto GAM (Fases 1 y 2) en Tupiza:

*En la primera fase:*

- Se realizaron procesos permanentes de capacitación en temas de gestión ambiental (que incluyen temas de cuidado de alcantarillado) con participación activa de escuelas del municipio (niveles primario y secundario). Incluían acciones como ferias educativas, limpiezas de ríos y visitas puerta a puerta para sensibilizar sobre el cuidado de no adherir la bajante del agua pluvial a la cámara del alcantarillado.

- Se han desarrollado campañas de cuidado del alcantarillado y de información sobre el servicio de saneamiento.

*En la segunda fase (contexto pandemia por COVID-19):*

- Se capacitaron virtualmente a jóvenes como brigadistas (entre 12 y 17 años) y gestores ambientales (entre 18 y 23 años) que, de forma permanente, acompañan acciones de gestión ambiental en el municipio. Estos jóvenes, junto a otros de municipios que también enfrentan esta problemática, han conformado una red nacional denominada Jóvenes Ambientalistas en Red (JAR-Bolivia) que forma parte de la plataforma jarbolivia.org.
- A partir de acciones de educación ambiental, los jóvenes en el municipio acompañan actividades del gobierno autónomo municipal.
- Está en proceso el desarrollo de una campaña de refuerzo en el cuidado del alcantarillado y de información sobre el tratamiento de las aguas residuales<sup>14</sup>.

#### **4.1.12. Visión futura PTAR Tupiza**

EMPSAAT propone la ampliación o rehabilitación de la PTAR existente con una capacidad de tratamiento mejorada (por ejemplo, mediante la aireación). La PTAR se ubicará en el mismo lugar que la instalación existente. Esta ubicación no es ideal, como demuestran claramente los efectos sobre la infraestructura por las repetidas inundaciones<sup>15</sup>. Sin embargo, debido a la resistencia social a la PTAR, no es posible disponer de otra ubicación para la misma, de acuerdo a información brindada por EMPSAAT. En consecuencia, está previsto y es necesario aplicar las medidas de RRD pertinentes, que se identificaron en el informe del ARI, de forma tal que pueda proteger efectivamente la PTAR ante eventos como inundaciones.

El diseño previsto para la futura PTAR no fue accesible para su revisión durante este estudio. EMPSAAT y el Gobierno Autónomo Municipal de Tupiza están en proceso de búsqueda de fuentes de financiación o posibles mecanismos financieros para realizar esta ampliación, así como la rehabilitación y mejora de la PTAR. Existen avances importantes desplegados con el VAPSB.

<sup>14</sup> Al cierre de la gestión 2022 se ha concluido con la campaña de sensibilización sobre el buen uso del alcantarillado sanitario.

<sup>15</sup> Esto se ratifica en el estudio de diseño de ingeniería de las medidas para incrementar la resiliencia climática de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tupiza”.



## Instrucciones al lector

- Las principales recomendaciones de acciones concretas se indican con una flecha en el texto.
- En los recuadros grises se presenta un resumen del marco legal y regulatorio vigente identificado en este estudio (no pretende ser completo). Las guías, reglamentos, normas, etc. pertinentes se indican con un círculo.

## 4.2. Modelo conceptual de gestión aplicado a la PTAR Tupiza

### 4.2.1. Introducción al modelo conceptual

En este capítulo se resumen las principales recomendaciones de acuerdo con los problemas identificados y para asegurar una gestión sostenible de las aguas residuales en forma de modelo conceptual de gestión. Este modelo, propuesto en base a estándares mínimos con recomendaciones específicas, permitirá a la PTAR Tupiza alcanzar una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales.

Los principales componentes del modelo conceptual que se han descrito en el capítulo previo se proponen en base al análisis realizado, tomando como piloto a la PTAR Tupiza. Asimismo, se sustentan a partir de una evaluación de los documentos recibidos de la PTAR Tupiza, así como en las conclusiones de los comentarios de las personas clave entrevistadas. Además, se consideraron los comentarios recolectados en los seminarios web del proyecto GAM, realizados en 2020 y 2021, y se estudiaron las directrices y reglamentos pertinentes, así como los diagnósticos de EMPSAAT disponibles (solicitado por el proyecto GAM), los estudios y las respuestas a los cuestionarios analizados.

Algunos de los componentes ya están disponibles (o parcialmente disponibles) o las actividades relacionadas ya se han realizado, pero se mencionan para tomarlos en cuenta. También, es posible que algunas de las recomendaciones no estén –o estén solo parcialmente– bajo el control de EMPSAAT (por ejemplo, la ampliación y rehabilitación de la infraestructura).

En este sentido, el modelo conceptual presentado a continuación puede verse como un catálogo con puntos de acción relevantes o aspectos concretos que son necesarios para la prestación de servicios de aguas residuales sostenibles. En primer lugar, la EPSA debe evaluar qué aspectos están cubiertos o no; en segundo lugar, los puntos de acción deben realizarse mediante acciones concretas (por

ejemplo, el desarrollo de un manual de O&M para la PTAR Tupiza).

El rendimiento y la capacidad necesarios de una PTAR están definidos por la ley<sup>16</sup> a través de los límites ambientales que deben cumplirse y la calidad y cantidad de aguas residuales que deben tratarse. Se debe tener en cuenta también las condiciones locales, como el espacio disponible, la ubicación y las medidas de protección necesarias.

El requisito previo para que una PTAR cumpla con el rendimiento requerido y se minimice el impacto negativo en el medio ambiente, es el diseño adecuado de la PTAR, del sistema de alcantarillado, de la infraestructura en general. La operación adecuada y profesional de una PTAR requiere de un personal suficiente en número de personas, y con los conocimientos y la experiencia adecuados, y con suficiente tiempo asignado para las actividades; se requiere también de una operación y mantenimiento apropiados, de la sustitución y rehabilitación necesarias de equipos e infraestructura y de la recopilación, documentación y análisis de los parámetros operativos, así como de recursos financieros suficientes.

Hay que mencionar que cada PTAR y sistema de alcantarillado tiene sus propias características, barreras y problemas. Por lo tanto, los principales puntos de acción que se indican a continuación deben desarrollarse y ajustarse para cada sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales, aunque las normas y requisitos básicos pueden seguir siendo los mismos.

Para la PTAR Tupiza es importante realizar rápidamente la ampliación y rehabilitación prevista. Por eso, hay que determinar su ubicación y definir los parámetros de diseño necesarios de acuerdo con la

16 Como el río Tupiza aún no está categorizado, y por lo tanto la PTAR Tupiza no está regulada, el Anexo 2 RMCH se está utilizando como regulación legal provisional para los límites ambientales que deben cumplirse y solo algunos de estos límites ambientales mencionados son aplicables o se comprueban. Por lo tanto, se carece de la normativa legal definitiva y vinculante necesaria para la PTAR Tupiza.

legislación y el contexto local. Además, es posible que algunos de los puntos de acción enumerados a continuación deban ajustarse en función de la decisión de los responsables.

Existen varios puntos de acción que son válidos para la PTAR Tupiza y no pueden realizarse todos al mismo tiempo, por lo que los puntos que deben priorizarse están marcados con un asterisco (\*).

#### 4.2.2. Gestión del personal

Para la gestión profesional de una PTAR y del sistema de alcantarillado, es necesario definir claramente las funciones y responsabilidades, las líneas de comunicación y decisión, y documentar los procedimientos. Por ejemplo, quién es el responsable de la rehabilitación de una laguna si está inhabilitada y cuánto tiempo debe durar el proceso de decisión, etc.

