

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

Las aguas residuales urbanas (tratadas o no), contienen una fuente importante de nutrientes para el suelo.

Seoáñez (1999 p.149), indica que el uso de las aguas residuales no tiene efectos negativos en el suelo y cultivos, si se verifica que no existan metales pesados que podrían ocasionar problemas de toxicidad.

A lo largo de los últimos veinte años se realizaron diversas investigaciones acerca de los beneficios y alternativas para el manejo de los biosólidos producto del tratamiento de aguas residuales, así como lo indica Erazo Lynch (2007) en su investigación realizada en Chile:

“El uso agrícola al año 2007 podría recibir el 18% de la producción de biosólidos, al año 2010 esta capacidad se reduciría 11,9%. En cuanto al uso en plantaciones forestales, esta tendría capacidad para acoger 1,2% de la producción del año 2007 y 0,8% para el año 2010. La rehabilitación de tranque de relaves para el año 2007 podrá recibir 3,4% de la producción de biosólidos y para el año 2010 2,2% de ésta. El uso de biosólidos en rehabilitación de extracción de áridos, tiene un potencial de acogida de 6% de la producción del año 2007 y de 3,9% para el año 2010. Por último, el uso de biosólidos en plan de cierre de rellenos sanitarios, podría recibir 3,7% de la producción estimada para el año 2007 y 2,4% de la producción estimada para el año 2010.”

Una de las alternativas con mayor viabilidad es la aplicación de biosólidos en el uso agrícola, así lo indica Erazo Lynch (2007) en su trabajo de investigación:

“Las opciones de uso de biosólidos con mayor viabilidad, actualmente, en la Región Metropolitana son: uso agrícola, uso en plantaciones forestales, rehabilitación de tranque de relaves, rehabilitación de extracción de áridos y plan de cierre de rellenos sanitarios. Quedan como opciones de disposición el relleno sanitario y el monorrelleno, donde se debieran destinar los biosólidos que no puedan ser destinados a las opciones de uso.”

Epstein, 2003, como se citó en Salinas, (2013) que:

“La experiencia internacional ha considerado diversas alternativas de disposición de los lodos tales como la incineración, el depósito en rellenos sanitarios, monorellenos y la aplicación directa al suelo.”

“La Unión Europea promueve el uso de lodos en agricultura contribuyendo al reciclaje de nutrientes.”

En Australia, según Riquelme (2013) el 80% de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas son utilizados para mejorar las condiciones de fertilidad de los suelos.

En abril del año 2010, en Chile, entró en vigencia la normativa: “Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas” (D.S. N°4/2009 Secretaría General de la Presidencia; Subsecretaría General de la Presidencia), que cambió las condiciones actuales de disposición. Por una parte, se restringe la disposición final en rellenos sanitarios, y por otra, se permite, además de la disposición en monorellenos, la aplicación en prácticamente todos los tipos de suelos.

1.2 Descripción del problema.

El problema surge a partir de la falta de aprovechamiento del biosólido resultante del proceso de tratamiento de lodos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Blas en la ciudad de Tarija.

La PTAR San Blas a partir del mes de julio de 2021 comenzó a producir biosólido, producto del proceso de tratamiento que realizan, el cual debería estar apto para su uso como fertilizante en áreas verdes en la ciudad de Tarija, pero aún no es usado ni comercializado como fertilizante.

El hecho de no usar el biosólido y tenerlo expuesto a las condiciones atmosféricas genera un posible riesgo de contaminación del suelo y así también de afluentes de agua cercanos. Además, genera un desperdicio de grandes volúmenes de fertilizante que podría ser aprovechado en áreas verdes de la ciudad de Tarija, el cual hoy en día es bastante requerido debido a que se busca mejorar la calidad y fertilidad del suelo.

Además, se genera una pérdida económica para la entidad administradora de la PTAR San Blas, porque no logra percibir ingresos económicos por el biosólido y también afectando al Municipio, ya que se puede comparar que en México el sector de la agricultura reduce en 4000 pesos por hectárea al usar fertilizantes de biosólido.

A la fecha no se cuenta con intentos previos de uso y aplicación del biosólido en áreas verdes de la ciudad de Tarija.

1.3 Planteamiento del problema.

¿Las características fisicoquímicas del biosólido de PTAR San Blas son aptas para ser utilizado en áreas verdes de la ciudad de Tarija?

1.4 Justificación.

El suministro de agua potable es fundamental para la salud, la industria y la agricultura.

Según el World Resources Institute (WRI) (2019) más de 1.000 millones de personas viven, en la actualidad, en regiones con escasez de agua y hasta 3.500 millones podrían sufrir escasez de agua en 2025.

La Agencia de la ONU para los Refugiados (2019) afirmó:

“La creciente competencia por el uso de suministros de agua de buena calidad entre usos agrícolas y urbanos, especialmente en las regiones áridas, semiáridas y las densamente pobladas, incrementará la presión sobre un recurso escaso.”

“El uso de fertilizantes va estrechamente vinculado a los problemas de escasez hídrica en nuestro medio, teniendo como único propósito mejorar la calidad del suelo y obtener mejores resultados en los cultivos.”

En algunos países de Latinoamérica, como ser Argentina y México, la actividad agrícola empezó a utilizar biosólidos por la necesidad de disponer de fertilizantes para hacer frente a la alta demanda de cultivos de mejor calidad y contrarrestar los efectos del cambio climático que desfavorecen al sector agrícola.

La Constitución Política del Estado (CPE) de Bolivia el (2009), en el capítulo sexto, sección IV, sobre Ciencia y Tecnología y en lo que toca al art 103 inc. iii, indica lo siguiente:

“El Estado, las universidades, las empresas productivas y de servicio públicas y privadas, y las naciones y pueblos indígena originario campesinos,

desarrollarán y coordinarán procesos de investigación, innovación, promoción, divulgación, aplicación y transferencia de ciencia y tecnología para fortalecer la base productiva e impulsar el desarrollo integral de la sociedad, de acuerdo con la Ley”.

El proyecto desarrollado aspira contribuir a la toma de decisiones informada acerca de la gestión del uso de biosólidos, para así poder maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales de la gestión adecuada de los biosólidos.

Para la elaboración del análisis y considerando las recomendaciones de Moliner y Masaguer en libro titulado “Prácticas agrarias compatibles con el medio natural. El Agua” (1996). se consideraron las siguientes premisas:

- Se requiere de estándares de calidad físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales para promover su uso seguro y sustentable orientado en actividades productivas.
- Los criterios a adoptar no deben provenir exclusivamente de aquellos empleados en países desarrollados, donde se dispone de tecnologías más avanzadas de tratamiento de aguas residuales, por lo cual los criterios a adoptar deben adecuarse al contexto de nuestro medio.

1.5 Hipótesis.

¿El biosólido de la PTAR San Blas es apto para usarlo como fertilizante en áreas verdes de la ciudad de Tarija bajo ciertos parámetros?

1.6 Objetivos.

1.6.1 Objetivo general.

Analizar las características del biosólido de la planta de tratamiento de San Blas con base a la sistematización de datos de análisis físico-químicos y así determinar si es apto para usarlo en áreas verdes de la ciudad de Tarija.

