



Planificación estratégica de saneamiento para el municipio de Cercado Tarija, Bolivia  
"Programa Modelos Descentralizados de Saneamiento en Bolivia"



## **Créditos**

**Título:** Planificación estratégica de saneamiento para el municipio de Cercado Tarija, Bolivia

**Autor:** "Programa Modelos Descentralizados de Saneamiento en Bolivia"

**Redacción:** Tomas Kipnis, Consultor Aguatuya.

**Revisión:** Lourdes Valenzuela, Directora de comunicación Aguatuya.

**Diseño y diagramación:** Gabriela A. Saavedra, Diseñador gráfico, Aguatuya.

**Fotos de portada e interiores:** Aguatuya.

**Año:** 2023

## **Contacto**

C. Nicolás Ortiz Pacheco N. 33 edificio TESAI, primer piso,  
oficina 1B - entre C. Antonio Salinas y Av. Calampampa.

Tel.: (591) 4 4242164

info@aguatuya.org

## **Primera edición**

© Aguatuya

Todos los materiales de Aguatuya están disponibles gratuitamente siguiendo el concepto de código abierto para el desarrollo de capacidades y el uso sin fines de lucro, siempre y cuando se haga el debido reconocimiento de la fuente cuando se utilice.

Los usuarios siempre deben dar crédito en las citas al autor original, la fuente y el titular de los derechos de autor.

Este documento está disponible en: [www.aguatuya.org](http://www.aguatuya.org)

## **Cochabamba - Bolivia**

# Contenido

## **01. Presentación**

*Propósito, alcance y supuestos de planificación.....* 5

*Flujo de actividades y contenidos.....* 6

## **02.Contextualización de condiciones y perspectivas locales**

*Territorio.....* 9

*Población.....* 11

*Condiciones de saneamiento actuales.....* 13

## **03. Definición de zonas para planificación de saneamiento**

*Estrategia general para la definición de zonas de planificación.....* 19

*Delimitación de subcuencas hidrográficas estratégicas.....* 20

*Delimitación de las distintas zonas de ocupación del territorio.....* 21

*Delimitación de los diferentes tipos y niveles de infraestructura.....* 23

*Definición de zonas de planificación para sistemas de saneamiento.....* 24

*Referencia de las zonas en relación a los distritos municipales existentes.....* 25

*Descripción de las zonas de planificación para los sistemas de saneamiento.....* 26

## **04. Estudio y conjunto de soluciones para cada zona**

*Alternativas generales posibles para cada zona.....* 31

*Alternativas de configuración de los sistemas de aguas residuales.....* 33

<i>Descripción general de los escenarios.....</i>	<i>35</i>
<i>Descripción Escenario I.....</i>	<i>37</i>
<i>Descripción Escenario II.....</i>	<i>43</i>
<i>Descripción Escenario III.....</i>	<i>49</i>

**05. Descripción general de las soluciones técnicas**

<i>SOLUCIÓN A: Análisis de capacidad PTAR San Blas.....</i>	<i>57</i>
<i>SOLUCIÓN B: Adecuación PTAR San Luis existente.....</i>	<i>58</i>
<i>SOLUCIÓN C: Nueva PTAR La Pintada.....</i>	<i>59</i>
<i>SOLUCIÓN D: PTAR semicentralizada.....</i>	<i>60</i>
<i>SOLUCIÓN E: Sistemas descentralizados basados en la gestión de lodos fecales.....</i>	<i>64</i>
<i>Ampliación de áreas de cobertura mediante alcantarillados simplificados (aplicable a las soluciones A, B, C y D).....</i>	<i>74</i>
<i>Adecuación y reposición de cámaras sépticas.....</i>	<i>75</i>
<i>Recuperación de recursos del tratamiento de aguas residuales y/o lodos fecales (aplicable a todas las soluciones)...</i>	<i>76</i>

**06. Comparación de los escenarios**

<i>Evaluación general basada en aspectos técnicos, financieros y socioambientales.....</i>	<i>81</i>
<i>Estimación de costes.....</i>	<i>89</i>
<i>Referencias.....</i>	<i>96</i>



# **01**

Presentación



# Propósito, alcance y supuestos de planificación

## Propósito

El alcance de esta consultoría fue diseñado para incluir estudios de planificación del servicio de saneamiento en el municipio de Cercado, Tarija, a través de soluciones adaptadas a los diferentes contextos de ocupación presentes en el Municipio.

Por lo tanto, es una herramienta de planificación estratégica, enumerando sistemas y servicios adaptados, teniendo en cuenta configuraciones centralizadas, semi-centralizadas y descentralizadas (basadas en la gestión de lodos fecales) para las áreas aplicables.

El enfoque de este trabajo es analizar técnicamente las potencialidades y condiciones para la atención integral en Tarija, ofreciendo soporte para futuras discusiones con agentes locales y municipales para la definición de sistemas de atención adecuados.

## Alcance

La planificación para avanzar con la situación del saneamiento local depende de una comprensión profunda de las condiciones y perspectivas locales, y de análisis de viabilidad y sostenibilidad de conjuntos de soluciones para diferentes contextos. En este proyecto, en vista de las discusiones obtenidas con los actores locales a lo largo de agosto de 2022, y la información disponible para el

desarrollo, se desarrolló un flujo lógico para alinear un enfoque común de soluciones de saneamiento en el territorio.

Por tanto, de forma complementaria a los estudios y proyectos ya desarrollados, el objetivo de este trabajo es perfilar una macroestrategia para el avance de estructuras y servicios, que abarque todo el territorio municipal, con soluciones adaptadas.

## Supuestos de planificación

Para encontrar soluciones eficaces, eficientes y sostenibles a largo plazo, se deben tener en cuenta una serie de supuestos de diseño:

- Flexibilidad de los sistemas para su adaptación y complementación, a lo largo de los años, este modelo permite una expansión orgánica de estructuras, de acuerdo a la demanda, y haciendo más accesibles las inversiones iniciales para la implementación.
- Sistemas diseñados teniendo en cuenta las proyecciones futuras de población, uso y ocupación del suelo, actividades económicas en la región y la posible legislación ambiental futura;
- Medidas estructurales (como la implementación de nuevos sistemas y/o ampliación de la planta de tratamiento de lodos) y estructurantes (como refuerzo ins-

titucional del programa y/o campañas de educación enfocadas a su socialización) operando en armonía;

- La recuperación de recursos como oportunidad de desarrollo local, además de hacer más viables y atractivos los sistemas de saneamiento;
- Soluciones adaptadas al contexto local con involucramiento de la población en la definición, implementación, operación y control de las acciones involucradas;
- El repertorio de soluciones presentadas debe garantizar alternativas adecuadas a los diferentes contextos encontrados.

## ATENDER LA VISIÓN 2032

*“Recolectar y tratar el 100% de las aguas residuales del municipio de Tarija, considerando las condiciones ambientales de la cuenca del río Guadalquivir, el reúso del agua tratada y la recategorización del río Guadalquivir”.*

# Flujo de actividades y contenidos

## Flujo de trabajo

La elaboración del plan estratégico de saneamiento para el municipio de Tarija incluyó una serie de actividades que permitieron analizar el territorio y sus condiciones en relación a la situación del alcantarillado sanitario local, explorando, además de la criticidad de los temas, las peculiaridades y potenciales que pueden conducir a ciertos tipos de soluciones.

Para ello, se elaboró un flujo de actividades de la manera en la que se observa en el cuadro de la derecha.





## 02

Contextualización de condiciones y perspectivas locales



# Territorio

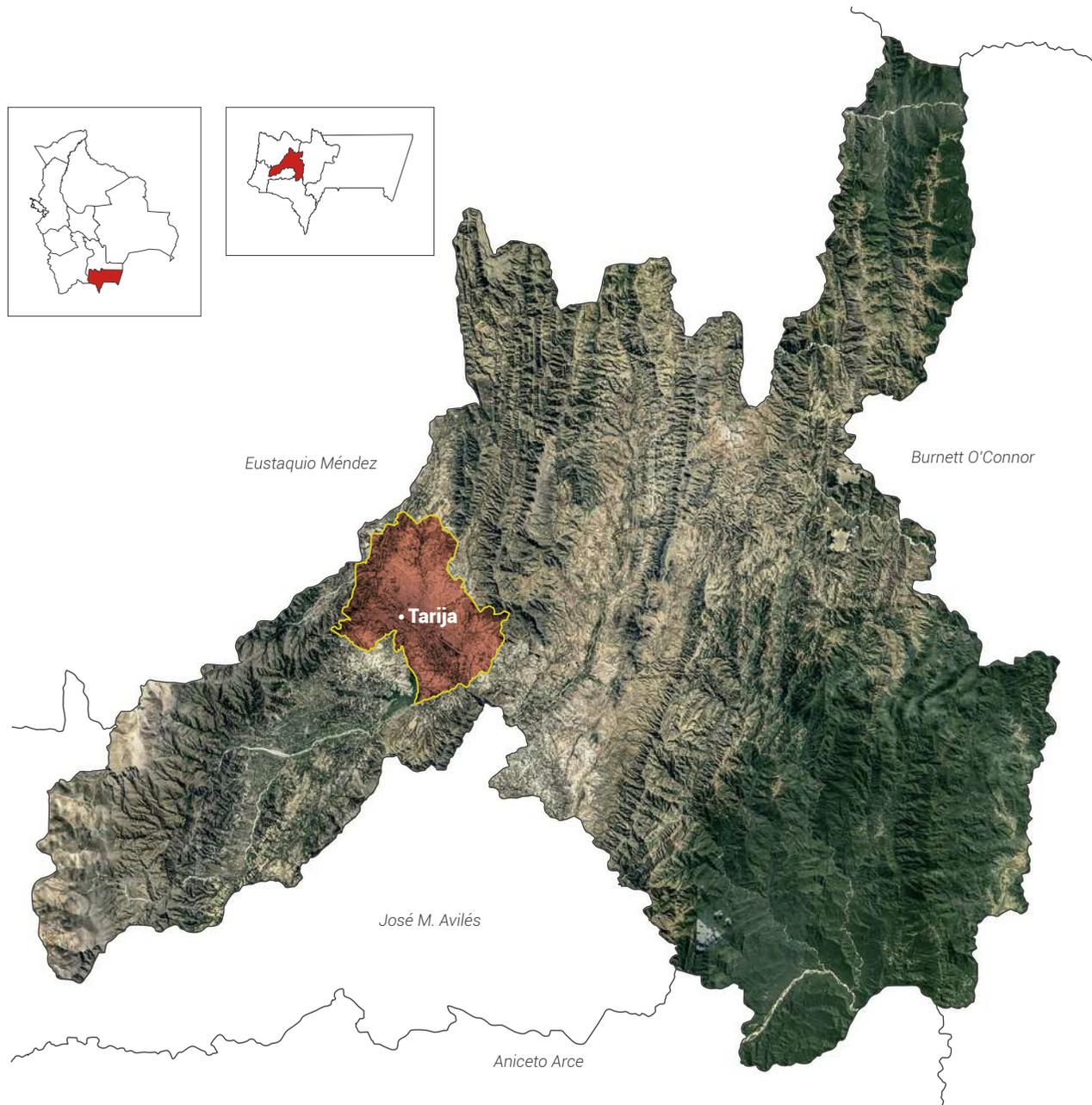
## Ubicación y características

El Municipio de Tarija, primera Sección de la provincia Cercado, situada en el centro-oeste del departamento de Tarija al sur de Bolivia, es una de las 6 provincias en que se divide el departamento, comprende la ciudad de Tarija - Capital, conformada por 22 distritos (13 urbanos y 8 rurales).

El municipio de Tarija ocupa toda la provincia Cercado del departamento, tiene una superficie de 2.638 km<sup>2</sup>. Limita al norte y oeste con los municipios de San Lorenzo y El Puente de la provincia de Eustaquio Méndez, al suroeste con el municipio de Yunchará y al sur con el municipio de Uriondo, ambos de la provincia de José María Avilés, al sureste con el municipio de Padcaya de la provincia de Aniceto Arce y al este con el municipio de Entre Ríos de la provincia de Burdet O'Connor.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
CIUDAD	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
Tarija	320382,213	7617760,980

REFERENCIAS	
•	Ciudad de Tarija
■	Límite del radio Urbano
□	Límite Provincial

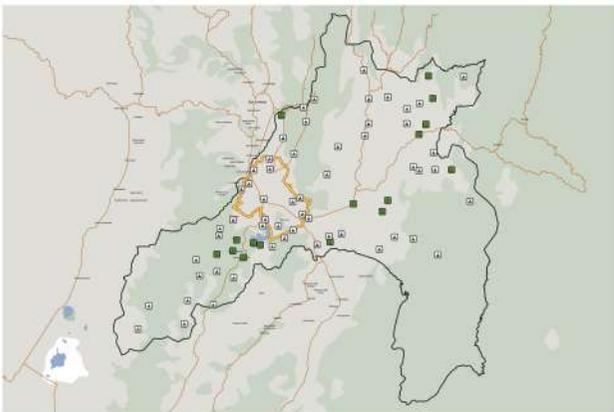




La **hidrografía de Tarija** fue elaborada en base al modelo topográfico local, destacando el río Guadalquivir y las quebradas de El Monte y San Pedro. La zona se ha dividido en 8 regiones de drenaje.



La **ocupación territorial de Tarija** puede dividirse entre intensiva (naranja) en las orillas del río Guadalquivir y extensiva (verde), al este y al oeste, con una expresiva expansión del crecimiento en la porción occidental.

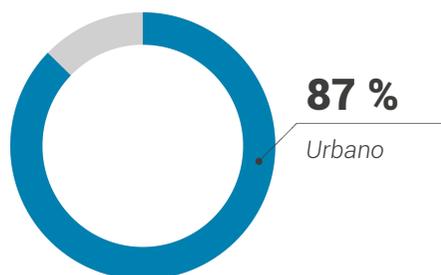


El **territorio del municipio** se extiende mucho más allá de la zona de expansión urbana, con una expresiva porción territorial al este, con 64 pueblos diseminados por su territorio.

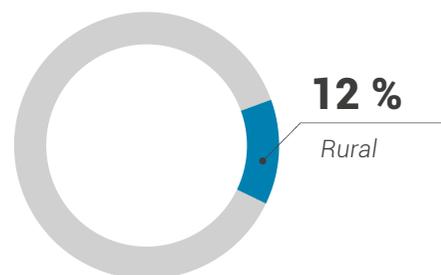
# Población

Población (INE, 2020)	
Año	Total
2017	246.025
2018	251.375
2019	256.723
2020	262.062

Urbano: 229.042



Rural: 33.020



Tipo	Nombre	Población 2014	% de población
Urbano	Distrito 1	5.427	2,1
	Distrito 2	10.092	3,9
	Distrito 3	8.678	3,4
	Distrito 4	9.189	3,6
	Distrito 5	11.265	4,4
	Distrito 6	25.261	9,8
	Distrito 7	24.075	9,4
	Distrito 8	33.399	13,0
	Distrito 9	34.018	13,3
	Distrito 10	27.869	10,9
	Distrito 11	12.758	5,0
	Distrito 12	6.877	2,7
	Distrito 13	24.171	9,4
<b>Total Urbano</b>		<b>233.079</b>	<b>91</b>
Rural	San Andrés	4.885	1,9
	Tolomosa	4.449	1,7
	Sella Cercado	2.860	1,1
	Santa Ana	3.111	1,2
	San Agustín	1.059	0,4
	Papachacra	2.212	0,9
	Junacas	4.059	1,6
	Alto España	774	0,3
<b>Total rural</b>		<b>23.409</b>	<b>9</b>
<b>TOTAL</b>		<b>256.488</b>	<b>100%</b>

Fuente: Plan de desarrollo Municipal de Tarija 2015 – 2019.



Zonas de Saneamiento	Población inicial (INE – i3GEO) <sup>1</sup>	Viviendas	Área de expansión (ha)	Población final proyectada <sup>2</sup>
Zona 01	1.976	583	249	4.993
Zona 02	14.503	4.030	139	16.187
Zona 03	53.519	16.804	58	54.222
Zona 04	22.940	6.478	39	23.413
Zona 05	45.110	13.445	95	46.261
Zona 06	3.443	997	3	3.479
Zona 07	3.017	861	91	4.120
Zona 08	3.182	1.005	1.115	16.693
Zona 09	10.735	3.225	176	12.868
Zona 10	746	227	369	5.217
Zona 11	2.326	802	526	8.700
Zona 12	175	72	258	3.301
Zona 13	188	50	206	2.684
Zona 14	44.642	12.642	379	49.234
Zona 15	2.788	856	211	5.345
Zona 16	484	167	414	5.501
Zona 17	3.876	1.401	-	4.845
Zona 18	2.328	1.001	-	2.910

<sup>1</sup> Debido a la necesidad de definir la población según áreas de saneamiento, se utilizó la base estadística de la plataforma i3GEO – INE, la cual tiene una desagregación a nivel de agrupamientos. También se observa que los datos presentados en la plataforma están desactualizados y es necesario un estudio de actualización de las poblaciones atendidas para avanzar en la planificación local de saneamiento.

<sup>2</sup> La proyección poblacional se realizó con base en el "Estudio de Diseño Técnica de Preinversión (EDTP) construcción de colectores, emisario y planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Tarija" considerando una tasa de crecimiento del 25% para el horizonte de planificación. Teniendo en cuenta que la previsión de expansión de la población se refiere principalmente a las zonas de expansión urbana (como se muestra en el mapa de la página 15), la previsión de aumento de la población (referida al 25%) se aplicó a estas nuevas zonas. La distribución de esta población entre las zonas se hizo de forma proporcional a la área de superficie de cada zona. Aunque sea una estimación, este método parece más coherentes que los considerados anteriormente, que mostraban poblaciones muy bajas para estas zonas.

## Condiciones de saneamiento actuales

### Prestadora de servicios local:

La entidad encargada de realizar la distribución y suministro de agua potable en la ciudad de Tarija y la provincia Cercado es la Cooperativa de Servicio de Agua y Alcantarillado Tarija (COSAALT). Siendo este a la fecha el único ente avalado y autorizado por las autoridades competentes y correspondientes para que realice tal cometido.

### Datos de cobertura infraestructura de saneamiento:

En el municipio de Tarija, según datos del Censo de Población realizado en 2012, aproximadamente 68% de los domicilios cuentan con conexión de agua por cañería y 82% de las viviendas tienen servicio de alcantarillado. El municipio cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales: PTAR San Luis y PTAR San Blas, esta última inaugurada en 2021. También se observan varios sistemas aislados, donde el tratamiento de las aguas residuales sanitarias se realiza mediante cámaras sépticas y luego se descargan a las quebradas locales. Además, existen áreas de expansión urbana, especialmente en la porción noroeste del territorio, donde no existe un sistema de alcantarillado, sino el uso de soluciones individuales o la descarga de aguas residuales sin tratar a los cuerpos de agua.

Cooperativa de servicios de agua y alcantarillado Tarija LTDA.			
			
<b>Departamento</b>	Tarija	<i>Población de área de servicio</i>	298,167
<b>Provincia</b>	Cercado	<i>Conexiones de agua potable</i>	42,231
<b>Municipio</b>	Tarija	<i>Conexiones de alcantarillado</i>	36,404

Fuente: Indicadores de Desempeño 2020 - Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico.



<b>Nro.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cuerpo receptor</b>	<b>Capacidad (m³)</b>	<b>Margen del río</b>	<b>Infraestructura</b>
1	San Jorge II	Quebrada Torrecillas	40	Izquierdo	Cámara séptica
2	7 de Septiembre - Luis Espinal	Quebrada San Pedro	100	Izquierdo	Cámara séptica
3	Barrio Petrolero San Luis	Río Guadalquivir	100	Izquierdo	Cámara séptica
4	Barrio San Gerónimo	Quebrada San Pedro	18	Izquierdo	Cámara séptica
5	San Gerónimo Viviendas LAB	Quebrada El Monte	18	Izquierdo	Cámara séptica
6	Barrio El Tejar "ESBAPOL"	Quebrada El Monte	36	Izquierdo	Cámara séptica
7	Barrios Morros Blancos	Quebrada San Pedro	40	Izquierdo	Cámara séptica
8	Barrio San Luis sector Oller	Río Guadalquivir	100	Izquierdo	Cámara séptica
9	Barrio San Luis sector del Gringo	Río Guadalquivir	100	Izquierdo	Cámara séptica
10	Barrio San Luis sector Torrecillas	Quebrada Torrecillas	60	Izquierdo	Cámara séptica
11	Barrio San Luis sector Colegio Alemán del sud	Quebrada Torrecillas	25	Izquierdo	Cámara séptica
12	Barrio El Carmen de Aranjuez	Río Guadalquivir	42	Derecho	Cámara séptica
13	Barrio Areopuerto	Quebrada San Pedro		Izquierdo	Cámara séptica
14	Barrio Fabril 15 de abril Rosedal	Quebrada San Pedro		Izquierdo	Cámara séptica

## Datos de cobertura infraestructura de saneamiento – Estudio GIZ/PERIAGUA

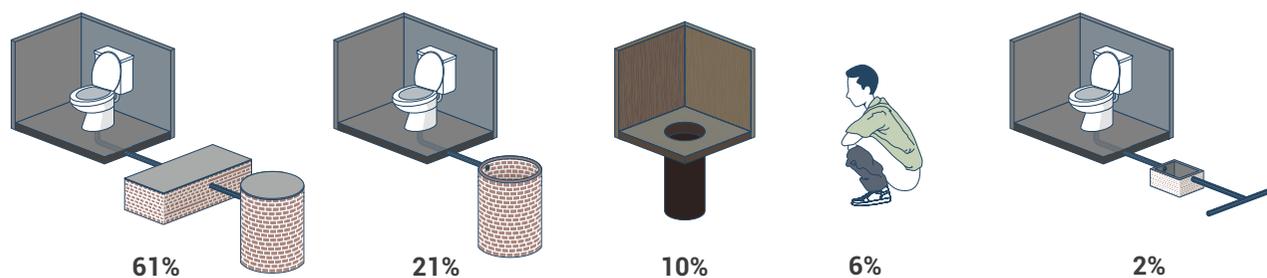
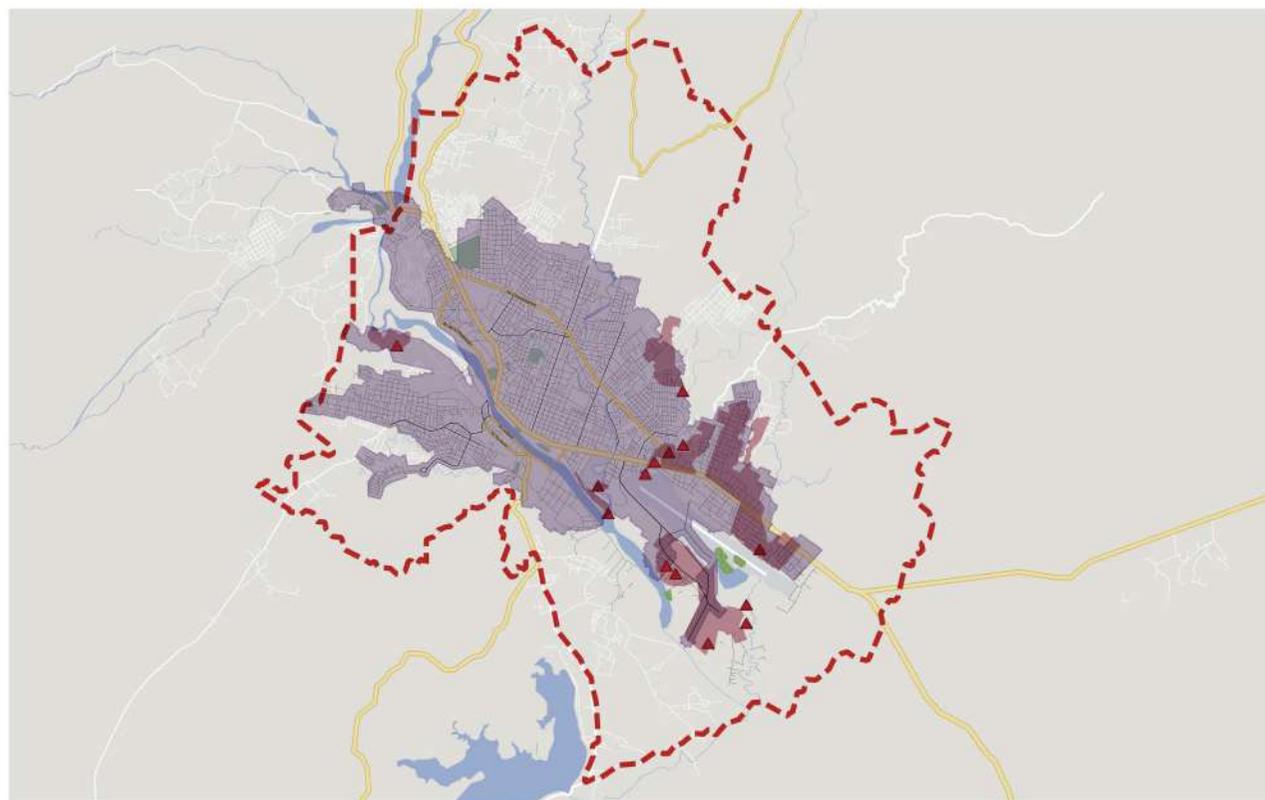
Identificación y Caracterización de las Soluciones de Saneamiento y Residuos Sólidos en el área periurbana y rural de Tarija y San Lorenzo - Septiembre, 2022.

La región de estudio comprendió toda el área periurbana y rural donde no existe alcantarillado sanitario (Ilustración al lado).

En la zona analizada se identificaron 25.791 viviendas donde habitan 125.602 personas (5 miembros por vivienda). Se encuestaron 1.377 hogares para configurar una muestra de la población analizada.

Los tipos de sistemas de saneamiento en el área de estudio fueron:

- 61% de las viviendas cuentan con pozo de infiltración;
- 21% cuentan con cámara séptica y pozo de infiltración;
- 10% cuentan con letrina;
- 6% manifestó no contar con baño alguno;
- 2% manifestó estar conectado a un sistema de alcantarillado sanitario.

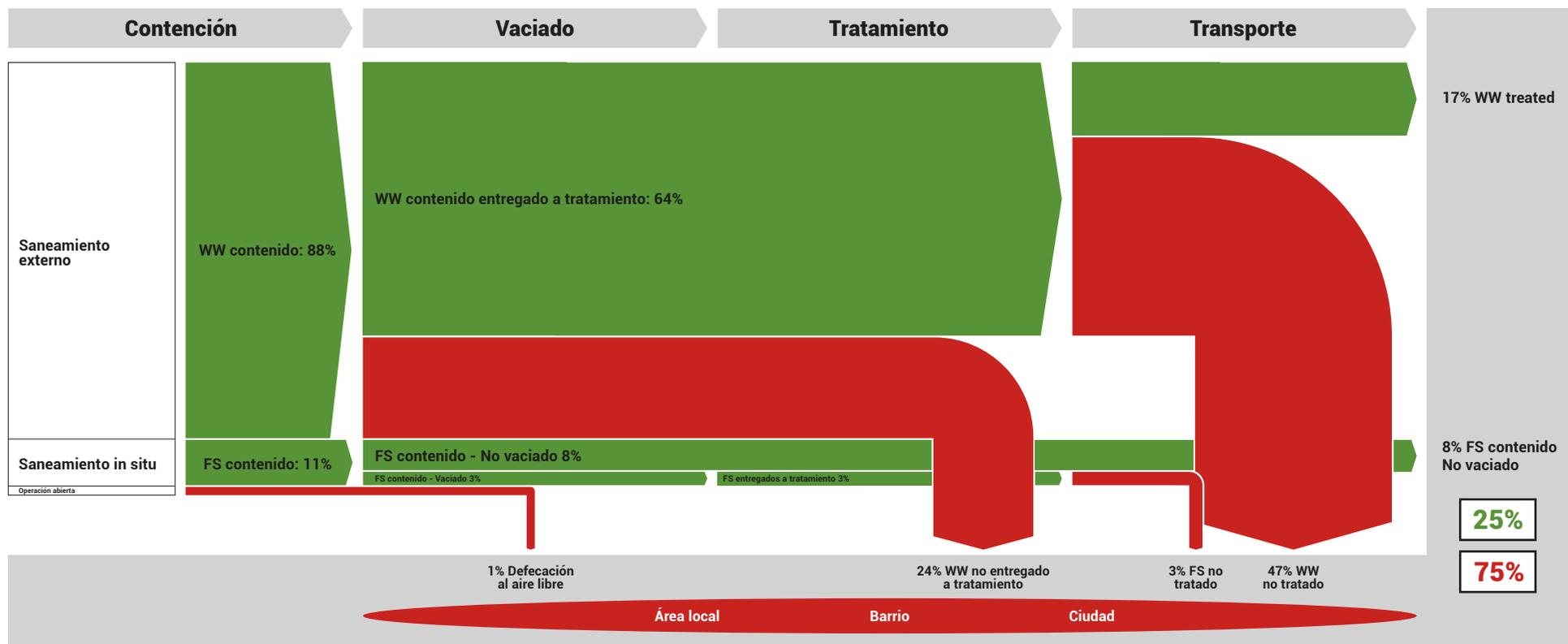


## Diagrama de heces fecales SFD tarija 2019

Lamentablemente, no existe en COSAALT un registro ordenado de los procesos de vaciado de las tecnologías de saneamiento in situ. A parte de las 11 grandes cámaras sépticas barriales, existen viviendas que tienen cámaras domiciliarias, que acuden al servicio que presta COSAALT para el vaciado y limpieza de éstas.

No se cuenta con un proveedor de servicio particular. Por tanto, las familias acuden a COSAALT para recibir el servicio que tiene un costo determinado por la EPSA. La cadena de servicios no tiene una gestión optimizada y en la prestación de los servicios se tiene muchas deficiencias (Figura 4).

Para los sectores de la ciudad que no descargan sus aguas residuales a las lagunas, existen 11 cámaras sépticas. Dichas cámaras están completamente colapsadas y no se produce ningún tratamiento primario alguno. Es decir, sus efluentes son vertidos al río sin ningún tipo de tratamiento.





### **03**

Definición de zonificación para planificación de saneamiento



## Estrategia general para la definición de zonas de planificación

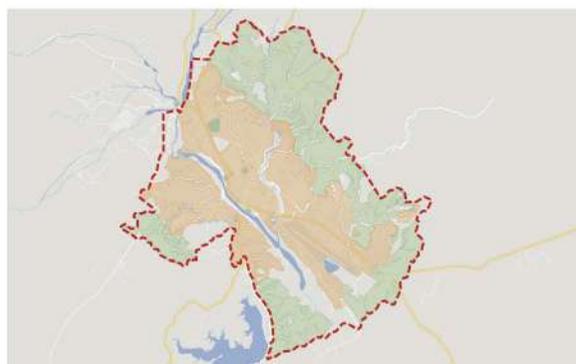
El primer paso en el proceso de planificación de la solución es la identificación de las condiciones locales, los problemas relacionados con el saneamiento que se enfrentan y cómo estos aspectos se distribuyen en el territorio. Además de diagnosticar los problemas existentes, la definición de una zonificación estratégica, que reconozca la heterogeneidad local y agrupe territorios en condiciones similares, posibilita el estudio de soluciones adaptadas al territorio. Por lo tanto, con base en información brindada por actores locales y estudios ya realizados sobre saneamiento en Tarija, este trabajo propone la definición de áreas estratégicas en base a tres factores:

- Divisiones de las subcuencas hidrográficas de la cabecera municipal;
- Tipos de ocupación (urbana, periurbana y rural); y la infraestructura de alcantarillado existente.

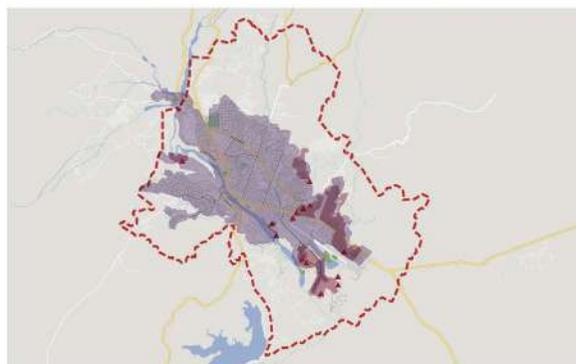
Las zonas resultantes proporcionan una unidad territorial estratégica para la selección de soluciones y gestión de avances en estructuras y servicios. En esta planificación, que considera más factores técnicos que administrativos, estas divisiones son más relevantes y decisivas que la división de los distritos de Tarija. Sin embargo, si ayuda a monitorear las acciones, en el futuro es posible crear correlaciones entre estas diferentes formas de dividir el territorio. Por ahora, las estructuras y modelos de servicios para el Municipio se estudiarán a partir de las áreas resultantes de la intersección de los tres factores clave enumerados en este capítulo.