Además, es crucial disponer de personal suficiente en número y con el tiempo asignado y la cualificación y experiencia adecuadas para gestionar una PTAR y el sistema de alcantarillado correspondiente:

- (\*) Verificar la capacidad y número de personal (y la asignación de tiempo) para la operación profesional y mantenimiento del PTAR, incluido el sistema de alcantarillado (si es necesario, se debe capacitar al personal o contratar personal con los conocimientos y la experiencia necesarios).
- Elaborar un plan de desarrollo de la capacidad del personal para garantizar la formación periódica del personal, pero también la introducción y formación adecuadas del nuevo personal.
- (\*) Elaborar un organigrama de gestión y de personal con el nombre y el cargo de cada empleado y considerar la posibilidad de ajustar la estructura y tener personal específico para la PTAR.
- (\*) Además, las funciones y responsabilidades de cada miembro del personal en relación con la PTAR y el sistema de alcantarillado, incluidas las cualificaciones pertinentes, deben estar claras y documentadas por escrito (por ejemplo, los términos de referencia de cada miembro del personal).
- (\*) Definir y documentar las principales líneas de comunicación y los procesos de decisión e indicar la duración de los procesos importantes.
- Desarrollar y actualizar un plan de trabajo del personal que, idealmente, debería incluir un servicio de emergencia de 24 horas mediante un mecanismo de personal de reserva, en caso de problema, o de suplencia, en caso de ausencia.

#### Marco normativo referencial

*Funciones y responsabilidades específicas de los diferentes niveles de gobierno en la estructura sectorial del saneamiento básico son reflejados en:*

- *Constitución Política del Estado de Bolivia (2009).*
- *Ley 031 Marco de Autonomías y Descentralización.*

*Sin embargo, la experiencia, la educación o la formación requeridas del personal que trabaja en una PTAR aún no están claramente definidas.*

#### 4.2.3. Diseño e infraestructura

La PTAR y los sistemas de alcantarillado deben diseñarse para el rendimiento o eficiencia requeridos de acuerdo con la normativa, lo que significa cumplir con los límites máximos admisibles para la descarga de aguas residuales tratadas en los cuerpos de agua superficiales. Aquí hay que tener en cuenta la cantidad y la calidad del afluente (incluida la estimación para el futuro) y la sensibilidad del cuerpo receptor, así como la intención de reúso del efluente. El diseño también debe garantizar una operación y mantenimiento sencillos. Además, la tecnología de tratamiento debe ser la adecuada para el rendimiento requerido y adaptarse al contexto local (RRD, espacio disponible, capacidad, recursos financieros y gastos de O&M, etc.). También es necesario proteger la PTAR con medidas de seguridad adecuadas, como vallas y, si es necesario, un guardia.

Es muy importante planificar una disposición segura de los desechos (líquidos y sólidos) o el reúso seguro de estos "productos de desecho" y así cerrar los "ciclos de vida" (por ejemplo, producción de biogás o fertilizantes, reúso de agua residual tratada).

Para la comprensión del sistema y la operación y mantenimiento profesional, el diseño completo de la PTAR y el sistema de alcantarillado debe documentarse de la siguiente manera, teniendo que estar disponible *in situ*:

- Informe de diseño con los parámetros de diseño y la filosofía de operación.
- Planos *as-built* (planos en planta, vistas laterales de cada infraestructura) de la PTAR, sistema de alcantarillado, incluyendo un diagrama de flujo e idealmente diagrama de procesos e instrumentación (P&ID) con representación gráfica detallada del sistema de proceso real que incluye las tuberías, equipos electromecánicos, instrumentación y otros componentes de proceso en el sistema.

Acciones propuestas:

- (\*) Evaluar el estado de las infraestructuras y equipos de la PTAR y del sistema de alcantarillado.
- (\*) Verificar el diseño y el sistema mediante la elaboración de un informe de diseño (con parámetros de diseño y filosofía operativa) y planos *as-built* de la PTAR y del sistema de alcantarillado (por ejemplo, mediante el apoyo de un ingeniero de procesos) si estos documentos no están disponibles.
- (\*) Evaluar las condiciones actuales en el proceso de tratamiento de aguas residuales, con relación a las características de diseño en la PTAR.
- (\*) En función de los resultados de las acciones anteriores, rehabilitar la PTAR y el sistema de alcantarillado existentes y mejorarlos en la medida necesaria o construir una nueva PTAR. En cualquier caso, desarrollar los planes de mejora del desempeño ambiental que consideren medidas de rápido impacto en las PTAR (por ejemplo, mediante el apoyo de un ingeniero de procesos).
- La cobertura del sistema de aguas residuales debería incrementarse aún más y ampliar y rehabilitar su red de recolección o, en su defecto, se deben encontrar otras soluciones (por ejemplo, soluciones descentralizadas) para hogares/industrias que aún no están conectadas a un sistema de alcantarillado.

### **Marco normativo referencial**

Se dispone de la Ley 1333 y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica que, a la fecha, son los instrumentos legales relacionados con las descargas de aguas residuales. Adicionalmente, se dispone de:

- una norma técnica, la NB 688, que guía el diseño y construcción de instalaciones sanitarias (alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales).

Por otra parte, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua ha trabajado:

- la "Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales", la cual busca guiar los proyectos para el tratamiento de las aguas residuales de manera sostenible y adecuados al contexto local.

Actualmente no existe un procedimiento oficial de aprobación para la construcción y el diseño de una nueva PTAR (incluido el rendimiento de tratamiento requerido) y de sistemas de alcantarillado.

### **4.2.4. Reducción del riesgo de desastres**

Idealmente, se deben implementar medidas apropiadas de reducción del riesgo de desastres. Por ejemplo, la infraestructura de aguas residuales debe protegerse contra inundaciones cuando las inundaciones son un riesgo identificado, lo que significa que la construcción debe considerar los desastres posibles y probables. La evidencia sugiere que el costo de la reconstrucción después de un desastre suele ser mucho más alto que la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que considera medidas de RRD desde su concepción.

Por ese motivo, las medidas de reducción del riesgo de desastres, como la protección contra posibles inundaciones, deben considerarse en el diseño de los sistemas PTAR y alcantarillado, si corresponde. La ubicación de la PTAR debe resultar de encontrar un equilibrio entre la viabilidad, la aceptación social, pero también la minimización del riesgo de desastres. Las acciones propuestas a este respecto son:

- Realizar una evaluación del riesgo de desastres, con herramientas como el ARI (Análisis de Resiliencia en Inversiones) para la PTAR y el sistema de alcantarillado (idealmente durante la fase de planificación), considerando la ubicación de la PTAR, y aplicar las medidas de RRD adecuadas durante la construcción y la implementación.
- (\*) Implementar las medidas de RRD adecuadas basadas en la evaluación del riesgo de desastres.

### **Marco normativo referencial**

- El Reglamento Básico de Preinversión, Vice-ministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo, Resolución Ministerial N° 29, considera la Reducción de Riesgos de Desastre (RRD) y la Adaptación al Cambio Climático (ACC).

En este marco, este reglamento indica que la RRD debe ser considerada como una obligación general y no específicamente para la PTAR o el sistema de alcantarillado. Por ejemplo, todas las nuevas PTAR deben realizar un ARI y considerar la RRD, pero no se especifica cómo ni en qué medida.

- Manual para la toma de decisiones en proyectos de agua potable y saneamiento básico con infraestructura resiliente, MMAyA.

## 4.2.5. Operación y mantenimiento

Además de un diseño adecuado y de la infraestructura en buen estado, la O&M de la infraestructura, realizada de forma profesional, es clave para un tratamiento exitoso de las aguas residuales que permita asegurar la continuidad y la eficiencia del servicio.

Un mantenimiento regular puede evitar la sustitución costosa de los equipos o la rehabilitación de las infraestructuras y, en el peor de los casos, el fallo de funcionamiento o la reducción del rendimiento del tratamiento de una PTAR.

Además, es importante contar con personal a largo plazo, con la experiencia y la formación adecuadas, ya que todas y cada una de las PTAR son diferentes y es importante disponer de personal que conozca los problemas específicos de una PTAR y cómo tratarlos.

Las piezas de repuesto más importantes, así como los consumibles suficientes, que son fundamentales para el funcionamiento de la PTAR (rendimiento mínimo del tratamiento), deben estar siempre disponibles en *stock*.

