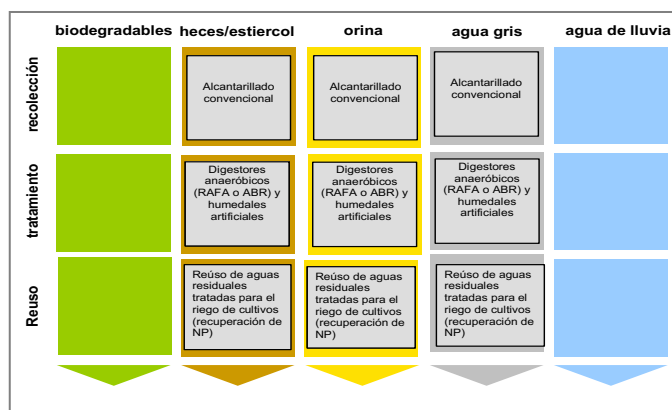




**Fig. 1:** Ubicación del proyecto Cochabamba, Bolivia encontrarlo en Google maps: <https://www.google.com/maps/@-17.4356609,-66.0429481,61878m/data=!3m1!1e3>



**Fig. 2:** Componentes de saneamiento aplicados en este proyecto

## 1 Datos generales

### Tipo de proyecto:

Implementación de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales para ciudades intermedias en Bolivia con - un enfoque de reutilización

### Período del proyecto:

2015-2020 Programa Modelos descentralizados de tratamiento en Bolivia

### Escala del proyecto:

Población atendida: 32,200 habitantes

Inversión total: 1,980,284 USD

Promedio de inversión per cápita: 25.80 USD

### Lugar implementación del proyecto:

Tres municipios de Cochabamba, Bolivia:

- Municipio de Cliza (Centro Urbano)
- Municipio de Tolata (Centro Urbano)
- Municipio de Punata (Centro Urbano)

### Agencia de Cooperación:

SIDA - Agencia Sueca de Cooperación para el Desarrollo /Embajada de Suecia

### Contraparte del Estado:

- Gobierno Autónomo Municipal de Cliza
- Gobierno Autónomo Municipal de Tolata
- Gobierno Autónomo Municipal de Punata

### Organismo ejecutor:

Fundación Aguatuya (<http://www.aguatuya.org>)

## 2 Objetivo y motivación del proyecto

El continuo crecimiento demográfico y la urbanización han dado lugar a un aumento constante de las presiones antropogénicas sobre los recursos hídricos, lo que hace que la disponibilidad de agua sea una preocupación importante a nivel internacional. El objetivo 6 de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas es garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible de los servicios de agua y saneamiento para todos.

Las ciudades intermedias de Bolivia han tenido un notorio crecimiento demográfico, lo que ha aumentado la demanda de agua y, por consiguiente, ha generado grandes volúmenes de aguas residuales. En este contexto, la Fundación Aguatuya propone mejorar la gestión del agua y promover la recuperación de nutrientes mediante un enfoque de economía circular. Esta estrategia conlleva la puesta en marcha de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales, asegurando al mismo tiempo la reutilización del efluente tratado en el riego de cultivos. El agua recuperada puede ofrecer oportunidades para un suministro de agua de riego complementario, sostenible y fiable para la agricultura. El tratamiento de las aguas residuales según normas aceptables de calidad (tratamiento apto para el reúso) y la aplicación del riego a cierto tipo de cultivos aumenta el potencial de reúso del agua tratada y asegura un reúso responsable y seguro, contribuyendo a la economía local, la salud de las personas y el medio ambiente.

## 3 Ubicación y condiciones

### Área de intervención:

La región del Valle Alto ocupa el epicentro del departamento de Cochabamba, se encuentra entre las coordenadas de 17°31' y 17°41' de latitud sur y 65°57' y 66°05' de longitud oeste, entre 2,550 y 2,800 metros sobre el nivel del mar (FAO, s.d.). La región está compuesta por cinco provincias y 16 municipios autónomos que en total suman una población de 151,369 habitantes (INE, 2012).

Toda la región del Valle Alto tiene suelos profundos y limosos con arena y grava, una textura areno-limosa y una topografía variada. Presenta una serie de problemas que limitan la producción agrícola; principalmente el déficit hídrico (del total

de la superficie agrícola de aproximadamente 82,631 has, sólo el 6.9% cuenta con riego permanente y el 34.4% tiene riego ocasional), este aspecto afecta la producción de cultivos de alto valor, alta dependencia del régimen de lluvias, baja contribución al uso de insumos agrícolas; baja productividad de la tierra y del trabajo, muy bajo nivel de ingresos y migración estacional de las poblaciones rurales que realizan agricultura temporal. Debido a las escasas precipitaciones, existe una gran demanda de agua de riego y, por lo tanto, la reutilización de las aguas residuales tratadas como riego complementario se convierte en un recurso de gran valor.