1.6.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar el biosólido de PTAR San Blas de acuerdo a las normativas seleccionadas dirigido al uso como fertilizante.
- Realizar una comparación de las características del biosólido entre las normativas: americana (EPA), mexicana, argentina y chilena. Y sugerir cual se adapta mejor a nuestro medio.
- Describir el proceso de tratamiento en la PTAR San Blas de acuerdo a estándares utilizados en plantas de lodos activados.
- Analizar la sostenibilidad del proceso de uso de los biosólidos.

CAPÍTULO 2:

METODOLOGÍA

El diseño metodológico del proyecto de investigación será *cuantitativo*, pues este consiste en realizar una investigación del uso de los biosólidos en áreas verdes de la ciudad de Tarija, el cual está basado en la recolección y procesamiento de información primaria ya existente para su análisis.

2.1. Fuentes de información.

La información de los ensayos de control y monitoreo físico-químico, será proporcionada por la “Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija R. L.” (COSAALT R. L.) la cual es la encargada de administrar la documentación incluidos los análisis de laboratorio realizados por parte de la empresa TECTAR, que se encargó de operar la PTAR San Blas y realiza dichos ensayos en su laboratorio en la misma planta de manera diaria, teniendo así información continua desde la puesta en marcha al funcionamiento de la planta. (Ver Figura 1).

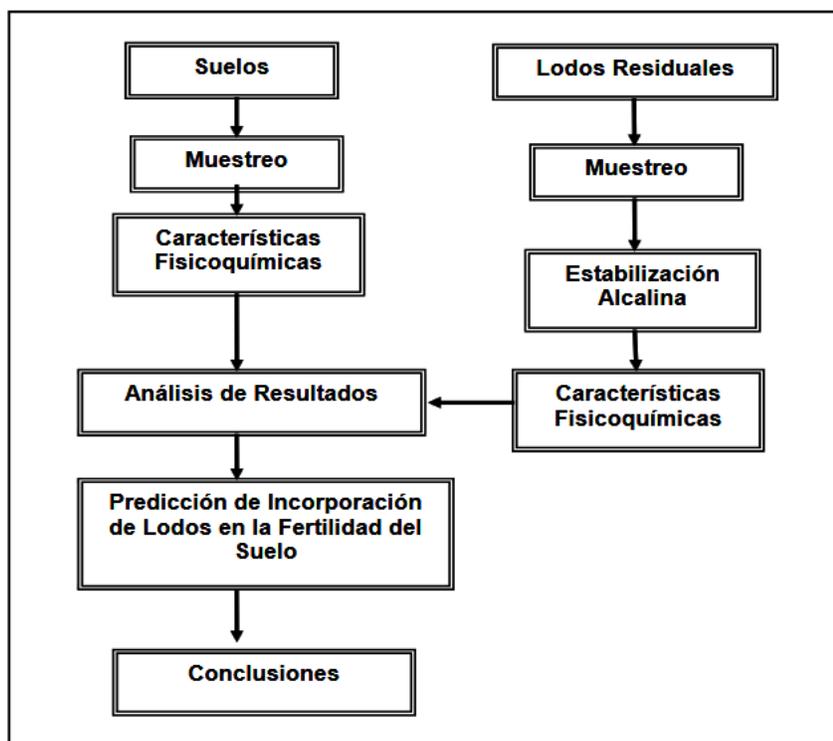


Figura 1: Metodología del proyecto

Fuente: Medina et al., 2009.

Respecto a los parámetros que se monitorearon, la empresa TECTAR, durante su operación realizaron análisis físico químicos diarios de control de calidad y asegurar las adecuadas condiciones para los agentes microbiológicos en todo el proceso de tratamiento.

En la línea de lodos se realizaron tomas de muestras en distintos puntos del proceso tanto el ramal A y B:

- Muestra de lodo a la salida del digestor anaerobio. (Cod: DA-401).
- Muestra de lodo seco. (Cod: LODO-DECANTER).
- Muestra de agua clarificada del decanter. (Cod: CLARIF).

Tanto la planificación, toma de muestras y los respectivos ensayos de laboratorio fueron realizados por el personal de planta.

Dentro de los parámetros analizados en cada muestra de lodo se encuentran:

- Temperatura del lodo.
- Sólidos totales disueltos.
- Turbiedad (Agua clarificada del decanter).
- pH.
- % Sólidos totales.
- % Sólidos totales volátiles.
- % Humedad.
- Sólidos suspendidos totales.
- Sólidos totales volátiles.
- Demanda química de oxígeno.
- Coliformes fecales.

De acuerdo a lo especifica la norma SEMARNAT 2002, se debería realizar el análisis correspondiente para verificar la presencia de metales pesados en lodos, con frecuencia establecida de acuerdo al volumen de lodos generados por la PTAR. Sin embargo, se evidenció que, hasta la fecha de este trabajo de investigación, se realizó una sola vez dicho análisis entre el 3 y 9 de diciembre del año 2021, donde se tomo muestras de lodo seco y se llevó al laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID” perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Resaltando que únicamente se analizaron los parámetros de: Cromo total, Níquel total y Zinc total.

Quedando sin analizar la presencia del resto de metales que la norma específica: Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo, Mercurio.

Así también, en fecha 8 de noviembre de 2021 se realizó el muestreo de lodo para mandarlo a la ciudad de Cochabamba al Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental, quienes realizaron el análisis de Huevos de Helmintos y Salmonella ssp.

CAPÍTULO 3:

MARCO TEÓRICO

3.1 Lodos.

Las políticas de saneamiento de las aguas servidas han traído como consecuencia, un alto impacto sobre el desarrollo de tecnologías de tratamiento de las aguas servidas como también beneficios por la descontaminación de recursos hídricos continentales. No obstante, con estos avances, se han generado elevados volúmenes de lodos. (Castro, 2007, pp. 35–45).

Los lodos son compuestos de subproductos recogidos en las diferentes etapas de descontaminación de las aguas residuales. Su producción resulta de un proceso de acumulación consecutivo de tres fenómenos combinados, la producción de microorganismos, la acumulación de materias en suspensión minerales y la acumulación de materias orgánicas no biodegradables en las condiciones de trabajo.(Navarro et al., 1995, p. 155).

Navarro (1995), indica que la utilización agrícola de estos materiales alcanza valores importantes en países como Reino Unido donde cerca del 40% del total producido es empleado con ese fin. Con ello han conseguido en los últimos 30 años maximizar los beneficios de los agricultores y ganaderos a la vez que establecen un control sobre posibles problemas tan graves como el vertido incontrolado de estos residuos, la contaminación de las aguas, transmisión de patógenos o contaminación del suelo.

Los procesos básicos que se desarrollan en la depuración de las aguas residuales tienen como finalidad la eliminación de sólidos, componentes orgánicos e inorgánicos, y patógenos. El tratamiento más aplicado actualmente es el de tipo biológico, pudiendo intervenir procesos fisicoquímicos que mejoren la efectividad del tratamiento (Navarro et al., 1995).

Como se observa en la Figura 2, una muestra de lodo recién procesado de PTAR San Blas – Tarija.