### 4.2.5.1. Manual de operación y mantenimiento

El desarrollo y la disponibilidad de un manual de O&M de la PTAR (incluyendo el sistema de alcantarillado) es esencial para la operación profesional de una PTAR y para alcanzar una eficiencia óptima, así como para asegurar su funcionalidad.

El manual de operación y mantenimiento debe definir:

- La operación "normal" de la PTAR con todos los parámetros y aspectos operativos relevantes (por ejemplo, el tiempo de retención hidráulica para una alta eficiencia del proceso de tratamiento, etc.).
- El mantenimiento preventivo de los equipos e infraestructuras (por ejemplo, el mantenimiento de las válvulas, las bombas, los ejes, la limpieza de los rastrillos).
- El mantenimiento correctivo (por ejemplo, limpieza de lagunas y eliminación de lodos, obstrucción de un canal de aguas residuales).
- Los procedimientos de emergencia.

El manual de O&M y los documentos pertinentes deben estar impresos y disponibles para todo el personal de la PTAR. No solo es importante tener un manual de O&M, sino también documentar todos los trabajos de O&M en una herramienta de

documentación, como una planilla impresa o una herramienta electrónica (por ejemplo, una planilla Excel con registros de caudales aforados diariamente, tanto a la entrada como a la salida de la PTAR):

- (\*) Elaborar un manual de operación y mantenimiento que debe establecer los procedimientos adecuados de operación y mantenimiento.
- (\*) Realizar una documentación de las actividades de operación y mantenimiento ejecutadas, registradas en una herramienta de documentación (por ejemplo, una planilla de registros de operación y mantenimiento).
- Realizar un plan de desarrollo de capacidades para el personal: es necesario garantizar la capacidad del personal para la O&M profesional y todas las actividades relacionadas mediante la formación y la experiencia pertinente siempre que sea necesario.
- Elaborar una lista de herramientas, repuestos y consumibles críticos que se tienen en *stock*.

Además, hay que garantizar la gestión adecuada de los lodos y su eliminación segura (o reúso seguro):

- (\*) Desarrollar un plan de gestión de lodos que incluya el tratamiento y la eliminación segura (o el reúso seguro).

### Marco normativo referencial

- La RAR AAPS N° 300/2018 establece la "Guía para la aplicación de herramientas e instrumentos de seguimiento y control de la operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR en Bolivia", la cual contempla diferentes indicadores: Capacidad de Tratamiento de la PTAR, Condiciones Básicas para Operación y Mantenimiento de la PTAR, Gestión del Mantenimiento de la PTAR, Eficiencia de Tratamiento de la PTAR y Capacidad de Tratamiento de Lodos.

Estos indicadores tienen como fin el control y seguimiento de la operación y mantenimiento de las PTAR, permitiendo la toma de decisiones oportuna, precautelando la afectación al medio ambiente y a la salud pública debido al mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento, por el deterioro de la infraestructura y, por último, por la descarga de efluentes a cuerpos receptores con características fuera de lo establecido en la norma ambiental vigente.

Las EPSA deben reportar a la AAPS de manera semestral información respecto a lo siguiente: capacidad de tratamiento utilizada de la PTAR, condiciones de infraestructura adicional y servicios en la PTAR, gestión de personal operativo de la PTAR, documentación técnica específica de la PTAR, reporte de tareas de mantenimiento preventivo, reporte mensual de situaciones de mantenimiento correctivo, reporte de calidad del afluente y efluente, reporte de volúmenes de lodos generados y tratados provenientes de la PTAR, y reporte de volúmenes de lodos provenientes de ETRL descargados en la PTAR (RAR AAPS N° 300/2018).

#### 4.2.5.2. Monitoreo

El monitoreo del funcionamiento de una PTAR es importante para identificar problemas operativos como fallas de funcionamiento, desviaciones de la operación normal e incumplimiento de los límites ambientales/concentración de contaminantes a raíz de una reducción de la eficacia del tratamiento que podría tener un impacto negativo en el medio ambiente.

En consecuencia, la rápida detección de cualquier problema permite reaccionar rápidamente y resolver el problema o, al menos, minimizar las consecuencias negativas para el medio ambiente.

Uno de los factores clave para el éxito de la O&M de una PTAR es el monitoreo del rendimiento del tratamiento y sus procesos, a través de un control regular de los parámetros de calidad de las aguas residuales a lo largo del proceso de tratamiento. Esto se consigue mediante análisis de laboratorio *in situ* de los parámetros de control de las aguas residuales y un caudalímetro. Estos elementos son importantes para supervisar la calidad del agua efluente, pero también para identificar cualquier problema durante el proceso de tratamiento, de modo que pueda abordarse a tiempo.

En la Tabla 7, se propone una lista de los parámetros más importantes y la frecuencia óptima de análisis para las aguas residuales que debería realizar EMPSAAT en su laboratorio interno o *in situ* (o en un laboratorio externo si no se cuenta con la capacidad). Durante el desarrollo del concepto de monitoreo podrían añadirse parámetros adicionales, aumentar la frecuencia de ciertos parámetros y especificar el lugar exacto de muestreo. Asimismo, los nutrientes deben analizarse en el afluente y en el efluente para calcular la reducción total de la carga. Dos veces al año un laboratorio externo deberá realizar el análisis de todos los parámetros

especificados en el Anexo 2 de la Ley 1333 y los datos solicitados por la AAPS deberán ser comparados con la AAPS.

**Tabla 7**  
**Análisis internos del laboratorio de aguas residuales: Análisis mínimo recomendado**

Parámetro	Frecuencia mínima
DBO5	Quincenal; afluente y efluente
DQO	Quincenal; afluente y efluente
SST	Quincenal; afluente y efluente
NH4 (NH4 + NH3)-N	Quincenal; afluente y efluente
Aceites y grasas	Quincenal; afluente y efluente
Coliformes fecales	Quincenal; afluente y efluente
Q <sup>1</sup> (caudal)	Diario
Temperatura <sup>1</sup>	Diario
pH <sup>1</sup>	Diario
OD <sup>1</sup> (Oxígeno Disuelto)	Diario
Conductividad eléctrica <sup>1</sup>	Diario
Estado general de la PTAR	Diario
Condición del sitio de la descarga del efluente (en el río)	Diario

<sup>1</sup> Análisis *in situ*.

Fuente: Kappeler, 2022.

Además del análisis del rendimiento del tratamiento y de la calidad, y cantidad de las aguas residuales, también es importante documentar y analizar parámetros operativos importantes, como la producción y la eliminación/reuso de los lodos, el uso de consumibles (como productos químicos, EPP), el consumo de energía, el uso de piezas de repuesto, el agotamiento del oxígeno, etc.).

Los parámetros de calidad de las aguas residuales más importantes están relacionados con las aguas residuales tratadas (calidad de efluente), ya que tienen un impacto directo en el medio ambiente. Sin embargo, desde una perspectiva operativa y medioambiental, la calidad y la cantidad de las aguas residuales no tratadas (afluente) y el rendimiento del tratamiento (reducción de las cargas) también son importantes, ya que pueden identificarse problemas en el proceso de tratamiento, así como en las aguas residuales entrantes, y en las cargas totales de contaminantes que se vierten en la masa de agua receptora son muy relevantes.

Dependiendo del proceso de tratamiento, otros parámetros como el pH, la temperatura, el contenido de oxígeno disuelto, etc., son relevantes ya que pueden influir en el proceso de tratamiento.

En el concepto de monitoreo debe tenerse en cuenta una gestión adecuada de la garantía de

calidad. La precisión y la calidad de los análisis de laboratorio, de los equipos de análisis móviles y de los caudalímetros de la PTAR deben garantizarse mediante análisis de control periódicos (por ejemplo, análisis de control de un laboratorio externo: las mismas muestras son analizadas por la PTAR y por un laboratorio externo y los resultados de los análisis se comparan) y la calibración regular. Una comprobación de la plausibilidad de los datos también puede ser muy útil para la garantía de calidad.