*Las regiones de drenaje se definieron a partir de la base topográfica SRTM proporcionada por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos de América (NASA), con una resolución de 30 metros. A los efectos de esta macroplanificación, esta base es adecuada. Las cuencas de escorrentía se determinaron utilizando herramientas específicas del software Quantum GIS versión 3.27.*

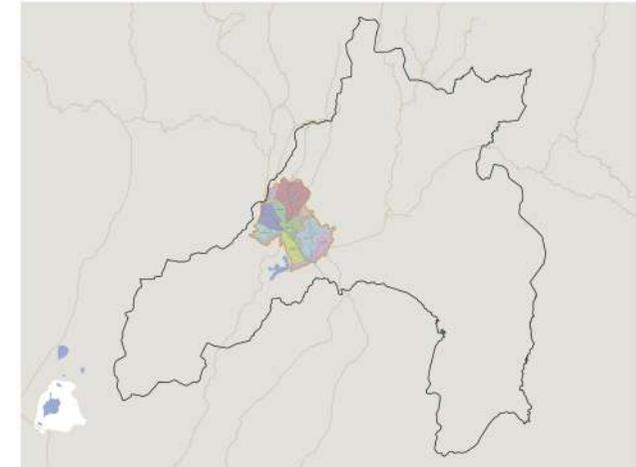
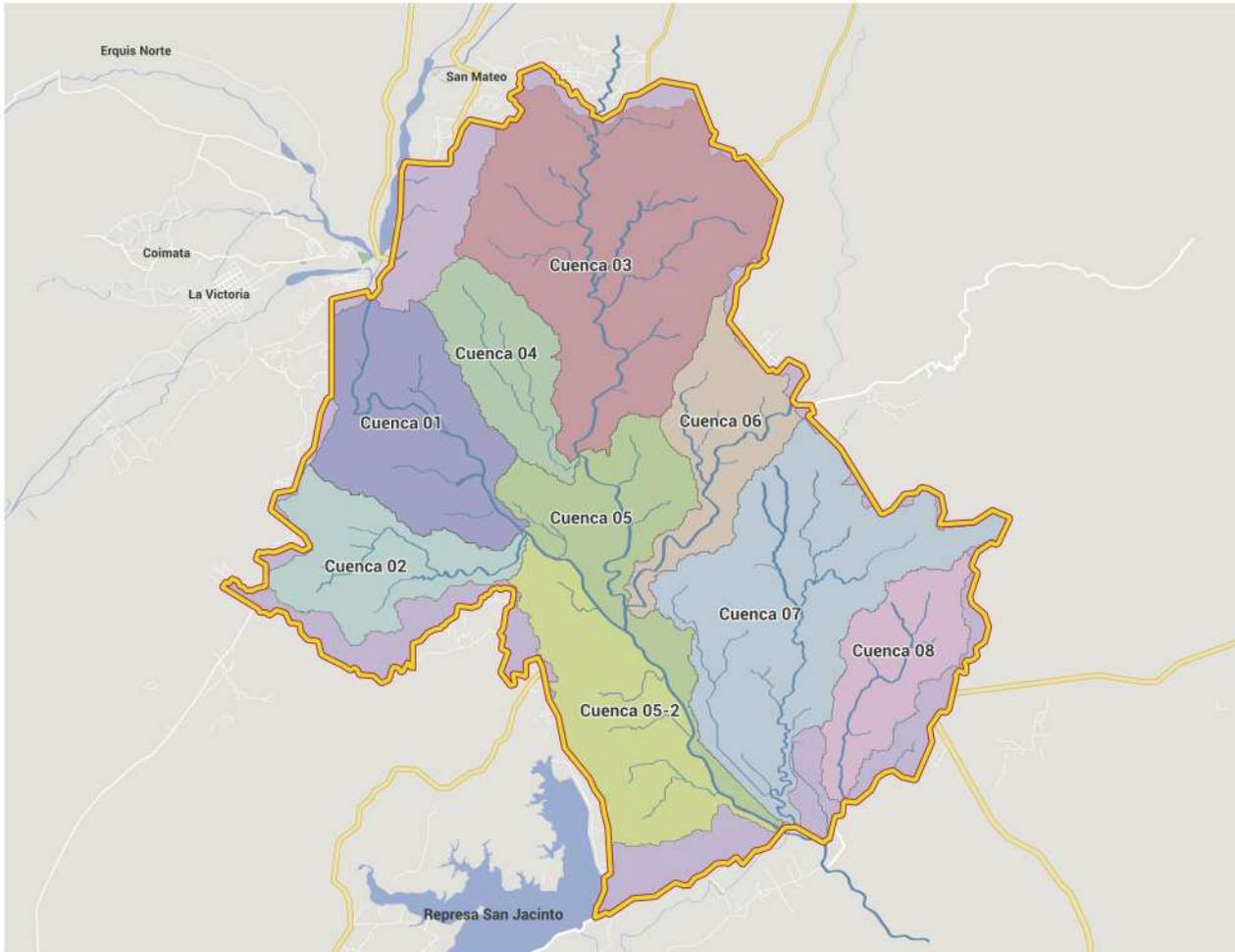


*La zonificación del área de expansión urbana, considerando lugares de ocupación intensiva (naranja), extensiva (verde) y áreas de protección, fue puesta a disposición por GIZ/Periagua en formato vectorial, componiendo información considerada en la tipificación de las diferentes formas de ocupación del territorio. En los lugares donde la ocupación se ha expandido más allá de las bases actuales, se consideró la clasificación supervisada.*



*La identificación y ubicación de la infraestructura de alcantarillado sanitario consideró la asignación de estaciones de tratamiento de aguas residuales, cámaras sépticas compartidas y la red de recolección existente. Dicha información fue puesta a disposición por GIZ Periagua en formato vectorial y en mapas digitalizados que fueron georreferenciados para permitir la extracción de información.*

## Delimitación de subcuencas hidrográficas estratégicas

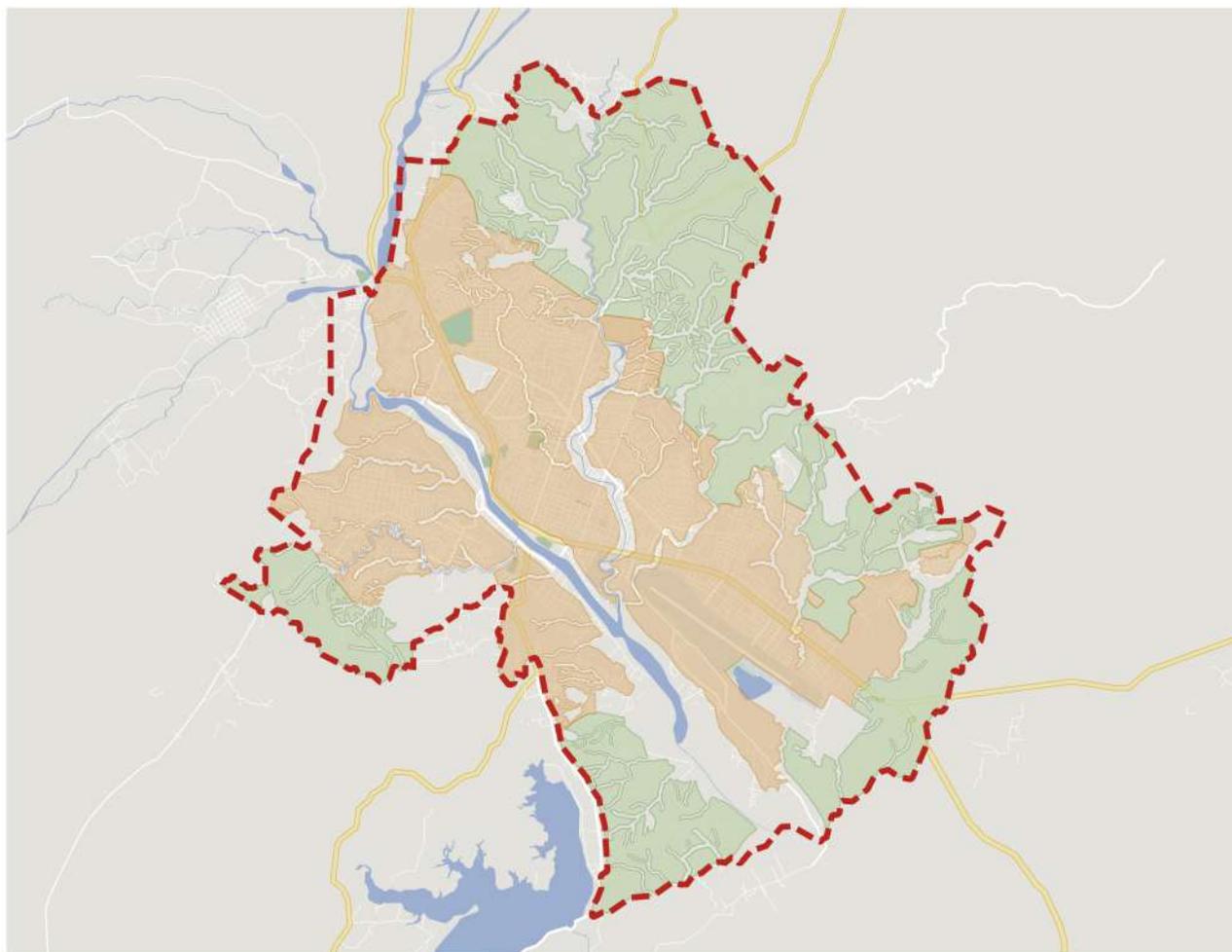


La delimitación de las subcuencas de Tarija tomó en cuenta la topografía local, junto con la formación de las quebradas y río.

Así, existe la delimitación de 8 cuencas diferentes. Esta definición se centra en áreas de expansión urbana, ya que para el área rural la división de cuencas es menos determinante, ya que las soluciones de alcantarillado son menos viables en estos contextos.

- Cuenca 1** - Río Guadalquivir.
- Cuenca 2** - Quebrada orilla Oeste del Río Guadalquivir.
- Cuenca 3** - Quebrada El Monte.
- Cuenca 4** - Quebrada El Monte.
- Cuenca 5-1** - Río Guadalquivir - margen izquierda.
- Cuenca 5-2** - Río Guadalquivir - margen derecha.
- Cuenca 6** - Quebrada San Pedro.
- Cuenca 7** - Quebrada orilla Este del Río Guadalquivir.
- Cuenca 8** - Quebrada orilla Este del Río Guadalquivir.
- Cuencas marginales** - Marcadas en verde claro.

## Delimitación de las distintas zonas de ocupación del territorio

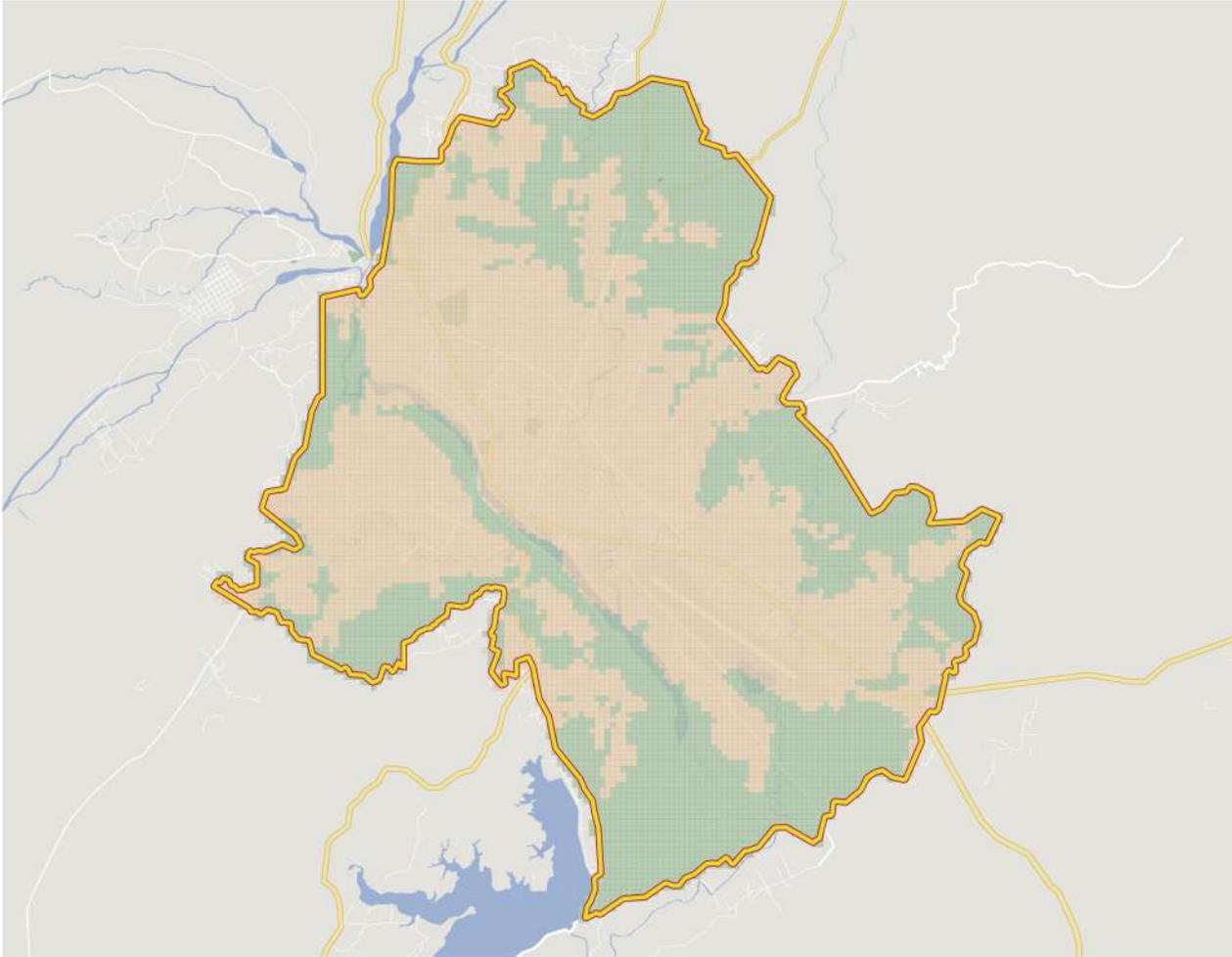


La delimitación de las diferentes formas de ocupación del territorio consideró la información entregada por el Municipio. La base proporcionada identifica el área urbana ya consolidada y el área de expansión urbana (área periurbana). Cruzando esta información con los límites del Municipio, fue posible identificar las extensiones de las zonas rurales.

Además de estas 3 macrodivisiones, existen también algunos distritos rurales (agrupaciones aisladas de la cabecera municipal), que configuran una situación propia, y constituyen una categoría adicional, dentro del área rural.

- Área urbana.
- Área periurbana.
- Zona rural difusa.

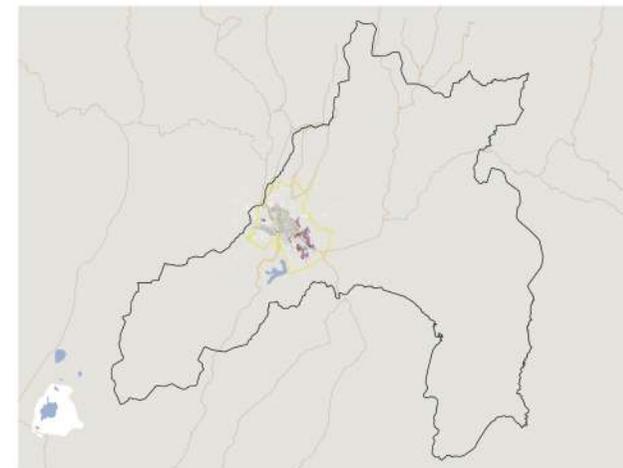
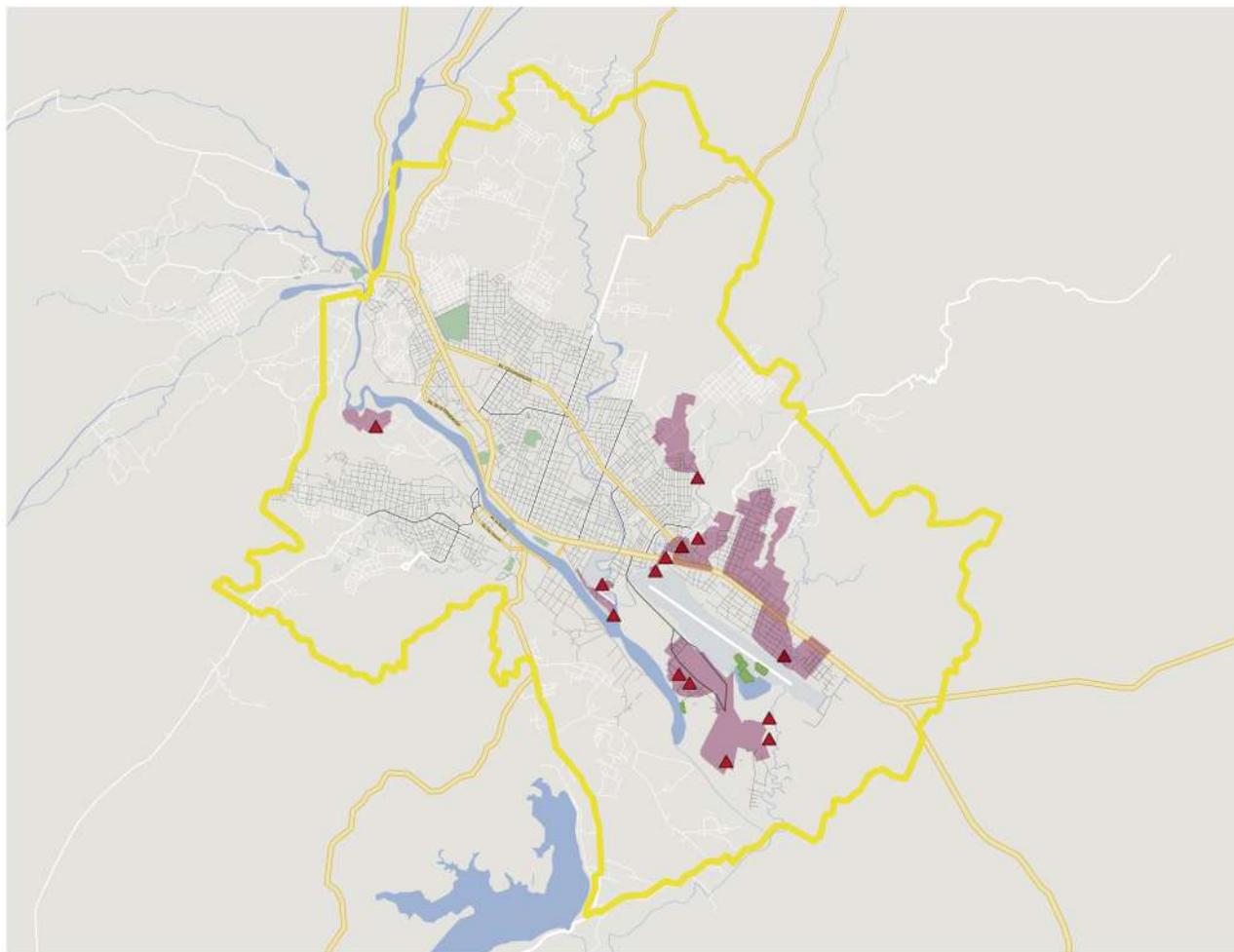
## Delimitación de las distintas zonas de ocupación del territorio



Durante el desarrollo de las actividades de mapeo del área de expansión urbana de Tarija, se observó que los puntos de ocupación en la ciudad presentaban una gran expansión con relación a los datos reportados inicialmente. De esta forma, se realizó una actualización de la ocupación del territorio a fin de permitir la formulación de territorios estratégicos y la implementación de soluciones de alcantarillado sanitario.

Para ello, la región de expansión urbana se seccionó mediante un grid de 100 m de espaciamiento y cada rectángulo (área de 1 hectárea) se clasificó como intensamente ocupado (urbanización del área del polígono mayor al 50%) o extensivamente ocupado (urbanización del polígono superficie menor al 50%). El resultado de esta clasificación se presenta al lado y muestra, en naranja, la región de la ciudad intensamente ocupada, con un aumento evidente en relación con los datos primarios disponibles.

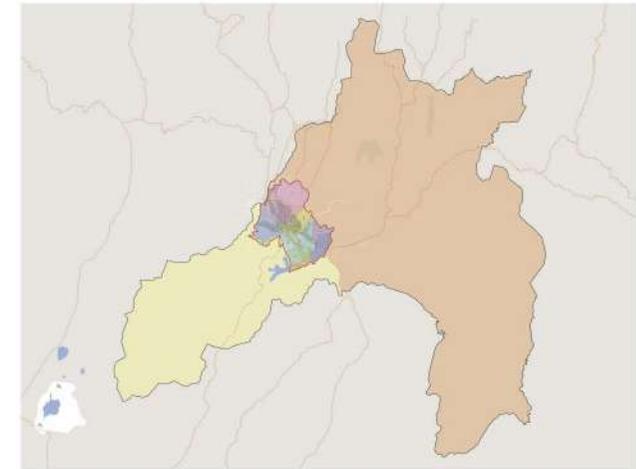
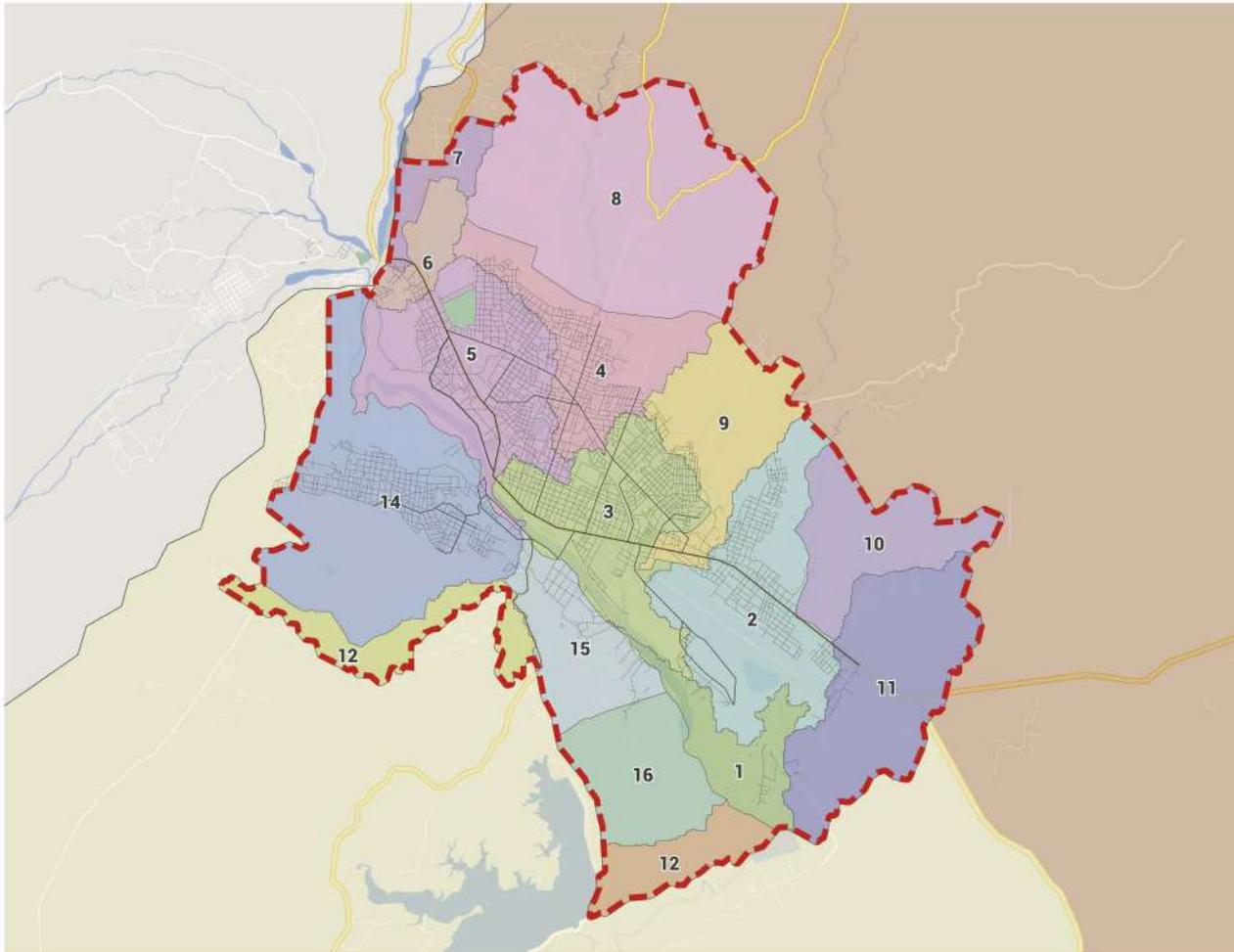
## Delimitación de los diferentes tipos y niveles de infraestructura



La delimitación de áreas según los tipos y nivel de desarrollo del sistema de alcantarillado se basó en los datos de registro proporcionados por el programa Periagua. Esta información georreferenciada permite verificar las áreas atendidas por diferentes tipos de alcantarillado, o sin estas estructuras.

- *Red de recolección PTAR de San Blas.*
- *Red de recolección PTAR San Luis.*
- *Área con cámara séptica común.*
- *Área con soluciones individuales.*

## Definición de zonas de planificación para sistemas de saneamiento

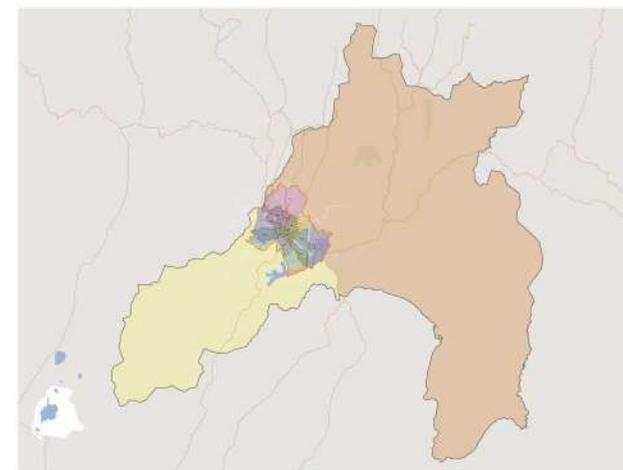
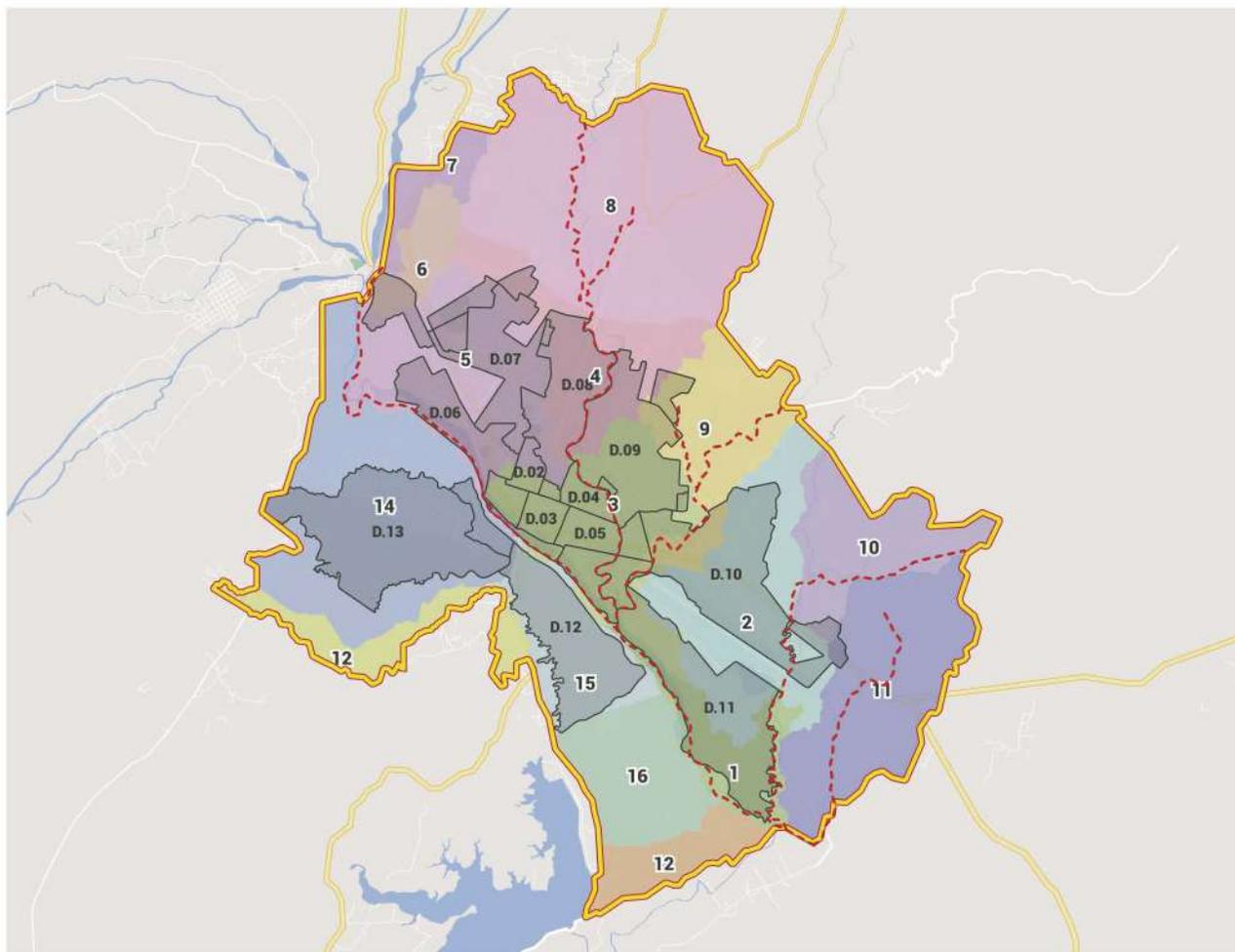


Del cruce de las diferentes informaciones antes mencionadas, se identificó el conjunto de zonas posibles para la planificación del saneamiento de Taraja. Luego se analizaron estas zonas, verificando posibles agrupaciones entre ellas, para hacer más funcional el planeamiento. Como resultado, se definieron 18 zonas estratégicas, para las cuales se estudiarán diferentes soluciones.

Urbano	Periurbano	Rural
Zona 1	Zona 7	Zona 17
Zona 2	Zona 8	Zona 18
Zona 3	Zona 9	
Zona 4	Zona 10	
Zona 5	Zona 11	
Zona 6	Zona 12	
Zona 14	Zona 13	
Zona 15	Zona 16	

\* Zonas que tienen área que no contribuye al área de expansión urbana.

## Referencia de las zonas en relación a los distritos municipales existentes



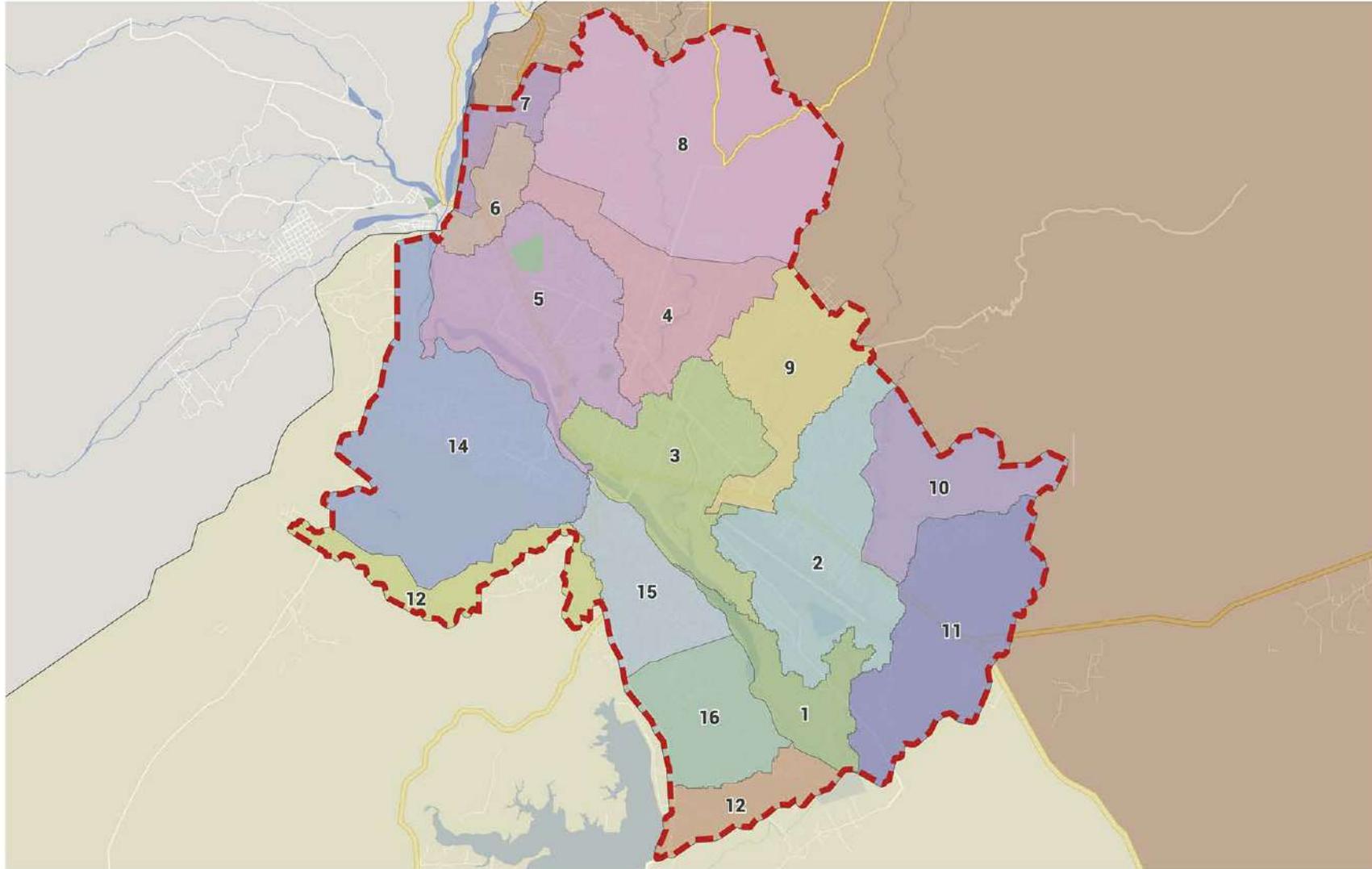
Para correlacionar las zonas resultantes con las unidades de gestión municipal existentes, se superpuso a la zonificación el mapa de los términos municipales ya consolidados.