En el marco del programa Modelos Descentralizados de Tratamiento en Bolivia” financiado por la Agencia Sueca de cooperación para el desarrollo (ASDI) se han implementado y puesto en marcha tres plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas plantas están ubicadas en los municipios de Cliza, Tolata y Punata, que tienen las siguientes características:

**Tabla 1:** Características de los municipios

Características	Cliza	Tolata	Punata
<b>Población [habitantes]</b>	21,899	5,542	28,887
<b>Clima</b>	Semiárido, mesotérmico (semifrío). La temporada de lluvias comienza en Noviembre y termina en Abril, lo que caracteriza a la región como un clima subtropical con lluvias en verano.		
Elevación sobre el nivel del mar [m]	2,718	2,719	2,718
Precipitaciones medias mensuales de la estación seca [mm]	2 a 20	2 a 34	9 a 32
Precipitaciones medias mensuales de la temporada de lluvias [mm]	34 a 130	41 a 86	46 a 198
Promedio anual de precipitaciones [mm]	457	494	509
Temperatura media [°C]	16 a 18	16 a 18	17 a 19
<b>Tasa de mortalidad infantil [por cada mil nacidos vivos]</b>	22	21.4	21.8
<b>Tasa de mortalidad de niños [por cada mil nacidos vivos]</b>	26.6	25.7	27.1
<b>Acceso al agua potable distribuida por las líneas de suministro [%]</b>	85	84	80
<b>Aguas residuales sanitarias [%]</b>	66	59	63
<b>Uso de suelo</b>	Residencias periurbanas con viviendas familiares coinciden con la agricultura. El uso de la tierra y las actividades económicas en la región del Alto Valle coexisten		
<b>Situación socio económica</b>	El PIB per cápita de la región del Valle Alto es de 715 USD.		
Agricultura y ganadería [%]	26	33	26
Comercio [%]	24	13	27
Fabricación [%]	7	6	11
Construcción [%]	12	20	9

**Fuente:** INE (2012), UDAPE (2018)



**Fig. 3:** Planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Cliza (*Fundación Aguatuya 2019*)

## 4 Historia del proyecto

Desde 2008, Aguatuya trabaja con la Agencia Sueca de cooperación para el desarrollo (ASDI) en el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas en ciudades intermedias. El 2014, y en el marco de la colaboración con Suecia, el Municipio de Cliza firmó un acuerdo con Aguatuya e implementó la primera planta de tratamiento de aguas residuales en la región del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. Los municipios de otras dos ciudades intermedias (Tolata y Punata) han participado desde 2018 y 2019 respectivamente. Aguatuya presta toda la asistencia técnica necesaria a los municipios para que puedan gestionar adecuadamente las aguas residuales.

**Tabla 2:** Dimensionamiento y costos de inversión

Nombre PTAR	Población futura [hab]	Capacidad de tratamiento [m <sup>3</sup> /año]	Tamaño terreno PTAR [m <sup>2</sup> ]	Inv. [USD]
Cliza	10,000	207,318	8,100	533,963
Tolata	5,000	118,891	2,930	257,694
Punata	26,565	924,005	48,804	1,191,809

Los proyectos implementados por Aguatuya son innovadores y han generado un impacto positivo en el sector de agua y saneamiento en Bolivia. Por lo tanto, Aguatuya ve la necesidad de sistematizar las experiencias y gestionar el conocimiento adquirido hasta la fecha en este tema para ponerlo al alcance de todos los interesados.

## 5 Tecnologías aplicadas

Durante este tiempo se han llevado a cabo una serie de experiencias exitosas en relación al tratamiento de aguas residuales, que han sido concebidas bajo la priorización de los procesos naturales, el menor costo anual equivalente y la facilidad del agua tratada para el riego agrícola. El tratamiento de aguas residuales basado en procesos naturales reduce el uso de energía externa al sistema de

tratamiento, no requiere productos químicos y protege al medio ambiente. Tomando en cuenta estos principios, Aguatuya ha priorizado el tratamiento anaeróbico en diferentes modalidades como parte del tren de tratamiento de sus plantas de tratamiento.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Cliza ha implementado el uso del reactor de manta de lodo anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), ya que tiene varias ventajas, como el bajo consumo de energía, alta eficiencia, simplicidad, flexibilidad y la reducción de la producción de lodo en comparación con los sistemas aireados (Latif et al., 2011). Sin embargo, como el uso de RAFA está limitado por la necesidad de un post tratamiento adecuado, el tratamiento secundario se lleva a cabo mediante biofiltros de grava (HGF) de flujo subterráneo horizontal.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tolata ha aplicado el uso de reactores anaeróbicos compartimentados (ABR) combinados con un tratamiento secundario en una configuración que combina HGF y filtros de grava de flujo vertical (VGF). Se seleccionó la tecnología ABR debido a su diseño sencillo, equipo poco sofisticado, alto rendimiento, baja producción de lodo y bajos gastos de funcionamiento. La ventaja más significativa del ABR es su capacidad de separar la acidogénesis y la metanogénesis longitudinalmente a lo largo del reactor, lo que permite que diferentes poblaciones de bacterias dominen cada compartimento. La acidificación predomina en el primer compartimento y la metanogénesis domina en los compartimentos siguientes (Barber y Stuckey, 1998). Aunque los ABR se han utilizado ampliamente, por sí solos no pueden cumplir los requisitos de calidad de los efluentes, por lo que su uso requiere una combinación con otras tecnologías de tratamiento, de ahí el uso de filtros de grava.

Los HGF y VGF de las plantas de tratamiento de aguas residuales ofrecen un sistema de tratamiento robusto a un costo muy bajo en comparación con las tecnologías de tratamiento convencionales. Además, los biofiltros son necesarios para filtrar los efluentes de los RAFA y los ABR antes de que se descarguen y se reutilicen como riego suplementario para los cultivos de tallo alto en las zonas circundantes.