Los datos recogidos deben ser compartidos con la AAPS, ya que es importante no solo para controlar el rendimiento del tratamiento, y para identificar posibles impactos negativos en el medio ambiente, sino también con el propósito de controlar el impacto ambiental acumulado (por ejemplo, el efluente de varias PTAR en la misma masa de agua) y la situación de las aguas residuales en el país.

- (\*) Desarrollar un concepto de monitoreo y realizar análisis de laboratorio regulares de los parámetros de las aguas residuales. Idealmente, este análisis se realizaría *in situ* y en un laboratorio propio de la PTAR, al menos para los parámetros más importantes (DBO5, DQO, SST, coliformes fecales, Q, T, pH, OD). El concepto de monitoreo debe incluir:
  - Procedimientos de muestreo y análisis, según normas vigentes en el país o internacionales, en caso de que no hubiera.
  - Parámetros que controlar y/o analizar, frecuencia de control de cada parámetro (ver Tabla 7), lugar de muestreo, etc.
  - Gestión de la garantía de calidad, como análisis de control y procedimientos de calibración.
- (\*) Documentar, analizar e interpretar los datos de monitoreo.
- (\*) Compartir los indicadores (especificados por la AAPS) con la AAPS cada seis meses.

### **Marco normativo referencial**

La plataforma de reporte de la AAPS se desarrolló con base en los lineamientos establecidos en la:

- “Guía para la aplicación de herramientas e instrumentos de seguimiento, monitoreo y control de la operación y mantenimiento de las PTAR en Bolivia”, aprobada mediante Resolución Administrativa Regulatoria (RAR) N° 300/2018.

### **4.2.5.3. Plan de contingencia y procedimientos de emergencia**

Es importante estar preparado para las emergencias (por ejemplo, la entrada de aguas residuales muy contaminadas, la falla de los equipos o de la planta, las catástrofes, la falta de personal, etc.) o el desmantelamiento de los equipos o daños a las obras que podrían perjudicar el proceso de tratamiento, reducir la capacidad y la funcionalidad de la PTAR y tener un impacto negativo en el medio ambiente o en la salud pública.

En este sentido, se precisa desarrollar un plan de contingencia y emergencias con una descripción detallada de la medida requerida y los procedimientos para posibles emergencias en la PTAR y sistema de alcantarillado.

### **Marco normativo referencial**

- RAR AAPS N° 140/2021 establece ajustes y complementaciones a la “Guía para la formulación de planes de contingencia de EPSA por categorías”.

*En este marco las EPSA deben tener un plan de contingencia para todo el servicio que prestan, pero no específicamente para la PTAR o el sistema de alcantarillado.*

### **4.2.5.4. Área de captación y afluente/ aguas residuales no tratadas**

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales (y del sistema de alcantarillado) y O&M deben tener en cuenta la cantidad y la calidad de las aguas residuales en el afluente, ya que estas afectan al proceso de tratamiento, a su funcionalidad y al rendimiento de este. Por ejemplo, las aguas residuales con altas (o bajas) cargas de nutrientes u otros parámetros, sustancias tóxicas o residuos (pañales, residuos de cocina, bolsas plásticas, etc.) pueden provocar problemas y dañar gravemente el proceso de tratamiento o, incluso, la infraestructura y los equipos. Lo mismo ocurre con la carga hidráulica, si esta es demasiado baja o alta, en comparación con el diseño hidráulico de la PTAR, el tiempo de retención hidráulica será demasiado bajo o alto, respectivamente.

Por lo tanto, hay que conocer la calidad y la cantidad de aguas residuales que ingresan y controlarlas, y evitar cualquier impacto negativo en el tratamiento de las aguas residuales.

Un adecuado diseño y funcionamiento de una planta de tratamiento debe considerar la cantidad y calidad de las aguas residuales, y la carga ocasionada por industrias, comercios u otro tipo de actividades.



### ***Aguas residuales industriales y aguas residuales potencialmente perjudiciales***

Idealmente, el principio de “quien contamina paga” debe ser aplicado siempre que sea posible. Por ejemplo, una empresa o industria con aguas residuales muy cargadas o contaminadas debiera pagar una tarifa más alta por metro cúbico de agua descargada al sistema de alcantarillado o debiera realizar un pretratamiento *in situ* (previo a la descarga en el sistema de alcantarillado), a fin de que las aguas residuales que ingresan al sistema de alcantarillado tengan las características de las aguas residuales domésticas normales, para lo cual están diseñadas normalmente las PTAR municipales.

Además de la importancia obvia del funcionamiento del tratamiento de las aguas residuales e, idealmente, del tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido al medio ambiente, es importante considerar la importancia de las medidas en la fuente u origen. Por ejemplo, la necesidad de sensibilizar a la gente (la población del municipio) sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales y, del mismo modo, sobre el uso económico y responsable, el reciclaje o la eliminación segura de productos “problemáticos” en los hogares y área de captación.

Como se ha mencionado, las industrias, comercios y otras actividades pueden generar aguas residuales con altas cargas de contaminantes o sustancias perjudiciales y peligrosas para las fuentes de agua. Si estas aguas son descargadas directamente al medio ambiente, pueden poner en peligro las fuentes de agua o dificultar los procesos de tratamiento en una PTAR. Por eso, es necesario regular y controlar

estas descargas para proteger el medio ambiente y garantizar el tratamiento adecuado de las aguas residuales. Por ejemplo, en caso de ser necesario un tratamiento previo *in situ* (es decir, en el origen), este debe realizarse antes de descargar el agua en el sistema de alcantarillado o en el medio ambiente:

- Identificar las instalaciones, fuentes o prácticas potencialmente perjudiciales (por ejemplo, cargas elevadas de contaminantes) en la zona de captación que puedan afectar negativamente a la PTAR y al sistema de alcantarillado, y mantener una lista actualizada de dichas instalaciones, fuentes o prácticas.
- Idealmente, las aguas residuales de las instalaciones potencialmente perjudiciales se controlan y analizan esporádicamente para identificar cualquier problema y cargas elevadas (y si es necesario tomar precauciones adecuadas).
- Considerar un tratamiento previo en las instalaciones o fuentes, así como las prácticas potencialmente peligrosas en la zona de captación, si es posible.

La infiltración de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado no solo puede afectar al proceso de tratamiento (sobrecarga hidráulica), también genera costos innecesarios y puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas:

- Evaluar detalladamente la situación de la infiltración de las aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado. Identificar la causa –si se detecta– este fenómeno.

### **Marco normativo referencial**

*Durante este estudio no se ha podido acceder a una normativa específica para la descarga de aguas residuales a la red de alcantarillado.*

*Sin embargo, el Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM), en el marco de la Ley 1333 de Medio Ambiente, regula las actividades del sector industrial manufacturero. Dicho reglamento tiene como objetivos "...reducir la generación de contaminantes y el uso de sustancias peligrosas, optimizar el uso de recursos naturales y de energía para proteger y conservar el medio ambiente; con la finalidad de promover el desarrollo sostenible". En su artículo 76 (disposición de descarga) establece las posibilidades que tienen las industrias para disponer sus descargas, entre las que se menciona: "... Conectarse a un sistema de alcantarillado autorizado para descargas industriales, de acuerdo con el contrato de descarga entre la industria y la Entidad Prestadora de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA)".*

*Asimismo, en el marco de la Ley 1333, y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, se instruye a todas las EPSA, a través de la RAR N° 546/2014, a elaborar y aplicar procedimientos técnicos y administrativos para el control de las descargas industriales y especiales.*

*Asimismo, el artículo 76 de la Ley 2066 de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, señala que "...se permitirá un tratamiento especial a los usuarios industriales, mineros o agrícolas que se autoabastezcan para fines productivos, debiendo conectarse a la red de alcantarillado sanitario, cuando este exista y cumplir con la normativa vigente relativa a la calidad de descargas al alcantarillado sanitario".*

*Por su parte, el Reglamento Nacional de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario para Centros Urbanos, en sus artículos 53 al 61 establece las condiciones del "lanzamiento de aguas de desechos industriales en fuentes, cursos de agua potable y/o alcantarillado sanitario".*

*Se dispone también de:*

- *La "Guía para la elaboración de Procedimientos Técnicos y Administrativos para Descargas de Efluentes Industriales, Especiales y Lodos al alcantarillado sanitario" (RAR AAPS N° 546/2014).*

### **4.2.6. Seguridad ocupacional y protección de la salud**

Para la prevención de accidentes y la protección de la salud del personal en la PTAR es necesario desarrollar un documento con las regulaciones detalladas de seguridad ocupacional y protección de la salud, sobre la base de la evaluación de riesgos en una PTAR.