*Figura 2: Muestra de lodo recién procesado de la planta de tratamiento San Blas – Tarija.
Fuente: Laboratorio PTAR San Blas.*

Una característica muy importante de los lodos es la fuerza con la que el agua está ligada a la materia seca que contiene. Una parte del agua se presenta como agua libre, pero la mayor cantidad del agua adicional requiere de fuerzas externas para ser eliminada. En general, sus principales características son: Sequedad: 20-30%, Materia orgánica: 60-80%, Materia inerte: 40-20% y Nitrógeno: 3-5%. También, tienen cierto contenido en macro elementos Fósforo y Potasio (P y K), Posible presencia de metales pesados, Microorganismos patógenos: bacterias, parásitos intestinales y virus (Navarro et al., 1995). Burrowes (1984) citado por (Navarro et al., 1995) manifiesta que, en países como el Reino Unido, anualmente se emplean cerca de 600000 toneladas de lodos en agricultura.

Desde el punto de vista de su aplicación como fertilizante destaca el contenido en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, además de poseer una amplia serie de elementos que pueden resultar beneficiosos para las plantas (Navarro et al., 1995).

La aplicación de lodos compostados o frescos, afecta a las propiedades físicas mejorando la estructura y estabilidad de los agregados, aumentando la permeabilidad y la retención hídrica. Favorece la capacidad de cambio catiónico y afecta al pH del suelo. A su vez, se introducen sustancias orgánicas que pueden activar la vida microbiana. (Navarro et al., 1995).

Así mismo, indica que los nutrientes, son N y P los presentes en mayor proporción, aunque dependiendo del origen y tratamiento de las aguas, otros como Ca y Mg y los micronutrientes Fe, Mn, Cu, Zn y Mo pueden estar en cantidades apreciables. El K tal vez es el que podemos encontrar en menores concentraciones de todos ellos. Manifiesta además que el origen del efluente va a condicionar mucho las características del lodo de depuradora, tanto desde el punto de vista fertilizante como de la presencia de elementos y sustancias tóxicos. También el tratamiento que reciben las aguas es muy importante porque durante el proceso se puede enriquecer en determinados compuestos, como sales de hierro o aluminio añadidas para favorecer los procesos de floculación. (Navarro et al., 1995).

Es indudable que su aplicación agrícola conduce a buenos resultados, según indica Navarro, muestra de ello son los parámetros relacionados con el rendimiento con respecto a la producción obtenida con este enmendante en una experiencia con cultivo de tomate, sobre suelo calizo sin tratar y tratado con 0,5 kg de lodo por metro cuadrado. La producción en el suelo tratado con este residuo, sometido antes de su adición a los suelos a un proceso de secado y estabilización de unos cinco meses, fue casi tres veces superior a la normal. La

adición, sobre suelos de pasto, de lodos a los que se les ha aplicado un tratamiento anaerobio ha mostrado efectos muy positivos sobre el crecimiento de las plantas forrajeras.

(Navarro et al., 1995) mostraron que con adiciones del orden de 20 % de lodo a los suelos, se produjo un efecto estimulativo del crecimiento y la producción de biomasa, tanto si la época de aplicación era invierno como si esta se hacía en verano.

Según los autores Andrade (2000) y Hernández (2001), la aplicación de lodos residuales como fertilizante orgánico a suelos agrícolas es una práctica habitual en países desarrollados, ya que estos generalmente contienen un alto contenido de materia orgánica y macronutrientes principalmente P y N; así también su aplicación al suelo favorece algunas de sus propiedades físicas y químicas principalmente con el aporte de materia orgánica que proviene de estos materiales consiguiendo con esto mejorar la estructura y porosidad del suelo, su permeabilidad y retención hídrica; así como, incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

De acuerdo a (Martínez, 2004) ,la disposición de lodos como mejoradores de suelos permite una valoración del residuo gracias a los nutrientes que contiene (N, P, K, Ca y Mg), a su vez mejora las características del suelo, aunque su uso está condicionado por el contenido de metales pesados, patógenos y Coliformes.

De acuerdo a (Martínez, 2004) y (Sotelo et al., 2011) los lodos de aguas residuales tienen un origen orgánico, contienen muchos nutrientes necesarios para la vida vegetal como el nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros y poseen características benéficas que pueden ser aprovechadas como son el contenido de nutrientes y materia orgánica.

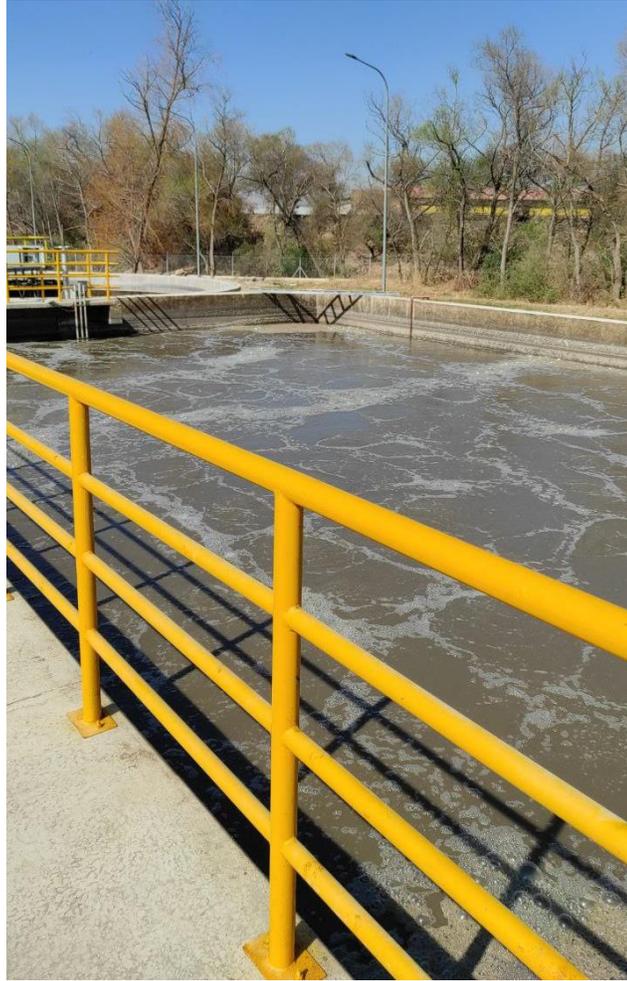
A su vez, (Sotelo et al., 2011), manifiesta que una vez que han sido tratados, éstos puedan ser aprovechados benéficamente como fertilizantes, mejoradores de suelo.

3.2 Tratamiento de lodos.

Dentro de la línea de lodos existen variados procesos de tratamiento que se combinan para obtener un producto apto para su disposición final. Estos procesos están enfocados a dos aspectos fundamentales:

1. Reducción de volumen y peso mediante la eliminación de agua, para ello los principales métodos empleados son el espesamiento, desaguado y secado.
2. Reducción del poder de fermentación o estabilización que consiste en reducirla actividad biológica contenida en el lodo así como el contenido de microorganismos patógenos causantes de enfermedades, algunos métodos para ello son la estabilización con cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia, digestión aerobia y compostaje (Metcalf y Eddy Inc, 1995).

En la Figura 3 se observa uno de los reactores biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales San Blas – Tarija, donde se realiza el tratamiento biológico mediante aireación mecánica.