Los resultados de esta verificación muestran que, aunque haya distritos divididos por dos zonas, o más de un distrito por zona, en la mayoría de los casos las zonas generadas podrían correlacionarse fácilmente con la toma de decisiones y las acciones/ inversiones asignadas en función de los distritos.

Cabe destacar que para las zonas de expansión urbana aún no cuentan con distritos definidos (o al menos no se presentaron estos límites territoriales en el ámbito de este trabajo de planificación).

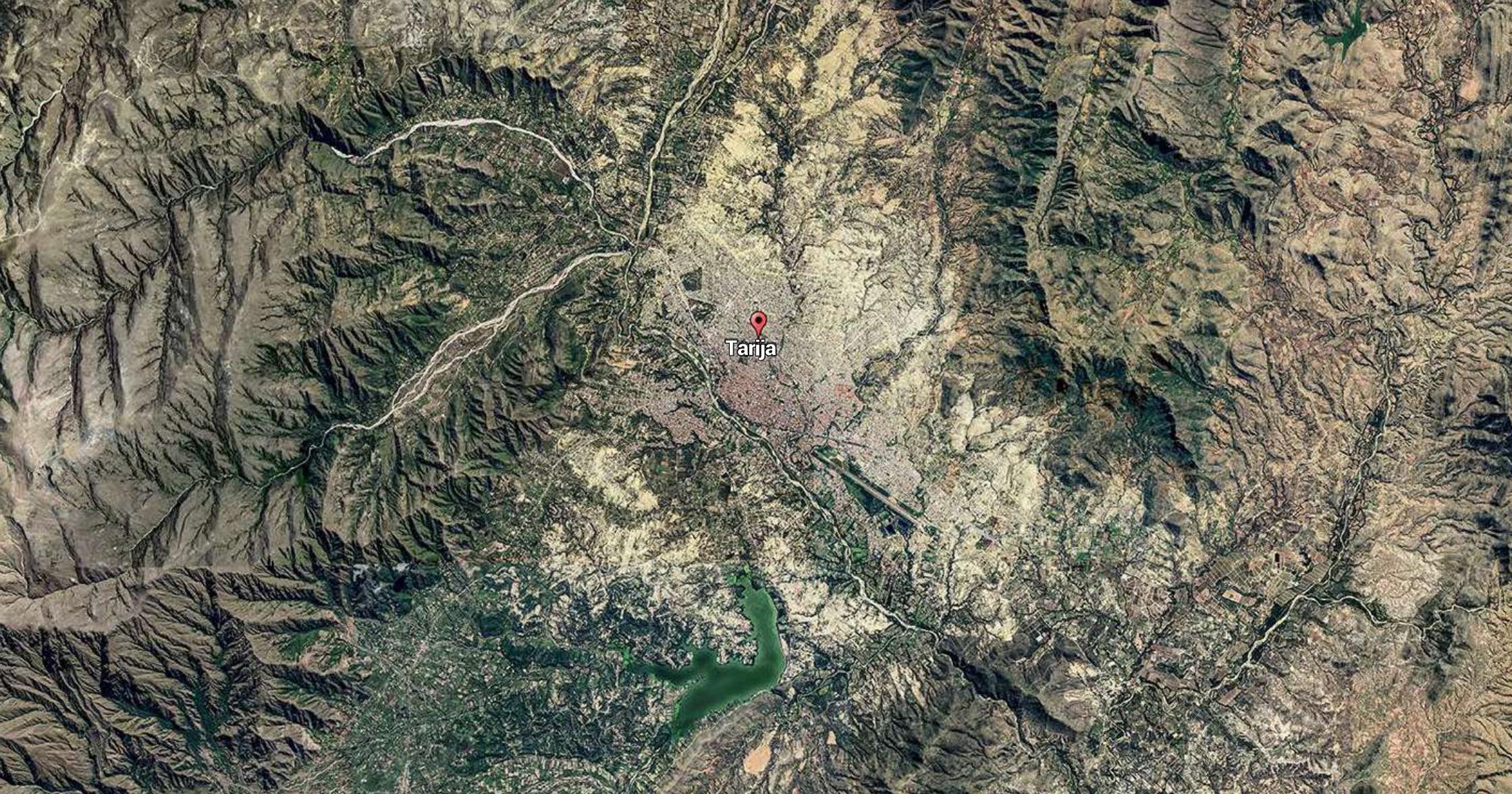
# Descripción de las zonas de planificación para los sistemas de saneamiento

Formas de ocupación, contexto de la subcuenca, alcantarillado existente y población por zona



Zona	Tipo	Contexto de la subcuenca	Estructuras de alcantarillado existentes	Pob.	Dom.
Zona 1	Urbana	Poco urbanizada, con aportación directa al río Guadalquivir.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	4.993	1.249
Zona 2	Urbana	Intensamente urbanizada, aporte a quebradas.	Cobertura parcial por red de recolección. Envía las aguas residuales a la PTAR San Luis, cámaras sépticas y la parcela con descarga directa a un cuerpo de agua.	16.187	4.047
Zona 3	Urbana	Intensamente urbanizada, aportación directa al río Guadalquivir y también a quebradas.	Cobertura total por red de recolección. Envía aguas residuales en su mayoría a la PTAR San Luis, hay pocas cámaras sépticas.	54.222	13.556
Zona 4	Urbana	Intensamente urbanizada, aporte a la quebrada El Monte.	Amplia cobertura por red de recolección. Envía las aguas residuales a la PTAR San Luis y la parcela con descarga directa a la quebrada.	23.413	5.854
Zona 5	Urbana	Intensamente urbanizada, aportación directa al río Guadalquivir.	Amplia cobertura por red de recolección. Envía las aguas residuales a la PTAR San Luis y la parcela con descarga directa a un cuerpo de agua.	46.261	11.566
Zona 6	Urbana	Intensamente urbanizada, aportación directa al río Guadalquivir.	Baja cobertura por red de recolección. Envía las aguas residuales a la PTAR San Luis y la parcela con descarga directa a un cuerpo de agua.	3.479	870
Zona 7	Periurbana	Poco urbanizada, aportación directa al río Guadalquivir.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	4.120	103
Zona 8	Periurbana	Zona de rápida densificación urbana, con aporte principal a la quebrada El Monte.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	16.693	4.174
Zona 9	Periurbana	Zona de rápida densificación urbana, con aporte principal a la quebrada San Pedro.	Baja cobertura por red de recolección, descargas en cámara séptica y directas en cuerpo de agua.	12.868	3.217
Zona 10	Periurbana	Poco urbanizada, con aportación directa a quebradas.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	5.217	1.305

Zona 11	Periurbana	Poco urbanizada pero con un importante aumento de ocupación, con aportación directa a quebradas.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a quebradas y río.	8.700	2.900
Zona 12	Periurbana	Poco urbanizada, con aporte directo al río aguas abajo de la presa San Jacinto.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	3.301	1.101
Zona 13	Periurbana	Poco urbanizada pero con un importante aumento de ocupación, con aportación directa a quebradas.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	2.684	672
Zona 14	Periurbana	Zona de rápida densificación urbana, con aporte principal a la quebrada.	Amplia cobertura por parte de la red de recolección, con derivación a PTAR San Blas, uso de cámara séptica y descargas directas a cuerpos de agua.	49.234	12.309
Zona 15	Urbana	Poco urbanizada pero con un importante aumento de ocupación, con aportación directa al río Guadalquivir.	Cobertura media por red de recolección, con derivación a PTAR San Blas y descargas directas a cuerpos de agua.	5.345	1.337
Zona 16	Periurbana	Poco urbanizada, con aportación directa al río Guadalquivir.	Sin cobertura de red de recolección, descargas directas a cuerpos de agua.	5.501	1.834
Zona 17	Rural	Ubicada al oeste del área de expansión urbana, sus principales comunidades se encuentran cercanas al centro urbano de Tarija.	Sin estructura de alcantarillado.	3.876	1.401
Zona 17	Rural	Ubicado al este del área de expansión urbana, cuenta con comunidades más alejadas del centro urbano de Tarija.	Sin estructura de alcantarillado.	2.328	1.001



## **04**

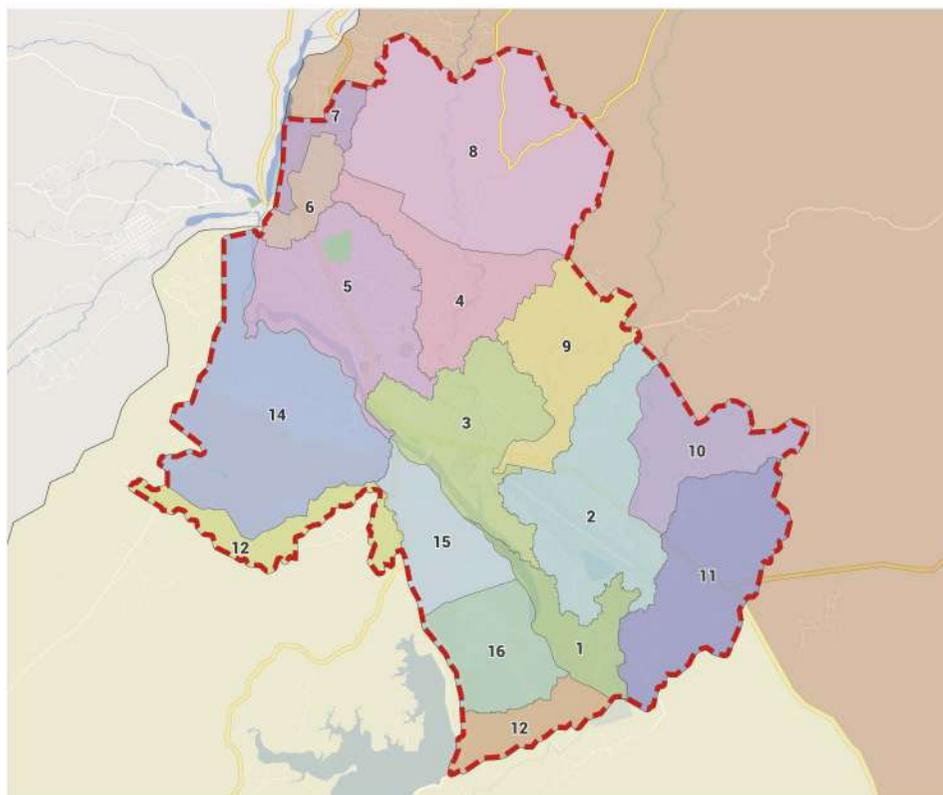
Estudio y conjunto de soluciones para cada zona



## Alternativas generales posibles para cada zona

Considerando las condiciones de las diferentes zonas enumeradas, las perspectivas y problemáticas enumeradas por los actores locales (en las reuniones realizadas en julio de 2022) y una lectura técnica de las condiciones físicas y formas de ocupación de Tarija, se plantearon las posibles soluciones macro para cada zona.

Esta lista no tiene en cuenta qué alternativas tienen más o menos sentido, solo enumera posibles soluciones para una evaluación comparativa adicional.



DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS POR ZONA	
<b>Zona 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta PTAR San Luis.</li> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta nueva PTAR La Pintada.</li> <li>☞ Sistemas GLF, con posible futura interconexión en cualquiera de los anteriores.</li> </ul>
<b>Zona 2</b>	☞ Sistema existente, con alcantarillado pro gravedad hasta PTAR San Luis.
<b>Zona 3</b>	☞ Sistema existente, con alcantarillado pro gravedad hasta PTAR San Luis.
<b>Zona 4</b>	☞ Alcantarillado hasta PTAR San Luis desviado a nueva PTAR La Pintada.
<b>Zona 5</b>	☞ Sistema existente, con alcantarillado pro gravedad hasta PTAR San Luis.
<b>Zona 6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, pro gravedad, hasta PTAR San Luis.</li> <li>☞ Alcantarillado hasta PTAR San Luis desviado a nueva PTAR La Pintada.</li> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> </ul>
<b>Zona 7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta PTAR San Luis.</li> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta nueva PTAR La Pintada.</li> </ul>
<b>Zona 8</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta PTAR San Luis.</li> </ul>
<b>Zona 9</b>	☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta nueva PTAR La Pintada.
<b>Zona 10</b>	☞ Sistemas GLF, con posible futura interconexión en cualquiera de los anteriores.

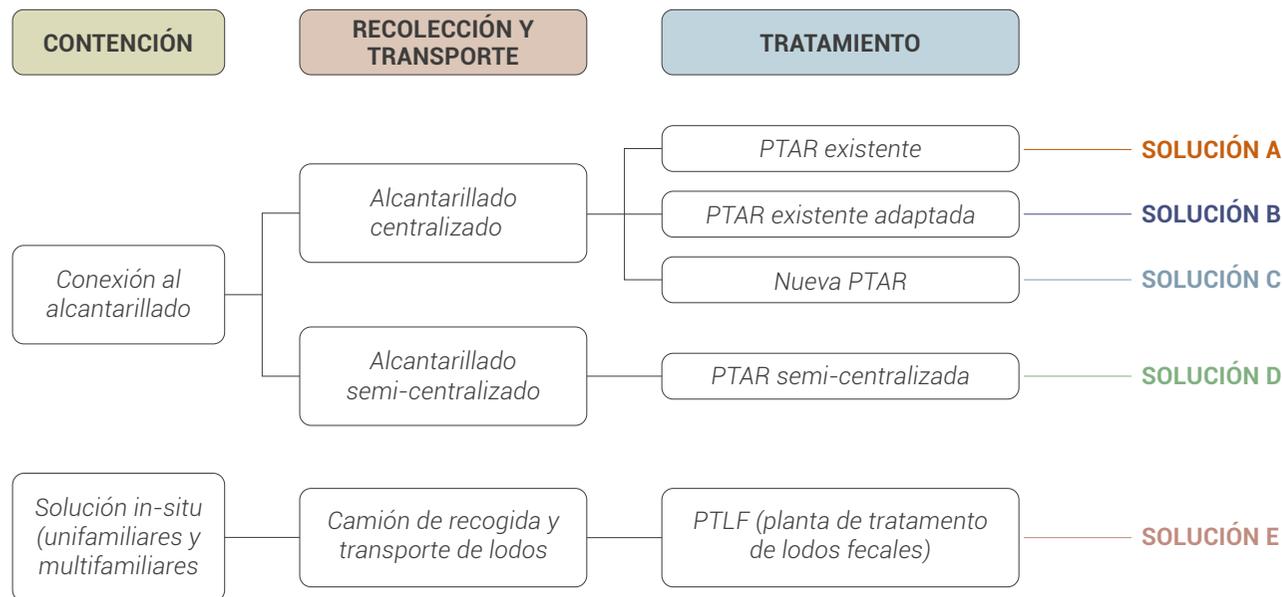
<b>Zona 11</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Nuevo alcantarillado, con necesidad de bombeo, hasta PTAR San Luis.</li> <li>☞ Nuevo alcantarillado pro gravedad hasta nueva PTAR Pintada.</li> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> <li>☞ Sistemas GLF, con posible futura interconexión en cualquiera de los anteriores.</li> </ul>
<b>Zona 12</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> <li>☞ Nuevo alcantarillado, con necesidad de bombeo, hasta PTAR San Blás.</li> <li>☞ Ampliación de la red de alcantarillado, por gravedad, hasta nueva PTAR La Pintada.</li> <li>☞ Sistemas GLF, con posible futura interconexión en cualquiera de los anteriores.</li> </ul>
<b>Zona 13</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Sistema semi-centralizado.</li> <li>☞ Nuevo alcantarillado, con necesidad de bombeo, hasta PTAR San Blás.</li> <li>☞ Sistemas GLF, con posible futura interconexión en cualquiera de los anteriores.</li> </ul>
<b>Zona 14</b>	
<b>Zona 15</b>	☞ Alcantarillado, por gravedad, hasta PTAR San Blás.
<b>Zona 16</b>	
<b>Zona 17</b>	
<b>Zona 18</b>	☞ Sistemas GLF, basados en la gestión de lodos fecales.



# Alternativas de configuración de los sistemas de aguas residuales

Considerando las diferentes soluciones posibles para cada zona, existen básicamente 5 variantes de ruta para estructuras y servicios de saneamiento. En general, estas rutas deben cubrir toda la cadena de servicio, cubriendo al menos las etapas de: contención; recolección y transporte; tratamiento; y reutilización o disposición final.

La explicación de cada paso se puede encontrar abajo. Sin embargo, mientras que para las primeras etapas existen rutas divergentes para los sistemas, para la etapa final, reutilización y disposición final, todas las alternativas permiten las mismas soluciones. Por ello, se abordarán las diferencias entre las soluciones a la vista de las distintas formas de proporcionar contención, recolección/transporte y tratamiento. El punto de generación y el de reutilización son puntos comunes sin grandes diferencias entre las rutas.



Para los **sistemas centralizados y semicentralizados**, la etapa de contención se realiza conectando las tuberías de aguas residuales domiciliarias a las redes de alcantarillado. Estos sistemas pueden entonces diferir en la etapa de recolección y transporte, siendo sistemas convencionales de alcantarillado, o sistemas simplificados (condominiales). Mientras que los sistemas simplificados se refieren especialmente a redes nuevas en configuraciones semicentralizadas, el sistema centralizado convencional puede dar lugar a 3 configuraciones posibles: Reenvío a PTAR existentes (caso San Blas); remisión a PTAR adaptado existente (caso de PTAR San Luís); y remisión a una nueva PTAR (en el caso de la PTAR La Pintada).

Para los **sistemas descentralizados**, la etapa de contención se brinda mediante soluciones individuales de tratamiento de aguas residuales (in-situ), donde la etapa de recolección y transporte se refiere específicamente al envío de los lodos fecales retenidos en estos sistemas, y se realiza mediante camiones para desagote o otros vehículos especializados. El paso de tratamiento en este caso se refiere al procesamiento de lodos, que puede llevarse a cabo en estaciones dedicadas a lodos fecales, o de manera integrada en PTAR.

### **Punto de Generación**

**Puntos desde donde se generan los efluentes domésticos:** inodoros, lavados de cocina y baño, duchas, depósitos, etc. Por estos puntos salen las aguas residuales de las viviendas o aseos, juntas en una misma tubería o por separado, con tuberías específicas para lo que sale de los inodoros, duchas y lavabos y/o para lo que sale de las cocinas.

### **Contención**

En los sistemas descentralizados, esta etapa consiste en soluciones individuales de alcantarillado, encargadas de tratar el efluente líquido, tales como: fosas sépticas o rudimentarias, sistemas de evapotranspiración, biodigestores, vermifiltros, zonas de raíces, etc.

En los sistemas centralizados, este paso consiste en conectar la tubería de desagüe del edificio a la red pública de recolección.

### **Recolección y Transporte**

En sistemas descentralizados, este paso se refiere a las actividades de remoción de los lodos fecales retenidos en las soluciones individuales (contención), empaque y transporte del material a tratamiento.

Estas actividades pueden ser realizadas por diferentes tipos de sistemas, desde camiones para desagote hasta sistemas adaptados como el uso de bombas manuales, tambores de almacenamiento y remolques impulsados por motocicletas. En los sistemas centralizados, este paso lo realizan las redes de transporte de aguas residuales.

### **Tratamiento (semi) centralizado**

En sistemas descentralizados, este paso se refiere al tratamiento de los lodos fecales recolectados, previniendo etapas de secado, estabilización y eventualmente desinfección de los lodos.

En los sistemas semicentralizados y centralizados, esta etapa está constituida por las estaciones de tratamiento de aguas residuales (ETEs), que tratan tanto la fracción líquida de los efluentes como la sólida.

### **Disposición final / Reutilización**

Luego del tratamiento de los efluentes, se obtienen algunos subproductos que deben ser destinados a disposición o reutilización.

**De forma simplificada, los principales subproductos de los procesos de tratamiento son:** efluente líquido tratado, que puede ser utilizado para fines no potables como riego, lavado o procesos industriales; biosólidos (fracción sólida) que pueden utilizarse como acondicionador de suelos, producción de pellets de combustible o composición de materiales de construcción; y biogás que puede usarse para generar electricidad o usarse como gas para cocinar.

## Descripción general de los escenarios

Dados los diferentes enfoques de solución para cada zona, se estructuraron tres escenarios, cada uno con arreglos de solución siguiendo un enfoque específico. En el primer escenario se consideró el enfoque de saneamiento centralizado, minimizando la cantidad de plantas de tratamiento y ampliación de las redes de recolección. En el segundo y tercero escenarios se definió una composición de estaciones descentralizadas por territorio, buscando una mayor integración con las condiciones, potencialidades y paisaje locales.

### ESCENARIO I - Composición Centralizada

Este escenario busca una composición más convencional, enfocada en sistemas centralizados de alcantarillado. Con este enfoque, las zonas en áreas que permiten la conducción por gravedad tienen sus aguas residuales dirigidas a plantas de tratamiento centralizadas en puntos estratégicos, uniendo los efluentes de diferentes subcuencas.

En algunos casos, puede tener algunas transposiciones de cuenca a través de sistemas de bombeo, lo que no es necesariamente una solución práctica para operar o económica de construir, pero puede resultar estratégica considerando el enfoque general. Aun así, en lugares con baja densidad de población se plantean soluciones adaptadas, ya que la implementación de redes en estos contextos puede no ser económicamente viable.

Así, en las regiones rurales se propone el servicio descentralizado (soluciones individuales de alcantarillado), pero con tratamiento de lodos en PTAR centralizadas.

En el caso de las zonas periurbanas, que pueden presentar altas densidades con el tiempo, pero que aún presentan ocupaciones dispersas, propone un escalonamiento, en

el que en un principio habrá servicio a través de sistemas descentralizados (individuales), pero que en el futuro puede evolucionar a la conexión a la red de alcantarillado. En las condiciones actuales (con posible densificación, la red de alcantarillado puede implementarse para atender estos contextos).

### ESCENARIO II - Composición descentralizada

Este escenario implica la consideración en la disposición de los sistemas de transporte y tratamiento de aguas residuales, buscando seguir las subcuencas de drenaje y una distribución de plantas de tratamiento más pequeñas en todo el territorio, considerando también las estructuras centralizadas existentes.

Para las áreas rurales y periurbanas, que aún tienen baja densidad de ocupación, se consideran soluciones adaptadas, ya que la implementación de redes en estos contextos puede no ser económicamente viable.

Así, se propone un servicio descentralizado (soluciones individuales de alcantarillado), con tratamiento de lodos en Plantas de Tratamiento de Lodos Fecales (PTLFs) distribuidas estratégicamente por todo el territorio.

En el caso de áreas periurbanas, que pueden presentar densificación con el tiempo, este sistema puede ser reemplazado gradualmente por sistemas semicentralizados de alcantarillado, con redes de recolección simplificadas y PTAR semicentralizados para cada área, posicionados a la salida de las cuencas.

### ESCENARIO III - Composición descentralizada

Este escenario sigue la misma lógica y disposición que el escenario II, sin embargo con la provisión de una nueva planta de tratamiento río abajo para reemplazar la PTAR de San Luis (en lugar de sólo reemplazar el sistema de tratamiento de la planta).

	Escenario I	Escenario II	Escenario III	
Zona 1	E (C futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	} <b>Variación 1</b>
Zona 2	C	B	C	
Zona 3	C	B	C	} <b>Variación 2</b>
Zona 4	C	B	C	
Zona 5	C	B	C	
Zona 6	C	D	D	} <b>Variación 3</b>
Zona 7	E (C futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	
Zona 8	E (C futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	} <b>Variación 4</b>
Zona 9	E (C futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	
Zona 10	E (C futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	
Zona 11	E (C futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	
Zona 12	C	E (D futuro)	E (D futuro)	} <b>Variación 4</b>
Zona 13	E (A futuro)	E (D futuro)	E (D futuro)	
Zona 14	A	A	A	} <b>Igual en todos los escenarios</b>
Zona 15	A	A	A	
Zona 16	A	A	A	
Zona 17	E	E	E	
Zona 18	E	E	E	

**Variaciones 1 y 4:** Diferencia que en una posible futura densificación e implementación de una red de alcantarillado, el escenario II y III consideran el envío de aguas residuales a estaciones semicentralizadas por zona (buscando reúso de agua por gravedad para áreas verdes), mientras que el escenario I considera la conexión al sistema centralizado (con PTAR centralizados).

**Variación 2:** El Escenario I considera la centralización de efluentes de las zonas 2, 3, 4 y 5 en una nueva PTAR que también recibirá efluentes de otras zonas (6, 7, 8, 9, 10, 11 y 1); mientras que el escenario II considera mantener solo los caudales 2, 3, 4 y 5 en la PTAR de San Luis (modificada) mientras que las demás zonas cuentan con sus propias estaciones semicentralizadas.

El escenario III considera lo mismo que el II pero con los efluentes dirigidos a la nueva planta (en lugar de San Luis).

**Variación 3:** Diferencia que el escenario II y III consideran estaciones semicentralizadas por zona, mientras que el escenario I considera la conexión al sistema centralizado.

**Variación 5:** Diferencia que en posible futura densificación e implementación de alcantarillado, los escenarios I, II y III consideran la conexión al sistema centralizado.

## Descripción ESCENARIO I

Zona	Soluciones
1	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida mediante soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizado, con manejo de lodos fecales (servicio de limpieza de fosas).</p> <p>En este escenario de centralización, lo más lógico es que el tratamiento de los lodos recogidos se realice en la nueva PTAR (que debe estar diseñada para recibir estos aportes adicionales a su configuración y capacidad). Si existe alta densidad en estas áreas, se puede optar por la implementación de una red de recolección y conexión en el sistema centralizado de recolección, con reenvío a una nueva PTAR en un punto aguas abajo.</p> <p>Esta estación debe proporcionar las condiciones de procesamiento suficientes para esta posible conexión futura, con el rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.</p>
2	<p>Los efluentes de estas zonas se seguirán canalizando a través de las redes de recolección y sistema centralizado de transporte de aguas servidas, pero con un desvío aguas abajo a una nueva PTAR.</p>
3	
4	<p>Esta estación debe tener capacidad para el flujo de población de todas estas zonas (y otras eventualmente conectadas), proporcionando un tratamiento suficiente para la reutilización de aguas y aprovechamiento de lodos, sin generar externalidades negativas en el entorno de la planta.</p>
5	<p>Además, se debe prever la extensión de las redes de recolección a calles con construcciones densas aún sin estas estructuras.</p>
6	<p>Implantación de la red de recolección para el territorio ya densamente ocupado y conexión a la red centralizada al final de la subcuenca, con reenvío a una nueva PTAR.</p>
7	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas).</p>
8	
9	<p>En este escenario de centralización, lo más lógico es que el tratamiento de los lodos recogidos se haga en la nueva PTAR (que debe tener en cuenta estos aportes en su configuración y capacidad).</p>
10	
11	<p>Si en el futuro existe una alta densidad de esta zona, se puede optar por la implementación de una red de recolección y conexión en el sistema centralizado para ser encaminado a una nueva PTAR. Especialmente para la zona 7, al tratarse de una cuenca que no desagua por gravedad a la red existente, sería necesario aplicar un sistema de bombeo para posibilitar la conexión al sistema de alcantarillado centralizado.</p>
12	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas).</p>

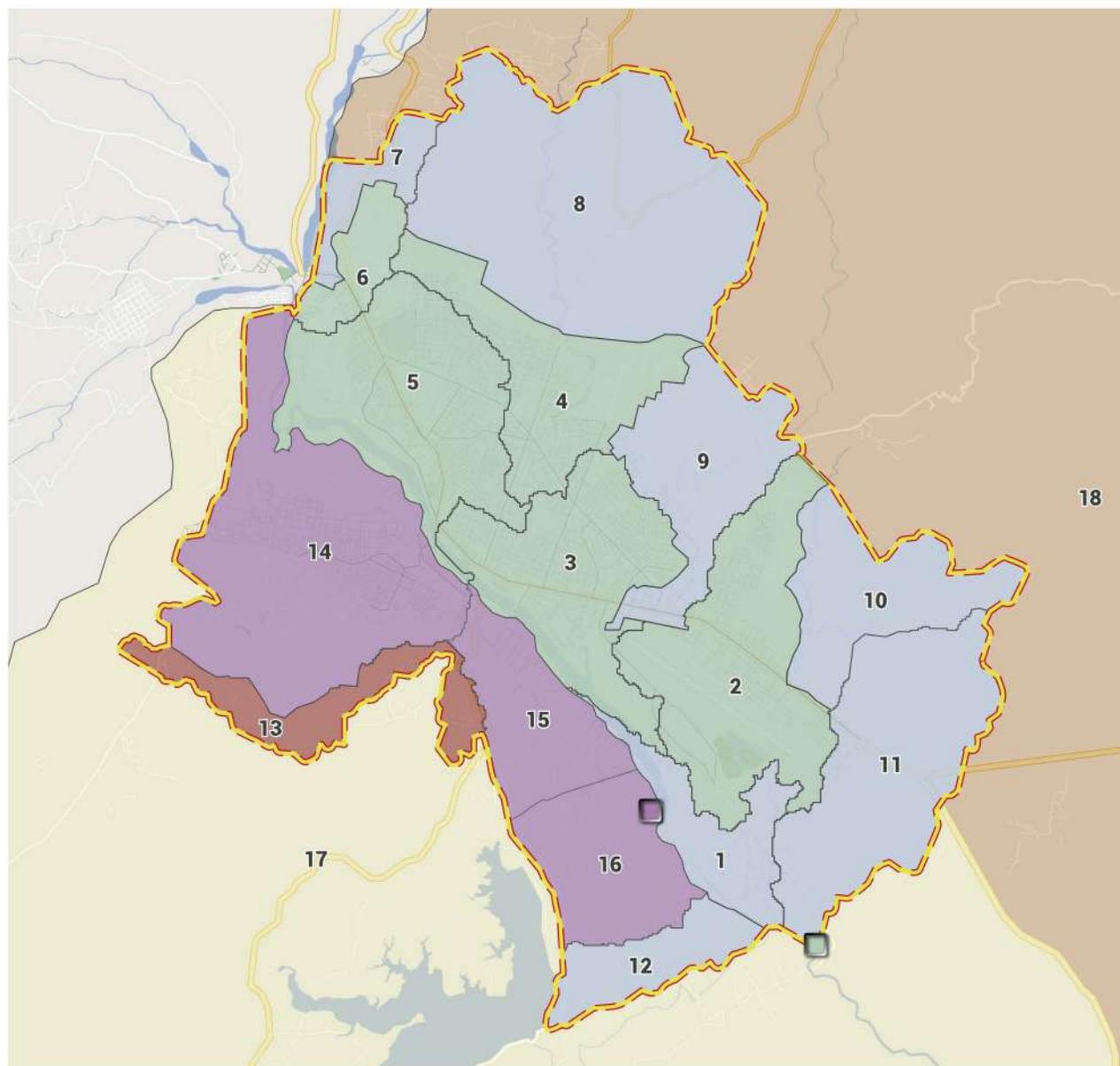
13	<p>En este escenario de centralización, el camino más lógico es que el procesamiento de lodos se realice en la PTAR de San Blás o en la nueva PTAR (que debe tener en cuenta estos aportes en su configuración y capacidad).</p> <p>Si en el futuro se presenta una alta densidad de esta zona, se puede optar por la implementación de una red de recolección y conexión en el sistema centralizado para ser encaminado a la PTAR San Blás.</p> <p>Al estar en una subcuenca que no fluye naturalmente hacia el lugar de la PTAR, habría que estudiar posibles rutas para llegar a la red de gravedad existente, o implementar un sistema de bombeo para atravesar la cuenca y llegar al sistema existente.</p>
14	<p>Los efluentes de estas zonas se seguirán canalizando a través de las redes de recolección y sistema centralizado de transporte de aguas servidas, hasta la PTAR San Blás (que fue dimensionada con capacidad suficiente para atender estas áreas).</p>
15	
16	<p>Además, se debe prever la extensión de las redes de recolección a calles con construcciones densas aún sin estas estructuras.</p>
17	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en estas zonas, se propone que estas áreas sean servidas mediante soluciones de alcantarillado unifamiliares descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). Los hogares pueden optar por tener sistemas autónomos de eliminación, procesamiento y reutilización de lodos en el suelo, lo que es especialmente relevante para ubicaciones más alejadas del centro urbano.</p> <p>El cuidado mediante el manejo de los lodos fecales presupone el adecuado tratamiento del material retenido en las fosas. Este tratamiento se puede realizar en diferentes tipos de estaciones, dedicadas a lodos fecales o integradas con aguas residuales. En el caso del escenario centralizado, que busca minimizar el número/diversidad de los sistemas de tratamiento, el camino más lógico prevé la integración con el tratamiento de aguas residuales en las PTAR.</p>
18	<p>Por lo tanto, para la zona 18, por mayor cercanía, los lodos serían enviados a la nueva PTAR. Para la zona 17, al sur de la cabecera municipal, se sugiere remitirlo a la PTAR San Blás (si esta estación no acepta estos aportes, habría que dimensionar la nueva PTAR La Pintada para recibir también este aporte).</p> <p>Sin embargo, vale la pena mencionar que incluso en la configuración centralizada, para comunidades a más de 40 km de distancia, la instalación de plantas de tratamiento de lodos fecales ubicadas estratégicamente en el área rural puede ser más viable financieramente, debido a la reducción de costos operativos (relacionados con distancias recorridas).</p>

#### Acciones a corto plazo escenario I:

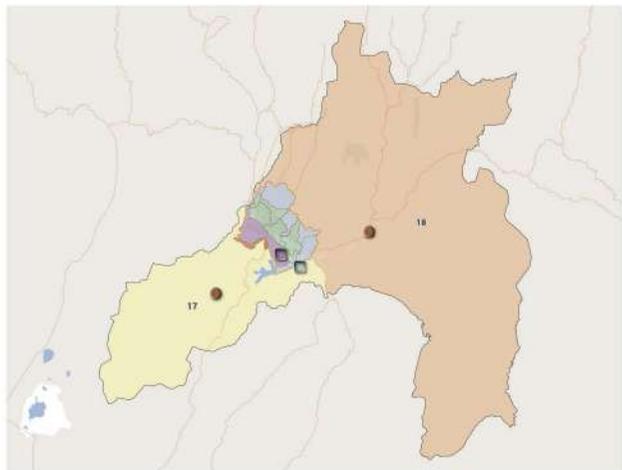
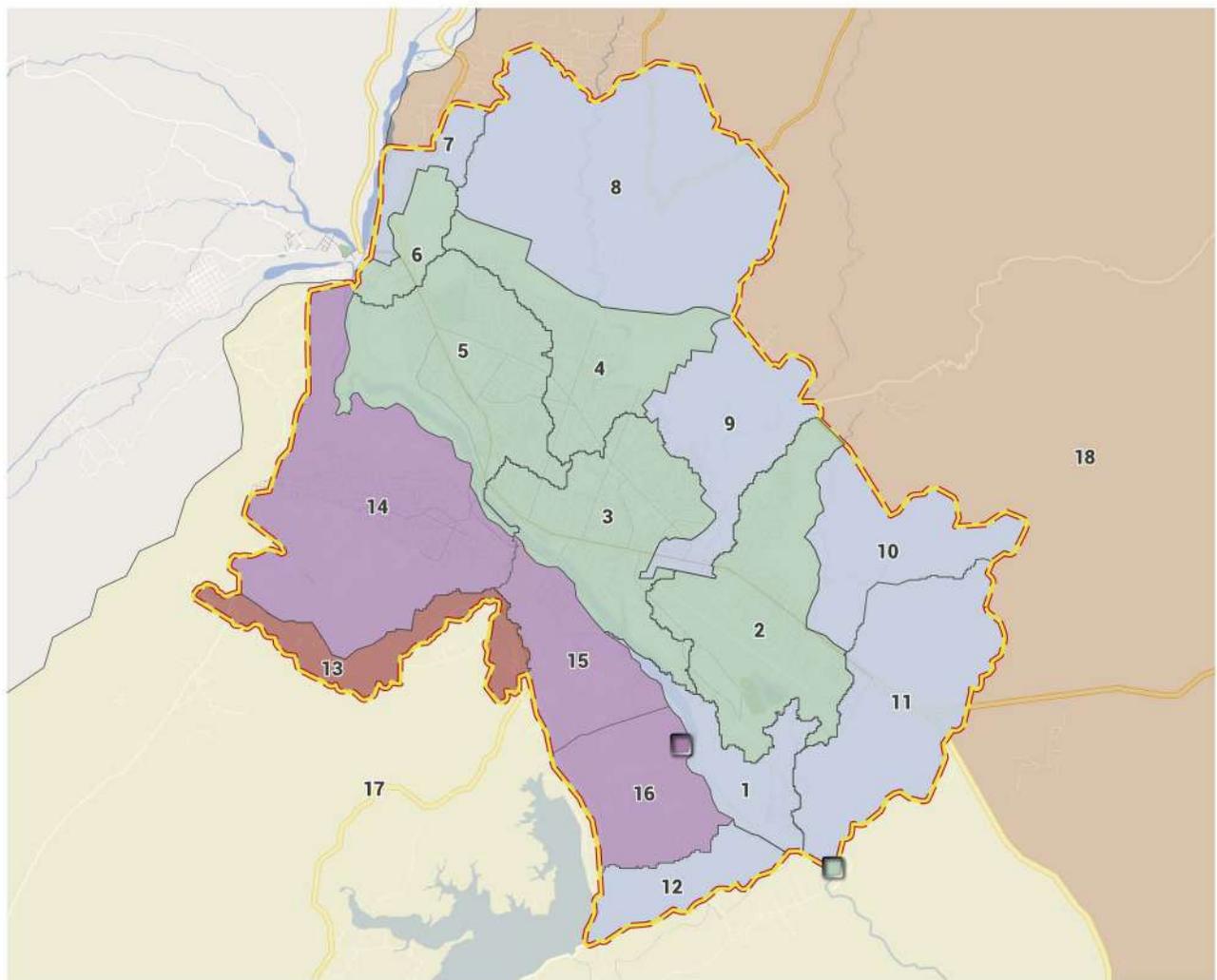
- Implementación PTAR La Pintada (reemplazo de PTAR San Luis).
- Implementación alcantarillado dirigiendo efluentes de PTAR San Luis a PTAR Pintada.
- Continuación de la operación de PTAR San Blas.
- Ampliación de redes de recolección en las zonas 2, 3, 4, 5 y 6.
- Implementación un modelo de servicio organizado para el manejo de lodos fecales para las zonas 1, 11, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17 y 18.
- Posible implantación de plantas de tratamiento de lodos fecales en las zonas 17 y 18.