Las tecnologías aplicadas fueron seleccionadas y adaptadas a las condiciones locales de acuerdo con los siguientes criterios:

**Tabla 3:** Criterios para seleccionar las tecnologías

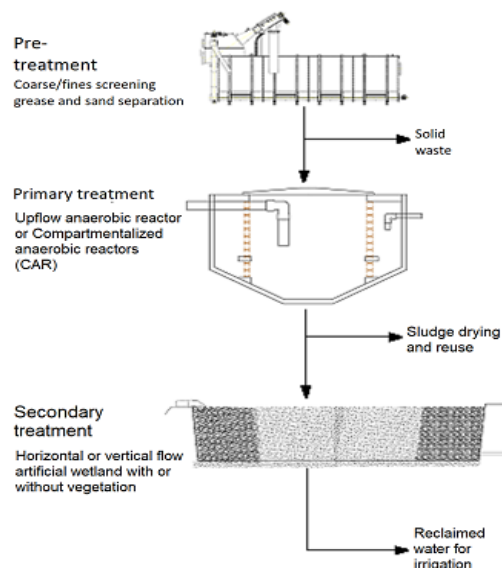
Condiciones locales	Tecnología apropiada
Aguas residuales con concentraciones relativamente altas de materia orgánica (DBO>400mg/l). Flujo variable a la entrada de las plantas debido a los pequeños sistemas de recolección (longitud < 10 Km en la mayoría de los casos))	Tratamiento anaeróbico basado en reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) o reactor anaeróbico compartimentado (ABR).
La población de bajos ingresos no puede pagar tasas superiores a 1.5 a 2.0 USD/mes.	Procesos naturales que, cuando es posible, no requieren energía o suministros. Tratamiento anaeróbico y humedales artificiales como tratamiento secundario
Reutilización potencial del agua recuperada para el riego de cultivos	Tratamiento sin eliminación de nutrientes (N y P).

Riego de cultivos	Restricción de los cultivos a regar con agua tratada pero no desinfectada. Riego restringido a plantas de tallo alto como el maíz, la alfalfa y el forraje (Se prohíbe el riego de hortalizas y legumbres como los tomates o la lechuga) Aplicación de la desinfección por cloración (solo cuando sea necesario)
-------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 6 Información de diseño

El diseño aplicado a las plantas de tratamiento de aguas residuales en la región del Valle Alto se ha puesto en práctica en los últimos 10 años para tratar las aguas residuales urbanas a un nivel secundario en Cliza y Tolata y en los últimos años a un nivel terciario en Punata. Los procesos de tratamiento son biológicos con el fin de poner el agua tratada a disposición de los agricultores para su reutilización en el riego complementario de cultivos.

El tratamiento de las aguas residuales en la planta de Cliza (Figura 4) comienza en una estación de bombeo desde la que se eleva el agua hasta el tren de tratamiento de aguas residuales, que incluye un equipo mecanizado de pretratamiento para separar la arena y eliminar los sólidos de más de 6 [mm] de tamaño. El agua pasa luego por un tanque de homogeneización y se distribuye en 5 módulos de tratamiento paralelos que funcionan simultáneamente. Cada módulo tiene: 1) un colector de grasa con un volumen de 5.47 [m<sup>3</sup>] y un tiempo de retención aproximado de 0.5 [horas]; 2) dos RAFA con un volumen de 30 [m<sup>3</sup>], una temperatura media de 18 °C y una retención hidráulica de 28.3 [horas]; y 3) una zona de secado de lodos de 58.4 [m] de ancho y 0.15 [m] de alto, que garantiza el volumen necesario para la recepción de los lodos generados en cada reactor de los RAFA. El tratamiento secundario se lleva a cabo en una configuración que combina dos HGF por módulo de 160 [m<sup>2</sup>], 0.8 [m] de altura y una porosidad de 0.4[%]. Las paredes y los fondos del filtro están revestidos con geomembrana de polietileno de alta densidad.



**Fig. 4:** Tren de tratamiento PTAR Cliza



La configuración del tren de tratamiento de la PTAR de Tolata (Figura 5) está compuesta de aguas residuales que entran en una estación de bombeo que recibe todas las aguas residuales procedentes de los sistemas de alcantarillado municipal y luego eleva las aguas residuales en la dirección de la pantalla giratoria (PG). La PG filtra los sólidos mayores a 3 [mm], luego las aguas residuales son conducidas a un colector de grasa con un tiempo de retención de diseño de 2 minutos. El tratamiento primario se lleva a cabo en dos ABR con un tiempo de retención de 9 horas, en el que la materia orgánica se descompone en compuestos más simples en condiciones anoxicas. Los muros y sus deflectores han sido construidos con poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El tratamiento secundario se lleva a cabo en una configuración que combina HGF y VGF. Los dos HGF ocupan un área de aproximadamente 509 [m<sup>2</sup>] (11 x 22.5 [m] cada uno) y 0.8 [m] de profundidad. El efluente de los HGF pasa por una cámara de aireación antes de entrar en los VGF, que ocupan una superficie de 508 [m<sup>2</sup>] (11 x 22.5 [m] cada uno) y están llenos de grava de tamaño medio. Las aguas residuales tratadas se recogen y se dirigen a una cámara de cloración que sólo se utiliza en situaciones de emergencia para evitar la formación de compuestos órgano clorado tóxicos. El lodo acumulado en el fondo de los ABR se elimina mediante una bomba y se deposita en la zona de secado de lodos de 194.5 [m<sup>2</sup>] (8.5 x 22.8 [m]) y 0.15 [m] de profundidad.