*Figura 3: Reactor aerobio PTAR San Blas
Fuente: Elaboración propia.*

Las técnicas más utilizadas para la Estabilización de los lodos residuales son:

1. Estabilización biológica. - Es la estabilización de los lodos mediante la conversión de la fracción volátil a metano o dióxido de carbono, según la vía aplicada, por medio de la acción de microorganismos, principalmente bacterias; existen tres tipos principales de procesos biológicos para la estabilización. (Metcalf y Eddy Inc, 2003)
 - 1.1 Digestión anaerobia. La digestión anaerobia se verifica en dos fases. La primera corresponde a la degradación de la materia orgánica. En la segunda, las bacterias productoras de metano de crecimiento lento. En la

digestión anaerobia la materia orgánica se estabiliza mediante microorganismos en ausencia de oxígeno, produciendo principalmente metano y dióxido de carbono. Este proceso suele tener lugar en intervalos mesofílico (35°C) y termofílico (55°C) de temperatura (Glynn y Gary, 1996). (Figura 4).

1.2 Digestión aerobia. En este caso, la estabilización de los lodos se da en presencia de oxígeno, obteniendo como productos finales dióxido de carbono, agua y amoníaco, el cual puede oxidarse, si las condiciones lo permiten, hasta nitrato.

1.3 Composteo. Proceso aerobio que implica una compleja destrucción de la materia orgánica junto con la producción de sustancias húmicas para dar lugar a un producto final estable (Metcalf y Eddy Inc, 2003).



Figura 4: Digestor anaerobio de la planta de tratamiento San Blas – Tarija, donde ocurre la digestión y tratamiento anaerobio de los lodos.

Fuente: Elaboración propia.

2. Estabilización Química. - Consiste en el uso de compuestos químicos como la cal y el cloro. La estabilización con cloro se usa escasamente, mientras que la cal es ampliamente usada, por su bajo costo de inversión (Lue-Hing et al., 1996).

La estabilización con cal consiste en añadir al lodo dosis suficientes de cal para elevar su pH por encima de 12. Dado que la reacción de la cal con el agua del lodo es exotérmica, la temperatura se incrementa, alcanzando valores superiores a 50 °C.

El efecto combinado de un entorno fuertemente alcalino, además del efecto de pasteurización debido a la temperatura, hace desfavorable la actividad

biológica de los microorganismos, reduciendo sustancialmente el número de organismos patógenos. Como consecuencia de ello, el lodo no se descompone, tiene olor a amoníaco y no provoca riesgos para la salud pública. Sin embargo, estas condiciones se mantendrán si el pH no desciende del valor de 11, por lo menos 2 horas después del tratamiento.

El lodo estabilizado con cal presenta condiciones favorables para su disposición ya sea en relleno sanitario, en suelos forestales, e inclusive a suelos no alcalinos destinados al cultivo (Lue-Hing et al., 1996).

3.3 Los biosólidos.

Los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados (Daguer, 2016, p. 10).

En la Figura 5 se observa el biosólido producto del tratamiento de aguas residuales de la planta de tratamiento San Blas – Tarija.



*Figura 5: Biosólido tratado en la planta de tratamiento San Blas – Tarija.
Fuente: Elaboración propia.*

Así también señala que las características de los biosólidos obtenidos en las grandes PTAR de Colombia, muestran que las concentraciones de la totalidad de los metales pesados analizados se mantienen por debajo de los límites máximos permitidos por las principales regulaciones internacionales. En la mayoría de parámetros, las concentraciones están por debajo del promedio de metales pesados de los biosólidos de EEUU y la Unión Europea.

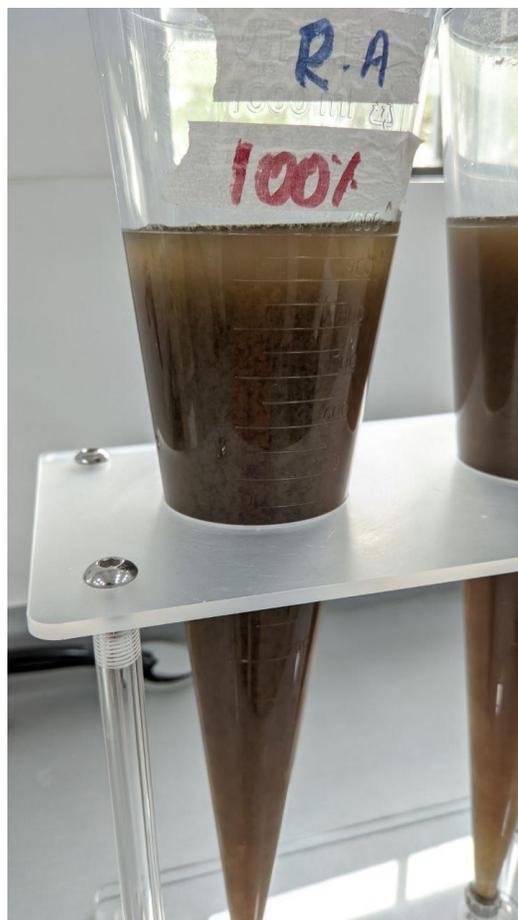
Este mismo autor manifiesta que los biosólidos de las PTAR de Colombia han permitido reducir los requerimientos de suelo orgánico para la cobertura final de los sitios de disposición final de residuos sólidos de las principales ciudades del país. De igual manera, han permitido recuperar suelos degradados por actividades antrópicas. Hasta el primer semestre de 2003 se habían cubierto más de 20 ha con mezclas de biosólidos-suelo para cobertura final y recuperado más de 22 ha de suelos degradados usando biosólidos de las PTAR de Colombia. (Daguer, 2016).

3.4 Opciones para el uso o disposición de los biosólidos.

Según Legret (1988), existen diversas alternativas para la disposición de lodos, desde depositarlos en rellenos sanitarios, incinerarlos, hasta utilizarlos provechosamente en producción vegetal, sin embargo, hay limitaciones para su utilización en agricultura debido a que pueden presentar una alta carga patogénica y presencia de elementos traza metálicos que pueden afectar a la cadena trófica a través de los cultivos y/o contaminar las aguas freáticas.

Los biosólidos tienen un alto contenido de materia orgánica Nitrógeno, Fósforo y sales minerales que lo hacen muy adecuado para su uso como fertilizante y mejorador de suelo. (Gennaro et al., 1991).

En la Figura 6 se observa una muestra de agua y lodo activo (licor) en el proceso de digestión para verificar que se remueven los patógenos y microorganismos perjudiciales.



*Figura 6: Muestra de licor procedente del reactor A de la planta de tratamiento San Blas.
Fuente: Elaboración propia.*

Una práctica habitual en los países desarrollados es la aplicación de los lodos residuales a suelos agrícolas. La dosis de aplicación se establece en función del requerimiento de nitrógeno y fósforo del cultivo. Cuando los biosólidos son aplicados al suelo natural se observa: Mejora la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos, proporciona nutrientes elementales a las plantas, mejora estructura y porosidad del suelo, proporciona materia orgánica al suelo, mejora la permeabilidad del suelo, reteniendo en mayor grado la humedad y reduce la erosión del suelo (Barbarick & Doxtader, 2004).

3.5 Aplicación de los biosólidos en la agricultura.

De acuerdo a los resultados de Hernández (2001) en su estudio, pudo concluir que la aplicación de lodos evidencia efectos positivos sobre las propiedades físicas de los suelos, como la disminución de la densidad aparente y un incremento de la retención de agua. También se mejoran las propiedades químicas, por el aporte de materia orgánica y nutrientes.