#### Las posibles acciones a medio-largo plazo:

- Implantación de redes de recolección simplificadas en las zonas 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13.
- Implementación de tuberías troncales complementarias para el encaminamiento de efluentes de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 a la nueva PTAR La Pintada.
- **Eventualmente, implementación de 2 estaciones de bombeo:** en la zona 7 para conexión al sistema centralizado de PTAR Pintada; y en zona 13 para conexión a PTAR San Blas.



## Descripción gráfica del ESCENARIO I



-  GLF – futura transición a PTAR San Blas.
-  GLF – futura transición a PTAR La Pintada.
-  PTAR La Pintada.
-  PTAR San Blas.
-  GLF – zona rural.
-  PTAR.
-  PTLF.

## Descripción ESCENARIO I (racional)

El Escenario I tiene una **configuración centralizada**, donde la recolección y tratamiento de efluentes se realiza a través de una amplia red de recolección y transporte de aguas residuales; pero considerando la etapa de recolección de lodos fecales para atender las áreas aún sin cobertura.

En este escenario, la etapa de tratamiento se realiza en grandes PTAR centralizadas, que además incluyen mecanismos de recepción y tratamiento de lodos fecales recolectados en el municipio. Para ello, las plantas de tratamiento están destinadas a que puedan recibir las aguas residuales con transporte por gravedad.

### Ubicación de las PTAR centralizadas

La ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales se realiza para minimizar los costos de transporte de las aguas residuales afluentes. Para ello se considera principalmente el factor topográfico, permitiendo el transporte de aguas residuales sanitarias en la cuenca de aporte por gravedad. Así, el consenso de ubicación de PTAR es su ubicación en el desagüe de la cuenca de drenaje de la región de aporte a la planta.

Considerando los datos de población y su proyección de crecimiento, estas estaciones tendrán caudales que van desde los 83 hasta los 346 litros por segundo, con una población atendida que va desde los 47.914 hasta los 199.454 habitantes.

Las plantas de tratamiento, PTAR San Blas y PTAR La Pintada, están situadas en los márgenes izquierdo y derecho del río Guadalquivir, minimizando al máximo la necesidad de transposición de efluentes entre márgenes.

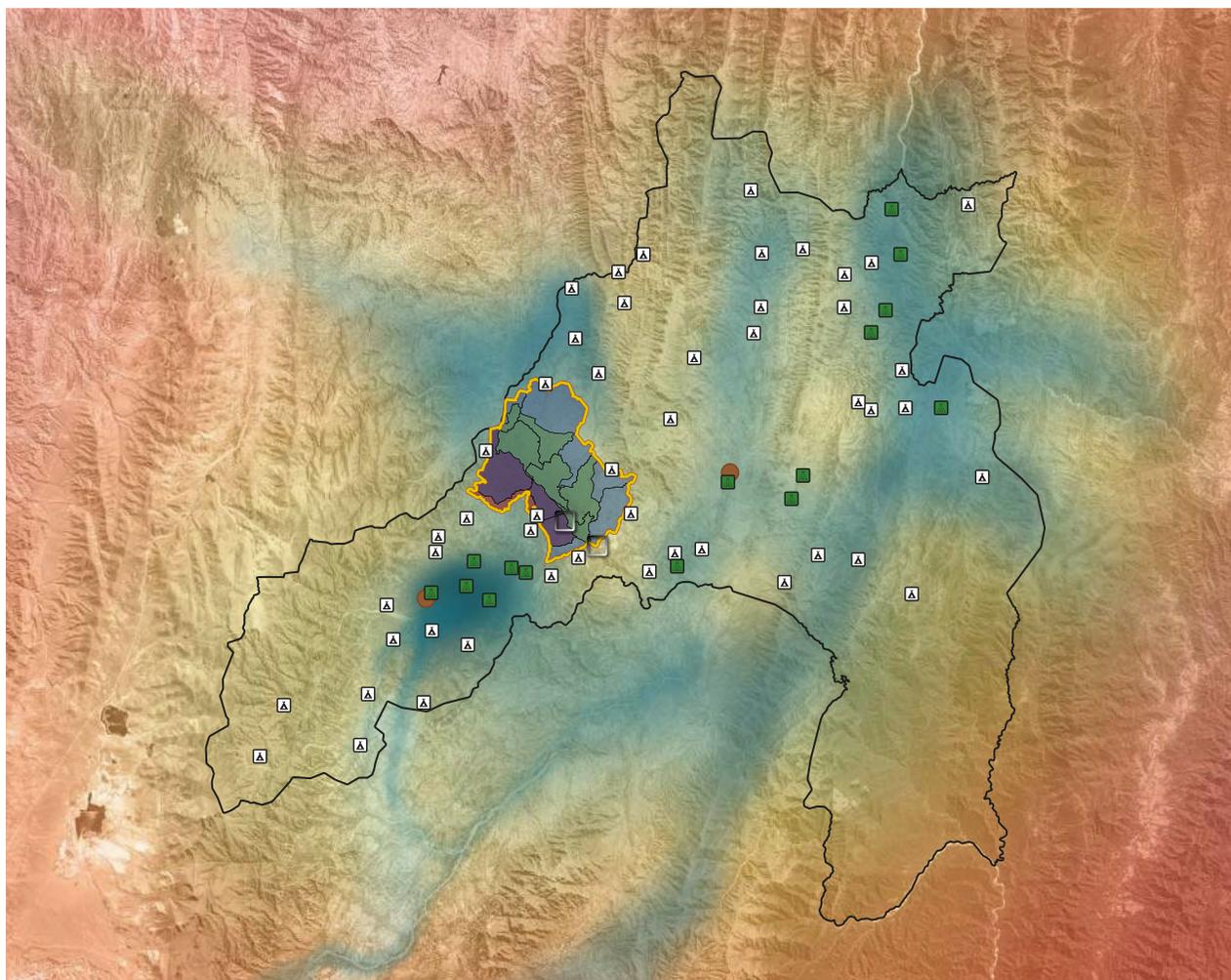
<b>Solución</b>	<b>Etapa</b>	<b>Zonas</b>	<b>Población</b>	<b>Aguas residuales (L/s)</b>	
PTAR La Pintada	<i>Inicio</i>	2, 3, 4, 5, 6 e 9	150.250	260,9	
	<i>Final</i>	1 a 12	199.454	346,3	
PTAR San Blas	<i>Inicio</i>	14 a 16	47.914	83,2	
	<i>Final</i>	13 a 16	62.764	109,0	
				<b>Lodos Fecales</b>	
				<i>Kg SS/día</i>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>
PTAR La Pintada	<i>Inicio</i>	1, 7, 8, 10, 11 e 12	9.096	138	8,0
PTAR San Blas	<i>Inicio</i>	13	188	6	0,3

## Ubicación de las PTLF

La ubicación de las plantas de tratamiento de lodos fecales a áreas de servicio no cubiertas por las redes de recolección y transporte de aguas servidas se propone en conjunto con las propias PTAR, con el fin de concentrar los esfuerzos de operación y mantenimiento, reduciendo costos por economía de escala. La ubicación del PTLF junto con la PTAR también permite flexibilizar el tratamiento de lodos, permitiendo tanto el envío de la fracción líquida efluente del proceso de tratamiento de lodos junto con las aguas residuales, como el cotratamiento de los lodos con los efluentes sanitarios, aunque el proyecto específico debe desarrollarse juiciosamente.

En áreas rurales, este instrumento de planificación realizó un estudio estratégico para la ubicación de PTLF a las zonas de servicio 17 y 18 basado en el concepto de "least cost", que consiste en la elaboración de una superficie de costo acumulado y su análisis para encontrar regiones de menor costo total. La superficie de costo elaborada consideró los siguientes aspectos:

- Ubicación de los agrupamientos de población rural, considerando que cuanto mayor sea la población local (generación local de lodos), más cerca debe estar el PTLF para minimizar costo de transporte.
- Principales carreteras de la región, con el fin de favorecer el transporte de lodos mediante una mayor movilidad, reduciendo el tiempo de desplazamiento de la solución de transporte de lodos entre los puntos de generación (soluciones individuales) y la planta de tratamiento local.



El mapa ilustra el resultado del costo acumulado considerando las comunidades locales en relación con la ubicación de PTLF, el azul representa las zonas de menor costo y el rojo las zonas de mayor costo.

## Descripción ESCENARIO II

Zona	Soluciones
1	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En el caso de estas zonas, se sugiere el tratamiento en una planta de tratamiento de lodos a ubicar en la zona 18, para el cuidado conjunto de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1.</p> <p>Si en el futuro hay una alta densidad de esta área, es posible optar por la implementación de una red de recolección condominial (simplificada) por gravedad hasta una pequeña estación de tratamiento de aguas residuales semi-centralizada, dedicada a las zonas 1 y 11 (ubicado cerca de la salida de la subcuenca), con rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.</p>
2	<p>Los efluentes de estas zonas continuarán siendo canalizadas a través de las redes de recolección y un sistema centralizado de transporte de aguas residuales a la nueva configuración de la PTAR de San Luis (adaptado). Esta estación deberá atender únicamente los flujos de estas zonas, ya que las demás áreas tendrán sus propias estaciones.</p> <p>La nueva configuración debe garantizar un rendimiento suficiente para la reutilización del agua y el aprovechamiento de los lodos, sin generar externalidades negativas en el entorno de la planta. La gran superficie de la planta, sobre todo tras la adaptación a un sistema más compacto, permitirá orientar los repuestos a otros usos, con zonas vegetadas y láser. Además, se debe prever la extensión de las redes de recolección a calles con construcciones densas aún sin estas estructuras.</p>
3	
4	
5	
6	<p>Implementación de la red de recolección para el territorio ya densamente ocupado, con un sistema (simplificado) condominial de alcantarillado, hasta una pequeña PTAR semicentralizada, ubicada a la salida de la cuenca en esta zona. Esta pequeña estación deberá tener capacidad para atender eventuales densidades de población en la zona 7, que ahora podrá ser atendida por medio de una red de recolección, contribuyendo a esta nueva PTAR semicentralizada.</p>
7	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En este escenario, este procesamiento está previsto en plantas de tratamiento de lodos fecales, estratégicamente distribuidas por todo el territorio. En el caso de la zona 7, se sugiere el tratamiento en una planta de tratamiento de lodos a ubicar en la zona 18, para el cuidado conjunto de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1.</p> <p>Si a futuro existe una alta densidad de esta zona, se puede optar por la implementación de una red de recolección condominial por gravedad hasta la estación semicentralizada en la zona 6 (a diseñarse con capacidad de expansión para este aporte adicional) .</p>
8	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En este arreglo, los lodos recolectados serían enviados a plantas de tratamiento de lodos ubicadas estratégicamente.</p>

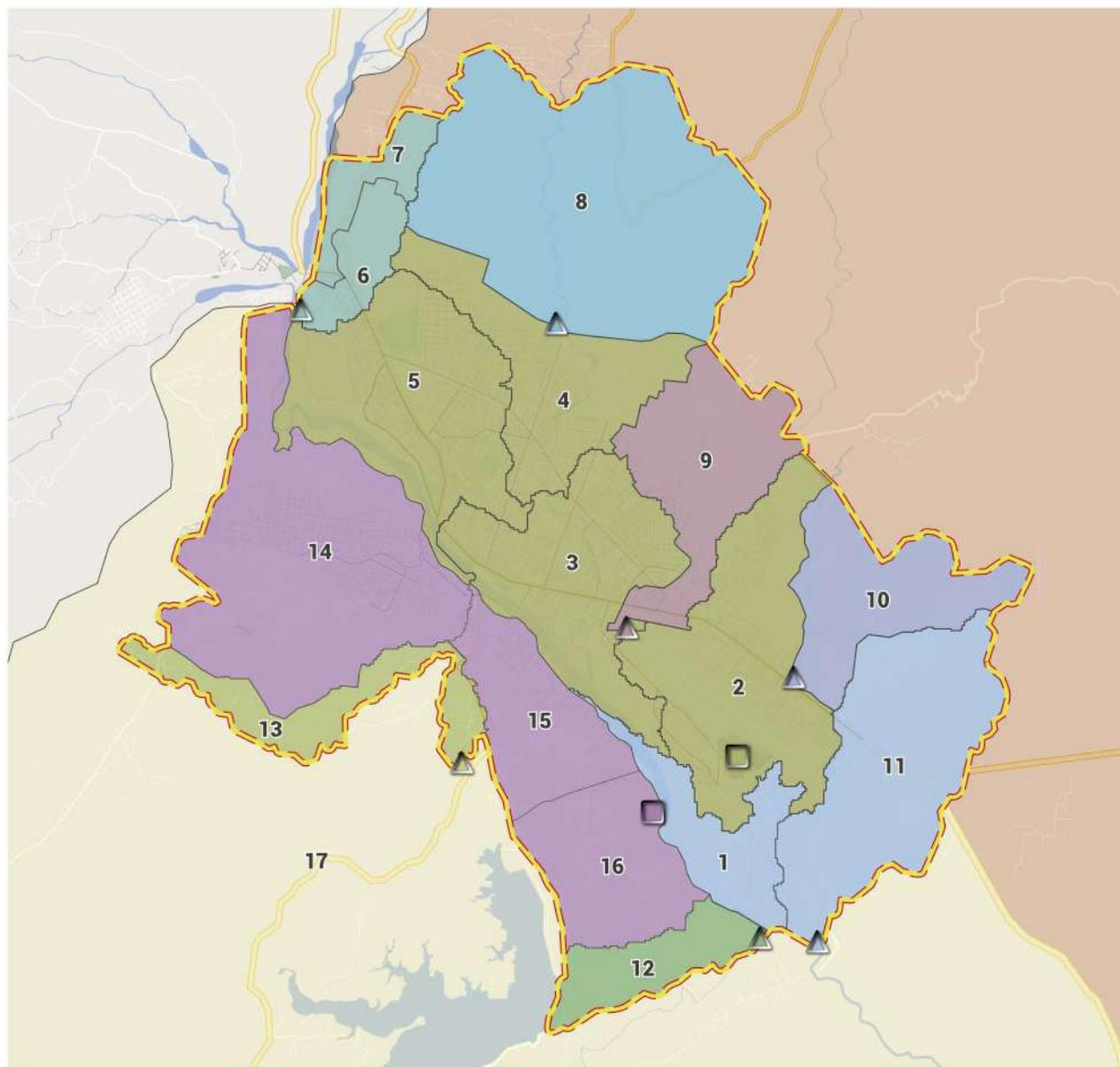
9	Debido a la proximidad entre estas zonas, se podría considerar una única estación de lodos, ubicada en la zona 18, para dar servicio a las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1. Cuando, en el futuro, exista una alta densidad de esta área, se puede optar por la implementación de una red de recolección condominial, por gravedad, hasta estaciones semicentralizadas, dedicadas a cada zona en la exaltación de las cuencas.
10	
11	Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En el caso de estas zonas, se sugiere el tratamiento en una planta de tratamiento de lodos a ubicar en la zona 18, para el cuidado conjunto de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1.  Si en el futuro hay una alta densidad de esta área, es posible optar por la implementación de una red de recolección condominial (simplificado) por gravedad hasta una pequeña estación de tratamiento de aguas residuales semi-centralizada, dedicada a las zonas 1 y 11 (ubicado cerca de la salida de la subcuenca), con rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.
12	Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En este arreglo, los lodos podrían ser enviados a la PTAR San Blas, o a una nueva planta de tratamiento de lodos propuesta para la zona 17.  Si a futuro hay alta densidad de esta zona, se puede optar por la implantación de una red de recogida simplificada, y por gravedad, hasta una pequeña estación de tratamiento semicentralizada, dedicada a cada zona, 12 y 13 (colocado cerca de la salida de la subcuenca), con rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.
13	
14	Los efluentes de estas zonas se seguirán canalizando a través de las redes de recolección y sistema centralizado de transporte de aguas residuales, hasta la PTAR San Blás (que fue dimensionada con capacidad suficiente para atender estas áreas). Además, se debe prever la extensión de las redes de recolección a calles con construcciones densas aún sin estas estructuras.
15	
16	
17	Debido a la baja densidad de ocupación en estas áreas, se propone que estas áreas sean servidas mediante soluciones de alcantarillado unifamiliares descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de fosa séptica).  Los hogares pueden optar tener sistemas autónomos de eliminación, procesamiento y reutilización de lodos en el suelo, lo que es especialmente relevante para ubicaciones más alejadas del centro urbano.
18	El cuidado mediante el manejo de los lodos fecales presupone el adecuado tratamiento del material retenido en las fosas. Este tratamiento se puede realizar en diferentes tipos de estaciones, dedicadas a lodos fecales o integradas con aguas residuales. En el caso del escenario centralizado, que busca minimizar el número/diversidad de los sistemas de tratamiento, el camino más lógico prevé la integración con las aguas residuales, en las PTAR.  Por lo tanto, para las zonas 17 y 18, por mayor cercanía, los lodos serían enviados a la nueva PTAR. Para la zona 18, al sur de la cabecera municipal, se sugiere acudir a la PTAR San Blás. Sin embargo, vale la pena mencionar que incluso en la configuración centralizada, para comunidades a más de 40 km de distancia, la instalación de plantas de tratamiento de lodos fecales estratégicamente ubicadas en el área rural puede ser más viable financieramente, debido a la reducción de los costos operativos de transporte.

#### Acciones a corto plazo escenario II:

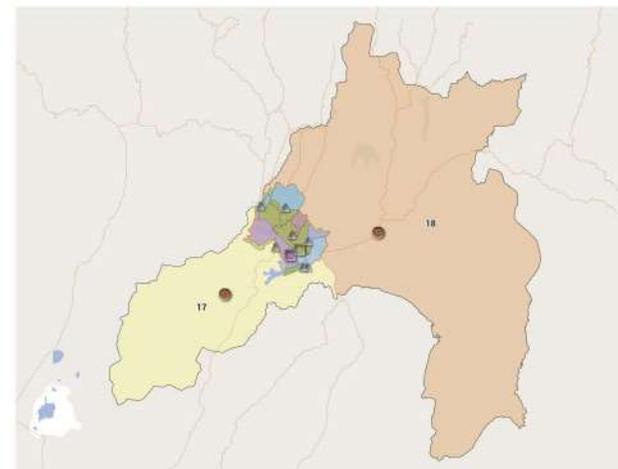
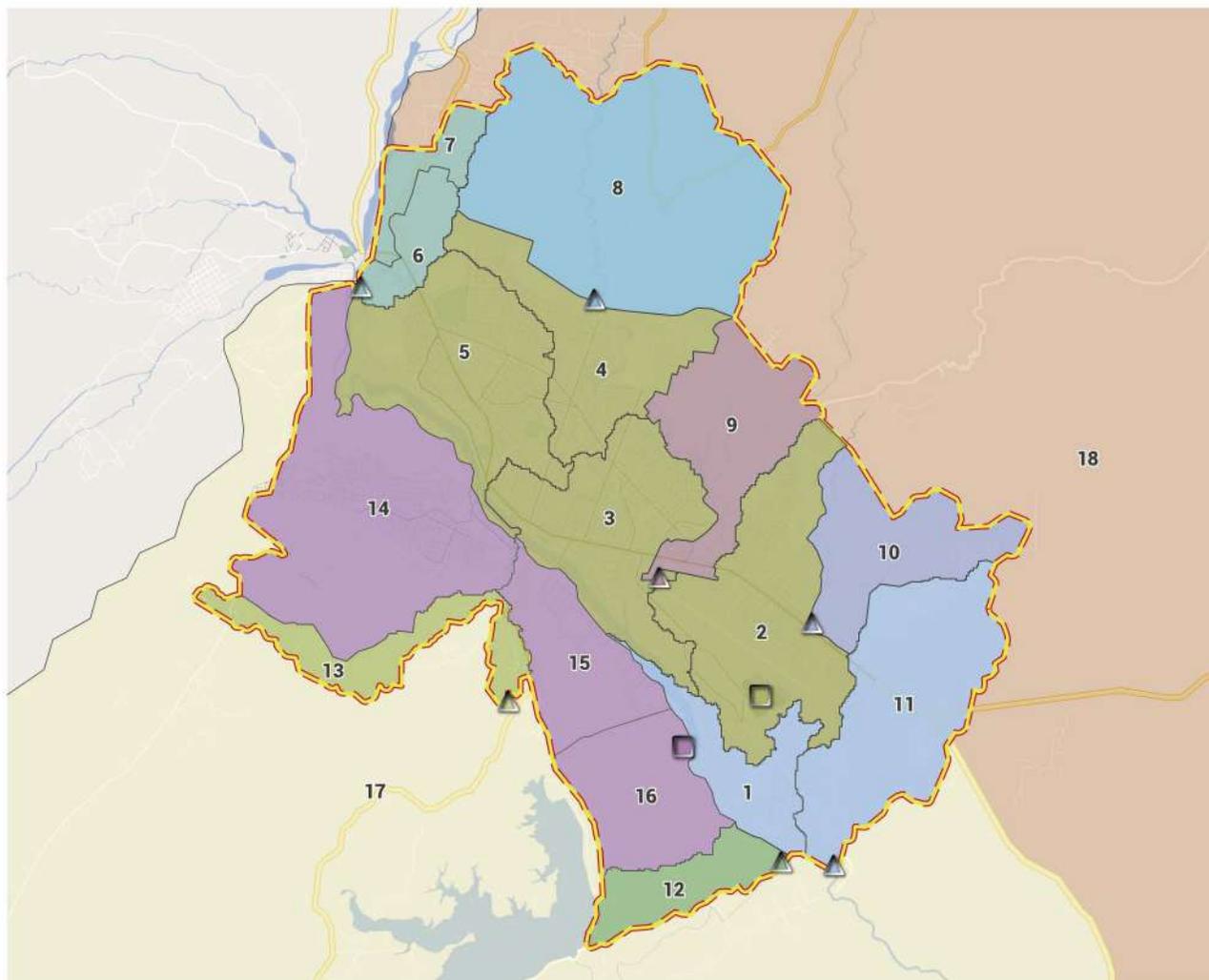
- *Modificación del sistema PTAR San Luis.*
- *Continuación de la operación de PTAR San Blas.*
- *Ampliación de las redes de recolección en las zonas 2,3,4 y 5;*
- *Implementación de una red de recolección simplificada en la zona 6;*
- *Implementación de un modelo de servicio organizado para el manejo de lodos fecales para las zonas 1, 11, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17 y 18;*
- *Implantación de plantas de tratamiento de lodos fecales en las zonas 17 y 18.*

#### Las posibles acciones a medio-largo plazo:

- *Implementación de redes de recolección simplificadas en las zonas 7, 8, 9, 10, 1, 11, 12 y 13.*
- *Implementación de series de PTAR semicentralizados, en las zonas 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13.*



## Descripción gráfica del ESCENARIO II



-  PTAR San Luis modificada – Zonas 2, 3, 4 y 5.
-  PTAR San Blas – Zonas 14, 15 y 16.
-  PTAR SC I – Zonas 6 y 7.
-  PTAR SC II – Zona 8.
-  PTAR SC III – Zona 9.
-  PTAR SC IV – Zona 10.
-  PTAR SC V – Zonas 1 + 11.
-  PTAR SC VI – Zona 12.
-  PTAR SC VII – Zona 13.
-  GLF – zonas 17 y 18.
-  PTAR.
-  PTLF.
-  PTAR descentralizada.

## Descripción ESCENARIO II (racional)

El Escenario II tiene una **configuración descentralizada**, donde la recolección y tratamiento de efluentes, lodos fecales y alcantarillado sanitario se realizan en las propias zonas de aporte. De esta forma, se ajusta la planificación para incluir estaciones pequeñas y medianas en las cuencas de aporte, permitiendo el uso local y seguro del agua tratada. En este caso se utilizarían los sistemas de alcantarillado existentes (zonas 2,3,4 y 5), pero con las aguas residuales recogidas conducidas a un nuevo sistema de tratamiento, dentro de la PTAR San Luis.

### Ubicación de las PTAR centralizadas

La ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales debe asignarse de tal manera que se minimicen los costos de transporte de las aguas residuales afluentes. Para ello se considera principalmente el factor topográfico, de tal forma que se permite el transporte por gravedad de las aguas residuales sanitarias en la cuenca de aporte. Así, el consenso de ubicación de PTAR es en el desagüe de la cuenca de drenaje de la región de aporte a la planta.

Considerando los datos de población y su proyección de crecimiento, estas estaciones tendrán caudales que van de 4,7 a 29,0 litros por segundo, con una población atendida que oscila entre 2.684 y 16.693 habitantes. En la presente planificación también se consideró un segundo aspecto, la ubicación de las plantas de tratamiento en una región que permita la reutilización de los efluentes tratados aguas abajo de la misma, es decir, su ubicación en cotas más altas del terreno siempre que sea posible, permitiendo el transporte de agua de reutilización también por gravedad a los lugares de su aplicación.

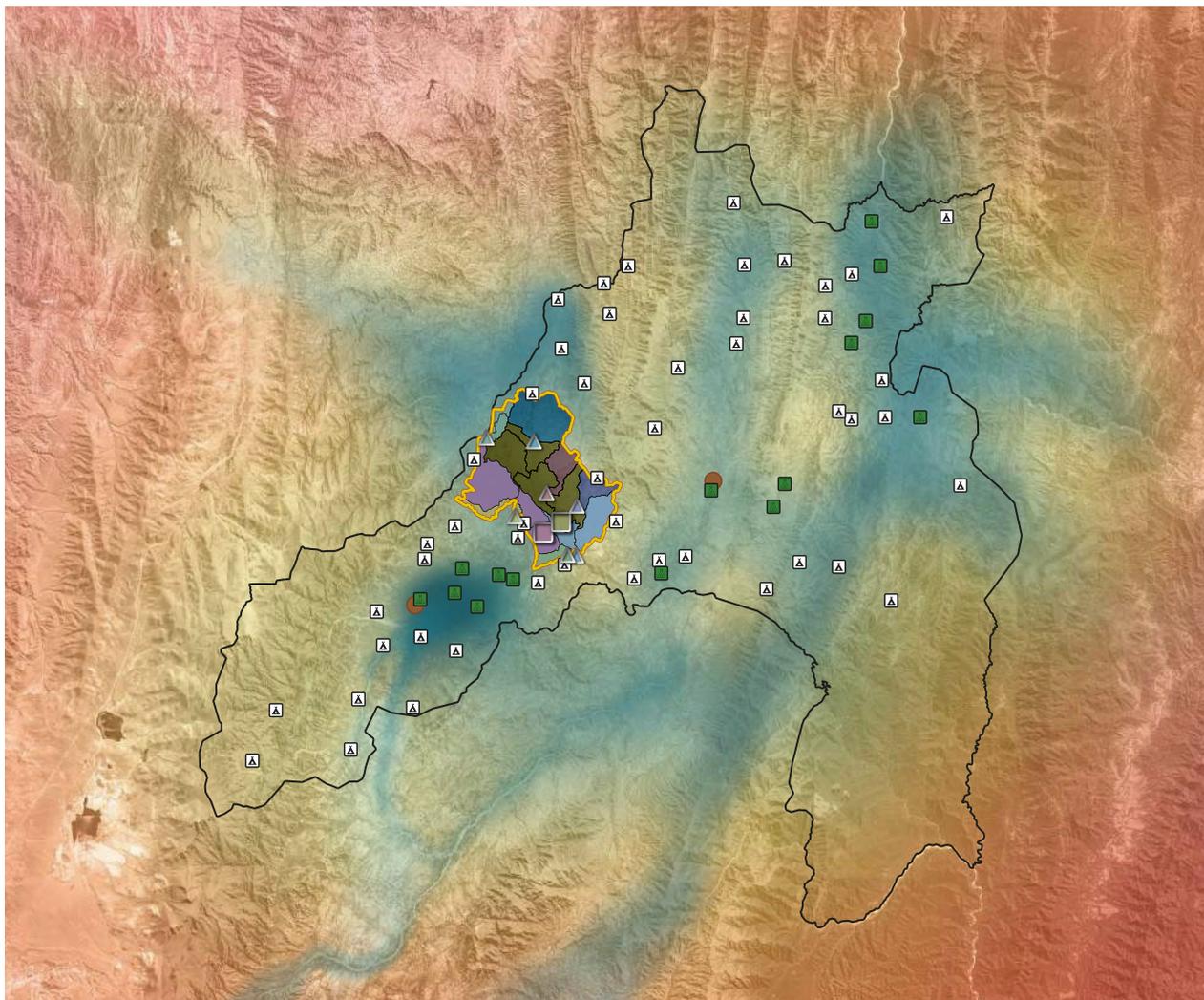
<b>Solución</b>	<b>Zonas</b>	<b>Población</b>	<b>Aguas residuales (L/s)</b>	
<i>PTAR San Blás</i>	14 a 16	60.080	104,3	
<i>PTAR San Luis</i>	2 a 5	140.083	232,2	
<i>PTAR SC I</i>	6 e 7	7.599	13,2	
<i>PTAR SC II</i>	8	16.693	29,0	
<i>PTAR SC III</i>	9	12.868	22,3	
<i>PTAR SC IV</i>	10	5.217	9,1	
<i>PTAR SC V</i>	1 e 11	13.693	23,8	
<i>PTAR SC VI</i>	12	3.301	5,7	
<i>PTAR SC VII</i>	13	2.684	4,7	
			<b>Lodos Fecales</b>	
			<i>Kg SS/día</i>	<i>m³/día</i>
<b>PTLF</b>	17	6.056	199,9	96,2
	18	3.637	120,0	58,2

## Ubicación de las PTLF

La ubicación de plantas de tratamiento de lodos fecales para el cuidado de las zonas rurales es uno de los pasos más críticos en la elaboración de los planes de cuidado de estas regiones, ya que en los sistemas de saneamiento basados en el manejo de los lodos fecales, el proceso de transporte de los mismos representa el mayor costo de operación del sistema, y la asignación de PTLF sin una planificación adecuada pueden conducir a un aumento significativo en los costos operativos.