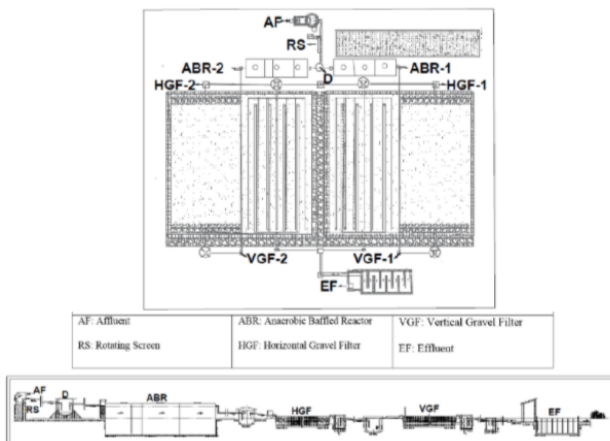


Fig. 5: Tren de tratamiento PTAR Tolata

En la PTAR de Punata, el agua ingresa a través de una cámara de espesor que separa los objetos que son mayores de 5 [cm], (Figura 6), un canal de filtración que elimina los sólidos finos de 3 [mm], un tanque de sedimentación para eliminar la arena y los sedimentos, un tanque desengrasador que separa y retiene el material graso y finalmente pasa a través de una estación de bombeo que homogeniza el agua.

El tratamiento primario se lleva a cabo por ABR donde se reduce la concentración de materia orgánica. Luego, las aguas residuales se transportan a un estanque anaeróbico que reduce aún más el contenido orgánico. El tratamiento secundario tiene lugar en una laguna facultativa donde se depositan los sólidos sedimentables y finalmente el tratamiento terciario se realiza en una laguna de maduración con el fin de reducir los patógenos y coliformes para mejorar la calidad del agua de reúso para riego.

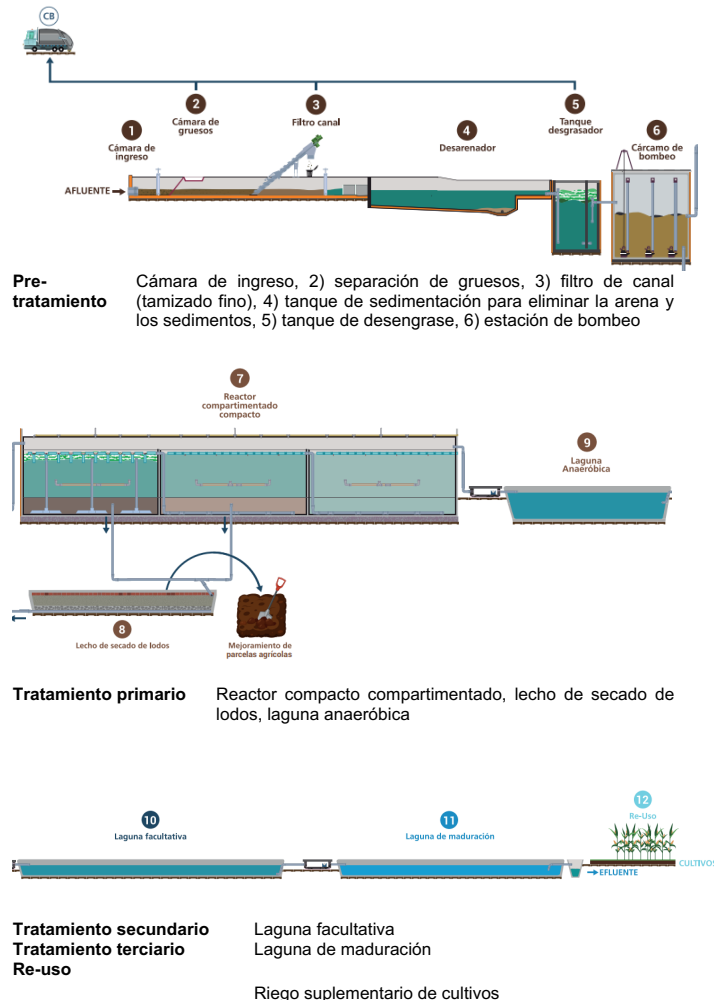


Fig. 6: Tren de tratamiento PTAR Punata

## 7 Tipo y nivel de reúso

Las plantas municipales descentralizadas de tratamiento de aguas residuales construidas por Aguatuya en la región del Valle Alto de Cochabamba, siguen un enfoque de economía circular, a través de los siguientes pasos: tratamiento de aguas residuales, reutilización y recuperación de nutrientes.

En ese contexto, el modelo incluye al agua dentro de la economía circular, en la reducción de la contaminación en la fuente y en la reducción de explotación de nuevas fuentes de agua a través de la reutilización del agua en el paisajismo y el riego suplementario de los cultivos, principalmente de maíz y alfalfa en la región. La alfalfa es tolerante a las sequías o a períodos prolongados sin agua disponible; sin embargo, necesita grandes volúmenes de agua porque tiene un largo período de crecimiento, un sistema de raíces profundas y una densa masa de vegetación. Las necesidades de riego de la alfalfa se rigen por las precipitaciones y la capacidad de retención de agua de los suelos en que se cultiva. Los márgenes comúnmente citados en las necesidades de agua para la alfalfa son de 450 a 900 [mm] de agua por temporada. Por otra parte, el maíz requiere 500-800 [mm] de agua durante el período de cultivo (FAO, 2010).