Como expresan Torres y Zárate (1996), los lodos activados, pueden ser reutilizados para su aplicación al suelo, con la ventaja de que mejoran la productividad del terreno por la adición de materia orgánica y de los nutrimentos a la tierra, así como también que como fertilizante puede incrementar la producción de los cultivos y así mismo reducir los costos agrícolas por disminución del consumo de fertilizantes químicos.

Bajo las palabras del autor Outwater (1994), este mismo, indica que la aplicación del lodo al suelo está siendo considerado como uno de los métodos más atractivos como fertilizantes o mejoradores de suelo, debido a su costo relativamente bajo, y a su aportación de nutrientes esenciales para las plantas. Sin embargo, existe inseguridad acerca de las consecuencias ambientales de su aplicación; este método está limitado fuertemente por la presencia de tres componentes: metales pesados, contaminantes orgánicos y organismos patógenos. Por lo que el tratamiento y confinamiento de lodos se ha convertido en uno de los mayores retos para la conservación del medioambiente.

Por otra parte, Sorber (1994) manifiesta que los lodos que contiene principalmente productos orgánicos, con alto contenido de nutrientes esenciales para las plantas, pueden ser benéficamente reciclados como fertilizantes y mejoradores de suelo.

De acuerdo a lo indicado por; Hue, en los Estados Unidos de Norteamérica, Europa y África se ha logrado que los lodos residuales y los lodos compostados tengan una aplicación en las tierras de cultivo ya que contienen nutrimentos que son indispensables para el crecimiento de las plantas; además de que mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo. (Hue et al., 1988, p. 384).

3.6 Normativas para el uso de biosólidos.

Las regulaciones de Biosólidos en el mundo tienen varias consideraciones. Por ejemplo, establecen límites y parámetros en las concentraciones de metales pesados. En EEUU y la Unión Europea existen normativas muy similares al respecto, las cuales han sido imitadas en muchos otros países.

En América Latina, países como Argentina, Chile, Brasil, México, Colombia cuentan con regulaciones para el manejo de lodos y Biosólidos. El resto de países a la fecha no han implementado una regulación respectiva. En todas las normas vigentes se definen criterios para aplicación agrícola (Mena, 2008).

3.6.1 Normativa Americana.

Estados Unidos ha desarrollado la normativa 40 CFR parte 503 para el manejo de biosólidos, teniendo en cuenta que la primera normativa relacionada con esta temática, se ha usado como referencia para otros países. La norma abarca, la definición, clasificación, manejo, reutilización y eliminación de biosólidos. Los biosólidos se definen en esta norma como residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias, incluyen los sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material

derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración” (US EPA, 2020).

Esta parte establece los estándares, que consisten en los requisitos generales, los límites de contaminantes, prácticas de gestión y normas de funcionamiento, para el uso final o eliminación de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento. Las normas se incluyen en esta parte de los lodos de depuradora aplicada a la tierra, colocado en un sitio de disposición superficial, o despedido en un incinerador de lodos de depuradora. También se incluyen en esta parte son patógenos y alternativa vectoriales requisitos de reducción de atracción de los lodos de depuradora aplicada a la tierra o se colocan en un sitio de disposición superficial.

Esta parte se aplica a cualquier persona que prepara los lodos de depuradora, lodos de depuradora se aplica a la tierra, los incendios o los lodos de depuradora en un incinerador de lodos de depuradora y al propietario / operador de un sitio de disposición superficial.

Esta parte se aplica a los lodos de depuración aplicada a la tierra, colocado en un sitio de disposición superficial, o despedido en un incinerador de lodos de depuradora.

Esta parte no establece requisitos para el uso o la eliminación de los lodos generados en una instalación industrial durante el tratamiento de aguas residuales industriales, incluyendo lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales industriales se combina con las aguas residuales domésticas.

La US EPA clasifica los biosólidos teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Biosólidos clase A:

Se consideran biosólidos clase A aquellos biosólidos que tengan una densidad de coliformes fecales menor a 1.000 NMP por gramo de sólidos totales, o tener una densidad de salmonella sp. Menor a 3NMP en 4 g de sólidos totales, tener un contenido de huevos de helmintos viable menor a 1 por 4 g de sólidos totales. (EPA, 1994).

- Biosólidos clase B:

Se consideran biosólidos clase B aquellos biosólidos que contengan una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP por g de sólidos totales o 2×10^6 UFC por g de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola. (EPA, 1994).

3.6.2 Normativa Chilena.

Las disposiciones de la ley N° 19.300 que aprueba el proyecto definitivo de reglamento estipulado bajo el Decreto Supremo N° 004 “**Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Aguas servidas**” para Chile.

El presente reglamento tiene por objeto regular el manejo de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Para dicho efecto, establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos.

Se hallan en su contenido los siguientes aspectos: Categorización, Clasificación, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad. En esta normativa se

establece la categorización: (A) y (B) de los biosólidos, según pueden destinarse para distintos usos.

El uso, disposición final, tratamiento, aplicación al suelo o vertimiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas debe efectuarse en forma y condiciones que cumplan con lo establecido en el presente reglamento.

Esta normativa comenzó a regir desde el 30 de enero del 2009.

3.6.3 Normativa Argentina.

La ley N° 24.051, la cual aprueba la resolución 97 “**Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos**” en Argentina. En su contenido se puede encontrar: Caracterización, Categorización, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad.

Esta normativa comenzó a regir desde el 22 de noviembre del 2001.

La presente norma tiene por objeto regular el manejo, tratamiento, utilización y disposición final de los barros resultantes de las diferentes operaciones unitarias que realicen las plantas de tratamiento de efluentes cloacales, mixtos cloacales-industriales, industriales, agroindustriales y/o especiales, a efectos de asegurar una gestión sustentable de estos productos, subproductos y residuos.

La presente norma tiene el propósito de proteger y preservar la salud y el ambiente, resultando de aplicación en las diferentes jurisdicciones, así como en las áreas reguladas donde entes públicos o privados presten el servicio público de agua potable y cloacas en virtud de potestades otorgadas por ley nacional.

3.6.4 Normativa Mexicana

En cumplimiento a lo establecido en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal Mexicana sobre Metrología y Normalización, con fecha 24 de septiembre de 2002 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la **“Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, protección ambiental-lodos y biosólidos-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.”**

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

CAPÍTULO 4:

DISEÑO

METODOLÓGICO

4.1 Localización geográfica.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Blas se encuentra ubicada

Continente: América del Sur - País: Bolivia - Departamento: Tarija - Provincia:

Cercado - Municipio: Tarija Capital - Barrio: San Blas. Ubicada en las siguientes

coordenadas:

x	y	z
322996,66 m. E	7613852,96 m. S	1829 m

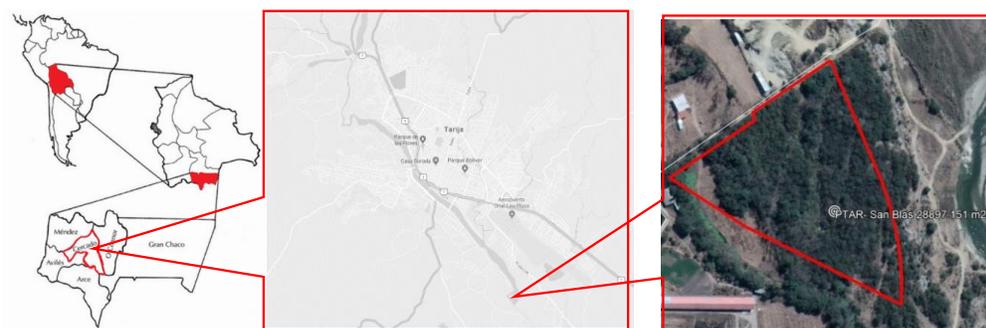


Figura 7: Ubicación de la PTAR San Blas.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Sectores de aporte de redes de alcantarillado sanitario.