En áreas rurales, este instrumento de planificación realizó un estudio estratégico para la ubicación de PTLF a las zonas de servicio 17 y 18 basado en el concepto de "least cost", que consiste en la elaboración de una superficie de costo acumulado y su análisis para encontrar regiones de menor costo total. La superficie de costo elaborada consideró los siguientes aspectos:

- Ubicación de los agrupamientos de población rural, considerando que cuanto mayor sea la población local (generación local de lodos), más cerca debe estar el PTLF para minimizar costo de transporte.
- Principales carreteras de la región, con el fin de favorecer el transporte de lodos mediante una mayor movilidad, reduciendo el tiempo de desplazamiento de la solución de transporte de lodos entre los puntos de generación (soluciones individuales) y la planta de tratamiento local.



*El mapa ilustra el resultado del costo acumulado considerando las comunidades locales en relación con la ubicación de PTLF, el azul representa las zonas de menor costo y el rojo las zonas de mayor costo.*

## Descripción ESCENARIO III

Zona	Soluciones
1	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En el caso de estas zonas, se sugiere el tratamiento en una planta de tratamiento de lodos a ubicar en la zona 18, para el cuidado conjunto de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1.</p> <p>Si en el futuro hay una alta densidad de esta área, es posible optar por la implementación de una red de recolección condominial (simplificada) por gravedad hasta una pequeña estación de tratamiento de aguas residuales semi-centralizada, dedicada a las zonas 1 y 11 (ubicado cerca de la salida de la subcuenca), con rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.</p>
2	<p>Los efluentes de estas zonas continuarán siendo canalizados a través de las redes de recolección y sistema centralizado de transporte de aguas residuales a la nueva configuración de la PTAR de San Luis (adaptado). Esta estación deberá atender únicamente los flujos de estas zonas, ya que las demás áreas tendrán sus propias estaciones.</p> <p>La nueva configuración debe garantizar un rendimiento suficiente para la reutilización del agua y el aprovechamiento de los lodos, sin generar externalidades negativas en el entorno de la planta. La gran superficie de la planta, sobre todo tras la adaptación a un sistema más compacto, permitirá orientar los repuestos a otros usos, con zonas vegetadas y láser. Además, se debe prever la extensión de las redes de recolección a calles con construcciones densas aún sin estas estructuras.</p>
3	
4	
5	
6	<p>Implementación de la red de recolección para el territorio ya densamente ocupado, con un sistema (simplificado) condominial de alcantarillado, hasta una pequeña PTAR semicentralizada, ubicada a la salida de la cuenca en esta zona. Esta pequeña estación deberá tener capacidad para atender eventuales densidades de población en la zona 7, que ahora podrá ser atendida por medio de una red de recolección, contribuyendo a esta nueva PTAR semicentralizada.</p>
7	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En este escenario, este procesamiento está previsto en plantas de tratamiento de lodos fecales, estratégicamente distribuidas por todo el territorio. En el caso de la zona 7, se sugiere el tratamiento en una planta de tratamiento de lodos a ubicar en la zona 18, para el cuidado conjunto de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1.</p> <p>Si a futuro existe una alta densidad de esta zona, se puede optar por la implementación de una red de recolección condominial por gravedad hasta la estación semicentralizada en la zona 6 (a diseñarse con capacidad de expansión para este aporte adicional).</p>
8	<p>Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En este arreglo, los lodos recolectados serían enviados a plantas de tratamiento de lodos ubicadas estratégicamente.</p>

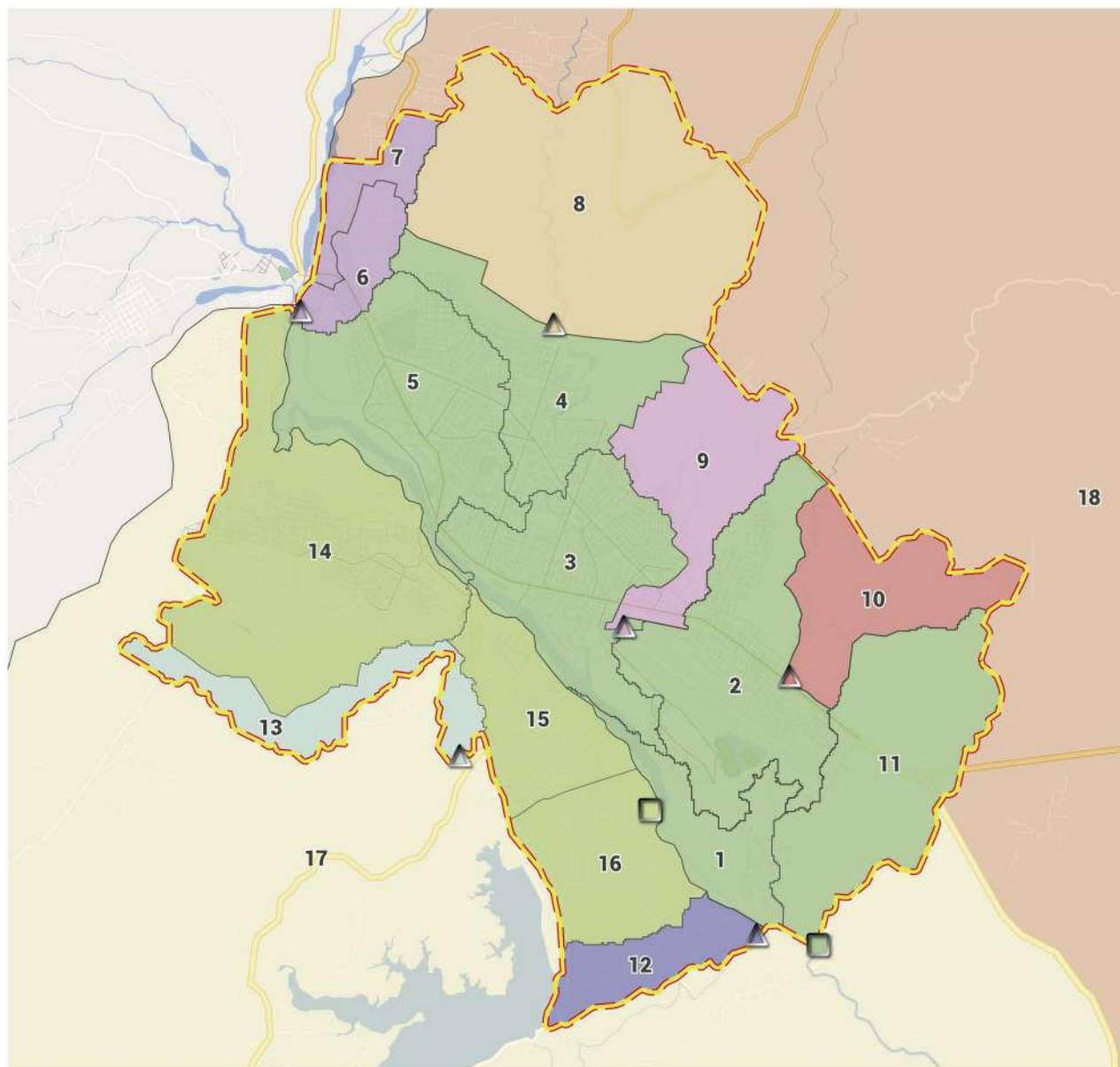
9	Debido a la proximidad entre estas zonas, se podría considerar una única estación de lodos, ubicada en la zona 18, para dar servicio a las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1. Cuando, en el futuro, exista una alta densidad de esta área, se puede optar por la implementación de una red de recolección condominial, por gravedad, hasta estaciones semicentralizadas, dedicadas a cada zona en la exaltación de las cuencas.
10	
11	Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En el caso de estas zonas, se sugiere el tratamiento en una planta de tratamiento de lodos a ubicar en la zona 18, para el cuidado conjunto de las zonas 7, 8, 9, 10, 11 y 1.  Si en el futuro hay una alta densidad de esta área, es posible optar por la implementación de una red de recolección condominial (simplificado) por gravedad hasta una pequeña estación de tratamiento de aguas residuales semi-centralizada, dedicada a las zonas 1 y 11 (ubicado cerca de la salida de la subcuenca), con rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.
12	Debido a la baja densidad de ocupación en esta zona, se propone que esta zona sea servida por soluciones de alcantarillado unifamiliar descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de limpieza de fosas). En este arreglo, los lodos podrían ser enviados a la PTAR San Blas, o a una nueva planta de tratamiento de lodos propuesta para la zona 17.
13	Si en el futuro hay una alta densidad de esta zona, se puede optar por la implantación de una red de recogida simplificada, y por gravedad, hasta una pequeña estación de tratamiento semicentralizada, dedicada a cada zona, 12 y 13 (colocado cerca de la salida de la subcuenca), con rendimiento suficiente para enviar los subproductos para su uso.
14	Los efluentes de estas zonas se seguirán canalizando a través de las redes de recolección y sistema centralizado de transporte de aguas residuales, hasta la PTAR San Blás (que fue dimensionada con capacidad suficiente para atender estas áreas). Además, se debe prever la extensión de las redes de recolección a calles con construcciones densas aún sin estas estructuras.
15	
16	
17	Debido a la baja densidad de ocupación en estas áreas, se propone que estas áreas sean servidas mediante soluciones de alcantarillado unifamiliares descentralizadas, con manejo de lodos fecales (a través de un servicio de fosa séptica).
18	Los hogares pueden optar tener sistemas autónomos de eliminación, procesamiento y reutilización de lodos en el suelo, lo que es especialmente relevante para ubicaciones más alejadas del centro urbano.  El cuidado mediante el manejo de los lodos fecales presupone el adecuado tratamiento del material retenido en las fosas. Este tratamiento se puede realizar en diferentes tipos de estaciones, dedicadas a lodos fecales o integradas con aguas residuales. En el caso del escenario centralizado, que busca minimizar el número/diversidad de los sistemas de tratamiento, el camino más lógico prevé la integración con las aguas residuales, en las PTAR. Por lo tanto, para las zonas 17 y 18, por mayor cercanía, los lodos serían enviados a la nueva PTAR. Para la zona 18, al sur de la cabecera municipal, se sugiere acudir a la PTAR San Blás. Sin embargo, vale la pena mencionar que incluso en la configuración centralizada, para comunidades a más de 40 km de distancia, la instalación de plantas de tratamiento de lodos fecales estratégicamente ubicadas en el área rural puede ser más viable financieramente, debido a la reducción de los costos operativos de transporte.

### Acciones a corto plazo escenario III:

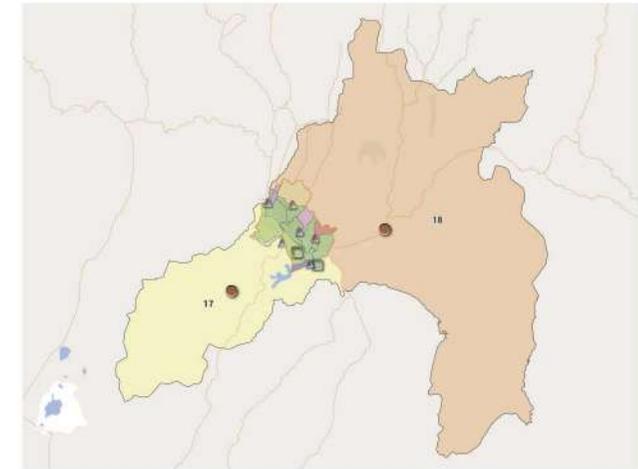
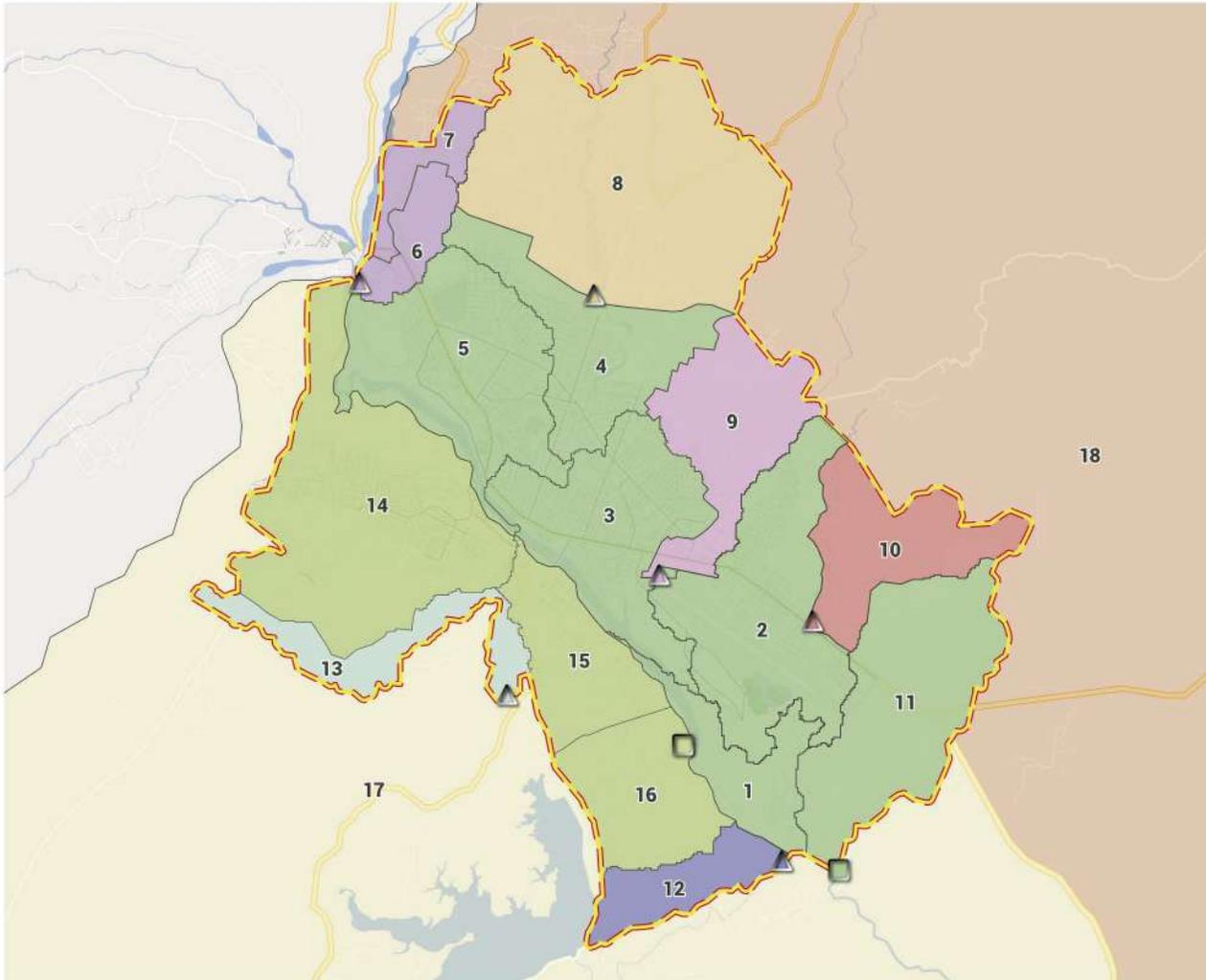
- Implementación PTAR La Pintada (reemplazo de PTAR San Luis);
- Ampliación de las redes de recolección en las zonas 2,3,4 y 5;
- Implementación de una red de recolección simplificada en la zona 6;
- Implementación de un modelo de servicio organizado para el manejo de lodos fecales para las zonas 1, 11, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17 y 18;
- Implantación de plantas de tratamiento de lodos fecales en las zonas 17 y 18.

### Las posibles acciones a medio-largo plazo:

- Implementación de redes de recolección simplificadas en las zonas 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13.
- Implementación de series de PTAR semicentralizados, en las zonas 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13.



## Descripción gráfica del ESCENARIO III



-  PTAR La Pintada – Zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 11.
-  PTAR San Blas – Zonas 14, 15 y 16.
-  PTAR SC I – Zonas 6 y 7.
-  PTAR SC II – Zona 8.
-  PTAR SC III – Zona 9.
-  PTAR SC IV – Zona 10.
-  PTAR SC VI – Zona 12.
-  PTAR SC VII – Zona 13.
-  GLF – zonas 17 y 18.
-  PTAR.
-  PTLF.
-  PTAR descentralizada.

## Descripción ESCENARIO III

El Escenario III tiene una configuración semi-centralizada, donde la recolección y tratamiento de efluentes, lodos fecales y alcantarillado sanitario se realizan en las propias zonas de aporte o por un conjunto de zonas a medida que se agrandan las redes de recolección. De esta forma, se ajusta la planificación para incluir estaciones pequeñas y grandes en las cuencas de aporte, permitiendo el uso local y seguro del agua tratada. El tema clave que debe abordarse en dicha configuración es la ubicación estratégica de los sistemas de tratamiento aislados, a continuación se encuentran los fundamentos estratégicos para la ubicación de plantas de tratamiento.

### Ubicación de las PTAR centralizadas

La ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales debe asignarse de tal manera que se minimicen los costos de transporte de las aguas residuales afluentes. Para ello se considera principalmente el factor topográfico, de tal forma que se permite el transporte por gravedad de las aguas residuales sanitarias en la cuenca de aporte. Así, el consenso de ubicación de PTAR es en el desagüe de la cuenca de drenaje de la región de aporte a la planta.

En la presente planificación también se consideró un segundo aspecto, la ubicación de las plantas de tratamiento en una región que permita la reutilización de los efluentes tratados aguas abajo de la misma, es decir, su ubicación en cotas más altas del terreno siempre que sea posible, permitiendo el transporte de agua de reutilización también por gravedad a los lugares de su aplicación. Considerando los datos de población y su proyección de crecimiento, estas estaciones tendrán caudales que van de 4,7 a 29,0 litros por segundo, con una población atendida que oscila entre 2.684 y 16.693 habitantes.

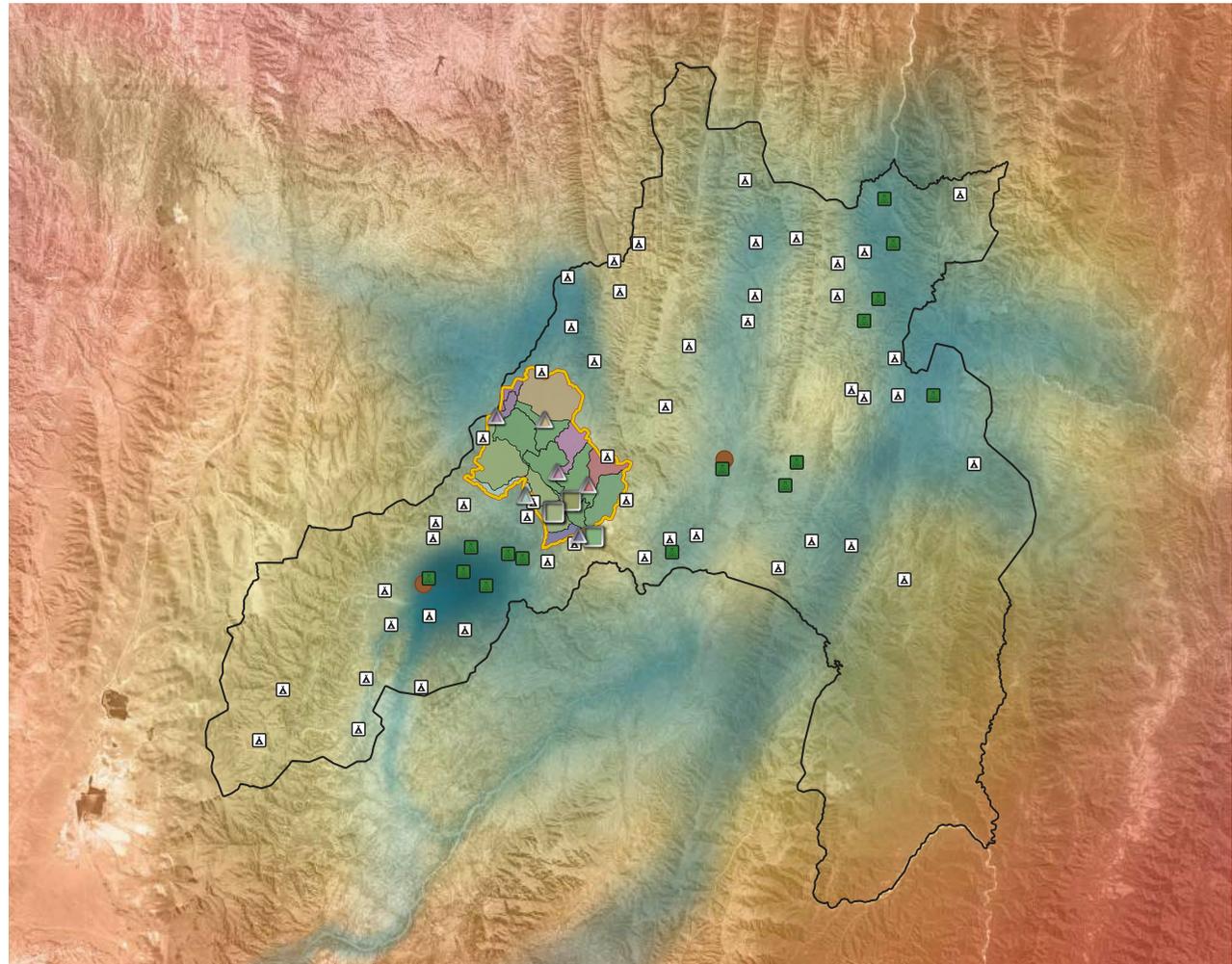
<b>Solución</b>	<b>Zonas</b>	<b>Población</b>	<b>Aguas residuales (L/s)</b>	
<i>PTAR San Blás</i>	<i>14 a 16</i>	<i>60.080</i>	<i>104,3</i>	
<i>PTAR La Pintada</i>	<i>1 a 5 y 11</i>	<i>153.776</i>	<i>267,0</i>	
<i>PTAR SC I</i>	<i>6 e 7</i>	<i>7.599</i>	<i>13,2</i>	
<i>PTAR SC II</i>	<i>8</i>	<i>16.693</i>	<i>29,0</i>	
<i>PTAR SC III</i>	<i>9</i>	<i>12.868</i>	<i>22,3</i>	
<i>PTAR SC IV</i>	<i>10</i>	<i>5.217</i>	<i>9,1</i>	
<i>PTAR SC VI</i>	<i>12</i>	<i>3.301</i>	<i>5,7</i>	
<i>PTAR SC VII</i>	<i>13</i>	<i>2.684</i>	<i>4,7</i>	
			<b>Lodos Fecales</b>	
			<i>Kg SS/día</i>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>
<b>PTLF</b>	<i>17</i>	<i>6.056</i>	<i>199,9</i>	<i>96,2</i>
	<i>18</i>	<i>3.637</i>	<i>120,0</i>	<i>58,2</i>

## Ubicación de las PTLF

La ubicación de Plantas de Tratamiento de Lodos Fecales para el cuidado de las zonas rurales es uno de los pasos más críticos en la elaboración de los planes de cuidado de estas regiones, ya que en los sistemas de saneamiento basados en el manejo de los lodos fecales, el proceso de transporte de los mismos representa el mayor costo de operación del sistema, y la asignación de PTLF sin una planificación adecuada pueden conducir a un aumento significativo en los costos operativos.

En áreas rurales, este instrumento de planificación realizó un estudio estratégico para la ubicación de PTLF a las zonas de servicio 17 y 18 basado en el concepto de "least cost", que consiste en la elaboración de una superficie de costo acumulado y su análisis para encontrar regiones de menor costo total. La superficie de costo elaborada consideró los siguientes aspectos:

- Ubicación de los agrupamientos de población rural, considerando que cuanto mayor sea la población local (generación local de lodos), más cerca debe estar el PTLF para minimizar costo de transporte.
- Principales carreteras de la región, con el fin de favorecer el transporte de lodos mediante una mayor movilidad, reduciendo el tiempo de desplazamiento de la solución de transporte de lodos entre los puntos de generación (soluciones individuales) y la planta de tratamiento local.



El mapamuestra el resultado del costo acumulado considerando las comunidades locales en relación con la ubicación de PTLF, el azul representa las zonas de menor costo y el rojo las zonas de mayor costo.



## **05**

Descripción general de las soluciones técnicas



# SOLUCIÓN A: Análisis de capacidad PTAR San Blas

## Demanda del sistema

La PTAR San Blas tiene una demanda de tratamiento diferenciada entre los escenarios considerados en este estudio:

- **Escenario I:** se espera que la estación reciba un caudal inicial de 83 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 14, 15 y 16, con una población estimada de 47.914 habitantes; y un caudal final de 109 l/s de aguas residuales crudas, correspondiente a las zonas de alcantarillado sanitario 13, 14, 15 y 16, con una población estimada de 62.764 habitantes.

En este escenario también se prevé el aporte de lodos fecales de las zonas 12, 13 y 17, con cargas de 2.108, 2.264 y 2.829 m<sup>3</sup>/año.

- **Escenario II:** se espera que la estación reciba un caudal inicial de 83 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 14, 15 y 16, con una población estimada de 47.914 habitantes; y un caudal final de 104 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 13, 14 y 15, con una población estimada de 60.080 habitantes.
- **Escenario III:** se espera que la estación reciba un caudal inicial de 83 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario

14, 15 y 16, con una población estimada de 47.914 habitantes; y un caudal final de 104 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 13, 14 y 15, con una población estimada de 60.080 habitantes.

## Directrices del sistema

En vista de las cargas de aguas residuales esperadas en la estación y considerando los estándares de tamaño típicos, se recomienda:

- **Escenario I, II y III:** Considerando los caudales recibidos por el sistema de San Blas, se observa que el sistema de lodos activados implementado es bastante adecuado.

Pero, considerando que los lodos recolectados en sistemas individuales serán recibidos y que estos pueden tener un impacto negativo en los sistemas de tratamiento si no se suministran adecuadamente, los sistemas de tratamiento de lodos o sistemas de pretratamiento deben planificarse y diseñarse antes del co-tratamiento con el alcantarillado sanitario para evitar posibles impactos negativos en los procesos biológicos implicados en el sistema de tratamiento de la PTAR.

Un aspecto interesante de las tecnologías de lodos activados es la gran posibilidad de adaptación a sis-

Un aspecto interesante de las tecnologías de lodos activados es la gran posibilidad de adaptación a sistemas con eventuales aumentos de demanda o que necesiten adaptarse a nuevas normas de vertido derivadas de nuevas regulaciones, por ejemplo, con la conversión de lodos adheridos en suspensión al proceso.

- **Fase inicial:** escenario I recomienda que la zona 16 sea atendida por un sistema de manejo de lodos fecales, por tanto, el sistema de tratamiento de la estación debe adaptarse para recibir este material, que tiene características muy diferentes a las de las aguas residuales, y no es adecuado su cotratamiento directo con las aguas residuales sanitarias recibidas en la estación.

En términos generales, se recomienda la dosificación de la aplicación de lodos a lo largo de las alcantarillas para no generar un impacto abrupto en los afluentes de la estación, lo que repercutiría en su funcionamiento.

Considerando que los lodos recolectados en sistemas individuales serán recibidos y que estos pueden tener un impacto negativo en los sistemas de tratamiento si no se suministran adecuadamente, los sistemas de tratamiento de lodos o sistemas de pretratamiento deben planificarse y diseñarse antes del co-tratamiento con el alcantarillado sanitario.

## SOLUCIÓN B: Adecuación PTAR San Luis existente

### Características del sistema

La PTAR San Luis está configurada en el modelo típico de laguna australiana, consistente en una secuencia de laguna anaerobia, laguna facultativa y laguna de maduración.

De acuerdo con la información brindada, la laguna anaeróbica del sistema tiene un volumen de 120.000 [m<sup>3</sup>], la laguna facultativa con una superficie de 50 hectáreas y la laguna de maduración con una superficie de 40 hectáreas. El sistema es operado en serie, comenzando en la laguna anaerobia, pasando a la laguna facultativa y finalizando en la laguna de maduración.

En los sistemas de estanques consecutivos, cada etapa debe diseñarse para comprender todo el proceso, para que no se convierta en una limitación.

En el sistema PTAR San Luis, considerando un aporte promedio reportado en la literatura de 50 g de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por habitante por día y una eficiencia de reducción de DBD típica de lagunas anaerobias del 50% de esta carga, el paso limitante del proceso es optativo, el cual tiene una capacidad para 20 mil habitantes.

Evidentemente, las observaciones empíricas de funcionamiento deben contratarse con esta estimación teórica para validar esta opinión.

### Demanda del sistema

La PTAR San Luis tiene una demanda de tratamiento diferenciada entre los escenarios considerados en este estudio:

- **Escenario I y III:** La operación de este sistema no se considera en estos escenarios, ya que toda la carga de aguas residuales crudas se desvía al sistema PTAR La Pintada.
- **Escenario II:** se espera que la estación reciba un caudal inicial de 236 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 1 a 5, con una población estimada de 136.072 habitantes ; y un caudal final de 243 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 1 a 5, con una población estimada de 140.083 habitantes.

### Directrices del sistema

En vista de las cargas de aguas residuales esperadas en la estación y considerando los estándares de tamaño se recomienda:

- **Escenario II:** considerando la información recibida, el sistema es bastante deficiente en cuanto a capacidad de tratamiento frente a las cargas recibidas y esperadas, una característica típica del sistema de lagunas sobrecargadas es la producción de malos olores en exceso, como se ha observado.

Por lo tanto, se recomienda que el sistema sea revisado para comprender una secuencia de tratamiento adecuada para las cargas esperadas.

Con un caudal final de 243 l/s, la estación se configura como grande, en estos casos se consideran adecuados sistemas de tratamiento intensivo, como reactores anaerobios precedidos de sistemas de lodos activados, o sistemas compactos de alta eficiencia, como reactores aerobios de biomasa adherente. (MBBR).

*\* Si los datos de población considerados para las zonas son correctos, esta población al final del plan estaría dentro de la capacidad prevista originalmente para la PTAR de San Luis (capacidad prevista de 250 L/s). Sin embargo, aún se propone una reformulación del proceso de tratamiento, con la sustitución de los sistemas de estanques por sistemas más intensivos y con mayores condiciones de control. Con ello, no sólo los rendimientos del tratamiento serán elevados, sino que también se controlarán las externalidades negativas con la emisión de gases y olores, garantizando la calidad y el confort ambiental para el barrio.*

## SOLUCIÓN C: Nueva PTAR La Pintada

### Características del sistema

Se propone la PTAR La Pintada como reemplazo de la PTAR San Luis en un lugar más alejado de la densidad poblacional. El sistema propuesto está compuesto por reactores tipo UASB seguidos de filtros biológicos percoladores y decantadores secundarios, así como etapas de tratamiento de los lodos generados.

### Demanda del sistema

La PTAR La Pitada tiene una demanda de tratamiento diferenciada entre los escenarios considerados en este estudio:

- **Escenario I:** se espera que la estación reciba un caudal inicial de 261 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 2, 3, 4, 5, 6 y 9, con una población estimada de 150.250 habitantes; y un caudal final de 346 l/s de aguas residuales crudas, correspondientes a las zonas de alcantarillado sanitario 1 a 12, con una población estimada de 199.454 habitantes.

Recepción de lodos fecales de las zonas 1, 7, 8, 10, 11 y 12 en la etapa inicial, correspondiente a un volumen de 67 mil m<sup>3</sup>/año y una carga sólida de 138 toneladas de SS al año.

- **Escenario II:** el sistema no está previsto en el escenario II, siendo sustituido por la revitalización de la PTAR de San Luis y la complementación de la demanda de capacidad del sistema con plantas de tratamiento de aguas residuales y lodos fecales descentralizados.
- **Escenario III:** se espera que la estación reciba un caudal inicial de 244 l/s de aguas residuales crudas, de las zonas 2 a 5, con una población estimada de 140 mil habitantes; y un caudal final de 267 l/s de aguas residuales crudas, de las zonas 1 a 5 y 11, con una población estimada de 154 mil habitantes.

Recepción de lodos fecales de las zonas 1, 7, 8, 10, 11 y 12 en la etapa inicial, correspondiente a un volumen de 67 mil m<sup>3</sup>/año y una carga sólida de 138 toneladas de SS al año.

### Directrices del sistema

En vista de las cargas de aguas residuales esperadas en la estación y considerando los estándares de tamaño típicos, se recomienda:

- **Escenario I:** los sistemas que reciben caudales en estos rangos se consideran grandes, en tales casos, se consideran adecuados los sistemas de tratamiento intensivo, como los reactores anaeróbicos precedidos por sistemas de lodos activados, o los sistemas com-

pactos de alta eficiencia, como los reactores aerobios de biomasa adherente (MBBR).

Teniendo en cuenta que en este primer escenario se prevé la centralización completa del tratamiento de los efluentes sanitarios en la PTAR La Pintada, la elección de una tecnología de tratamiento intensivo, especialmente de lodos activados asociados a reactores UASB, permite una gran flexibilidad operativa, incluyendo la posibilidad de adaptar los procesos en casos de necesidad de ajuste a caudales mayores o de cumplimiento de una legislación más restrictiva.

- **Escenario III:** los sistemas que reciben caudales en estos rangos se consideran grandes, en tales casos, se consideran adecuados los sistemas de tratamiento intensivo, como los reactores anaeróbicos precedidos por sistemas de lodos activados o reactores anaeróbicos seguidos por lodos activos, o los sistemas compactos, como los MBBR.