- (\*) Desarrollar un concepto con las regulaciones detalladas de seguridad ocupacional y protección de la salud. Esto incluye lo siguiente:
  - Es necesario elaborar y documentar las instrucciones y procedimientos de trabajo (por ejemplo, la entrada en un pozo de aguas residuales, la limpieza de una laguna; así como que estas sean fácilmente accesibles, por ejemplo, mediante señalética).
  - Lista del equipo necesario y garantía de su disponibilidad en calidad y cantidad suficientes (por ejemplo: EPP, ropa de trabajo, cuerdas, arnés de seguridad, dispositivo móvil de alarma de gas, etc.).
  - Formación del personal sobre los procedimientos pertinentes de seguridad ocupacional y protección de la salud.

### **Marco normativo referencial**

*No existe una normativa legal específica para las PTAR y los sistemas de alcantarillado. Sin embargo, existe una norma técnica más general:*

- *Norma Técnica de Seguridad NTS-009/18 para la presentación y aprobación de los Programas de Seguridad y Salud en el Trabajo (PSST).*

### **4.2.7. Planificación financiera**

#### **Aspectos clave de la planificación financiera**

El **Plan de inversión** debe contener:

- Costo de operación
- Costo de intereses
- Costo de depreciación

La **tarifa** puede basarse en:

- (Cargo por conexión)
- Tarifa básica
- Tarifa de cantidad



Para la operación y mantenimiento, así como a efectos de modificaciones necesarias o rehabilitación de una PTAR, es muy importante encontrar el sistema de financiación adecuado de acuerdo a un contexto específico y según las posibilidades existentes, que permita cubrir todos los costos de una PTAR y el sistema de alcantarillado; de lo contrario, el tratamiento de las aguas residuales no será sostenible.

En el caso de EMPESAAT, se supone que las tarifas solo cubren la totalidad de los costos de O&M y las reparaciones y rehabilitaciones menores de la PTAR y el sistema de alcantarillado. Las reparaciones y rehabilitaciones de mayor envergadura y la ampliación del sistema de alcantarillado son financiadas por el municipio y otros actores estatales o es posible que sea necesario encontrar mecanismos financieros alternativos. Sin embargo, se trata de un costo muy importante que debe ser cubierto y asegurado, y a menudo esto es un gran problema:

- Evaluar regularmente la situación financiera y la sostenibilidad de la PTAR<sup>17</sup>.
- Desarrollar un plan financiero plurianual (o plan de inversión) y sostenible para la PTAR, y el sistema de tarifas apropiado para el contexto local con cobertura de costos totales, basado en un estudio de costos.
- Adicionalmente, en la planificación financiera hay que considerar inversiones futuras necesarias, como reparaciones menores, sustitución de equipos y costos imprevistos.
- Elaborar una aplicación de la UFV en tarifas y/o precios de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario según la regulación establecida por la AAPS.
- (\*) Desarrollar y acordar un mecanismo financiero fiable en articulación con el municipio para las obras de reparación, rehabilitación y ampliación de mayor envergadura con un plazo razonable (no forma parte del sistema de tarifas en Bolivia).

Para tener siempre una visión general de la situación financiera actual y planificar los costos futuros (por ejemplo, inversiones futuras), es importante:

- (\*) Desarrollar y aplicar un sistema profesional de contabilidad de costos e ingresos (así como la estimación de costos futuros).

Es muy habitual pagar las facturas de los servicios en efectivo en la oficina del proveedor de servicios. Sin embargo, es necesario explorar diferentes opciones de pago de acuerdo al contexto local con el fin de dar a los usuarios alternativas. Esto es aún más cierto en tiempos de pandemia debido a las restricciones en los desplazamientos y al distanciamiento social:

- (\*) Explorar las opciones de diversificación de los mecanismos de pago para el contexto local y, al mismo tiempo, buscar opciones para mejorar la eficiencia de la recaudación y reducir la morosidad.

#### **Marco normativo referencial**

- Ley 2066/2000: *Prestación y Utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario: Reglamento de precios, tarifas, tasas, cuotas para los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario.*
- RAR AAPS 225/2011: *Guías para la elaboración de estudios precios y tarifas.*
- RAR AAPS 365/2017: *Guía para la aplicación de la UFV en tarifas y/o precios de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.*

#### **4.2.8. Reúso de las aguas residuales tratadas**

Aunque en muchos lugares del mundo tiene sentido reusar las aguas residuales tratadas (o los lodos de las aguas residuales tratadas), debe quedar claro que cuando se reúsan las aguas residuales para riego agrícola (u otro uso), siempre existen riesgos potenciales (por ejemplo, presencia de organismos infecciosos, metales pesados, sustancias tóxicas, etc.) para la salud de los productores (o agricultores), de los consumidores y también para el medio ambiente. Más aún si se utilizan para el riego las aguas residuales no tratadas o tratadas de forma deficiente, que suele ser el caso si las aguas residuales se utilizan de manera informal.

Normalmente, en los países donde se reúsan las aguas residuales tratadas existe un paso previo de desinfección que es fundamental antes de la

<sup>17</sup> En el caso de la PTAR Tupiza esto ya se hizo en octubre de 2021 a lo largo de la aplicación de la Unidad de Fomento a la Vivienda (UFV) en tarifas y/o precios de los servicios.



En los países donde se reúsan las aguas residuales tratadas existe un paso previo de desinfección que es fundamental antes de la salida del agua residual de la planta de tratamiento.

salida del agua residual de la planta de tratamiento, así como un proceso de tratamiento bien diseñado y eficiente orientado al reúso. Es importante saber también que los tratamientos de desinfección como los UV funcionan solamente si las aguas residuales han sido bien tratadas en los procesos previos. Nuevamente, esto pone de manifiesto la importancia de monitorear la calidad del agua regularmente como parte de los procesos, para así poder tomar decisiones informadas oportunamente.

Por otra parte, debe haber reglas vinculantes que se sigan según el propósito de reúso o uso final del efluente de la PTAR. Esto está asociado directamente con la normativa vigente respecto al reúso de las aguas residuales de cada país (en Bolivia aún no está regulado el reúso de las aguas residuales tratadas). Por lo tanto, es importante concientizar a los usuarios de aguas residuales –por ejemplo, los agricultores–, del peligro potencial para ellos mismos y para los demás. También hay que informar a los consumidores de productos que están regados con aguas residuales, a través de hábitos de higiene en la preparación de alimentos, lo cual tiene un efecto importante de protección al consumidor.

- Investigar el uso formal e informal de aguas residuales y problemas relacionados, con el fin de planificar las medidas que se requieren.
- Si la intención es reusar las aguas residuales tratadas y/o los lodos, asegurar que la PTAR está diseñada y operada para el reúso seguro de las aguas residuales tratadas y los lodos.

### **Marco normativo referencial**

*No existe una ley específica que regule el reúso de aguas residuales o lodos en Bolivia. Solamente existe una:*

- “Guía técnica para el reúso de aguas residuales en la agricultura”, aprobada mediante Resolución Ministerial N° 583/2018, MMAyA.

### **4.2.9. Comunicación: Relación con la población y los usuarios**

La comunicación, educación e información de la población y los usuarios son importantes para lograr la aceptación pública, la sostenibilidad del servicio, la construcción de confianza, la disposición a pagar, así como para ayudar a informar sobre temas relevantes relacionados con las aguas residuales. Esto es aún más crucial en tiempos de pandemia si se quiere evitar las prácticas insostenibles, así como para informar sobre riesgos, falsas creencias, comportamientos inadecuados, etc.