El aporte de las redes de alcantarillado sanitario hacia los colectores principales, se identificó a partir del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Tarija, facilitado por el Departamento de Proyectos de COSAALT R.L., quien es la EPSA responsable de la operación y mantenimiento de este servicio. (Figura 8).

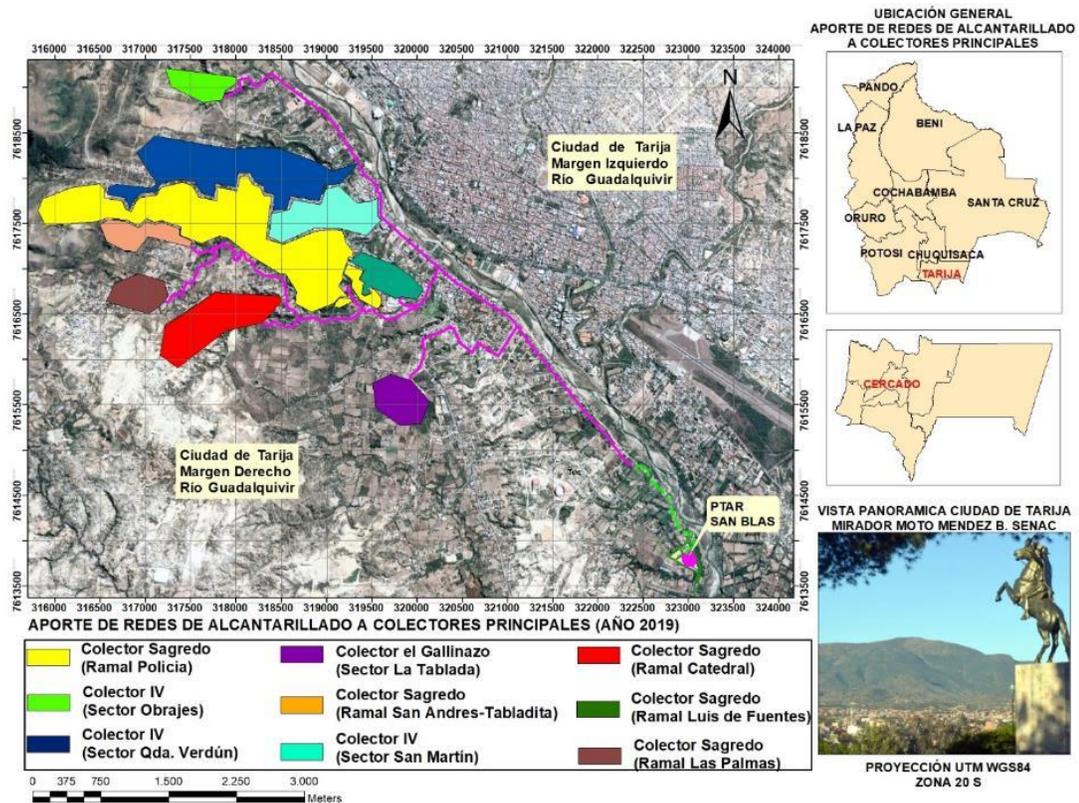


Figura 8: Sectores de aporte de redes de alcantarillado sanitario a colectores principales año 2019.

Fuente: EDTP PTAR San Blas.

4.1.2 Existencia de industrias y lavanderías en los sectores de aporte.

La importancia de conocer las industrias y lavanderías existentes en los sectores de aporte se debe a que dichos establecimientos en ciertos casos pueden ser aportantes de metales pesados al momento de desechar sus aguas residuales. Por lo tanto, se debe tener en cuenta qué tipos de industrias encontramos en los sectores de aporte.

A continuación, se hace una descripción de las industrias que existen en los distritos 12 y 13. (Tabla 1).

Tabla 1:

Industrias existentes en el área de influencia del proyecto.

Distrito	Tipo de industria existente	Cantidad
Distrito 12	Industria vinífera	1
	Cerámicas	2
	Talleres de metalmecánica	3
	Fábrica de hormigón	1
	Talleres mecánicos	4
Distrito 13	Talleres de metalmecánica	3
	Talleres mecánicos	8

Fuente: EDTP PTAR San Blas.

A continuación, se hace una descripción de lavanderías que existen en los distritos 12 y 13. (Tabla 2).

Tabla 2:

Lavanderías existentes en el área de influencia del proyecto.

Distrito	¿Existen lavanderías?	Cantidad
Distrito 12	No	-
Distrito 13	Si	2

Fuente: EDTP PTAR San Blas.

4.2. Identificación del proceso de tratamiento de lodos actual.

Se realizó la visita a la PTAR de San Blas del municipio de Cercado, donde se obtuvo la información del funcionamiento y proceso por el cual se producen los lodos.

Conociendo los sectores de aporte de aguas residuales, la PTAR San Blas fue diseñada para tratar únicamente aguas residuales domésticas (ARD), donde una de las principales características es la ausencia de metales pesados.

La operación es la forma de realizar una tarea con el fin que los equipos, las instalaciones o los procesos se realicen de manera óptima para lograr el máximo rendimiento de los mismos.

La experiencia demuestra que, en los países en vías de desarrollo, uno de los mayores problemas es la capacidad de las personas encargadas de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento. A veces, se encuentra que la tecnología resulta adecuada, pero que fracasa por una inadecuada operación o mantenimiento, la misma se ve agravada por la ausencia o insuficiencia de registros, procedimientos inadecuados de manejo de datos, ausencia de informes periódicos o falta de equipamiento de laboratorio.

El personal de operación y mantenimiento deberá recibir un entrenamiento específico. El entrenamiento deberá considerar las características generales de los procesos de tratamiento empleados en la planta, las características de los equipos y su funcionamiento, como también los procedimientos operacionales y de mantenimiento necesarios para realizar el seguimiento del funcionamiento de la planta de forma segura y sustentable. Es necesario disponer oportunamente los insumos necesarios para el tratamiento y los repuestos necesarios para el equipamiento, como así también realizar el manejo de los lodos hasta su disposición final teniendo en cuenta que de ellos depende la purga de lodos y la estabilidad del proceso de tratamiento de lodos activados.

La Planta de Lodos Activados de Mezcla Completa permite reducir la carga contaminante orgánica medida como DBO, en el orden de un 90 %, y de manera similar los Sólidos Suspendidos. El tratamiento finaliza con un sistema de desinfección por Ultravioleta que permite salir con una concentración de bacterias coliformes < 1.000 NMP.

El diseño satisface la demanda de la población proyectada al año 2050, para un caudal medio de diseño de 210 l/s (756 m³/h).

El diseño de la planta es modular, distribuido en 4 trenes de operación que garantizan la flexibilidad operativa.