Pero en este caso, teniendo en cuenta que la planta estará fuera de la zona urbana, y que se prevé utilizar el efluente tratado para el riego, también se pueden considerar sistemas con un funcionamiento menos intensivo, que garanticen un buen rendimiento pero sin preocuparse por una elevada eliminación de nutrientes. Por lo tanto, también se consideró la opción de UASB seguida de filtros biológicos percoladores, que es una alternativa bastante más barata y cumple los requisitos de esta planta.

## SOLUCIÓN D: PTAR semicentralizada

Las plantas de tratamiento de aguas residuales semicentralizadas son parte de sistemas que atienden a conglomerados/ distritos aislados o partes específicas de las áreas urbanas donde la transposición de barreras topográficas no es factible o estratégica. Este tipo de solución debe lidiar con la misma caracterización de las aguas residuales que las centralizadas, pero debido a la menor extensión de las líneas de alcantarillado, generalmente tiene tasas de infiltración más bajas y, a menudo, presenta condiciones menos diluidas (esta es una tendencia, pero varía en cada caso).

Sin embargo, estos sistemas son responsables del tratamiento de las aguas residuales hasta el nivel requerido de descarga, con condiciones de implementación y operación adaptadas, para que sean factibles y prácticos de operar. Dado que este arreglo a menudo involucra un conjunto de plantas en lugar de una o dos estaciones centralizadas, estos sistemas deben tener condiciones de operación y mantenimiento simples, y costos de implementación factibles.

Además, teniendo en cuenta que estos sistemas están posicionados estratégicamente de acuerdo con las condiciones de la cuenca, es importante que estas plantas sean compactas y puedan integrarse al paisaje u otros usos públicos.

Al mismo tiempo, teniendo en cuenta las perspectivas de reutilización de los lodos y aguas residuales tratadas, el sistema debe garantizar el desempeño adecuado del tratamiento. Si bien existen usos industriales potenciales

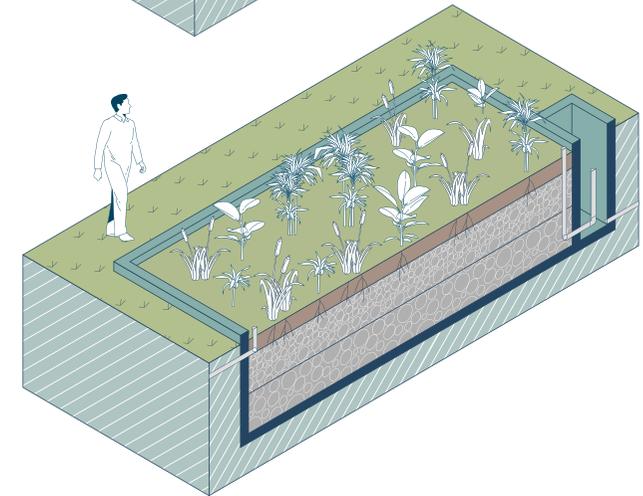
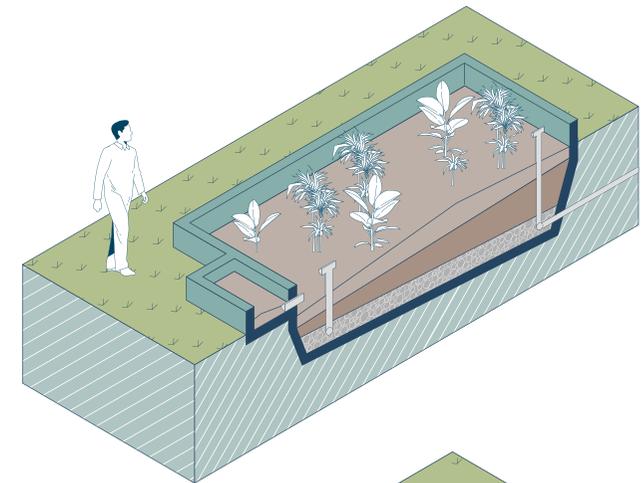
para los lodos y el agua, la región de Tarija tiene un potencial sustancial para la aplicación de los subproductos en la agricultura, el paisajismo urbano y la recuperación de tierras.

Por este motivo, y manteniendo además las premisas de simple operación y mantenimiento, se sugiere que estos sistemas apunten al tratamiento de segundo nivel con una etapa adicional de desinfección.

La eliminación de nutrientes (fósforo y nitrógeno total) sería un aspecto importante de atención si el efluente tratado fuera a descargarse directamente en los cuerpos de agua. Sin embargo, si la reutilización del agua es el motor obligatorio para estas plantas, la presencia de nutrientes puede ser un aspecto positivo.

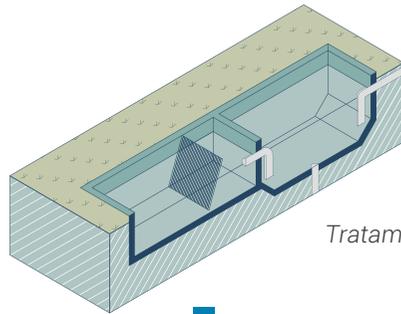
Para el nivel de tratamiento secundario, estas plantas se enfocan en la eliminación de sólidos y orgánicos, pero también pueden tener una eliminación considerable de nutrientes. Existen muchas configuraciones posibles y opciones tecnológicas para las plantas de tratamiento de aguas residuales semicentralizadas, desde sistemas compactos e intensivos hasta soluciones DEWATs (Sistemas Descentralizados de Tratamiento de Aguas Residuales) simplificados.

Para los sistemas semicentralizados en Tarija, propuestos en los escenarios I y II, se sugiere considerar tres tipos principales de plantas semicentralizadas: DEWAT integrados; sistemas prefabricados compactos; y PTAR de pequeña escala.

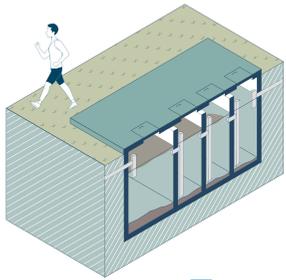


*Concepto de parques PTARs distribuidos por la ciudad. Algo innovador e integrado, que permita la reutilización y otros servicios ambientales (como el compostaje) además de la educación ambiental.*

## Ejemplo 1: Decentralised waste water treatment system (DWATs) / Sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales



Tratamiento preliminar



Reactor anaeróbico compartimentado

Para localidades con hasta 5000 habitantes, una solución potencial sería la implementación de un sistema DEWATs ubicado estratégicamente en los puntos bajos de las subcuencas. Este sistema se puede integrar al paisaje, pero también requerirá una cantidad de área de moderada a alta.

Muchos de los sistemas basados en la naturaleza normalmente no requieren personal fijo, con solo verificación periódica de determinados parámetros y aspectos de operación. La remoción y el manejo de sólidos, el cultivo de la vegetación de los sistemas plantados, la verificación de los niveles de agua y sólidos, y el monitoreo de los parámetros de eficiencia son los procedimientos habituales, sin muchos factores de control que supervisar constantemente.

Área requerida alrededor de 0,5 m<sup>2</sup> por habitante. Ej: para 2.000 habitantes se necesitarían 1000 m<sup>2</sup> (más de la mitad ocupada por el sistema vegetado).



Desinfección química o Sistema UV



Humedales construidos a partir del flujo subterráneo

Esta configuración involucra 5 flujos de materia que salen del sistema:

- Agua tratada en condiciones de reenvío para reutilización (con salida de caudal continuo que puede ser reenviada por gravedad para riego de zonas urbanas aguas abajo, o tener depósito de acumulación y transporte por camión de agua a puntos más distantes).
- Lodos retenidos en el reactor anaeróbico compartimentado (acumulados con remoción mensual, y enviados a la planta de tratamiento de lodos fecales).
- Biogás del reactor anaeróbico compartimentado (que puede ser tratado con un sistema de biofiltro de carbón activado de bajo costo).
- Biomasa desarrollada en humedales construidos (con poda cada 6 meses y reenvío de la biomasa para compostaje).

Estos sistemas requieren de pocos insumos en general, pero con la necesidad de desinfección, considerando la baja factibilidad de grandes áreas para la desinfección solar, se requiere la aplicación de químicos o consumo eléctrico para el funcionamiento de un dispositivo de desinfección UV.

## Ejemplo 2: Sistemas prefabricados compactos



Para localidades con población hasta 5000 y/o no hay mucha disponibilidad de terreno, sería la aplicación de sistemas de aguas residuales prefabricados compactos.

Esta configuración, con el objetivo de reutilizar el agua, estaría compuesta por: preliminar completo; reactores biológicos compactos (anaerobios y/o aerobios) con reactor biológico prefabricado; y sistema de desinfección.

Esta configuración involucra 5 flujos de materia que salen del sistema:

- Agua tratada en condiciones de reenvío para reutilización (con salida de caudal continuo que puede ser reenviada por gravedad para riego de zonas urbanas aguas abajo, o tener depósito de acumulación y transporte por camión de agua a puntos más distantes).
- Lodos retenidos en el reactor anaeróbico compartimentado (acumulados con remoción mensual, y enviados a la planta de tratamiento de lodos fecales).
- Biogás del reactor anaeróbico compartimentado (que puede ser tratado con un sistema de biofiltro de carbón activado de bajo costo).

Estos sistemas requieren de pocos insumos en general, pero con la necesidad de desinfección, considerando la baja factibilidad de grandes áreas para la desinfección solar, se requiere la aplicación de químicos o consumo eléctrico para el funcionamiento de un dispositivo de desinfección UV.

### Ejemplo 3: PTAR de pequeña escala



Barandilla y arenero modular compactos



Desinfección química o Sistema UV



Reactores biológicos con medios de soporte móviles

Para lugares con poblaciones más grandes, hasta 20.000 habitantes, se pueden considerar PTAR pequeñas, tanto en configuraciones convencionales como compactas. Para lugares con poca disponibilidad de espacio, se proponen configuraciones intensivas que brindan alta capacidad y rendimiento, generalmente haciendo uso de medios de soporte que aumentan el área de superficie para el desarrollo de biopelículas, en reactores de bajo volumen.

Este es el caso de los sistemas MBBR, o la configuración UASB vertical con filtros percoladores. En ambos casos, los decantadores lamelares secundarios ayudan en la compactación de las PTARs. Si bien demandan más atención operativa y más puntos de control, estos sistemas pueden ser controlados a distancia, sin un equipo fijo en la planta.

Esta configuración involucra 5 flujos de materia que salen del sistema:

- Agua tratada en condiciones de reenvío para reutilización (con salida de caudal continuo que puede ser reenviada por gravedad para riego de zonas urbanas aguas abajo, o tener depósito de acumulación y transporte por camión de agua a puntos más distantes).
- Lodos retenidos en el reactor anaeróbico compartimentado (acumulados con remoción mensual, y enviados a la planta de tratamiento de lodos fecales).
- Biogás del reactor anaeróbico compartimentado (que puede ser tratado con un sistema de biofiltro de carbón activado de bajo costo).

Estos sistemas requieren de pocos insumos en general, pero con la necesidad de desinfección, considerando la baja factibilidad de grandes áreas para la desinfección solar, se requiere la aplicación de químicos o consumo eléctrico para el funcionamiento de un dispositivo de desinfección UV.



## SOLUCIÓN E: Sistemas descentralizados basados en la gestión de lodos fecales

### Configuración de los servicios basados en la gestión de lodos fecales (GLF)

Para obtener soluciones de saneamiento viables y eficaces a largo plazo, los sistemas deben adaptarse a las características de los servicios de alcantarillado sanitario, toda la cadena del servicio, desde la recolección hasta el tratamiento y reutilización/disposición de sus derivados, debe definirse con base en las peculiaridades y potencialidades de la región.

En general, las áreas rurales, periurbanas y urbanas de baja densidad requieren un enfoque adaptado para la implementación de sistemas y servicios de saneamiento. En estos contextos, la implementación de sistemas de alcantarillado muchas veces no es económicamente viable. Por otro lado, los sistemas descentralizados basados en la gestión de lodos fecales tienen un enorme potencial para este contexto.

Para que la cadena de servicios de saneamiento sea efectiva, los modelos descentralizados basados en la gestión de lodos fecales deben garantizar soluciones adecuadas en las diferentes etapas del proceso. Con frecuencia, la falta de organización de esta forma de servicio provoca condiciones inadecuadas de las estructuras, así como del manejo de los lodos.

En primer lugar, las soluciones individuales (unifamiliares o multifamiliares) deben estar adecuadamente diseñadas, implementadas y operadas, de modo que realmente brinden el tratamiento de las aguas residuales antes de su disposición en el suelo o cuerpos de agua. Sin embargo, muchas veces los sistemas aplicados son pozos rudimentarios, sin tratamiento, y/o no son operados adecuadamente.

En la parte de manejo de lodos, estos materiales deben ser recolectados de manera segura y con la frecuencia adecuada. Sin embargo, las viviendas no cumplen con estas condiciones, dejando que los sistemas funcionen con una acumulación excesiva de lodos. Incluso cuando se vacían los fosas, muchas veces este servicio se realiza de manera inadecuada, sin equipos de seguridad o que eviten impactos al sitio.

Más allá de este punto, aún cuando se recolectan los lodos, debido a la falta de inspección y los costos de transporte y aporte al PTLF que deben pagar los proveedores, es común disponer los lodos en lugares inadecuados sin tratamiento, como la tierra o cuerpos de agua. Y finalmente, aunque sea referido para tratamiento, en ocasiones este aporte se realiza en PTARs sin capacidad para tales aportes, lo que puede comprometer el desempeño de la planta en general.

**Solución de contención individual**

**Solución construida y operada correctamente, con disposición adecuada o reutilización del efluente tratado.**

*Fosa séptica, vermifiltro, sistema de evapotranspiración, filtro anaeróbico, biodigestor, tanque compartimentado, etc.*

**Pozo rudimentario, sumidero sin tratamiento previo, descarga directa a arroyos, lagos, etc.**

*Solución inadecuada que infiltra o libera el efluente al medio ambiente sin el tratamiento necesario.*

*Recolección, transporte y tratamiento adecuado de lodos periódicamente, antes de su eliminación / reutilización.*

*Camión de drenaje, bomba manual o motorizada conectada a un depósito adecuado, para su envío a tratamiento remoto.*

**Lodos enviados a estaciones aptas para este tipo de material en ETE o ETLF.**

*Estación de tratamiento de aguas residuales con proceso y dimensionamiento adecuado para el ingreso de lodos fecales, o estación de tratamiento de lodos fecales.*

*Recolección y tratamiento adecuado en el lugar.*

*Bomba manual o motorizada que dirige el lodo para su tratamiento in situ (lecho de secado, zona de raíces, compost, etc.).*

*Lodo recolectado pero material desechado incorrectamente.*

*Lodos sin tratar dispuestos sin control en arroyos /lagos, terrenos, cultivos de hortalizas, etc.*

**Lodos tratados en estaciones no diseñadas para la entrada de este tipo de material.**

*Estación de tratamiento de aguas residuales con proceso y/o dimensionamiento no apto para el aporte de lodos fecales.*

*Vertedero de pozos rudimentarios donde se eleva el nivel freático.*

**Recolección, transporte y tratamiento de lodos fecales**



## Alcance del servicio y modelo de servicio

Los servicios de saneamiento mediante el manejo de lodos fecales pueden tener diferentes alcances de servicio (bajo la responsabilidad del prestador del servicio), así como diferentes formas de ofrecer servicios dentro del alcance definido. Dadas las condiciones de Tarija, se enumerarán aquí las principales posibilidades para configurar la gestión de lodos fecales para áreas rurales y periurbanas.

Teniendo en cuenta las diferentes etapas de la cadena del servicio de saneamiento, desde el punto de generación hasta la reutilización o disposición final de los efluentes tratados, los modelos de servicio de GLF comúnmente abarcan las etapas de contención, recolección y transporte, tratamiento y reutilización. Sin embargo, existen diferentes niveles de responsabilidad para cada uno de estos pasos.



Las soluciones propuestas tienen como objetivo garantizar una cadena de servicio completa y segura para la región cubierta. Para ello, es necesario establecer un arreglo estratégico entre soluciones estructurales, modelo de servicio, programas, políticas públicas y participación de los diferentes actores.

La configuración de los sistemas para cumplir con las diferentes etapas de la cadena de servicios debe estar estrechamente relacionada con el modelo de servicio, por parte del proveedor de servicios. Las estructuras de tratamiento de aguas residuales in situ, la dinámica y los equipos de recogida y transporte de los lodos fecales, así como el sistema de tratamiento y reutilización de estos materiales, deben definirse en función de las condiciones locales.

Aspectos como la población, la densidad de ocupación y la disponibilidad de espacio, la capacidad técnica para el funcionamiento de los servicios y los intereses locales para la reutilización de los subproductos (agua y lodos) pueden orientar la forma de configurar óptimamente el sistema, reduciendo significativamente los costes de implantación y funcionamiento.

En general, los sistemas descentralizados proporcionan unos costes mucho menores que los sistemas de alcantarillado convencionales (ya que no implican grandes redes de recogida ni PTAR), con una dinámica de funcionamiento y mantenimiento sencilla. Al mismo tiempo, requiere una buena organización y definición en el reparto de responsabilidades y protocolos operativos para garantizar un buen funcionamiento.

Por lo tanto, es esencial definir la configuración de los sistemas a partir de una alineación de las actividades que son responsabilidad del municipio, las responsabilidades de los servicios de vaciado de fosas, la responsabilidad del proveedor de servicios de saneamiento y la gestión municipal.

A continuación se presentan algunos ejemplos de cómo podría configurarse el modelo de servicio, basado en la gestión de los lodos fecales. Hay diferentes niveles de responsabilidad que el proveedor de servicios tiene para cada paso.

<b>EJEMPLOS DE NIVELES DE RESPONSABILIDAD PARA PROVEEDORES DE SERVICIO</b>			
	<b>Alcance / responsabilidad mínima</b>	<b>Alcance / responsabilidad moderada</b>	<b>Alcance / responsabilidad avanzado</b>
<b>Adecuación soluciones individuales</b>	<i>Proporciona instrucciones técnicas para que los hogares organicen los ajustes.</i>	<i>Propicia apoyo económico (con fondos, créditos o subvenciones) para instalación.</i>	<i>Oferece soluciones individuales.</i>
<b>Servicio de recolección y transporte de lodos</b>	<i>Programa de recogida con flota de proveedores de servicios.</i>	<i>Programa de recogida con flota externalizada.</i>	<i>Organización de demandas entre empresas privadas.</i>
<b>Tratamiento de lodo fecal</b>	<i>Tratar en PTAR existente con condiciones adecuadas para co-tratamiento.</i>	<i>Implementa nuevas plantas para el tratamiento de lodos fecales.</i>	<i>Los dos.</i>
<b>Reúso/ destinación dos sub-productos</b>	<i>Pone los recursos a disposición de terceros para recoger y usar.</i>	<i>Material destinado a fines específicos.</i>	<i>Aprovecha directamente los recursos en la planta o el vecindario.</i>



<b>USUARIO</b>	<i>Instalación y mantenimiento</i>	<i>Instalación y mantenimiento</i>	<i>Tarifa y recepción del limpiador de cámaras</i>		
<b>PRESTADOR DE SERVICIO</b>		<i>Registro, verificación y lineamientos</i>	<i>Planificación / gestión y externalización de limpieza de fosos</i>	<i>PTARS y/o PTLF</i>	<i>Reenvío para reutilización</i>

En el contexto de la **etapa de contención**, los prestadores de servicios generalmente no son responsables de distribuir nuevos sistemas de contención a los hogares, pero hay casos en los que prevén mecanismos de subsidio o fondos de apoyo (con el municipio) para ayudar a las familias en situación de vulnerabilidad a tener nuevos sistemas de contención o tanques sépticos.

En prácticamente todos los casos con arreglos de gestión de lodos fecales, el proveedor del servicio es responsable por lo menos del registro e inspección inicial de las soluciones individuales en cada hogar, verificando cuáles están en condiciones adecuadas y cuáles necesitan mejoras, además de dar instrucciones técnicas para que cada domicilio sepa cómo hacerlo, adaptar y operar sus sistemas. Esta inspección es también el momento en el que hay un alineamiento final con los vecinos sobre la dinámica de la recogida de lodos y el sistema tarifario.

Para la **etapa de recolección y transporte** de lodos, existen diferentes formas en que los prestadores de servicios de saneamiento pueden organizar su alcance. Hay casos en los que los proveedores no se hacen cargo de este paso, quedando la dinámica bajo la responsabilidad de los servicios privados de limpieza de fosas (y responsabilizándose únicamente de la recepción y tratamiento de los materiales). Este es el formato dominante en el mundo, pero también está relacionado con la falta de organización y optimización de los servicios de GML: los altos costos por recolección y las enormes tasas de envío inadecuado de lodos recolectados son puntos comunes en la mayoría de los lugares.

Por tanto, hay formatos de atención que aportan mejoras sustanciales a la eficacia y viabilidad de estas etapas. En

estos casos, los prestadores de servicios son los encargados de organizar los servicios de recolección y transporte de lodos, ya sea por su cuenta (con su propio equipo y flota), o bien organizando servicios privados en la región donde operan. Esta organización se puede realizar de diferentes formas, siendo las dos principales: el servicio a través de la recolección programada de lodos en las viviendas; y el servicio de call center para articular la demanda con la oferta del servicio de limpieza de fosas.

Para la **etapa de tratamiento**, también existen diferentes formas de proporcionar el tratamiento de lodos recolectados. Los lodos fecales tienen caudales de caracterización y producción expresivamente diferente de las aguas residuales, y por lo tanto requiere un enfoque especializado para su procesamiento eficiente y optimizado.

Técnicamente, el tratamiento se puede prever tanto en las PTAR, como en las líneas de lodos de las PTAR, así como en estaciones dedicadas al tratamiento de lodos fecales únicamente (PTLF). En el caso de reenvío de lodos a PTAR existentes, es importante verificar la capacidad de los procesos biológicos para abastecer las nuevas cargas, y adecuar las estructuras para el abastecimiento seguro y adecuado de este nuevo material.

Las PTLF, por su parte, están constituidas por procesos especializados que optimizan el tratamiento y la obtención de recursos a partir de los lodos, con estructuras de costos bajos/moderados. En la interfaz entre el tratamiento y la recolección/transporte de lodos, es importante que las estructuras de tratamiento estén ubicadas estratégicamente para garantizar la viabilidad de los servicios de transporte y reducir el riesgo de envío inadecuado de los lodos recolectados.

Por ello, suele ser más estratégico implantar nuevas estaciones distribuidas por todo el territorio con el fin de optimizar los servicios. Y finalmente, para la reutilización de subproductos, el prestador de servicios puede optar por diferentes niveles de internalización y delegación de actividades. Hay casos en que los proveedores integran actividades de siembra en las propias plantas de tratamiento (de mudas o alimentos), casos en que los recursos son encaminados por el proveedor a predios rurales o industriales interesados en los materiales (en lugar de enviarlos a rellenos sanitarios), y también, casos en que los interesados busquen el material en la propia planta (que deberá prever estructuras de almacenamiento proporcionales a la necesidad).

Para Tarija, como referencia inicial para los alineamientos locales, se sugiere partir de un acuerdo de servicios con un nivel moderado de responsabilidades por parte del proveedor de servicios o de la gestión pública municipal. Este modelo puede evolucionar a lo largo de los debates, o incluso con el tiempo de funcionamiento, pero es un punto de partida estratégico para la implantación del nuevo modelo de forma orgánica.

En este arreglo, las responsabilidades del proveedor de servicios comienzan con el registro de los hogares y la verificación de las soluciones de contención individuales. La recogida de lodos fecales se realizaría de forma programada con una frecuencia bianual (por medio de la propia flota del proveedor de servicios o mediante iniciativas privadas). El tratamiento se llevaría a cabo en plantas especializadas para lodos fecales y/o en las nuevas PTARs, con la condición de que éstas estén diseñadas para dichas cargas).

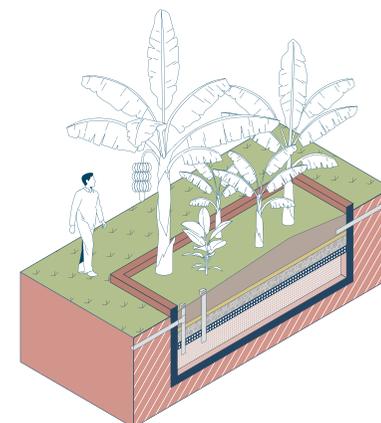
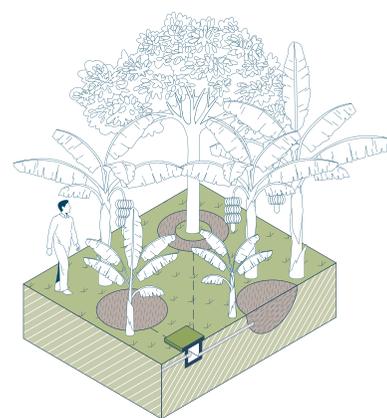
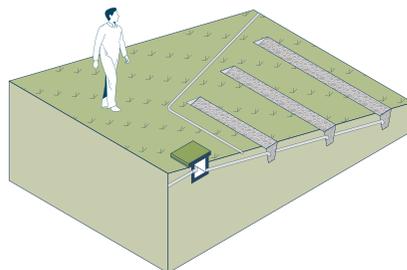
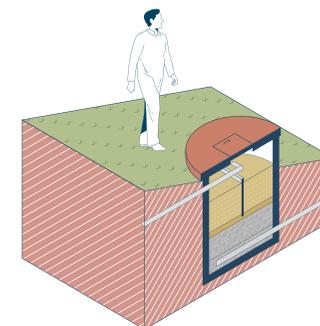
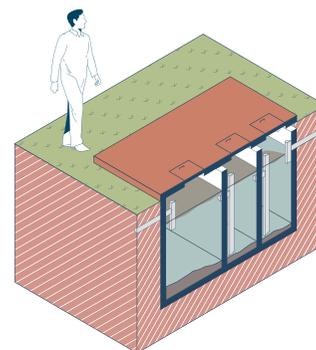
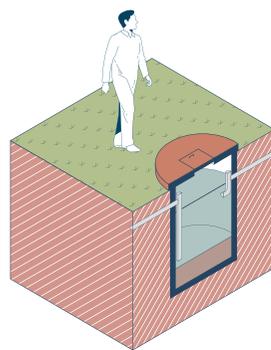
## Sistemas individuales de contención

Para tratar las aguas residuales domésticas de los hogares en áreas menos densamente ocupadas (y/o regiones donde el alcantarillado no es técnicamente factible), la implementación de sistemas de contención en el sitio permite la retención de contaminantes específicos al nivel requerido por los estándares locales.

Estos sistemas presentan un importante nivel de flexibilidad para adaptarse a las condiciones locales, las capacidades de operación y mantenimiento y el nivel de tratamiento. Estos sistemas se centran en el tratamiento de la parte líquida de las aguas residuales, lo que permite su descarga/reutilización segura. La fracción sólida retenida dentro de los sistemas en sitio debe ser removida y manejada apropiadamente para asegurar el propósito general del sistema.

Hay muchas configuraciones posibles y opciones tecnológicas para las unidades de tratamiento in situ, desde simples fosas sépticas hasta soluciones más elaboradas basadas en la naturaleza, así como sistemas aeróbicos prefabricados. Estos sistemas se pueden implementar en una única vivienda o un grupo de hasta 10 viviendas.

Se deben considerar nuevos sistemas cuando las viviendas no tienen soluciones de alcantarillado o cuando los sistemas existentes no tienen el tamaño o la construcción adecuados o enfrentan problemas operativos.



*El prestador del servicio y el municipio pueden dar instrucciones técnicas y aportar, o articular, fondos para la implementación de sistemas en lugares más vulnerables socialmente y con mayor riesgo de contaminación de los recursos hídricos (de suma importancia para zonas de recarga de acuíferos).*

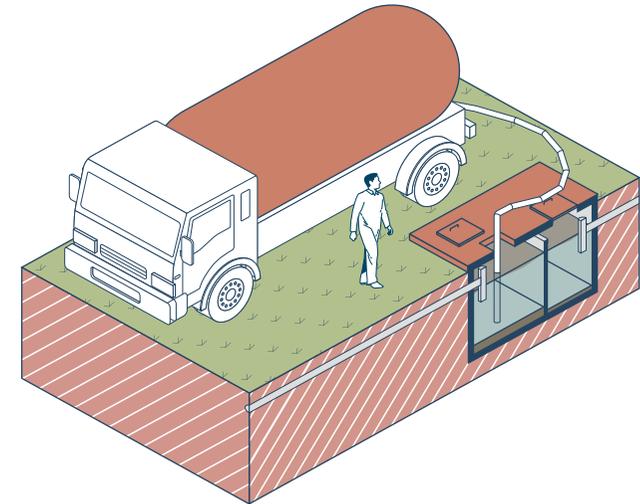


## Recolección sistematizada de lodos acumulados en sistemas individuales

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales produce lodos que, para mantener su correcto funcionamiento, deben ser removidos periódicamente. Este proceso y la necesidad de un adecuado enrutamiento de los lodos son la base de los sistemas basados en la gestión de los lodos fecales. En términos locales, esta operación puede parecer sencilla, ya que una persona promedio genera 360 litros de lodo fresco al año, o 90 litros de lodo denso.

Por otro lado, cuando un programa cubre una región geográfica más amplia, esta perspectiva cambia y comienza a tener que lidiar con volúmenes considerables. En este sentido, un adecuado cronograma de recolección es fundamental, ya que influirá directamente en los procesos y dimensionamiento de la planta de tratamiento, así como en la dinámica de envío de los subproductos generados.

- Organización de la logística de vaciado de los sistemas, que debe ser lo más eficiente posible para reducir costos;
- La conciencia de que la eliminación de lodos no es una actividad intuitiva desde el punto de vista del usuario, ya que la acumulación de este material en los sistemas individuales inicialmente no causa problemas operativos notables; y
- Posibilidad de amortiguar la tasa de vaciado de los sistemas, en un formato similar a las tarifas cobradas en los sistemas convencionales.



*La recogida programada, como estrategia para reducir costos y permitir la sostenibilidad financiera de la gestión de lodos. Se puede realizar con flota propia, o bien organizando servicios locales de limpieza de las soluciones individuales de contención.*

## Tratamiento en PTLFs

Una vez recolectados, los lodos fecales deben dirigirse a una planta de tratamiento adecuada. El tratamiento de este material es bastante variado y está directamente relacionado con el uso final previsto; si la intención es utilizarlo con fines agrícolas, las medidas para reducir el contenido de agua en los lodos, la estabilización de la materia orgánica y la reducción de patógenos son esenciales; si el uso previsto es la recuperación de energía, se debe considerar una solución de secado avanzada.

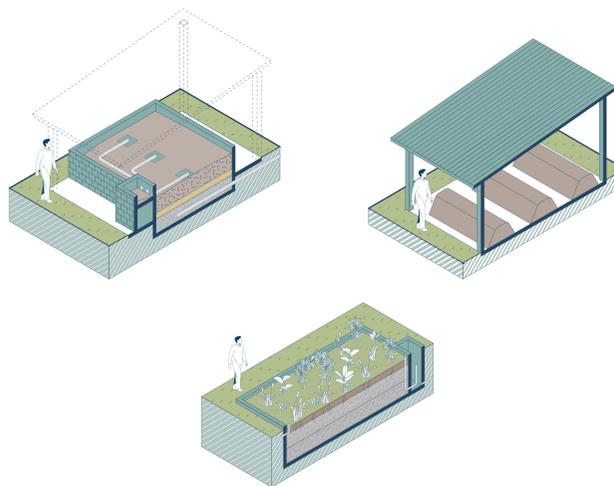
De cualquier manera, es importante tener en cuenta el uso final previsto para los lodos fecales recolectados, sopesando los pasos del tratamiento para lograr los parámetros requeridos.

Se deben considerar plantas de tratamiento de lodos fecales dedicadas en lugares donde hay un gran volumen de lodos recolectados y a grandes distancias de las PTAR, y/o cuando el cotratamiento en las plantas existentes puede afectar su desempeño. Además, las plantas dedicadas pueden permitir un procesamiento más eficiente y de bajo costo de los flujos de desechos para la recuperación de recursos.

La configuración de un sistema de tratamiento de lodos está directamente relacionada con el uso final previsto de los lodos fecales. Los pasos básicos son la eliminación de sólidos gruesos y la reducción del contenido de humedad. El tratamiento posterior está directamente relacionado con el uso final del material, incluida la estabilización de la materia orgánica, el secado parcial y la eliminación de patógenos para uso agrícola; o procesos de deshidrata-

ción avanzada/intensa para aprovechamiento energético. Para la estabilización de materia orgánica se han utilizado ampliamente reactores de estabilización anaerobios. Para uso agrícola, comúnmente se consideran etapas de compostaje y adición de suplementos nutricionales; en esta línea, el tratamiento mediante secaderos plantados y el co-compostaje han demostrado ser muy beneficiosos.

El funcionamiento de las plantas de tratamiento de lodos fecales está directamente relacionado con los procesos empleados. Generalmente, la operación consiste en la remoción y disposición de sólidos gruesos; tratamiento de la fase líquida, separada del lodo por procesos, como espesamiento y estabilización física de la fracción de materia orgánica. El mantenimiento de plantas dedicadas al tratamiento de lodos, de igual forma, está relacionado con los procesos utilizados, consistentes en el destino de sólidos gruesos; operación de procesos de estabilización de materia orgánica; y gestión de la vegetación en sistemas plantados, como lechos de secado plantados y humedales construidos.





## Soluciones in situ no adecuadas

### Sustitución de soluciones inadecuadas por sistemas adecuados

Las soluciones individuales de tratamiento de aguas residuales domésticas deben cumplir con una serie de estándares de diseño (como la estanqueidad) y operativos (como la eliminación regular de lodos) para cumplir su función de proteger la salud humana y el medio ambiente.