- Desarrollar una estrategia de comunicación que ponga énfasis en fortalecer la comunicación e información externa con la población/usuarios sobre asuntos relevantes de aguas residuales, por ejemplo:
  - Desarrollar la concientización e información del público sobre la importancia del tratamiento de las aguas residuales (por ejemplo,

mediante visitas a la actual PTAR por parte de estudiantes de colegios, etc.).

- Trabajar de manera particular con la población de la zona donde se ubica la PTAR para lograr su comprensión en cuanto a los beneficios, mediante el uso de técnicas de persuasión y de manejo de conflictos.
- Informar regularmente a la población sobre el rendimiento del tratamiento, el impacto en el medio ambiente y la salud pública, así como sobre el costo del tratamiento de las aguas residuales, etc.
- Educar sobre el uso eficiente del agua y cuidado del alcantarillado (por ejemplo, qué residuos no deben ingresar al sistema de alcantarillado).
- Sensibilizar a la población (EPSA, usuarios, consumidores) sobre los posibles riesgos de reusar aguas residuales, especialmente las tratadas de forma deficiente o no tratadas, e informar sobre las medidas de mitigación.

### **Marco normativo referencial**

La APPS dispone de un servicio de atención al consumidor para los usuarios de las EPSA reguladas (por ejemplo, una línea gratuita de protección al usuario). Los derechos de los usuarios, incluida comunicación con los usuarios u obligación de información a los mismos se regula en:

- Decreto Supremo 2130, Reglamento a la Ley 453, 2013, General de los Derechos de Usuarías y Usuarios, Consumidoras y Consumidores.

Para planificar el funcionamiento sostenible de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se requiere un modelo de gestión que considere el diseño y la infraestructura, el mantenimiento, el monitoreo y la administración del personal, entre otros tópicos.



Además de la comunicación con los usuarios y la población en general, también es importante:

- Fomentar y apoyar la comunicación e información interna (con los empleados) sobre asuntos relevantes de las aguas residuales.
- Promover el intercambio entre diferentes EPSA para enriquecer las experiencias y lecciones aprendidas, alimentando opciones para una posible cooperación.

### **4.2.10. Plan a futuro de la PTAR Tupiza**

Es importante desarrollar un proyecto final y definitivo para la rehabilitación y/o ampliación de la PTAR y el sistema de alcantarillado del municipio de Tupiza y asegurar su financiación. Esto tiene que ser realizado rápidamente, ya que la PTAR de Tupiza funciona parcialmente desde hace varios años y la infiltración de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado es un gran problema que compromete el tratamiento de las aguas residuales, lo que constituye una situación insatisfactoria. Sin embargo, deberían identificarse y aplicarse, siempre que sea posible, medidas de mejora inmediatas (corto y mediano plazo) para mejorar la eficacia del tratamiento o disminuir la intrusión de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado.

Es necesario aclarar qué límites ambientales deben cumplirse en el futuro, ya que la PTAR debería rehabilitarse de acuerdo con estos requisitos.

Las medidas de reducción de riesgos identificadas en el informe del ARI deberían aplicarse lo antes posible para evitar comprometer aún más la infraestructura de la PTAR. Si se construye una nueva PTAR, debería reevaluarse la ubicación actual (aunque se conoce que

no se disponen de otros predios), ya que la actual ubicación es propensa a inundaciones periódicas.

- (\*) Decidir si se rehabilita la PTAR existente (o se construye una nueva) y asegurar su financiación.
- (\*) Aplicar medidas de mejora inmediatas con impacto rápido.
- (\*) Considerar y aplicar las medidas de RRD adecuadas.

→ Aclarar los límites ambientales aplicables si se construye una nueva PTAR.

En la Tabla 8 se presenta el modelo conceptual de gestión aplicado a la PTAR Tupiza. Se plantean las actividades específicas recomendadas para la gestión profesional, O&M adecuados, así como la mejora del rendimiento del tratamiento de la misma. Es posible que EMPAAT ya haya logrado algunas de las recomendaciones/actividades siguientes.

**Tabla 8**  
**Modelo conceptual de gestión PTAR Tupiza**

<b>Modelo conceptual de gestión: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales</b>	
Código de colores:	Bajo el control de EMPAAT Parcialmente bajo el control de EMPAAT Fuera del control de EMPAAT
Gestión del personal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la capacidad y número de personal.</li> <li>• Elaborar un plan de desarrollo de la capacidad del personal.</li> <li>• Elaborar un organigrama de gestión y de personal con el nombre y el cargo de cada empleado.</li> <li>• Documentar las funciones y responsabilidades de cada miembro del personal.</li> <li>• Desarrollar y actualizar un plan de trabajo del personal.</li> <li>• Definir y documentar líneas de comunicación y los procesos de decisión.</li> </ul>
Diseño e infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar las condiciones actuales con relación a las características de diseño.</li> <li>• Evaluar el estado de las infraestructuras y equipos.</li> <li>• Verificar el diseño y el sistema de tratamiento.</li> <li>• Elaborar un informe de diseño y planos as-built.</li> <li>• Considerar medidas de rápido impacto.</li> <li>• Rehabilitar la PTAR y el sistema de alcantarillado existente y mejorarlos en la medida necesaria o construir una nueva PTAR.</li> <li>• Incrementar la cobertura del sistema de aguas residuales.</li> <li>• Ampliar y rehabilitar su red de recolección o se deben encontrar otras soluciones.</li> </ul>
RRD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar una evaluación del riesgo de desastres.</li> <li>• Implementar las medidas de RRD adecuadas.</li> </ul>
O&M	
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la PTAR y el sistema de alcantarillado.</li> <li>• Realizar una documentación de las actividades de operación y mantenimiento.</li> <li>• Desarrollar un plan de desarrollo de capacidades para el personal.</li> <li>• Elaborar una lista de repuestos y consumibles críticos.</li> <li>• Desarrollar un plan de gestión de lodos.</li> </ul>
Monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un concepto de monitoreo.</li> <li>• Documentar, analizar e interpretar los datos de monitoreo.</li> <li>• Compartir los 5 indicadores (especificados por la AAPS) con AAPS.</li> <li>• Realizar análisis de laboratorio regulares para los parámetros importantes.</li> </ul>
Contingencia y emergencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar un plan de contingencia y emergencia, estableciendo los procedimientos.</li> </ul>
Área de captación y afluente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar y mantener una lista actualizada de las instalaciones, fuentes o prácticas potencialmente perjudiciales.</li> <li>• Controlar y analizar esporádicamente las instalaciones potencialmente perjudiciales para identificar cualquier problema y cargas elevadas.</li> <li>• Considerar un tratamiento previo por instalaciones, fuentes o prácticas potencialmente perjudiciales.</li> <li>• Evaluar detalladamente la situación de la infiltración de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado.</li> </ul>
Seguridad ocupacional y protección de la salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar un concepto con las regulaciones detalladas de seguridad ocupacional y protección de la salud.</li> </ul>

<b>Modelo conceptual de gestión: Descripción de acciones en base a estándares mínimos para una eficiencia aceptable en el tratamiento de las aguas residuales</b>	
Planificación financiera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar regularmente la situación financiera y su sostenibilidad.</li> <li>• Desarrollar y aplicar un sistema profesional de contabilidad de costos e ingresos.</li> <li>• Explorar las opciones de diversificación de pago y mejorar la eficiencia de la recaudación y reducir la morosidad.</li> <li>• Desarrollar un plan financiero plurianual (o plan de inversión) y sostenible.</li> <li>• Considerar inversiones futuras necesarias.</li> <li>• Elaborar una aplicación de la UFV en tarifas y/o precios.</li> <li>• Desarrollar y acordar un mecanismo financiero fiable para las obras de reparación, rehabilitación y ampliación de mayor envergadura.</li> </ul>
Reutilización de aguas residuales tratadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar el uso formal e informal de aguas residuales y problemas relacionados.</li> <li>• Asegurar que la PTAR está diseñada y operada para la reutilización segura si es necesario.</li> </ul>
Comunicación: relación con el usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar una estrategia de comunicación.</li> <li>• Fortalecer la comunicación e información externa.</li> <li>• Fomentar y apoyar la comunicación e información interna.</li> <li>• Promover el intercambio entre diferentes EPSA.</li> </ul>
Plan a futuro de la PTAR Tupiza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar medidas de mejora inmediatas con impacto rápido.</li> <li>• Decidir si se rehabilita la PTAR existente o se construye una nueva y asegurar su financiación.</li> <li>• Aclarar los límites ambientales aplicables (si se construye una nueva PTAR).</li> <li>• Considerar y aplicar las medidas de RRD adecuadas.</li> </ul>

Fuente: Kappeler, 2022.