El Sistema consta de las siguientes etapas de tratamiento:

- Pretratamiento
- Tratamiento Primario
- Tratamiento Biológico Secundario
- Desinfección – Disposición final
- Tratamiento de Lodos

En el siguiente diagrama se muestra la secuencia de cada una de las etapas de tratamiento de la planta:

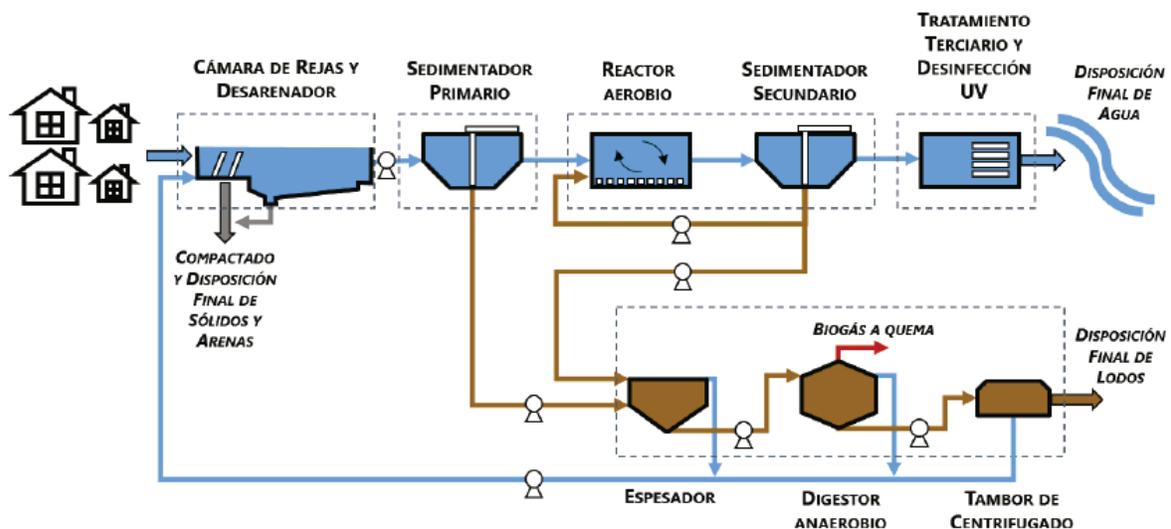


Figura 9: Diagrama de flujo PTAR San Blas

Fuente: EDTP PTAR San Blas.

• Pretratamiento.

El agua residual ingresa a una cámara a través de dos caños colectores de PRFV de 630 mm de diámetro, que se abre en dos canaletas de 950 mm de ancho cada una, con una compuerta a la entrada, que permite utilizar una u otra o ambas a la vez, de acuerdo al caudal o a la necesidad de limpieza de las mismas. A continuación, en cada canaleta se ubica primero una reja de 45 mm de separación entre barrotes para retener sólidos gruesos y luego una reja

fina de 15 mm. Ambas son de limpieza automática (la primera con sistema hidráulico y la segunda por sistema de cables o cadenas) Los sólidos retirados son volcados en un contenedor, en el que serán transportados al relleno sanitario, que será su disposición final. (Figura 10).

Las dimensiones de la cámara de rejas son las siguientes:

- Número de Canales: 2
- Ancho: 0,95 m
- Profundidad Máxima de Liquido: 0,25 m
- Ancho de Barras: 10 mm
- Número de Barras (Gruesos): 16
- Espacio entre Barras (Gruesos): 45 mm
- Número de Barras (Finos): 31
- Espacio entre Barras (Finos): 20 mm

Así mismo se cuenta con un desarenador en cada canal del mismo ancho con una tolva de recolección de sólidos, que son derivadas a la línea de retiro de arenas, consistente en una cámara desde donde se elevan con un tornillo de Arquímedes hasta otro contenedor, en el que, al igual que en el caso anterior, serán transportados al relleno sanitario, que será su disposición final.

Las dimensiones para el desarenador son las siguientes:

- Número de Canales: 2
- Ancho: 0,95 m

- Profundidad Máxima de Líquido: 0,8 m
- Largo: 10 m
- Profundidad Tolva de Arena: 0,7 m
- Largo Tolva de Arena: 0,7 m



Figura 10: Pretratamiento de rejillas.

Fuente: EDTP PTAR San Blas.

Luego de la remoción de sólidos gruesos, partículas discretas y materiales extraños, el agua residual ingresa a una cámara de bombeo, donde se ubican 3 bombas sumergibles de rotor abierto y 4 al final del período de diseño, en ambos casos una de las bombas será de reserva. El bombeo es automatizado con controles de nivel de arranque y parada de los equipos.

La elevación del agua residual se realiza a una cámara de carga-partidora que permite distribuir el líquido en forma pareja a los 4 trenes de tratamiento y continuar la circulación por gravedad. Cada vertedero de la cámara partidora cuenta con una compuerta de accionamiento manual y un sistema de medición de caudal en el caño de salida, con visualización de caudales en la sala de control.

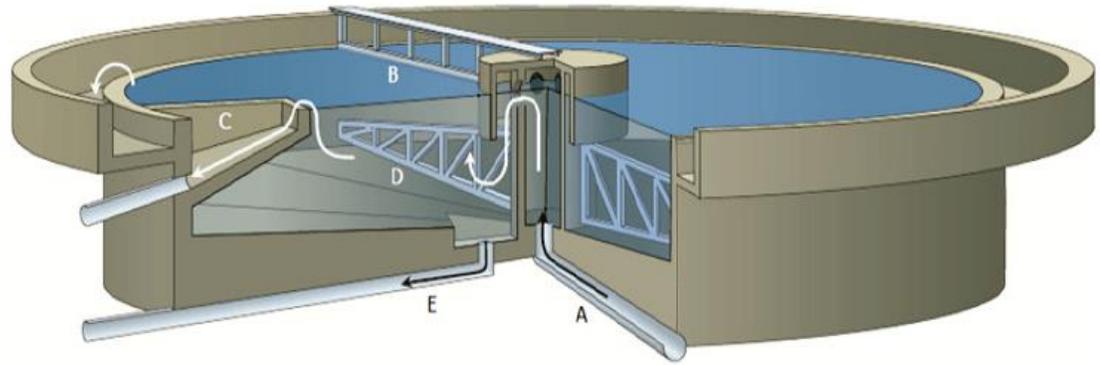
- **Tratamiento Primario.**

En esta etapa del tratamiento permite separar los sólidos sedimentables además de los flotantes (grasas y espumas), con la consecuente disminución de la carga orgánica. El agua residual cruda entra por una columna central que estará rodeada por una pantalla para distribuir el líquido en forma pareja. La salida se hará por un vertedero perimetral y contará también con una pantalla perimetral para retención de flotantes. (Figura 11).

Cuenta con un equipo barredor radial de baja velocidad, que arrastra los barros primarios hacia la tolva, desde donde son bombeados para su posterior tratamiento a los digestores de lodos, estas bombas son accionadas por un sensor de nivel de barros. Y los flotantes son conducidos a un recipiente colector y enviados al tornillo de Arquímedes, para ser dispuestos con las arenas. (Figura 12).