Las soluciones precarias, como los fosas rudimentarios, no consideran estas premisas, lo que representa un grave riesgo de contaminación del suelo y, posiblemente, de las aguas subterráneas y superficiales en sus inmediaciones. Su sustitución por sistemas adecuados es fundamental para la protección del medio ambiente y la garantía de condiciones sanitarias adecuadas.

### Implantación de una solución adecuada en viviendas aún sin solución

Las viviendas que no cuentan con soluciones individuales y descargan sus efluentes directamente a los cuerpos de agua superficiales o al suelo, deben recibir sistemas adecuados de acuerdo a su tasa de producción de aguas residuales y de acuerdo con las condiciones locales, considerando los aspectos culturales del tratamiento de los efluentes sanitarios. Siempre es importante considerar la posibilidad de reutilizar los efluentes tratados localmente, si estas prácticas son aceptadas por la población.

## Recolección sistematizada de lodos acumulados en sistemas individuales

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales produce lodos que, para mantener su correcto funcionamiento, deben ser removidos periódicamente. Este proceso y la necesidad de mantener una línea de lodos adecuada para su tratamiento, son clave para los sistemas basados en la gestión de los lodos fecales. A pequeña escala, esta operación puede parecer sencilla, ya que una persona promedio genera 360 litros de lodo fresco al año, o 90 litros de lodo denso. Sin embargo, cuando un programa cubre una región geográfica más amplia se hace necesario lidiar con volúmenes mayores. En este sentido, un adecuado cronograma de recolección es fundamental, ya que influirá directamente en los procesos y dimensionamiento de la planta de tratamiento, así como en la dinámica de envío de los subproductos generados. Otros aspectos importantes en la creación de una rutina de recolección son:

- Organización de la logística de vaciado de los sistemas, que debe ser lo más eficiente posible para reducir costos;
- La conciencia de que la eliminación de lodos no es una actividad intuitiva desde el punto de vista del usuario, ya que la acumulación de este material en los sistemas individuales inicialmente no causa problemas operativos notables; y
- Posibilidad de amortiguar la tasa de vaciado de los sistemas, en un formato similar a las tarifas cobradas en los sistemas convencionales.



## Ampliación de áreas de cobertura mediante alcantarillados simplificados (aplicable a las soluciones A, B, C y D)

### Red condominial

Las soluciones de alcantarillado simplificado comenzaron a desarrollarse a principios de los años 80, para reducir los costos de implementación y mantenimiento del alcantarillado, entre los cuales el alcantarillado condominial es el más representativo. Pretende atender comunidades con cierta densidad poblacional que justifique la centralización del tratamiento de alcantarillado sanitario. El modelo logra reducciones de costos de hasta un 58%, en comparación con las alcantarillas convencionales, mediante el uso de un diseño de red simplificado, diámetros de tubería y pendiente de red reducidos.

En los sistemas de alcantarillado condominial, la disposición del alcantarillado está diseñada para servir a los bloques (agrupaciones de viviendas) de una determinada ubicación, reduciendo así la longitud de la red de alcantarillado y consecuentemente sus costos. Las conexiones de los edificios a la red del bloque así como a la red interna del propio bloque son ejecutadas por los usuarios.

El modelo también considera, como medio para simplificar el alcantarillado y reducir su costo, el uso de tuberías con diámetros menores a 100 mm y una pendiente mínima para los ramales del alcantarillado del 1%. Esos parámetros están muy por debajo de los estándares considerados en la línea de alcantarillado convencional.

La implementación y operación de alcantarillado condominial consiste en la implementación de los ramales de recolección para dar servicio a los bloques y la asistencia técnica a los usuarios en el diseño, instalación y mantenimiento de los ramales de alcantarillado al interior de los bloques, así como su conexión a la red de ramales condominiales. Su mantenimiento consiste en una inspección rutinaria de la integridad de la red, identificando fugas y obstrucciones y, cuando sea necesario, realizando reparaciones y limpiezas. El sistema condominial ha sido ampliamente utilizado para atender lugares donde la densidad de población y/o patrones de ocupación del territorio no se adaptan a las redes convencionales desde el punto de vista económico y/o técnico.

### Red libre de sólidos

Las redes de alcantarillado libres de sólidos, o alcantarillado sedimentado, son un segundo modelo desarrollado en el campo de estudio de los sistemas simplificados. La premisa básica de este tipo de sistemas es la implementación de unidades que actúen como retenedores de gran parte de los sólidos del alcantarillado antes de enviarlos a las redes de recolección y transporte.

La presencia de grandes cantidades de sólidos en los efluentes domésticos tiene un gran impacto en el diseño

de las redes de recolección debido a las condiciones hidráulicas necesarias para la autolimpieza de las tuberías. El transporte de aguas residuales decantadas facilita este proceso, reduciendo significativamente los costos de implantación, operación y mantenimiento de las redes.

El modelo asume que los sólidos son retenidos localmente y recolectados para su tratamiento o tratados en el punto de generación en unidades de secado de lodos, facilitando así su recolección y transporte. Una vez clarificadas, las aguas residuales se pueden transportar en tuberías de 25 mm de diámetro y utilizando una sección completa.

En un estudio bien documentado realizado en la ciudad de Brotas, Ceará, Brasil, el uso de este sistema llevó a una reducción del 80% en el costo de implementación de redes de recolección y transporte de aguas residuales. Por otro lado, se debe considerar la demanda de implementación de sistemas de retención de sólidos y su mantenimiento. Dichos sistemas deben tener la remoción de sólidos, lodos y acumulados realizada periódica y sistemáticamente para garantizar el buen funcionamiento del sistema. Además, se deben tener en cuenta los costos de implementación de estos dispositivos. Cuando los dispositivos de retención sólidos se implementan individualmente en las viviendas, es fundamental concienciar a los usuarios sobre la importancia de su correcto mantenimiento.

## Adecuación y reposición de cámaras sépticas

### Red condominial

Las cámaras sépticas de uso colectivo pueden ser soluciones interesantes si se aplican como parte de un sistema de red de recolección libre de sólidos. En este caso, el efluente de las cámaras aún no se considera completamente tratado y debe enviarse por gravedad (y tuberías de menor diámetro) a las PTAR en vez de arrojarse a las quebradas o al río.

Si bien son soluciones estratégicas, estos sistemas brindan tratamiento únicamente a nivel primario, con niveles de eficiencia que muchas veces no superan el 40% de remoción de materia orgánica (DBO) y una retención promedio de 50% de sólidos en suspensión. Por lo tanto, aún operando en condiciones adecuadas, lanzar estos sistemas directamente a las quebradas, que tienen flujos bajos recurrentes, no es una buena solución. Desde el punto de vista ambiental puede tener un impacto importante, además de generar externalidades negativas para el barrio.

Además de este aspecto, si los lodos no se eliminan periódicamente (dependiendo de las cargas de entrada y su volumen), la acumulación de sólidos puede limitar aún más el rendimiento de tratamiento de la estructura. Por estas razones, se sugieren tres formas de abordar las cámaras sépticas en la transición entre los sistemas actuales y las configuraciones propuestas en los escenarios I, II y III. La primera prevé la desactivación de las fosas sépticas y el envío de los efluentes recolectados a la PTAR

aguas abajo; la segunda prevé la recolección de los efluentes de las cámaras y su envío a la PTAR, si se desechan en las quebradas o ríos; y la tercera es complementar los sistemas con sistemas DEWATs para tratamiento secundario antes del vertido. Es importante señalar que se puede considerar una composición de estas rutas para cada cámara séptica, dependiendo de las condiciones locales.

La primera opción consiste en conectar las redes de alcantarillado en colectores troncales que encaminan, siguiendo el trazado topográfico de las quebradas, los efluentes a las plantas de tratamiento previstas en este planeamiento (para PTAR centralizadas en el caso del escenario I, y PTAR semicentralizadas, para el escenario II). En este caso, se desactivarían las cámaras sépticas, reduciendo la necesidad de retirar los lodos de estas estaciones rociados por todo el territorio. También se garantizaría la mejora de la calidad del agua en las quebradas, ya que en estos tramos ya no se verterían efluentes.

La segunda opción es similar a la primera, en el sentido de que los efluentes también son enviados a las PTAR, sin ser vertidos a las quebradas. Sin embargo, en este caso, las cámaras sépticas se mantienen para la retención de sólidos antes de dirigir los efluentes a través de colectores troncales. Esta estrategia permite una expresiva reducción del diámetro de las tuberías, pues ya no tiene sólidos gruesos y no requiere tanta fuerza de carga (se puede continuar con cortes y diámetros menores). En este caso, todavía es necesario eliminar periódicamente los lodos de las cámaras sépticas.

Finalmente, la tercera opción trae un enfoque más innovador, que prevé la mejora de los sistemas en cada cámara séptica, para dar un tratamiento satisfactorio a los efluentes antes de ser vertidos a las quebradas.

En este caso, se propone complementar la capacidad de las cámaras (cuando sea necesario) e incluir un postratamiento. Éste se puede realizar mediante diferentes sistemas, como amortiguadores incorporados, filtros percoladores o incluso sistemas aeróbicos más intensivos o con flotación por aire disuelto.

Teniendo en cuenta el contexto local y la configuración difusa de las cámaras, es importante que el sistema sea fácil de operar y mantener y, por lo tanto, los sistemas intensivos pueden ser menos viables en este caso. Sin embargo, la aplicación de humedales construidos tiene un gran potencial, tanto por su desempeño en el tratamiento como por el bajo riesgo de externalidades negativas (como olores) para el vecindario. Por otro lado, puede demandar áreas considerables, por lo que será viable sólo en algunos lugares.

Es posible una unión entre la opción 2 y 3, en la que el sistema de postratamiento se ubica en un punto aguas abajo, no necesariamente contiguo a las cámaras sépticas, recolectando de una o más cámaras sépticas. Las cámaras sépticas se concentran principalmente en las zonas 9, 1 y 3.

## Recuperación de recursos del tratamiento de aguas residuales y/o lodos fecales (aplicable a todas las soluciones)

### Utilización de lodos

Planta de tratamiento de origen	Distancia hasta el relleno sanitario (km)
San Andrés	56,3
PTAR San Blas	31,8
PTAR SC - Zona 13	40,0
PTAR La Pintada	30,8
PTAR SC VI - Zona 12	32,5
PTAR San Luis	26,2
PTAR SC IV - Zona 10	23,7
PTAR SC III - Zona 9	26,6
PTAR SC II - Zona 8	31,6
PTAR SC I - Zona 6 y 7	33,8
PTLF Santa Ana	47,5

**Aprovechamiento de lodos fecales:** Tarija puede cubrir una superficie de 175 mil de hectáreas con aprovechamiento agrícola de lodos fecales a un costo equivalente a o menor que la disposición de este material en un relleno sanitario. Se consideró en los cálculos áreas dentro y fuera de la municipalidad.

Los lodos producidos a partir de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, acumulados en sistemas individuales o de sistemas de tratamiento centralizados, tienen un alto contenido de materia orgánica y son ricos en macronutrientes como Nitrógeno y Fósforo, características que los hacen excelentes para el uso agrícola. El alto contenido de sólidos volátiles en los lodos también hace posible su aprovechamiento energético, aunque los procesos y escalas para esta aplicación son bastante complejos y deben ser cuidadosamente considerados.

El uso de lodos en la agricultura ha sido una práctica extendida en el mundo, dadas sus ventajas para encontrarles un destino más adecuado que su envío a vertederos y reducir la dependencia de los agricultores locales del uso de fertilizantes industrializados, además de formar un eslabón importante en una cadena más cíclica y sostenible de sistemas de alcantarillado sanitario.

Sin embargo, el uso de estos materiales, ampliamente llamados biosólidos, debe ser juicioso y cuidadoso, ya que tanto los lodos de los sistemas individuales como los de PTAR tienen altos niveles de microorganismos patógenos, que pueden poner en peligro la salud de sus usuarios y provocar la contaminación del suelo.

Para ello, se debe dar un tratamiento adecuado a los lodos antes de su uso, y debe, en general, incluir 3 etapas bien diferenciadas: estabilización, deshidratación (secado) e limpieza. Además, se deben evaluar los suelos donde se aplicarán para determinar la idoneidad de la aplicación de lodos y también considerar las dosis de aplicación de lodos de acuerdo a la demanda de materia orgánica y nutrientes de cada tipo de cultivo a fertilizar con biosólido.

En el presente estudio se consideró como área susceptible de recibir lodos aquellas que se encuentran a distancias equivalentes entre las plantas de tratamiento y el relleno sanitario de Tarija, dichas distancias variaron entre 23.7 km y 56.3 km.

El aprovechamiento energético de los lodos se produce principalmente mediante su quema en hornos, donde puede sustituir parte de los combustibles fósiles utilizados. Para que el proceso de quemado sea ventajoso, es necesario que los lodos tengan niveles de humedad muy bajos, normalmente por debajo del 10%, lo que requiere una etapa de deshidratación de lodos muy intensiva.

Por otro lado, este tipo de uso no requiere etapas de estabilización y saneamiento, ya que los lodos no estabilizados tienen un mayor contenido de sólidos volátiles y, en consecuencia, mayor poder calorífico; y su incineración elimina por completo los organismos patógenos.

Los lodos pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones en Tarija. Además de las actividades agrícolas, existen industrias cerámicas en la región, que son potenciales usos de los lodos tratados. Otro uso importante es la aplicación en el suelo para recuperar zonas degradadas (urbanas o rurales).

## Reutilización del agua

El uso de aguas residuales tratadas en el riego se ha configurado como un gran avance en la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento. El uso de estos recursos en los grandes centros urbanos reduce la presión sobre los sistemas de producción y distribución de agua potable, aumenta la resiliencia hídrica de la región al infiltrar volúmenes significativos de agua en los suelos y reponer las aguas subterráneas, y puede reducir la dependencia del uso de fertilizantes industrializados, ya que contiene cantidades considerables de macronutrientes esenciales para las plantas.

Por otra parte, debido a la posibilidad de presencia de microorganismos patógenos y otros agentes contaminantes, como altos niveles de sales, su uso debe realizarse de forma consciente, cuidadosa y tras un adecuado tratamiento.

Existe una gran abundancia de leyes y reglamentos internacionales para orientar el uso correcto de las aguas residuales tratadas, incluidas referencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la Directiva Australiana de Reutilización de Aguas Residuales (AGWR). Estas normas destacan los siguientes aspectos dentro de las tres dimensiones del cuidado en el uso de aguas residuales tratadas:

- **Parámetros de salud pública:** patógenos, sustancias/elementos químicos.

- **Parámetros agronómicos:** salinidad, iones tóxicos, tasa de absorción de sodio, oligoelementos, pH, bicarbonato y carbonato, nutrientes, cloro libre.
- **Parámetros físico-químicos:** Turbidez, SST y ST, DBO y DQO.

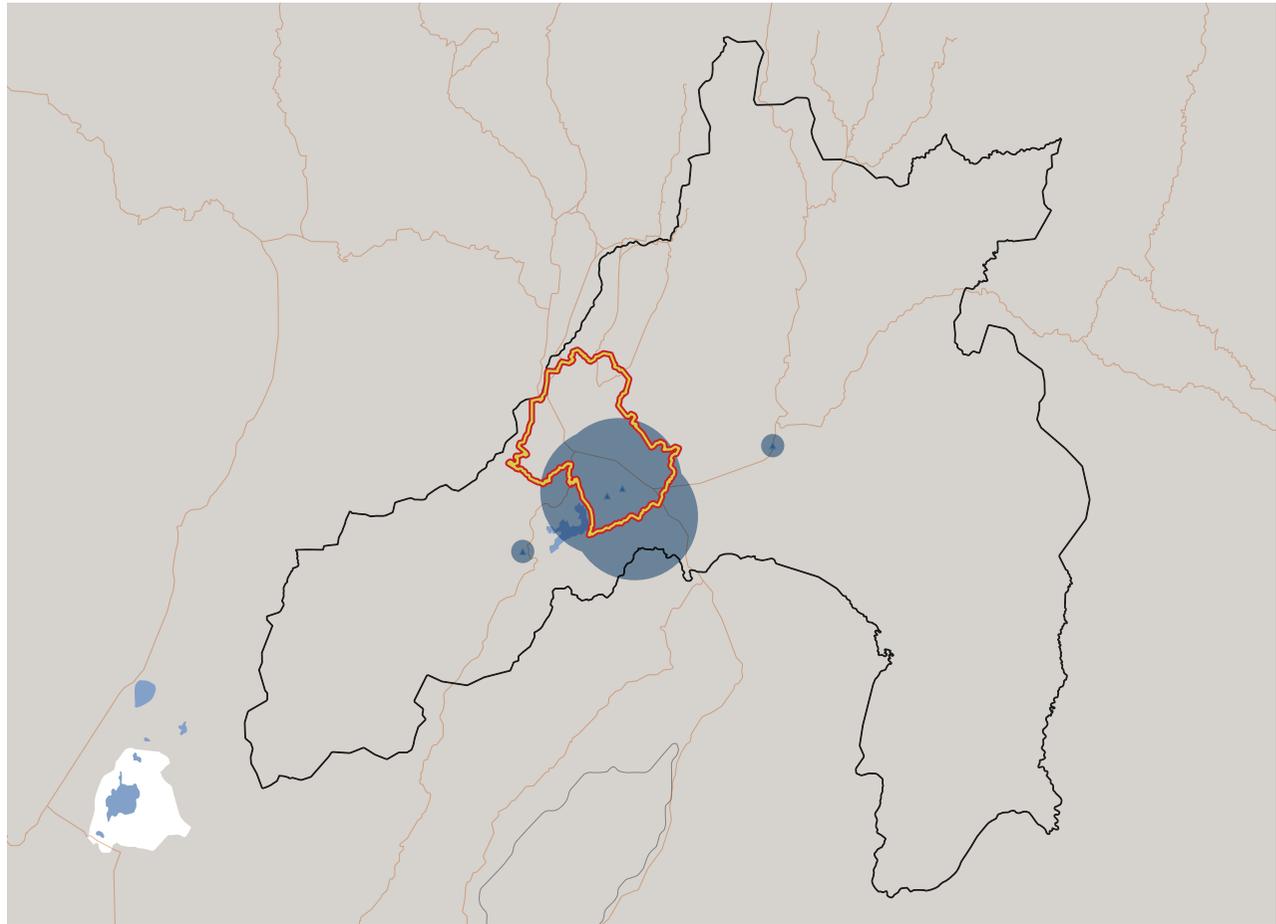


La reutilización de las aguas residuales tratadas puede hacerse para diferentes aplicaciones y de diferentes maneras. Los principales destinos enumerados para Tarija son las zonas agrícolas y las zonas verdes urbanas.

Estos usos pueden ser directos (antes del vertido del efluente en el curso de agua) o indirectos (aguas abajo del vertido en el río). Para los casos de reutilización directa, se puede considerar el transporte por camión, pero es viable para caudales pequeños o moderados, o por tuberías (que permiten caudales más altos pero pueden ser menos viables si las distancias son demasiado grandes).

**Recuperación de recursos de de aguas residuales:**

*el aprovechamiento de las aguas residuales se planificó considerando un radio de transporte de efluentes entre 2 y 10 kilómetros desde las plantas de tratamiento, dependiendo del porte de la PTAR, llegando a una cobertura de hasta 5 mil hectáreas. Dados los grandes volúmenes y masas involucradas en este tipo de reutilización, cuanto más cerca del sitio de producción, más ventajoso.*



PTAR SC V – Zonas 1 + 11.



## **06**

Comparación de los escenarios



## Evaluación general basada en aspectos técnicos, financieros y socioambientales

### Crterios y consideraciones para el análisis

Ante los diferentes escenarios enumerados, es posible hacer algunas valoraciones que destaquen los puntos positivos y negativos de cada conjunto de soluciones. Los diferenciales de cada escenario pueden ser de distinta naturaleza, referidos a aspectos económicos, de conveniencia operativa o de impacto social y medioambiental.

Para esta verificación, que tiene propuestas y detalles a nivel de planificación general (sin dimensionar estructuras específicas), se consideraron las potencialidades inherentes a las diferentes soluciones y su aplicación en las condiciones locales de Tarija.

Los aspectos enumerados para el análisis se definieron según su grado de relevancia y fueron elementos de diferenciación entre los escenarios. Así, de un amplio abanico de parámetros inicialmente considerados, algunos fueron eliminados del estudio por tener garantizada la igualdad de rendimiento entre los escenarios y/o por tener menor relevancia para las definiciones que deben hacerse en este momento de la planificación.

Desde el punto de vista de la conveniencia operativa, hubo otros dos aspectos relevantes que no se tuvieron en cuenta. Ambos eran aspectos que constituían una premisa básica en el diseño de los tres escenarios y, por tanto, no contribuirían a un análisis de diferenciación entre las

alternativas. En primer lugar, dado que todos los escenarios prevén una implantación por fases, se considera que todos tendrán el mismo nivel de flexibilidad para la expansión sensible y estratégica de las estructuras. En segundo lugar, dado que todos los escenarios contemplan soluciones eficaces, con diferentes disposiciones, el rendimiento esperado del tratamiento es igualmente satisfactorio. Lo mismo es válido para las externalidades negativas con los olores.

Además de estos puntos, es importante señalar que los análisis de costes se hicieron de forma general para cada tipo de solución, y no se aplicaron específicamente a las dimensiones y valores unitarios encontrados en Tarija.

Los análisis de CAPEX, OPEX, área y energía requerida, se hicieron con base en las referencias unitarias sistematizadas por Von Sperling (2014), una de las principales referencias brasileñas.

Los análisis específicos para Tarija carecen de un predimensionamiento de las estructuras de transporte y tratamiento de aguas residuales y de la aplicación de los costes unitarios típicos de la región. Además de los costes de construcción y explotación, para la compraventa de terrenos no se han tenido en cuenta los valores existentes en la región, sino una dinámica común entre los valores de las zonas urbanas y periurbanas.





## Balance general

Teniendo en cuenta los aspectos evaluados, se asignaron valores de rendimiento de 1 a 3 para cada escenario. Se utilizó una lógica simplificada de calificación de cada escenario con respecto a los aspectos, considerándose el mismo peso/relevancia para los diferentes aspectos. Como resultado, el escenario III presentó el mejor rendimiento en general y en cada grupo de aspectos.

	Escenario I	Escenario II	Escenario III
<b>DESEMPEÑO SOCIAL Y AMBIENTAL</b>			
<i>Creación de áreas verdes urbanas de calidad.</i>	2	3	3
<i>Potencial de recuperación de recursos.</i>	2	3	3
<i>Aceptación social.</i>	3	1	2
<b>ASPECTOS DE FUNCIONALIDAD TÉCNICA</b>			
<i>Facilidad de implementación.</i>	1	2	2
<i>Conveniencia para la operación y el monitoreo.</i>	3	2	2
<i>Accesibilidad para el mantenimiento y la sustitución de piezas.</i>	1	2	2
<b>ASPECTOS FINANCIEROS</b>			
<i>Costes de implementación de las estructuras.</i>	1	1	2
<i>Costes de operación y mantenimiento</i>	2	1	3
<i>Balance de la compra y venta de terrenos</i>	3	2	2
<b>PUNTUACIÓN TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>21</b>

Si se acuerdan entre las partes nuevos aspectos no contemplados, o una relevancia diferente entre ellos, se podrá ajustar esta evaluación. En cualquier caso, en este nivel de planificación, la mayor aportación de esta evaluación radica en el rendimiento descriptivo y comparativo entre los escenarios para cada aspecto analizado.

Con esta subvención, los actores locales pueden alinear rutas de solución que respondan a problemas y prioridades consensuadas. En las páginas siguientes se presentan los análisis y consideraciones realizados para cada aspecto, enumerando las ventajas e inconvenientes de cada escenario.

1. Bajo desempeño/contribución.
2. Rendimiento/contribución moderada.
3. Alto rendimiento/contribución.

	Evaluación general	Escenario I	Escenario I	Escenario I
<b>Facilidad de implementación</b>	<p>La facilidad de ejecución se refiere a la conveniencia para la construcción de las PTAR y los sistemas de recogida y tratamiento de aguas residuales. Aquí se consideró que la implantación de plantas centralizadas puede beneficiarse de las economías de escala y de un único punto de operación, pero al mismo tiempo los sistemas DEWATS o prefabricados o compactos previstos pueden presentar una facilidad constructiva más ventajosa que las grandes estructuras.</p> <p>El punto de mayor peso está en la ejecución de nuevas redes de alcantarillado de alto diámetro del escenario I que tiene un gran impacto en la ciudad debido a la cantidad de excavación requerida y al tiempo de trabajo y de movilización de la red vial. En el caso de las redes de colección, presentes en todos los escenarios, la facilidad es mayor por tratarse de tuberías de menor diámetro y menor profundidad (más aún si se trata de sistemas condominiales).</p>	<p>Este escenario requiere la ejecución de nuevas líneas de alcantarillado troncal para dar servicio a las zonas de expansión. Las distancias entre estas nuevas zonas y la nueva PTAR son significativas y el uso de los sistemas existentes puede no ser adecuado en función de las condiciones existentes.</p> <p>En cuanto a las instalaciones de tratamiento, aunque ofrecen las ventajas de las economías de escala y de un único punto de construcción, la construcción de grandes plantas puede ser más intensiva en mano de obra que los sistemas prefabricados, compactos y DEWATS.</p>	<p>Este escenario supone la implantación de un nuevo sistema de tratamiento compacto en una zona de la PTAR existente, sin necesidad de ampliar nuevos colectores troncales.</p> <p>Las plantas semicentralizadas implican diferentes puntos de trabajo distribuidos por la zona urbana, pero tienen una instalación mucho menos impactante que las grandes plantas centralizadas.</p>	<p>Este escenario supone la implantación de una nueva planta que sustituya a la PTAR San Luis. Aunque no es necesario extender nuevos colectores troncales a lo largo de las zonas atendidas por esta planta, se requiere la construcción de tuberías de gran diámetro para desviar las aguas residuales recogidas de la PTAR San Luis a la nueva planta.</p> <p>Para las zonas con sistemas semicentralizados, la construcción de plantas más pequeñas implica obras en diferentes puntos de la zona urbana, pero son bastante más sencillas de instalar que las grandes plantas centralizadas.</p>
	<p>En general, el funcionamiento, el control y la supervisión de varias plantas puede ser más difícil que el funcionamiento de una sola planta. Hay más puntos de muestreo y número de análisis para comprobar la calidad, así como diferentes lugares para movilizar al personal.</p>	<p>Este escenario implica un número mínimo de plantas de tratamiento, lo que reduce el número de puntos de control y de muestras para el análisis del rendimiento, y concentra a los equipos</p>	<p>Este escenario implica la distribución de diferentes plantas de tratamiento por todo el territorio. Al tratarse de sistemas de funcionamiento simplificado (DEWATS, sistemas prefabricados o com-</p>	<p>Este escenario implica la distribución de diferentes plantas de tratamiento por todo el territorio. Al tratarse de sistemas de funcionamiento simplificado (DEWATS, sistemas prefabricados o com-</p>

<b>Conveniencia para la operación y el monitoreo</b>	<p><i>Sin embargo, las estaciones semicentralizadas propuestas (DEWAT, sistemas prefabricados y/o compactos y modulares) son sistemas diseñados para facilitar la explotación y garantizar el funcionamiento incluso sin la presencia de personal permanente y con protocolos de funcionamiento sencillos.</i></p> <p><i>Por lo tanto, la cuestión de la conveniencia operativa puede no presentar condiciones muy diferentes del escenario I en relación con el II y el III, incluso si se considera, en cierto nivel, una mayor facilidad debido al menor número de muestras y puntos de generación de subproductos.</i></p>	<p><i>operativos. Por otro lado, la necesidad de estaciones de refuerzo puede implicar protocolos operativos adicionales de verificación y control.</i></p> <p><i>No obstante, esta disposición se consideró como una alternativa con una dinámica operativa más convencional, que puede resultar más familiar para la operación actual.</i></p>	<p><i>pactos y modulares) no requieren rutinas de funcionamiento complejas ni personal fijo.</i></p> <p><i>Por lo tanto, pueden no implicar protocolos y esfuerzos operativos mucho mayores que las grandes estaciones centralizadas.</i></p> <p><i>Por otro lado, implica más puntos de control y número de muestras para verificar el rendimiento del sistema. Por esta razón, se considera que la conveniencia operativa es algo menor que en el escenario I.</i></p>	<p><i>pactos y modulares) no requieren rutinas de funcionamiento complejas ni personal fijo.</i></p> <p><i>Por lo tanto, pueden no implicar protocolos y esfuerzos operativos mucho mayores que las grandes estaciones centralizadas.</i></p> <p><i>Por otro lado, implica más puntos de control y número de muestras para verificar el rendimiento del sistema. Por esta razón, se considera que la conveniencia operativa es algo menor que en el escenario I.</i></p>
<b>Accesibilidad para el mantenimiento y la sustitución de piezas</b>	<p><i>La accesibilidad para el mantenimiento y la sustitución de piezas es fundamental para la viabilidad de los sistemas a medio y largo plazo.</i></p> <p><i>Las estructuras fácilmente verificables (expuestas o sencillas de ver), las piezas y materiales comunes y las dimensiones accesibles de las estructuras hacen que los sistemas sean más adecuados para un buen funcionamiento a largo plazo.</i></p> <p><i>Los sistemas centralizados implican, además de las grandes PTAR, sistemas de alcantarillado con colectores troncales de gran diámetro, enormes extensiones y comúnmente profundos, lo que reduce la accesibilidad del sistema.</i></p> <p><i>Por otro lado, las redes condominiales y las pequeñas estaciones distribuidas estratégicamente pueden hacer que el mantenimiento sea más práctico y factible.</i></p>	<p><i>En este caso, se trata de sistemas de acantarillado extensos con tuberías troncales de gran diámetro y profundidades considerables, lo que puede dificultar la comprobación de posibles problemas y el acceso para su mantenimiento.</i></p> <p><i>Los sistemas de transporte por tuberías más pequeños y menos profundos suelen ofrecer una mayor facilidad para este fin.</i></p>	<p><i>Este escenario cuenta con una distribución estratégica de las PTAR más pequeñas por todo el territorio, lo que permite simplificar los sistemas de acantarillado.</i></p> <p><i>Estas configuraciones hacen que los sistemas sean un poco más accesibles para comprobar posibles problemas y realizar el mantenimiento necesario.</i></p>	<p><i>Este escenario cuenta con una distribución estratégica de las PTAR más pequeñas por todo el territorio, lo que permite simplificar los sistemas de acantarillado.</i></p> <p><i>Estas configuraciones hacen que los sistemas sean un poco más accesibles para comprobar posibles problemas y realizar el mantenimiento necesario.</i></p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Facilidad de implementación</b></p>	<p>La facilidad de ejecución se refiere a la conveniencia para la construcción de las PTAR y los sistemas de recogida y tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Aquí se consideró que la implantación de plantas centralizadas puede beneficiarse de las economías de escala y de un único punto de operación, pero al mismo tiempo los sistemas DEWATS o prefabricados o compactos previstos pueden presentar una facilidad constructiva más ventajosa que las grandes estructuras.</p> <p>El punto de mayor peso está en la ejecución de nuevas redes de alcantarillado de alto diámetro del escenario I que tiene un gran impacto en la ciudad debido a la cantidad de excavación requerida y al tiempo de trabajo y de movilización de la red viaria.</p> <p>En el caso de las redes de colección, presentes en todos los escenarios, la facilidad es mayor por tratarse de tuberías de menor diámetro y menor profundidad (más aún si se trata de sistemas condominiales).</p>	<p>Este escenario requiere la ejecución de nuevas líneas de alcantarillado troncal para dar servicio a las zonas de expansión.</p> <p>Las distancias entre estas nuevas zonas y la nueva PTAR son significativas y el uso de los sistemas existentes puede no ser adecuado en función de las condiciones existentes.</p> <p>En cuanto a las instalaciones de tratamiento, aunque ofrecen las ventajas de las economías de escala y de un único punto de construcción, la construcción de grandes plantas puede ser más intensiva en mano de obra que los sistemas prefabricados, compactos y DEWATS.</p>	<p>Este escenario supone la implantación de un nuevo sistema de tratamiento compacto en una zona de la PTAR existente, sin necesidad de ampliar nuevos colectores troncales.</p> <p>Las plantas semicentralizadas implican diferentes puntos de trabajo distribuidos por la zona urbana, pero tienen una instalación mucho menos impactante que las grandes plantas centralizadas.</p>	<p>Este escenario supone la implantación de una nueva planta que sustituya a la PTAR San Luis.</p> <p>Aunque no es necesario extender nuevos colectores troncales a lo largo de las zonas atendidas por esta planta, se requiere la construcción de tuberías de gran diámetro para desviar las aguas residuales recogidas de la PTAR San Luis a la nueva planta.</p> <p>Para las zonas con sistemas semicentralizados, la construcción de plantas más pequeñas implica obras en diferentes puntos de la zona urbana, pero son bastante más sencillas de instalar que las grandes plantas centralizadas.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>Conveniencia para la operación y el monitoreo</b></p>	<p>En general, el funcionamiento, el control y la supervisión de varias plantas puede ser más difícil que el funcionamiento de una sola planta.</p> <p>Hay más puntos de muestreo y número de análisis para comprobar la calidad, así como diferentes lugares para movilizar al personal.</p> <p>Sin embargo, las estaciones semicentralizadas propuestas (DEWAT, sistemas prefabricados y/o compactos y modulares) son sistemas diseñados</p>	<p>Este escenario implica un número mínimo de plantas de tratamiento, lo que reduce el número de puntos de control y de muestras para el análisis del rendimiento, y concentra a los equipos operativos. Por otro lado, la necesidad de estaciones de refuerzo puede implicar protocolos operativos adicionales de verificación y</p>	<p>Este escenario implica la distribución de diferentes plantas de tratamiento por todo el territorio. Al tratarse de sistemas de funcionamiento simplificado (DEWATS, sistemas prefabricados o compactos y modulares) no requieren rutinas de funcionamiento complejas ni personal fijo.</p>	<p>Este escenario implica la distribución de diferentes plantas de tratamiento por todo el territorio. Al tratarse de sistemas de funcionamiento simplificado (DEWATS, sistemas prefabricados o compactos y modulares) no requieren rutinas de funcionamiento complejas ni personal fijo.</p>