La reutilización del agua en la agricultura contribuye al reciclaje de nutrientes y al ciclo cerrado de nutrientes mediante la sustitución de los fertilizantes sólidos que causan problemas ambientales, como la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, la eutrofización y la emisión de gases a la atmósfera. El fósforo es un componente importante de los fertilizantes químicos que, al ritmo actual de extracción, se agotará a finales de este siglo, por lo que la reutilización y el reciclaje de las aguas residuales contribuyen a conservar este valioso nutriente que, de lo contrario, termina siendo depositado en ríos, lagos y océanos.

Estas plantas municipales de tratamiento de aguas residuales, tratan en total un volumen anual de aguas residuales aptas para el riego de 296,022 [m<sup>3</sup>], lo que permite a los agricultores locales asegurar el riego complementario de casi 120 hectáreas de cultivos. Además, esta fuente de agua fácilmente disponible para el riego evita que los agricultores tengan que perforar más pozos y explotar un volumen similar de agua de fuentes subterráneas (conservación del agua).

La implementación de estas plantas de tratamiento de aguas residuales y el uso de agua recuperada para el riego de los cultivos, ha reducido la concentración de carga orgánica, el total de sólidos en suspensión y los nutrientes vertidos a los cuerpos de agua, como se ilustra en el siguiente cuadro. Los nutrientes disponibles en el agua recuperada alimentan los cultivos y evitan la necesidad de importar fertilizantes químicos en una cantidad aproximada de 11,648 [Kg/año].

(Fuente: Datos obtenidos de las fichas técnicas de Aguatuya y de los informes de seguimiento de las PTAR de Cliza, Tolata y Punata).

**Tabla 5:** Indicadores de ahorro de recursos

Indicador	Economía lineal	Economía circular	Incremento/reducción	Reducción de los contaminantes en cuerpos de agua [%]
Carga orgánica [Kg DBO/año]	241,399	6,132	-235,267	97
Sólidos suspendidos totales [Kg SST/año]	167,041	5,723	-161,318	97
Nitrógeno (N) [Kg/año]	36,968	13,940	-23,028	62
Fósforo (P) [Kg/año]	4,934	2,146	-2,788	57

Estos resultados demuestran que el enfoque de la economía circular aplicada a la gestión de las aguas residuales tiene como resultado la conservación de los recursos hídricos, la protección del medio ambiente, la eficiencia en el uso del agua, la reducción de los costos de las prácticas agrícolas, la salud y el bienestar socioeconómico de las comunidades locales.

## 8 Otros componentes del proyecto

Las plantas municipales descentralizadas de tratamiento de aguas residuales construidas en la región del Valle Alto de Cochabamba pueden desempeñar un papel importante influyendo a otras ciudades a un futuro sostenible, caracterizado por un flujo circular de agua, aguas residuales y recuperación de nutrientes. La transición de una economía

lineal a una circular fomentará un uso más eficiente del agua, combinado con incentivos a la innovación que pueden mejorar la capacidad de la economía para hacer frente a las exigencias del creciente desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua.

El desarrollo de una economía circular ofrece una vía para resolver los problemas ambientales que afectan a la salud humana y al desarrollo social, fomentando un modelo de crecimiento caracterizado por la conservación de los recursos y alentando un comportamiento de consumo saludable, todo ello mediante un cambio en los modelos de crecimiento y la protección del medio ambiente.

El sistema actual tiene como objetivo seguir promoviendo la reutilización, incluyendo la política nacional sobre los requisitos mínimos para las aguas residuales reutilizadas, no sólo en la región del Valle Alto, sino en toda Cochabamba y en Bolivia. Esta experiencia puede utilizarse como un caso piloto, basado en las experiencias adquiridas, para ser aplicado en otras regiones del país. Además, y en este sentido, Aguatuya está trabajando actualmente con el Comité Técnico de Normalización CTN 6.4 (Calidad del agua) y de ISO/TC 323 (IBNORCA- Instituto Boliviano de Normas y Calidad) en Bolivia y junto a la Embajada de Suecia promoviendo el desarrollo de normativa nacional en temas de calidad del agua.

## 9 Costos y economía

Los costos de implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas en los municipios de Cliza, Tolata y Punata en la región del Valle Alto de Cochabamba se determinaron utilizando la metodología del Costo Anual Equivalente (CAE) que consiera no sólo los costos de inversión inicial, sino también todos los costos recurrentes relacionados con la operación y el mantenimiento. Aguatuya adoptó esta metodología para evaluar sus sistemas de tratamiento desde el punto de vista financiero y así poder optimizar los costos a lo largo del tiempo para que los servicios de tratamiento sean más económicos y accesibles para los municipios y los usuarios finales.

El costo total de la inversión de la planta de Cliza es de 533,963 [USD]. El costo anual equivalente de esta planta tomando una tasa de descuento anual del 5% es de 66,172 [USD/año]. De este monto, el 68% (44,568 [USD/año]) corresponde a los Gastos de Capital (CAPEX) y el 32% (21,604 [USD/año]) a los Gastos Operativos (OPEX).