### 4.3. Conclusiones del estudio de caso - PTAR Tupiza

La PTAR Tupiza tiene muchos retos, sobre todo en relación a su infraestructura que está parcialmente inhabilitada, debido a las inundaciones recurrentes y a la falta de mantenimiento. La PTAR no funciona plenamente desde las inundaciones ocurridas en 2019, lo que no es una situación satisfactoria. Por lo tanto, la PTAR no puede funcionar a plena capacidad y su actividad podría tener, incluso, un impacto negativo en el medio ambiente.

Además, la ausencia de un plan de gestión de lodos y las dificultades en cuanto a la eliminación de lodos de las lagunas representan un alto riesgo de impacto negativo en el medio ambiente.

La PTAR Tupiza tiene problemas con la cantidad de aguas residuales y también podría tener problemas con la calidad de las aguas residuales no tratadas, lo que probablemente también conlleve un impacto negativo en el rendimiento del tratamiento.

La PTAR Tupiza se enfrentó a problemas operativos adicionales durante la pandemia de COVID-19, puesto que la gente cambió su comportamiento y muchas personas no pagaron los servicios prestados por EMPSAAT.

La documentación del diseño de la PTAR y del sistema de alcantarillado de Tupiza es limitada, lo que imposibilita la verificación del rendimiento real del tratamiento en comparación con el rendimiento del tratamiento de diseño y dificulta el funcionamiento y el mantenimiento.

EMPSAAT monitoreó la calidad de las aguas residuales tratadas mensualmente y un laboratorio externo realizó mediciones adicionales dos veces al año. Sin embargo, en general, el propio seguimiento y la documentación, el análisis y la interpretación de los datos no parecen ser suficientes y no existe un concepto de seguimiento reportado por escrito.

La mayoría de los procedimientos, procesos y actividades realizadas deben ser mejor documentados. Por ejemplo, no existe un manual de O&M y, por ende, los trabajos de O&M que se han realizado no están documentados (o no fueron compartidos para este estudio).

La gestión de la PTAR y del sistema de alcantarillado debe mejorarse en relación con el establecimiento de procedimientos de decisión (incluido la duración), la definición de funciones y responsabilidades y la capacidad del personal, si es necesario. Además, no hay personal específico y exclusivo para la PTAR y tampoco hay suficiente personal ni tiempo asignado para operar y mantener profesionalmente la PTAR y el sistema de alcantarillado.

Se ha avanzado mucho en cuanto a la sostenibilidad financiera de los servicios de saneamiento en Tupiza, sin embargo, la pandemia y las repetidas inundaciones provocaron un aumento de los gastos y una reducción de los ingresos que no estaban previstos en la planificación financiera de las gestiones afectadas por las razones mencionadas. En este aspecto, la indexación de las tarifas a las UFV contribuyó a mejorar la situación financiera, pero todavía hay algunas deficiencias y se necesitan todavía mayores recursos financieros para la

rehabilitación y/o ampliación de la PTAR existente, además para disponer de recursos suficientes para la O&M profesional de la PTAR. La financiación de la rehabilitación y ampliación de la PTAR y el sistema de alcantarillado –que no es responsabilidad directa de EMPSAAT– parece ser un problema importante y lleva mucho tiempo pendiente. Dada la difícil situación de la PTAR, sería recomendable buscar medidas de mejora inmediatas, si es factible.

Las aguas residuales no parecen ser una prioridad para los vecinos del municipio de Tupiza, y el tema está estigmatizado pues la mayoría no entiende la magnitud, complejidad e importancia del tratamiento, así como sus implicaciones a nivel de interrelación con el medio ambiente y la salud pública. Por ello, se recomienda continuar y mejorar la comunicación externa referida a esta temática.

El reúso de aguas residuales tratadas –o, más bien, de aguas fluviales mezcladas con aguas residuales para el riego– es una práctica común en Tupiza, aunque la calidad de estas aguas no es suficiente para el riego de cultivos.

En general, la falta de documentación y datos hace imposible realizar una evaluación adecuada de la PTAR Tupiza y del sistema de alcantarillado. Sin embargo, la PTAR y el sistema de alcantarillado tienen problemas importantes que dificultan la O&M, así como el cumplimiento de la normativa, ya que es posible que la PTAR no pueda, en todo momento, cumplir con la normativa sobre los límites ambientales que controla la AAPS.

El modelo conceptual desarrollado describe puntos de acción concretos para mejorar la eficiencia y el rendimiento del tratamiento sobre la base de estándares mínimos. Sin embargo, el rendimiento del tratamiento y la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales solo puede ser tan bueno como el diseño y el estado de la PTAR y el sistema de alcantarillado si se opera y mantiene profesionalmente y se evita cualquier impacto negativo (por ejemplo, aguas residuales muy cargadas) de la zona de captación.

Algunos aspectos o riesgos del modelo conceptual de gestión pueden ser considerados y controlados por EMPSAAT si están bajo su responsabilidad (ver Tabla 8). Sin embargo, algunos de los puntos de acción están fuera de su control o solo bajo su control parcial. La mayoría de estos puntos se hallan relacionados con costos que exceden el presupuesto de EMPSAAT o no están en el marco de la responsabilidad de dicha institución. Lamentablemente, algunos de los puntos de acción cruciales que son necesarios para la prestación de servicios sostenibles no pueden ser controlados directamente por EMPSAAT, factor que se debe tomar en cuenta. Por ejemplo, en el caso de Tupiza, EMPSAAT es responsable de la operación y el mantenimiento

de la PTAR y el sistema de alcantarillado (incluidas las reparaciones menores), pero no de la ampliación o rehabilitación del sistema de alcantarillado ni de la PTAR. Asimismo, sus tarifas están sujetas a la aprobación del ente regulador, y debe contar con un aval de las organizaciones sociales, aspecto que muchas veces es difícil de lograr. Los dos últimos ejemplos (rehabilitación y tarifas) son clave, pero no están controlados, de forma exclusiva, por EMPSAAT, si estos aspectos no se pueden cumplir, entonces los servicios de aguas residuales no pueden ser sostenibles.

Se recomienda que EMPSAAT y el Gobierno Autónomo Municipal de Tupiza validen los puntos de acción propuestos en el modelo conceptual de gestión que se puede observar en la Tabla 8, de forma tal que consideren los que aún no se han llevado a cabo.

Para algunos de los puntos de acción propuestos, se necesitará apoyo técnico (por ejemplo, en la elaboración de documentos de diseño); esto es posible mediante un consultor externo o empresa de ingeniería especializada en aguas residuales.

Muchos de los temas mencionados no son nuevos y resultan bastante comunes para el contexto de Bolivia. Así mismo, estos temas también fueron mencionados y se dieron recomendaciones relevantes en el Reporte de Indicadores de la Plataforma Virtual de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la AAPS. Por eso, el modelo conceptual de gestión desarrollado para el piloto de Tupiza también puede servir de ejemplo y referencia para otras EPSA.

#### **4.4. Acciones de fortalecimiento a EMPSAAT en el marco del modelo conceptual de gestión**

Posteriormente al diagnóstico o evaluación básica de la situación de la PTAR de Tupiza, realizado durante la gestión 2021, se identificaron acciones que fueron priorizadas por el proyecto Gestión Ambiental Municipal, las cuales estaban orientadas a cerrar las brechas identificadas en el marco del modelo conceptual de gestión aplicado al caso Tupiza. Para la PTAR Tupiza se realizaron las siguientes acciones concretas según las dimensiones del modelo (Tabla 9).