	<p>para facilitar la explotación y garantizar el funcionamiento incluso sin la presencia de personal permanente y con protocolos de funcionamiento sencillos.</p> <p>Por lo tanto, la cuestión de la conveniencia operativa puede no presentar condiciones muy diferentes del escenario I en relación con el II y el III, incluso si se considera, en cierto nivel, una mayor facilidad debido al menor número de muestras y puntos de generación de subproductos.</p>	<p>control. No obstante, esta disposición se consideró como una alternativa con una dinámica operativa más convencional, que puede resultar más familiar para la operación actual.</p>	<p>Por lo tanto, pueden no implicar protocolos y esfuerzos operativos mucho mayores que las grandes estaciones centralizadas. Por otro lado, implica más puntos de control y número de muestras para verificar el rendimiento del sistema. Por esta razón, se considera que la conveniencia operativa es algo menor que en el escenario I.</p>	<p>Por lo tanto, pueden no implicar protocolos y esfuerzos operativos mucho mayores que las grandes estaciones centralizadas. Por otro lado, implica más puntos de control y número de muestras para verificar el rendimiento del sistema. Por esta razón, se considera que la conveniencia operativa es algo menor que en el escenario I.</p>
<p><b>Accesibilidad para el mantenimiento y la sustitución de piezas</b></p>	<p>La accesibilidad para el mantenimiento y la sustitución de piezas es fundamental para la viabilidad de los sistemas a medio y largo plazo. Las estructuras fácilmente verificables (expuestas o sencillas de ver), las piezas y materiales comunes y las dimensiones accesibles de las estructuras hacen que los sistemas sean más adecuados para un buen funcionamiento a largo plazo.</p> <p>Los sistemas centralizados implican, además de las grandes PTAR, sistemas de alcantarillado con colectores troncales de gran diámetro, enormes extensiones y comúnmente profundos, lo que reduce la accesibilidad del sistema. Por otro lado, las redes condominiales y las pequeñas estaciones distribuidas estratégicamente pueden hacer que el mantenimiento sea más práctico y factible.</p>	<p>En este caso, se trata de sistemas de acantarillado extensos con tuberías troncales de gran diámetro y profundidades considerables, lo que puede dificultar la comprobación de posibles problemas y el acceso para su mantenimiento.</p> <p>Los sistemas de transporte por tuberías más pequeños y menos profundos suelen ofrecer una mayor facilidad para este fin.</p>	<p>Este escenario cuenta con una distribución estratégica de las PTAR más pequeñas por todo el territorio, lo que permite simplificar los sistemas de acantarillado.</p> <p>Estas configuraciones hacen que los sistemas sean un poco más accesibles para comprobar posibles problemas y realizar el mantenimiento necesario.</p>	<p>Este escenario cuenta con una distribución estratégica de las PTAR más pequeñas por todo el territorio, lo que permite simplificar los sistemas de acantarillado.</p> <p>Estas configuraciones hacen que los sistemas sean un poco más accesibles para comprobar posibles problemas y realizar el mantenimiento necesario.</p>
	<p>Los costes de implantación de los sistemas de alcantarillado se distribuyen entre las plantas de tratamiento y las estructuras de recogida y transporte (red de acantarillado y estaciones de bombeo). En el caso de este análisis comparativo, sólo</p>	<p>Basándose en las referencias generales del coste de implantación de los diferentes sistemas de tratamiento, este escenario presentó el segundo coste más elevado.</p>	<p>Basándose en las referencias generales del coste de implantación de los diferentes sistemas de tratamiento, este escenario presentó el coste más elevado.</p>	<p>Basándose en las referencias de costes generales para la implantación de diferentes sistemas de tratamiento, este escenario presentó el coste más bajo. Véase la</p>

<p><b>Costes de implementación de las estructuras</b></p>	<p>se han considerado los valores de las nuevas plantas de tratamiento. Teniendo en cuenta los fundamentos presentados en las páginas de análisis de costes, el escenario III presentaba el menor coste de implantación. Para las redes y los colectores troncales, los valores no se estimaron, ya que no hay información sobre las condiciones y capacidades de la red existente, y cuáles serían las estructuras complementarias de sus rutas.</p> <p>Sin embargo, cabe mencionar como aspecto general que la necesidad de nuevos colectores troncales para dar servicio a las zonas de expansión urbana constituiría un aumento significativo del coste de implantación del escenario I.</p> <p>Por otro lado, los escenarios II y III no requerirían extensas tuberías troncales, ya que contarían con sistemas de tratamiento semicentralizados para las nuevas zonas. Esta condición contribuiría a la distinción del escenario III en relación con el escenario I.</p>	<p>Véase la parte específica sobre la estimación de costes.</p> <p>Sin embargo, si se consideran también los costes de los colectores troncales, este escenario presentaría los costes más elevados, debido a la necesidad de líneas extensas de gran diámetro.</p>	<p>Véase la parte específica sobre la estimación de costes.</p> <p>Hay que tener en cuenta que si se consideraran también los costes de los colectores troncales, que no se incluyen, este escenario quedaría en segundo lugar, ya que el escenario I sería más caro (debido a la necesidad de líneas de gran diámetro).</p>	<p>parte específica sobre la estimación de costes.</p> <p>Este diferencial destacaría aún más del escenario I si se consideraran los valores del sistema de acantarillado.</p>
<p><b>Costes de operación y mantenimiento</b></p>	<p>Los costes de explotación de los sistemas de alcantarillado se distribuyen entre las plantas de tratamiento y las estructuras de recogida y transporte (especialmente las estaciones de bombeo).</p> <p>En el caso de este análisis, se han considerado los valores referidos a las nuevas plantas de tratamiento, y los nuevos colectores troncales que serían necesarios para dar servicio a las zonas de expansión urbana (en escenario I específicamente). Para los demás sistemas de alcantarillado, no se han incluido en la encuesta comparativa ya que serán los mismos para los diferentes es-</p>	<p>Basándose en las referencias de costes generales para la operación de diferentes sistemas de tratamiento, este escenario presentó el segundo coste más elevado (con poca ventaja sobre el escenario II pero significativamente más caro que el escenario III). Véase la parte específica sobre la estimación de costes.</p>	<p>Basándose en las referencias de costes generales para la operación de diferentes sistemas de tratamiento, este escenario presentó el coste más elevado (sólo un poco más caro que el escenario I). Véase la parte específica sobre la estimación de costes.</p>	<p>Basándose en las referencias de costes generales para la operación de diferentes sistemas de tratamiento, este escenario presentó el coste más bajo. Véase la parte específica sobre la estimación de costes.</p>

	<p>cenarios. Teniendo en cuenta los fundamentos presentados (en las páginas de análisis de costes), el escenario III presentaba el menor coste.</p>			
<p><b>Balance de la compra y venta de terrenos</b></p>	<p>Para este análisis, se ha considerado que el balance más positivo pasa por la adquisición mínima de nuevas zonas (sobre todo en las zonas urbanas, que son más caras), y por ofrecer más zonas para nuevos fines.</p> <p>Con esta lógica simplificada, el escenario I tiene un desempeño más positivo que los otros, ya que no demandará nuevas áreas urbanas para las PTAR descentralizadas, y está sustituyendo un área urbana (PTAR San Luis) por un área periurbana río abajo.</p>	<p>Este escenario implica la sustitución de la PTAR San Luis por una nueva PTAR situada fuera de la zona urbana, aguas abajo. De este modo, la superficie de la planta actual puede destinarse íntegramente a otros usos.</p> <p>Al tratarse de una zona urbana y sustancialmente mayor que la superficie necesaria para la nueva planta fuera de la zona urbana, el balance financiero resultante de la venta y adquisición de terrenos de este cambio puede ser bastante positivo.</p>	<p>Este escenario supone la reducción de la superficie necesaria de la PTAR San Luis, liberando la mayor parte de la superficie para otros usos (y prescinde de la compra de nuevas grandes superficies para una nueva planta que sustituya a la PTAR San Luis).</p> <p>En este caso también se prevén nuevas PTARs semicentralizadas distribuidas en el área urbana, que implican la compra de pequeñas áreas urbanas para este fin.</p> <p>Como la superficie urbana que se liberará de la PTAR San Luis será sustancialmente mayor que la demanda de superficie para las nuevas PTAR semicentralizadas, el balance financiero resultante de la venta y adquisición de terrenos en este escenario también puede ser bastante positivo. Sin embargo, este potencial es algo menor que en el Escenario I, ya que en este caso las nuevas zonas a movilizar se encuentran en zonas urbanas (y el valor de estas zonas suele ser mayor que el de las zonas periurbanas).</p>	<p>Este escenario implica la sustitución de la PTAR de San Luis por una nueva PTAR situada fuera de la zona urbana, pero también prevé nuevas PTAR semicentralizadas distribuidas en la zona urbana. Así, mientras que la superficie vegetal actual puede destinarse íntegramente a otros usos (movilizando superficie para la nueva PTAR), habrá que adquirir pequeñas superficies en la zona urbana.</p> <p>Es importante señalar que en este caso la planta que sustituirá a la PTAR San Luis puede tener una superficie sustancialmente menor que la requerida en el escenario I. Con ello, el balance financiero resultante de la venta y adquisición de terrenos de este cambio podría ser bastante positivo. Sin embargo, este potencial es algo menor que en el escenario I, ya que en este caso se prevé la movilización de nuevas zonas urbanas, aunque sean pequeñas, para las plantas semicentralizadas.</p>

## Estimación de costes

Para estimar las áreas requeridas, potencia instalada, potencia consumida, costos de implementación (CAPEX) y costos operativos (OPEX), se utilizó una base presentada en Von Sperling 2014, Principios del tratamiento biológico de aguas residuales. vol. 1. Introducción a la calidad del agua y tratamiento de aguas residuales. La referencia trae los valores y costos relacionados con la implementación de sistemas por habitante, como se puede ver en la siguiente tabla.

Los costos se refieren a la experiencia brasileña en la implementación de PTAR y fueron reajustados a valores de 2022 considerando el índice nacional de costos de construcción civil (INCC - Brasil). Con la base en mano, se realizó el cálculo del costo ponderando los valores per cápita con las poblaciones atendidas.

Para la selección de las tecnologías de tratamiento se ha tenido en cuenta la proporcionalidad entre los costes del sistema y la economía de escala en función del rango de población servido por la EDAR. En este sentido para el escenario I se seleccionó un sistema de UASB y Lodos Activados para la EDAR La Pintada. Para el escenario II se consideró un sistema de tipo MBBR para la ETAP de San Luis, porque es compacto e inodoro. Y para el escenario III se consideró el sistema tipo UASB y filtros biológicos para la ETAP La Pintada.

En los sistemas semicentralizados se consideraron sistemas de tipo DEWATS para plantas que dan servicio a hasta 2000 habitantes, sistemas prefabricados para PTAR que dan servicio a entre 2000 y 5000 habitantes y sistemas de tipo MBBR para plantas que dan servicio a más de 5000 habitantes. Los sistemas completos evaluados para cada estación se presentan en la siguiente diapositiva, presentando para cada H RTP centralizada y descentralizada las tecnologías ponderadas y destacando el sistema seleccionado.

<b>Categoría</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Área demandada (m<sup>2</sup>/hab.)</b>	<b>Potencia instalada (W/hab.)</b>	<b>Potencia consumida (kWh/hab. año)</b>	<b>CAPEX (US \$/hab.)</b>	<b>OPEX (US\$/hab. año)</b>
<b>Semicentralizado</b>	PREFABRICADO	0,037	3,50	22	\$ 523,00	\$ 64,64
	DEWATS	0,340	0,00	0	\$ 139,84	\$ 11,36
	MBBR	0,037	3,50	22	\$ 523,00	\$ 64,64
<b>Sistemas centralizados</b>	UASB + LA	0,150	2,65	17	\$ 131,10	\$ 13,11
	MBBR	0,125	3,50	22	\$ 183,54	\$ 20,98
	UASB + FB	0,150	0,00	0	\$ 104,88	\$ 8,74
	Lagunas	4,000	0,00	0	\$ 104,88	\$ 5,24
	LAAP	0,185	4,5	27,5	\$ 148,58	\$ 20,98

Escenario	PTAR	Tecnología	Población atendida	Capacidad de demanda (L/s)	Área demandada (m <sup>2</sup> )	CAPEX (US\$)	OPEX (US \$/año)	VAN (US \$)
I	<b>PTAR La Pintada</b>	UASB + LA	199.454	346,3	29.918	26'148.416,25	2'614.841,62	59'421.324,57
	<b>Alcantarillado</b>		extensión (m)	31.902,64		14'096.526,45	563.861,06	\$ 20'605.538,40
					<b>Total</b>	<b>26'148.416,25</b>	<b>2'614.841,62</b>	<b>80'026.862,97</b>
II	<b>PTAR San Luis</b>	LAAP	140.083	243,2	25.915	20'813.510,03	2'938.377,89	58'562.925,72
	<b>PTAR SC I</b>	MBBR	7.599	13,2	950	1'394.726,57	159.397,32	3.431.360,29
	<b>PTAR SC II</b>	MBBR	16.693	29,0	950	1'394.726,57	159.397,32	3'431.360,29
	<b>PTAR SC III</b>	MBBR	12.868	22,3	1.608	2'361.729,96	269.912,00	5'810.419,47
	<b>PTAR SC IV</b>	Préfabricado	5.217	9,1	652	957.585,35	109.438,33	2'355.888,54
	<b>PTAR SC V</b>	MBBR	13.693	23,8	1.712	2'513.206,94	287.223,65	6'183.089,02
	<b>PTAR SC VI</b>	DEWATS	3.301	5,7	1.122	461.651,39	37.509,18	935.309,78
	<b>PTAR SC VII</b>	DEWATS	2.684	4,7	913	375.355,63	30.497,65	760.473,82
				<b>Total</b>	<b>30'272.492,43</b>	<b>3'991.753,32</b>	<b>81'470.826,93</b>	
III	<b>PTAR La Pintada</b>	UASB + FB	153.776	267,0	23.066	16'128.007,69	1'344.000,64	33'117.132,77
	<b>PTAR SC I</b>	MBBR	7.599	13,2	950	1'394.726,57	159.397,32	3'431.360,29
	<b>PTAR SC II</b>	MBBR	16.693	29,0	2.087	3'063.809,98	350.149,71	7'537.703,93
	<b>PTAR SC III</b>	MBBR	12.868	22,3	1.608	2'361.729,96	269.912,00	5'810.419,47
	<b>PTAR SC IV</b>	Préfabricado	5.217	9,1	652	957.585,35	109.438,33	2'355.888,54
	<b>PTAR SC VI</b>	DEWATS	3.301	5,7	1.122	461.651,39	37.509,18	935.309,78
	<b>PTAR SC VII</b>	DEWATS	2.684	4,7	336	492.654,27	56.303,34	1'212.047,10
				<b>Total</b>	<b>24'860.165,19</b>	<b>2'326.710,52</b>	<b>54'399.861,88</b>	

Se destacan dos puntos importantes sobre las dimensiones presentadas: **a.** para el VAN se consideró un período de 20 años y la tasa de interés de 4,38% p/a por ser la oficial que se encuentra en la página web del banco nacional de Bolivia; **b.** como la PTAR de San Blas es un sistema reciente y ya está implementado, no se consideró su peso dentro de los escenarios, ya que no representaría una fluctuación entre ellos.

Es importante recalcar que deben ser cuidadosamente considerados, aspectos locales, como mano de obra y disponibilidad de equipos y materiales, que pueden tener impacto en los costos finales de un sistema.

## Estimación de costes de tratamiento

Escenario	PTAR	Tecnología	Población atendida	Capacidad de demanda (L/s)	Área demandada (m <sup>2</sup> /hab)	Potencia instalada (kW)	Potencia consumida (MWh/año)	CAPEX (US\$)	OPEX (US\$/año)	VAN (US\$)
I	PTAR La Pintada	UASB + LA	199.454	346,3	29.918	529	3.391	26'148.416,25	2'614.841,62	\$ 59'421.324,57
		UASB + FB	199.454	346,3	29.918	0	0	20'918.733,00	1'743.227,75	\$ 42'954.373,02
		MBBR	199454	346,3	24.932	698	4.388	36'607.782,75	4'183.746,60	\$ 90'063.884,35
II	PTAR San Luis	UASB + LA	140.083	243,2	21.012	371	2.381	18'364.861,7	1'836.486,18	\$ 41'733.480,25
		UASB + FB	140.083	243,2	21.012	0	0	14'691.889,43	1'224.324,12	\$ 30'168.218,08
		LAAP	140.083	243,2	25.915	630	3.852	20'813.510,03	2'938.377,89	\$ 58'562.925,72
	PTAR SC I	Pré-fabricado	7.599	13,2	950	27	167	1'394.726,57	159.397,32	\$ 3'431.360,29
		DEWATS	7.599	13,2	2.584	0	0	1'062.648,81	86.340,22	\$ 2'152.935,85
		MBBR	7.599	13,2	950	27	167	1'394.726,57	159.397,32	\$ 3'431.360,29
	PTAR SC II	Pré-fabricado	16.693	29,0	2.087	58	367	3'063.809,98	350.149,71	\$ 7'537.703,93
		DEWATS	16.693	29,0	2.584	0	0	1'062.648,81	86.340,22	\$ 2'152.935,85
		MBBR	16.693	29,0	950	27	167	1'394.726,57	159.397,32	\$ 3'431.360,29
	PTAR SC III	Pré-fabricado	12.868	22,3	1.608	45	283	2'361.729,96	269.912,00	\$ 5'810.419,47
		DEWATS	12.868	22,3	4.375	0	0	1'799.413,30	146.202,33	\$ 3'645.627,19
		MBBR	12.868	22,3	1.608	45	283	2'361.729,96	269.912,00	\$ 5'810.419,47
	PTAR SC IV	Pré-fabricado	5.217	9,1	652	18	115	957.585,35	109.438,33	\$ 2'355.888,54
		DEWATS	5.217	9,1	1.774	0	0	729.588,83	59.279,09	\$ 1'478.153,40
		MBBR	5.217	9,1	652	18	115	957.585,35	109.438,33	\$ 2'355.888,54
	PTAR SC V	Pré-fabricado	13.693	23,8	1.712	48	301	2'513.206,94	287.223,65	\$ 6'183.089,02
		DEWATS	13.693	23,8	4.656	0	0	1'914.824,34	155.579,48	\$ 3'879.450,96
		MBBR	13.693	23,8	1.712	48	301	2'513.206,94	287.223,65	\$ 6'183.089,02
PTAR SC VI	Pré-fabricado	3.301	5,7	413	12	73	605.917,45	69.247,71	\$ 1'490.701,56	
	DEWATS	3.301	5,7	1.122	0	0	461.651,39	37.509,18	\$ 935.309,78	
	MBBR	3.301	5,7	413	12	73	605.917,45	69.247,71	\$ 1'490.701,56	

Escenario	PTAR	Tecnología	Población atendida	Capacidad de demanda (L/s)	Área demandada (m <sup>2</sup> /hab)	Potencia instalada (kW)	Potencia consumida (MWh/año)	CAPEX (US\$)	OPEX (US\$/año)	VAN (US\$)
	PTAR SC VII	Pré-fabricado	2.684	4,7	336	9	59	492.654,27	56.303,34	\$ 1'212.047,10
		DEWATS	2.684	4,7	913	0	0	375.355,63	30.497,65	\$ 760.473,82
		MBBR	2.684	4,7	336	9	59	492.654,27	56.303,34	\$ 1'212.047,10
III	PTAR La Pintada	UASB + LA	153.776	267,0	23.066	408	2.614	20'160.009,61	2'016.000,96	\$ 45'812.888,35
		UASB + FB	153.776	267,0	23.066	0	0	16'128.007,69	1'344.000,64	\$ 33'117.132,77
		MBBR	153.776	267,0	19.222	538	3.383	28'224.013,45	3'225.601,54	\$ 69'437.810,56
	PTAR SC I	Pré-fabricado	7.599	13,2	950	27	167	1'394.726,57	159.397,32	\$ 3'431.360,29
		DEWATS	7.599	13,2	2.584	0	0	1'062.648,81	86.340,22	\$ 2'152.935,85
		MBBR	7.599	13,2	950	27	167	1'394.726,57	159.397,32	\$ 3'431.360,29
	PTAR SC II	Pré-fabricado	16.693	29,0	2.087	58	367	3'063.809,98	350.149,71	\$ 7'537.703,93
		DEWATS	16.693	29,0	5.676	0	0	2'334.331,41	189.664,43	\$ 4'729.375,99
		MBBR	16.693	29,0	2.087	58	367	3'063.809,98	350.149,71	\$ 7'537.703,93
	PTAR SC III	Pré-fabricado	12.868	22,3	1.608	45	283	2'361.729,96	269.912,00	\$ 5'810.419,47
		DEWATS	12.868	22,3	4.375	0	0	1'799.413,30	146.202,33	\$ 3'645.627,19
		MBBR	12.868	22,3	1.608	45	283	2'361.729,96	269.912,00	\$ 5'810.419,47
	PTAR SC IV	Pré-fabricado	5.217	9,1	652	18	115	957.585,35	109.438,33	\$ 2'355.888,54
		DEWATS	5.217	9,1	1.774	0	0	729.588,83	59.279,09	\$ 1'478.153,40
		MBBR	5.217	9,1	652	18	115	957.585,35	109.438,33	\$ 2'355.888,54
	PTAR SC VI	Pré-fabricado	3.301	5,7	413	12	73	605.917,45	69.247,71	\$ 1'490.701,56
		DEWATS	3.301	5,7	1.122	0	0	461.651,39	37.509,18	\$ 935.309,78
		MBBR	3.301	5,7	413	12	73	605.917,45	69.247,71	\$ 1'490.701,56
	PTAR SC VII	Pré-fabricado	2.684	4,7	336	9	59	492.654,27	56.303,34	\$ 1'212.047,10
		DEWATS	2.684	4,7	913	0	0	375.355,63	30.497,65	\$ 760.473,82
		MBBR	2.684	4,7	336	9	59	492.654,27	56.303,34	\$ 1'212.047,10

## Estimación de costes de nuevo alcantarillados troncales

Los sistemas de alcantarillado centralizados dependen de las redes de recogida para conducir las aguas residuales a las plantas de tratamiento. Se trata de un factor muy relevante, ya que las redes de recogida pueden representar hasta el 75% de los costes de implantación de un sistema, por lo que es fundamental tenerlas en cuenta en las evaluaciones económicas y financieras.

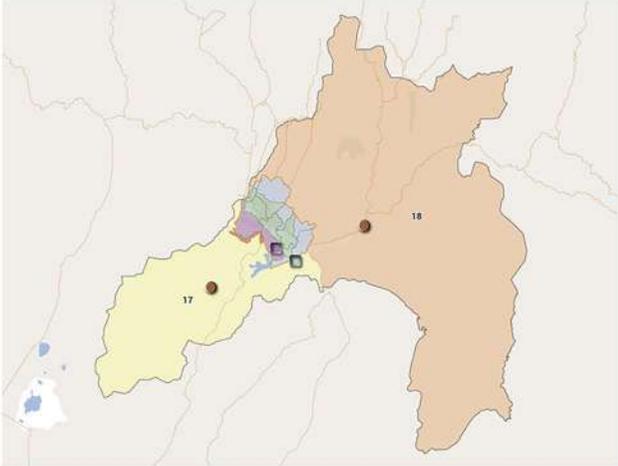
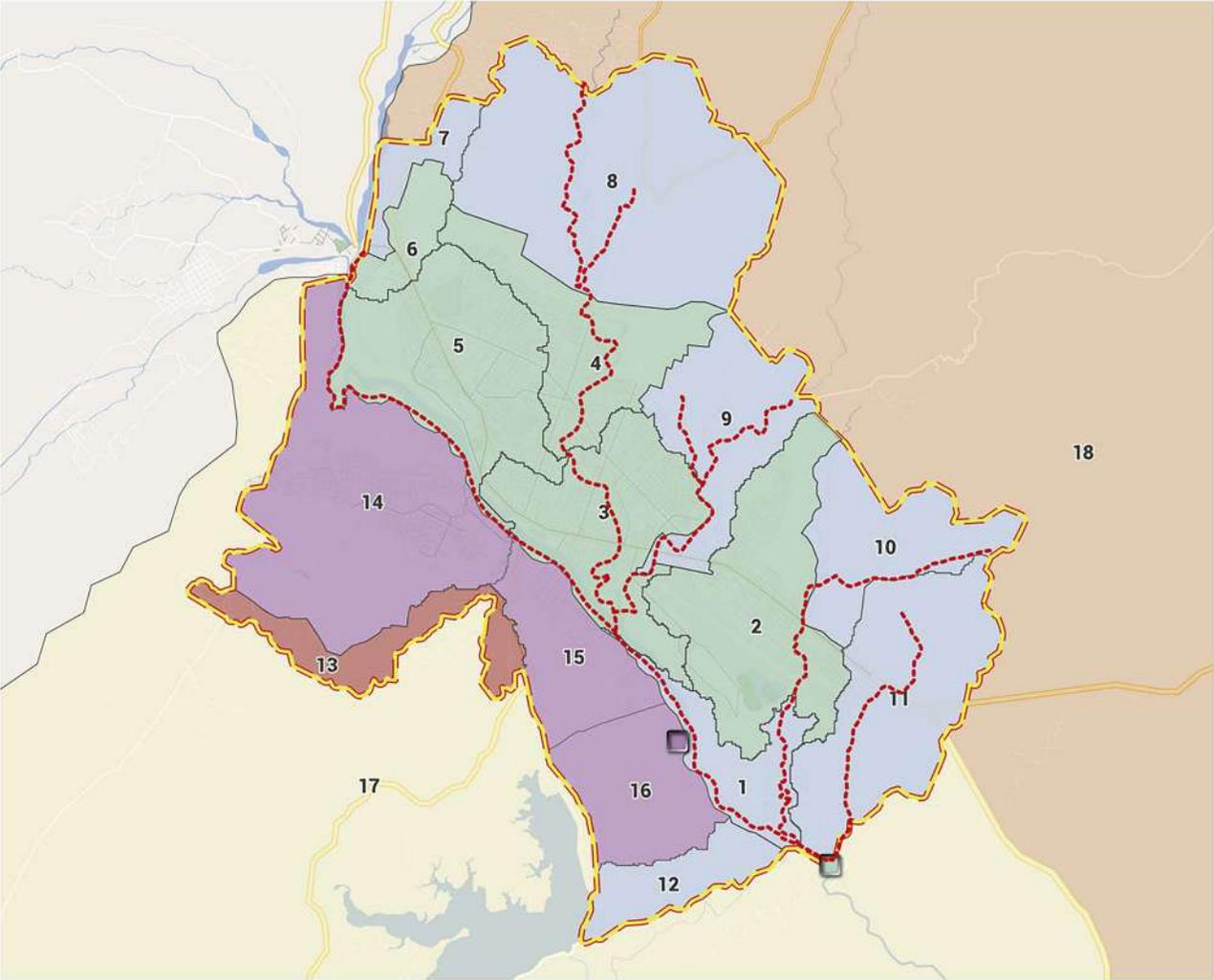
Considerando que todos los escenarios contemplan la implantación de redes colectoras igual para los sistemas centralizados y semicentralizados), la red de recogida no se estimó en la comparación de costes. La atención se centró en los colectores troncales, necesarios para llevar las aguas residuales recogidas en las redes de alcantarillado de las zonas de expansión urbana a la planta centralizada (necesaria sólo en el escenario I).

Para la ubicación de estos dispositivos se consideró el concepto convencional de fondo de valle, aprovechando su topografía favorable al transporte de efluentes líquidos. De este modo, los colectores se distribuyeron a lo largo del río y de los descansos, como puede verse en el mapa de la página siguiente. El diámetro de la tubería se calculó a partir del caudal de aguas residuales a transportar por el tramo, considerando la generación por parte de la población servida y la acumulación a medida que se conectan los ramales. A continuación se presentan tablas que tipifican las longitudes de red necesarias para este trazado, estratificadas según su diámetro y profundidad de tendido, lo que permite una aproximación más realista de sus costes de implantación.

Extensión del alcantarillado (m)		Profundidad de tubería (m)								
		<2	3	4	5	6	7	8	9	>10
Diámetro nominal (mm)	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	200	700,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	250	820,40	100,00	-	-	-	-	-	101,83	111,47
	300	2.441,33	400,00	400,00	-	100,00	-	-	-	-
	350	965,63	-	-	-	-	-	-	-	-
	400	3.390,75	800,00	437,53	300,00	300,00	-	-	-	-
	450	3.833,85	479,10	551,97	662,97	300,00	-	-	100,00	-
	500	-	-	100,00	-	-	-	-	-	-
	600	2.174,87	400,00	300,00	-	97,82	-	-	-	-
	700	5.184,75	1.200,00	906,10	226,00	397,01	210,00	88,43	-	-
	800	-	101,60	-	-	-	-	-	-	-
	900	522,81	600,00	600,00	100,00	200,00	100,00	-	-	-
1.200	-	-	398,41	512,98	185,03	-	-	-	-	

		Profundidad neta (m)									Total
		<2	3	4	5	6	7	8	9	>10	
Diámetro nominal (mm)	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
	200	65.692,06	-	-	-	-	-	-	-	-	65.692,06
	250	94.041,99	11.462,94	-	-	-	-	-	18.119,50	19.834,83	143.459,27
	300	342.389,96	56.098,92	61.159,81	-	16.267,65	-	-	-	-	475.916,35
	350	154.774,56	-	-	-	-	-	-	-	-	154.774,56
	400	652.955,65	154.055,75	89.811,29	61.580,66	64.138,97	-	-	-	-	1'022.542,32
	450	879.477,16	109.904,54	132.961,43	159.699,70	74.518,86	-	-	29.441,27	-	1'386.002,95
	500	-	-	28.268,15	-	-	-	-	-	-	28.268,15
	600	843.387,88	155.115,09	116.786,55	-	38.107,03	-	-	-	-	1'153.396,54
	700	2'853.152,20	660.356,36	485.760,20	121.158,60	208.769,59	110.429,49	48.012,72	-	-	4'487.639,16
	800	-	79.340,31	-	-	-	-	-	-	-	79.340,31
	900	579.358,18	664.897,20	610.022,03	101.670,34	191.633,96	95.816,98	-	-	-	2'243.398,69
	1200	-	-	1'057.906,29	1'362.126,38	436.063,42	-	-	-	-	2'856.096,09
<b>Total</b>	6'465.229,64	1'891.231,11	2'582.675,75	1,806.235,67	1'029.499,49	206.246,47	48.012,72	47.560,77	19.834,83	<b>14'096.526,45</b>	

Estimación de costes de nuevos alcantarillados troncales



-  GLF – futura transición a PTAR San Blas.
-  GLF – futura transición a PTAR La Pintada.
-  PTAR La Pintada.
-  PTAR San Blas.
-  GLF – zona rural.
-  PTAR.
-  PTLF.
-  Alcantarillado (colectores troncales) considerados.

## Referencias

- KIPNIS, T. & CASTRO, P. *Caderno I – A Relevância do Esgotamento Sanitário Descentralizado e Sistemas Baseados no Manejo do Lodo Fecal*. 2020. Instituto Água e Saneamento (IAS).
- KIPNIS, T. & CASTRO, P. *Caderno II – Referencial Técnico para Definição de Soluções de Esgotamento Sanitário Descentralizado e Baseadas no Manejo do Lodo Fecal*. 2020. Instituto Água e Saneamento (IAS).
- Bassan, Magalie, Elizabeth Tilley, Linda Strande, Mariska Ronteltap, David M. Robbins, Philippe Reymond, Damir Brdjanovic, et al. 2014. *Faecal Sludge Management*. Editado por Linda Strande, Mariska Ronteltap, and Damir Brdjanovic. London: IWA Publishing.
- Strande, Linda, Mariska Ronteltap, e Damir Brdjanovic. 2014. *Faecal Sludge Management*. Edited by Linda Strande, Mariska Ronteltap, and Damir Brdjanovic. London: IWA Publishing.
- Tilley, Elizabeth, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond, e Christian Zurbrügg. 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd ed. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) - Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (GIZ/PERIAGUA). *Identificación y Caracterización de las Soluciones de Saneamiento y Residuos Sólidos en el Área Periurbana y Rural de Tarija y San Lorenzo*. Septiembre, 2022.
- Iniciativa de Promoción de SFD (Shit Flow Diagram) – Tarija, Bolivia. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). *Producido por Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (GIZ/PERIAGUA)*. Última actualización Marzo, 2019.
- Von Sperling, M., (2014). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 1. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos (4th ed.)*. UFMG.
- Von Sperling, M., & Chernicharo, C. A. D. L. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. IWA Publishing, 1–856. <http://choicereviews.org/review/10.5860/CHOICE.45-2633>.
- Von Sperling, M., & Sezerino, P. H. (2018). *Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil* (B. W. Brasil (ed.); Edição Esp). *Boletim Wetlands Brasil*.

*Es importante resaltar que este estudio consideró la información disponible, sin encuestas primarias. Por lo tanto, en algunos aspectos, fue necesario tratar con datos poco actualizados o precisos, como es el caso de la información sobre la distribución de la población por municipio y los datos topográficos (se utiliza la base de baja definición, cada 30 metros). Así, el nivel de precisión que brinda la información permite la planificación general de macrosoluciones para Tarija, pero requiere profundizar en la definición de planes y proyectos específicos de alcantarillado sanitario.*

**AGUATUYA**   
Ingeniería + Gestión