El costo total per cápita es de 9 [USD/año] y el costo total por metro cúbico de agua tratada es de 0.32 [USD/m<sup>3</sup>]. El costo total de la PTAR de Tolata es de 257,694 [USD]. El costo anual equivalente de esta planta considerando una tasa de descuento anual del 5% es de 39,907 [USD/año]. De este monto, el 56% (22,414 [USD/año]) corresponde a CAPEX y el 44% (16,716 [USD/año]) a OPEX respectivamente. El costo total per cápita es de 11 [USD/año] y el costo por metro cúbico de agua tratada es de 0.33 [USD/m<sup>3</sup>].

El costo de inversión total de la PTAR de Punata es de 1,191,809 [USD]. El costo anual equivalente de esta planta usando una tasa de descuento del 5% es de 120,532 [USD/año]. De este monto, el 81% (97,195 [USD/año]) corresponde a los Gastos de Capital (CAPEX) y el 19% (23,336

[USD/año] a los Gastos Operativos (OPEX). El costo total per cápita es de 6 [USD/año] y el costo por metro cúbico de agua tratada es de 0.13 [USD/m<sup>3</sup>].

Las tablas 6 y 7 detallan el CAPEX y OPEX de cada planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 6:** Detalle del CAPEX de las PTAR

Descripción	Cliza	Tolata	Punata	Cliza	Tolata	Punata
	Costo total [USD]			Costo (USD/año)		
Tierra y acondicionamiento	22,369	90,055	532,232	4,459	6,199	35,623
Obras hidráulicas civiles	463,330	137,163	570,263	35,011	10,721	42,946
Equipo (eléctrico o electromecánico)	40,715	26,166	75,263	4,607	5,148	17,499
Oficinas y laboratorios	7,549	4,310	14,051	491	346	1,127
<b>TOTAL</b>	<b>533,963</b>	<b>257,694</b>	<b>1,191,809</b>	<b>44,568</b>	<b>22,414</b>	<b>97,195</b>

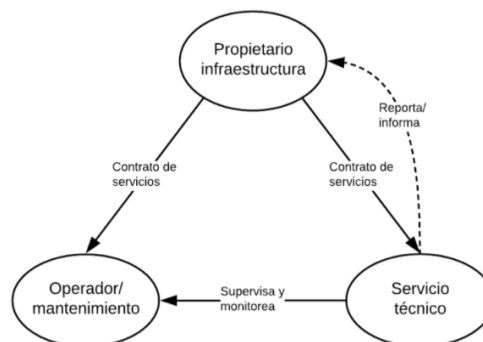
Se puede evidenciar que las tecnologías del reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) y el reactor anaeróbico compartimentado (ABR) tienen un bajo consumo de energía y los costos OPEX son menores que los de otras tecnologías convencionales.

**Tabla 7:** Detalle del OPEX de las PTAR

Descripción	Cliza	Tolata	Punata	Cliza	Tolata	Punata
	Costo total [USD]			Costo (USD/año)		
Sueldos, salarios, EPP	3,198	1,924	2,748	15,496	9,939	16,202
Suministros, piezas de repuesto, mantenimiento y vigilancia	1,530	1,321	1,800	3,564	3,622	4,193
Servicios básicos	212	263	245	2,543	3,155	2,941
<b>TOTAL</b>	<b>4,940</b>	<b>3,508</b>	<b>4,793</b>	<b>21,603</b>	<b>16,716</b>	<b>23,336</b>

## 10 Operación y mantenimiento

Se adoptó un modelo de gestión flexible y funcional, con la participación de diferentes organizaciones. El modelo es flexible puesto que estas organizaciones pueden ser públicas, privadas o ambas. El modelo es funcional porque exige el cumplimiento de tres funciones o actores funcionales: Debe existir un "propietario" formal de la infraestructura, un proveedor de "servicios técnicos" y un "operador" para las actividades diarias de O&M. La sostenibilidad a largo plazo del servicio depende de la definición clara y la ejecución eficaz de estas funciones, como se ilustra en la Fig. 7.



**Fig. 7:** Modelo de gestión Aguatuya

**Propiedad y administración:** Debe ser cumplida por el propietario del servicio/infraestructura. El propietario del servicio puede ser una empresa de servicios públicos, una comunidad o un municipio. El propietario es responsable de la sostenibilidad del servicio a lo largo del tiempo, por lo que debe asegurarse de que las operaciones diarias se lleven a cabo de forma eficaz. El propietario de la infraestructura debe tener un mandato claro de los usuarios y es responsable de rendir cuentas ante estos.

**Operación y mantenimiento:** Esta función puede ser desempeñada por el propietario del servicio o ser delegada (mediante un contrato de servicios) a un tercero. Consiste en la realización de las actividades necesarias para el funcionamiento diario del servicio, incluidas las de mantenimiento ordinario.

**Servicio técnico:** Quién desempeñe esta función necesita amplios conocimientos técnicos, experiencia, así como equipos y laboratorios especializados. El monitoreo de la calidad del agua, la solución de problemas técnicos y las propuestas de mejora son algunas de las principales actividades. De manera similar a la de O&M, esta función puede ser realizada por el propietario del servicio si dispone de los recursos y capacidades técnicas necesarias o por un tercero mediante un contrato de servicio. Una entidad técnica (empresa privada, consultor o profesional independiente) puede prestar servicios a más de una planta de tratamiento al mismo tiempo y optimizar de esa manera los costos del servicio. En el caso de las pequeñas plantas de tratamiento (por ejemplo, para poblaciones de menos de 10.000 habitantes), resulta más económico compartir los recursos técnicos en lugar de que cada planta tenga su propio laboratorio, ingeniero, etc.