Las acciones realizadas con apoyo del proyecto Gestión Ambiental Municipal durante las gestiones 2021 y 2022 buscan contribuir a mejorar la calidad y eficiencia del servicio en tratamiento de aguas residuales en el municipio de Tupiza, como se ha explicado al inicio de este documento. Algunos efectos de las acciones se reflejan en el corto plazo mientras que otros serán percibidos en el mediano plazo. Sin embargo, se puede observar cambios que se reflejan en los indicadores de desempeño de PTAR de la AAPS (ver Tabla 6).

**Tabla 9**  
**Acciones de fortalecimiento promovidas por el proyecto GAM**

<b>Dimensión del modelo</b>	<b>Acciones del proyecto GAM para EMPSAAT</b>
Gestión del personal	2021: Cursos cortos de capacitación para personal de las EPSA del proyecto: – En monitoreo de aguas residuales y eficiencia. – En sistemas y tecnologías de tratamiento.
Diseño e infraestructura	2022: Rehabilitación del sector dañado de la laguna facultativa N° 2 de la PTAR de Tupiza (obras civiles e instalación de nueva geomembrana en el sector dañado) para su puesta en marcha.
Reducción del riesgo de desastres	2021: Análisis de Riesgos a la PTAR de Tupiza, aplicando la herramienta Análisis de Resiliencia en Inversiones (ARI). 2022: Estudio de Diseño de Ingeniería de las medidas para incrementar la resiliencia climática de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tupiza”, que incluye modelación hidrológica, hidráulica, análisis de riesgos y formulación y diseño de la medida seleccionada.
Operación & mantenimiento, funcionalidad y rendimiento del tratamiento	2022: Plan de monitoreo para la PTAR de Tupiza. Incluye los sitios de muestreo recomendados, recomendaciones para la toma de muestras y transporte, las frecuencias de muestreo y los parámetros mínimos recomendados para el seguimiento y control de los procesos de tratamiento. 2022: Provisión de equipo de laboratorio para determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST), que completa los equipos mínimos necesarios para el monitoreo de la calidad de agua residual.
Seguridad ocupacional y protección de la salud en el trabajo	2020 y 2021: Provisión de material de bioseguridad durante la crisis de la COVID-19.
Planificación financiera	2021: Estudio para la aplicación de la UFV en tarifas y/o precios de los servicios de agua potable y alcantarillado para EMPSAAT; que ha servido de base para obtener la autorización ante la AAPS.
Reutilización de las aguas residuales	–
Relaciones con los usuarios del servicio.	2022: Campaña de sensibilización para el buen uso del alcantarillado. Cuñas radiofónicas y spots televisivos preparados para difusión.

Fuente. Elaboración propia.

Por ejemplo, el indicador que mide la capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR (CTUP), el cual, si bien sigue por encima del valor esperado, ha mejorado significativamente su valor reportado al 2021. De manera similar, el indicador que mide las condiciones básicas para la operación y mantenimiento de la PTAR ha mejorado su valor reportado el 2021. Con relación al indicador Gestión de mantenimiento de la PTAR (GEM), este ha pasado de ser inadecuado, el 2020, a ser adecuado, el 2021. Respecto al indicador que mide la eficiencia de tratamiento de la PTAR (EfPTAR), cumple en 2 de los 3 índices que compone el indicador, es decir que la PTAR de Tupiza alcanza los valores esperados de DQO y SST<sup>18</sup>. Estas mejoras son el reflejo

del compromiso asumido por EMPSAAT y del apoyo del proyecto.

Se espera que acciones como la rehabilitación de la laguna facultativa N° 2 tenga un efecto positivo que se refleje en la próxima gestión y se reporte en los indicadores de desempeño de las PTAR. Asimismo, en tanto no se construya la ampliación de la PTAR que es necesaria para el tamaño de población actual del municipio de Tupiza, es importante continuar con el fortalecimiento de la actual PTAR de manera que no se comprometa la salud ambiental de la población.

18 Ver documento “Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas en Bolivia 2021 - Categoría C y D”, en: <https://bit.ly/3FkOuvv>



Una de las acciones de fortalecimiento del proyecto GAM fue la instalación de nueva geomembrana en la laguna facultativa N° 2 de la PTAR de Tupiza.



## 5. Conclusiones generales

En un contexto de cambio climático se espera que la oferta de agua para consumo humano y otros usos sea cada vez más limitada; si a esto se añade que las fuentes de agua son contaminadas por descargas de aguas residuales la situación se agrava. En este sentido, el tratamiento de las aguas residuales es fundamental para conservar las fuentes de agua y proteger la salud del medio ambiente.

La situación respecto al tratamiento de las aguas residuales en Bolivia no es la óptima, y los datos oficiales reportados muestran las principales falencias que se advierten. Ciertamente, el tratamiento de las aguas residuales es un desafío que el sector debe encarar en el país en el corto y mediano plazo.

Este estudio presenta información que pone en evidencia que el tratamiento de las aguas residuales no siempre resulta ser una prioridad, y está relegado

a factores de orden presupuestario, de personal asignado, y de recursos de diversa índole, etc. Sin embargo, las aguas residuales son de alto riesgo y los efectos negativos más evidentes de un tratamiento de aguas residuales deficiente se visibilizan, principalmente, por su impacto en la salud pública y el medio ambiente.

Esta propuesta reconoce las limitaciones que enfrentan las EPSA y municipios pequeños e intermedios del país, y plantea un modelo conceptual de gestión que busca mejorar el tratamiento de las aguas residuales tomando en cuenta estas limitaciones, pero al mismo tiempo la propuesta aborda dimensiones que pueden ser atendidas y desarrolladas –con los recursos disponibles– logrando así una mejora importante en el servicio y, consecuentemente, en la calidad de vida de la población.

Visita de los alumnos de la Unidad Educativa Julio Crevaux a la planta de tratamiento de la localidad de Villa Montes, como parte de las campañas de difusión y educación ciudadana del proyecto GAM.



# Referencias

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico [AAPS] (2019a). *Indicadores de la Plataforma Virtual de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Gestión 2019*.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico [AAPS] (2019b). *Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia. La Paz, Bolivia*.

Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico [AAPS] (2022). *Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas en Bolivia 2021 - Categoría C y D*, en: <https://bit.ly/3HvFRxH>

Cooperación Suiza en Bolivia (2019). "Gestión Ambiental Municipal - Documento de proyecto Fase II" (sin publicar).

Kappeler, A. (2022). *Modelo Conceptual de Gestión en base a estándares mínimos - piloto PTAR Tupiza*. HELVETAS.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMyA] (2010). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales*. GIZ. La Paz, Bolivia.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMyA] (2020). *Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales* (1º ed.), La Paz, Bolivia.

Rodríguez Serrano, J. A. (2008). "Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Capítulo IV: Lagunas de estabilización". Tesis de grado Universidad de Sonora, División de Ingeniería, en: <https://bit.ly/2MsAhSz>



HELVETAS Swiss Intercooperation - Bolivia  
Calle Gabriel René Moreno N° 1367  
Edificio Taipi Piso 2  
Urbanización San Miguel, Bloque H. Zona Calacoto  
Telef./Fax (+591) 2 2794487 - 2790826 - 2772716  
Casilla 2518  
La Paz, Bolivia

[bolivia@helvetas.org](mailto:bolivia@helvetas.org)  
[secretaria.bolivia@helvetas.org](mailto:secretaria.bolivia@helvetas.org)  
[www.helvetas.org/es/bolivia](http://www.helvetas.org/es/bolivia)

 @Helvetas.bo  
 @HelvetasBolivia  
 Helvetas Bolivia  
 helvetas\_bolivia  
 helvetas-bolivia



**AGUATUYA**   
Ingeniería + Gestión