En el cuadro siguiente se resumen las disposiciones institucionales aplicadas para el funcionamiento de los emplazamientos del proyecto.

**Tabla 8:** Arreglos institucionales

Nombre PTAR	Propiedad	Operación y mantenimiento	Servicio técnico
PTAR Cliza	Municipalidad de Cliza	Aguatuya	Aguatuya
PTAR Tolata	Municipalidad de Tolata	Aguatuya	Aguatuya
PTAR Punata	Municipalidad de Punata	Aguatuya	Aguatuya



### Asociaciones, funciones y responsabilidades

La Embajada de Suecia, Aguatuya y los municipios que participan en el programa (Cliza, Tolata y Punata) han firmado acuerdos de cooperación que regulan la interacción de todos los interesados. Cada uno de estos actores desempeña un papel y se le han asignado responsabilidades específicas para cumplir con los objetivos del proyecto.

Los municipios planifican el desarrollo de los servicios de saneamiento a nivel municipal, contribuyen a la inversión a través de fondos municipales y facilitan el diálogo entre los actores locales. La Embajada de Suecia financia la ejecución del programa en el marco y el mandato de su actual estrategia de cooperación, teniendo como principales responsabilidades la aprobación de proyectos, los planes operativos y las auditorías financieras y técnicas, así como el seguimiento y la evaluación de las diferentes etapas del programa. Aguatuya coordina, asiste técnicamente y ejecuta el proyecto. Sus principales responsabilidades son asistir técnicamente a los municipios, cumplir con las condiciones estipuladas en el acuerdo de cooperación, asegurar el uso eficiente y transparente de los recursos, gestionar las contrapartes locales que garanticen la conclusión de los proyectos.



Fig. 8: Filtros de grava horizontales y verticales en Tolata (2019)

## 11 Experiencia práctica y lecciones

El proyecto ha proporcionado experiencias y oportunidades de aprendizaje en aspectos técnicos, económicos y sociales que resumimos a continuación:

- Las plantas descentralizadas de tratamiento de aguas residuales que utilizan tecnologías anaeróbicas y de humedales construidos desempeñan un papel fundamental para las ciudades intermedias (y las zonas periurbanas), así como para las comunidades rurales de los países en desarrollo, como Bolivia. Estos sistemas han demostrado eficiencias altas de tratamiento a costos de inversión y de operación y mantenimiento bajos en comparación con otras tecnologías de tratamiento convencionales.
- La participación activa y coordinada de los agentes locales (autoridades, dirigentes, regantes y población beneficiaria) en todas las fases del proyecto: pre inversión, ejecución y operación, es de suma importancia, porque garantiza la sostenibilidad de los servicios.
- Los sistemas de agua y saneamiento se han vuelto particularmente críticos en el contexto del Covid-19. La pandemia muestra que, en general, los municipios

apoyados por Aguatuya ofrecen soluciones múltiples y flexibles.

- La reutilización del agua tratada para el riego complementario es una práctica sostenible, en particular en las zonas con déficit de agua, donde esta estrategia es esencial para garantizar la producción agrícola.
- El reúso de aguas residuales tratadas desempeñará un papel crucial para la sostenibilidad de las ciudades en el futuro y la proyección del medio ambiente.
- La calidad final del efluente tratado, la restricción del riego a ciertos cultivos, el método de riego, las características del suelo y las condiciones climáticas, y las prácticas agronómicas son aspectos clave a tomar en cuenta para asegurar un reúso apropiado y seguro en riego agrícola.
- Las sales disueltas no son eliminadas por las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales y deben utilizarse prácticas adecuadas de gestión, agronómicas y de riego para evitar o minimizar los posibles impactos negativos, por lo tanto, el agua tratada con estas tecnologías debe utilizar el riego suplementario para evitar la saturación de los suelos, particularmente en la región del Alto Valle de Cochabamba.
- Es esencial la elaboración y aplicación de directrices para la utilización de las aguas residuales tratadas.

## 12 Evaluación de la sostenibilidad e impactos a largo plazo

Se llevó a cabo una evaluación básica (Tabla 9) para identificar en cuál de los cinco criterios de sostenibilidad de saneamiento (según el Documento de Visión 1 de SuSanA) este proyecto tiene sus puntos fuertes y qué aspectos no se destacaron (puntos débiles).

**Tabla 9:** Indicación cualitativa de sostenibilidad del sistema. Una cruz en la columna respectiva muestra la evaluación de la sostenibilidad relativa del proyecto (+ significa: punto fuerte del proyecto; o significa: fortaleza media para este aspecto y - significa: no se hizo hincapié en este aspecto para este proyecto).

Criterios de sostenibilidad:	Recolección y transporte			Tratamiento			Reúso		
	+	o	-	+	o	-	+	o	-
• Salud e higiene	X			X				X	
• Recursos ambientales y naturales	X			X			X		
• Tecnología y operación		X		X				X	
• Finanzas y economía	X			X				X	
• Socio-cultural e institucional		X		X			X		

En lo que respecta a los efectos a largo plazo del proyecto, el principal efecto previsto del mismo es demostrar el funcionamiento sostenible de los modelos descentralizados en las ciudades intermedias mediante el cierre del ciclo del agua, la recuperación de nutrientes y la economía circular, que pueden reproducirse y ampliarse a escala nacional e internacional en sectores con características socioeconómicas similares. Además, una meta prevista a largo plazo es apoyar la elaboración de mecanismos financieros que contribuyan al desarrollo efectivo de servicios de saneamiento sostenibles mediante el desarrollo de la capacidad de los proveedores de servicios.

#### Crterios de sostenibilidad para el saneamiento:

**Salud e higiene** incluyen el riesgo de exposicin a patgenos y sustancias peligrosas y la mejora de las condiciones de vida lograda mediante la aplicacin de un determinado sistema de saneamiento.

**Recursos ambientales y naturales** implican los recursos necesarios en el proyecto, as como el grado de reciclaje y reuso practicado y los efectos de estos.

**Tecnologa y operacin** se relacionan con la funcionalidad y facilidad de construccin, operacin y monitoreo de todo el sistema, as como su robustez y adaptabilidad a los sistemas existentes.

**Finanzas y economa** incluyen la capacidad de los hogares y las comunidades para cubrir los costos de saneamiento, as como los beneficios, por ejemplo, de los fertilizantes y el impacto externo en la economa.

**Sociocultural e institucional** se refiere a la aceptacin sociocultural y la idoneidad del sistema, las percepciones, las cuestiones de gnero y el cumplimiento de los marcos jurdicos e institucionales.

Para detalles sobre estos criterios, por favor vea el documento de la Visin de SuSanA "Hacia soluciones ms sostenibles"

#### 13 Documentos y referencias disponibles

- Ley de medio ambiente No. 1333, del Estado Plurinacional de Bolivia y reglamento de la contaminacin del agua. Disponible en el sitio web: [http://www.mmaya.gob.bo/uploads/documentos/ley\\_1333.pdf](http://www.mmaya.gob.bo/uploads/documentos/ley_1333.pdf)
- Tratamiento descentralizado de aguas residuales domsticas, estudio monogrfico: Cliza, mira los videos: <https://www.youtube.com/watch?v=8Ut9ml5nFdY>  
<https://www.youtube.com/watch?v=PqQa0hAu4kw>
- Evaluacin de costos anuales equivalentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los municipios de Cliza y Tolata, 2019
- Manual de Sistematizacin y reuso de aguas residuales domsticas, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, con el apoyo de la Embajada de Sucia y la Cooperacin Alemana, 2012
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Estado Plurinacional de Bolivia, Primer edicin, Diciembre 2010. Gua Tcnica de Diseo y Ejecucin de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologas Alternativas
- Wolfman Wagner, Tratamiento actual de aguas residuales en Bolivia, 2010
- Instituto Nacional de Estadstica-INE, 2012
- Zonificacin agroecolgica del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia-FAO, n.d
- La Mortalidad Infantil y en la Niñez en Bolivia: Estimaciones por Departamento y Municipio-UDAPE, 2018
- Latif et al., (2011) Anaerobic treatment of municipal wastewater using the UASB-technology
- Crop water requirements-FAO 2010

#### 14 Instituciones, organizaciones y personas de contacto

Fundacin Aguatuya, sitio web: [www.aguatuya.org](http://www.aguatuya.org), Institucin coordinadora y ejecutora. Punto de contacto: Gustavo Heredia, miembro fundador y presidente del directorio. Sitio web: <https://www.linkedin.com/in/herediagustavo/>

Embajada de Suecia, Avenida Arce 2631 Edificio Multicine, piso 11, San Jorge La Paz, Bolivia, Telfofono: +591 2 297 96 30, Institucin de financiacin. Punto de contacto: Mr. Thomas Alveteg, sitio web:

<https://www.linkedin.com/in/thomas-alveteg-bb06b47/>  
Gobierno Autnomo Municipal de Cliza, Plaza 21 de Septiembre, Calle Santa Cruz esquina Cliza, Cochabamba. Telfono: +591 4-4575029

Gobierno Autnomo Municipal de Tolata, Plaza 13 de Septiembre acera oeste. Tolata-Cochabamba. Telfono: +591 4-4575510 / 4575509

Gobierno Autnomo Municipal de Punata, Plaza 18 de Mayo edificio municipal de la acera norte. Punata, Cochabamba. Telfono: +591 4-4572088/4577021 / 4577935

#### Estudio de caso de los proyectos de SuSanA

Tratamiento descentralizado de aguas residuales regin Valle Alto Cochabamba, Bolivia  
**SuSanA 2020**

#### Autores:

Heredia Gustavo  
Presidente Fundacin Aguatuya  
[gheredia@aguatuya.org](mailto:gheredia@aguatuya.org)

Gandarillas Vanessa  
Consultora  
[vanegan87@gmail.com](mailto:vanegan87@gmail.com)

Becerra Antonio  
Coordinador de Gestin Sostenible  
[abecerra@aguatuya.org](mailto:abecerra@aguatuya.org)

#### Edicin y revisin

Valenzuela Lourdes  
Directora de comunicacin Fundacin Aguatuya  
[lvalenzuela@aguatuya.org](mailto:lvalenzuela@aguatuya.org)

#### © Sustainable Sanitation Alliance

Todos los materiales de SuSanA estn disponibles gratuitamente siguiendo el concepto de cdigo 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 crdito en las citas al autor original, la fuente y el titular de los derechos de autor.

Este documento est disponible en:

[www.susana.org](http://www.susana.org)