Las dimensiones del sedimentador primario son las siguientes:

- Número de Sedimentadores: 4
- Diámetro: 14 m
- Profundidad Lateral: 2,5 m
- Pendiente de fondo: 10 %



- A. Ingreso
- B. Barredor de grasas
- C. Vertedero de salida
- D. Barredor de lodos
- E. Salida de lodos

*Figura 11: Sedimentador circular.
Fuente: EDTP PTAR San Blas.*



*Figura 12: Sedimentadores primarios.
Fuente: EDTP PTAR San Blas.*

• Tratamiento Biológico Secundario.

Esta etapa del tratamiento permitirá reducir la carga orgánica expresada como DBO5 en el orden del 90 %, por el sistema de lodos activados de mezcla completa. Este tipo de tratamiento acelera la degradación natural por bacterias aerobias, incorporando O₂ con la inyección de aire y aumentando su número con la recirculación de lodos.

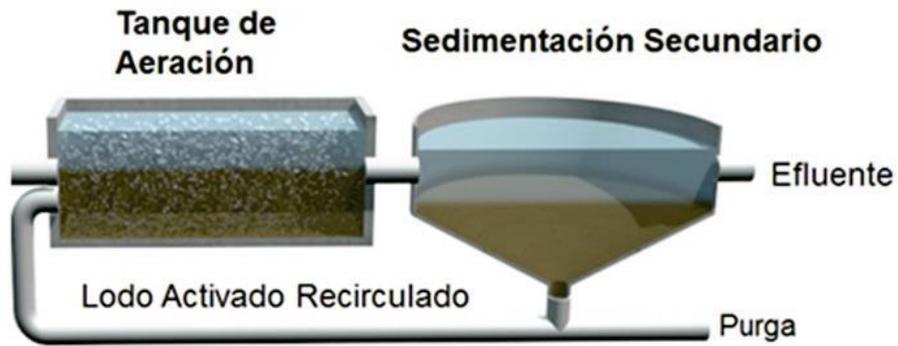
Se diseñaron 4 reactores biológicos aeróbicos de 12 x 20 m y 4 m de profundidad útil, en los que se colocará una grilla desmontable de difusores de burbuja fina, conectados a un soplador para incorporar el aire necesario para cubrir la demanda de O₂ para la respiración de las bacterias. (Figura 13).

En los reactores se colocaron controladores de oxígeno disuelto (OD) para mantener la concentración de O₂ óptima, además se controlan los Sólidos Suspendidos, para determinar el caudal de purga y de recirculación de lodos. Además de sensores de pH y temperatura, que permitirán controlar las condiciones en que se desarrollan las reacciones biológicas. (Figura 14).

Completan esta fase 4 sedimentadores secundarios de 15,5 m de diámetro y 3,6 m de profundidad útil, de similares características a los sedimentadores primarios. En este caso la función principal es que sedimenten los flocs biológicos para reincorporarlos al reactor, descartando el exceso hacia el tratamiento de lodos.



*Figura 13: Reactores biológicos y sedimentadores secundarios.
Fuente: EDTP PTAR San Blas.*



*Figura 14: Sistema de lodos activados.
Fuente: EDTP PTAR San Blas.*

- **Desinfección – Disposición final de aguas**

El tratamiento de los líquidos cloacales se completa con un sistema de desinfección por lámparas UV. Para esto el efluente se colectará en dos canales donde se ubican los módulos de lámparas UV, que continúan con 2 canaletas Parshall con sistema de medición de caudal. (Figura 15).



*Figura 15: Desinfección UV.
Fuente: Elaboración propia.*

De esta manera el efluente final cumple con la Ley de Medio Ambiente N.º 1333 vigente para Bolivia, con concentraciones de los parámetros controlados por debajo de los límites establecidos en la misma, además con una concentración de coliformes totales < 1.000 NMP como fija la OMS.

- **Tratamiento de lodos.**

Los lodos generados en el sedimentador primario, junto con los lodos en exceso del sedimentador secundario serán bombeados a 4 espesadores (Figura 16), donde el lodo será compactado en una relación de 2,5. El sobrenadante recuperado será enviado al inicio del proceso y el fango compactado hacia digestores.

Se ubican 4 digestores anaerobios convencionales, de baja carga para su estabilización, y separación del lodo digerido del líquido sobrenadante y el gas generado. Para controlar su funcionamiento se colocarán sensores de pH y de temperatura. (Figura 17 y Figura 18).

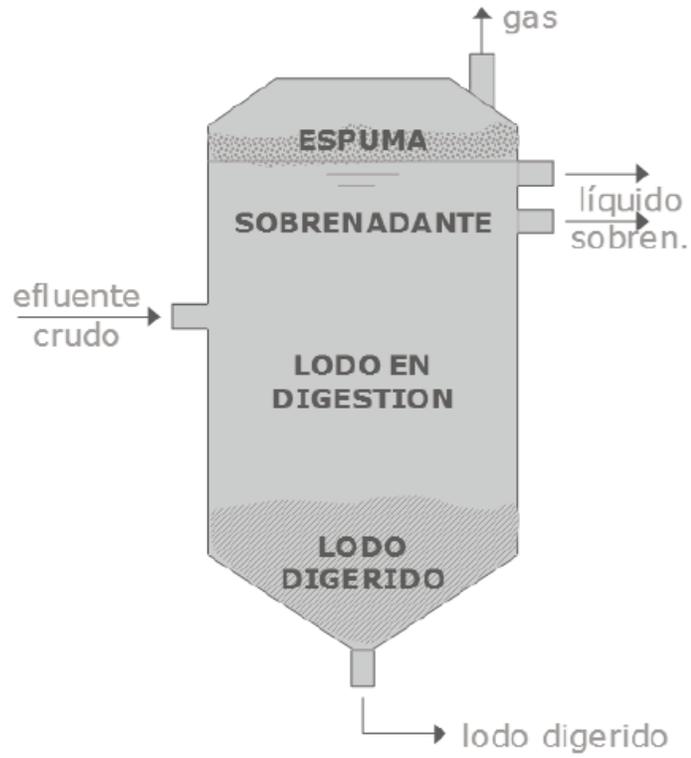
El sobrenadante es bombeado al comienzo del tratamiento y el lodo se bombea a un decanter centrífugo para su deshidratación y disposición final como enmienda agropecuaria. (Figura 19).



*Figura 16: Espesadores de lodos.
Fuente: EDTP PTAR San Blas.*



*Figura 17: Digestores anaerobios de lodos.
Fuente: EDTP PTAR San Blas.*



*Figura 18: Digestor de lodos de la PTAR.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 19: Decanter de la PTAR.
Fuente: Elaboración propia.*

En este tipo de plantas lo más importante es la operación ya que en función de los parámetros de entrada se tomarán decisiones operativas para optimizar los parámetros de salida. Una planta bien diseñada, pero mal operada no dará resultados satisfactorios.

Existen parámetros que no se pueden controlar como, por ejemplo:

- Caudal de ingreso y carga orgánica
- Contaminantes y su concentración
- Temperatura
- Presencia de tóxicos
- Dinámica de población microbiana (Se puede controlar parcialmente).

Y también parámetros que sí, se pueden controlar:

- Cantidad de lodo en los sedimentadores (sólidos suspendidos en el proceso)
- Concentración de oxígeno disuelto en los reactores
- Cambio de caudal de recirculación de lodo activado
- Inyección de químicos o aditivos
- Consumo de Energía

Existen muchas variables operativas que forman parte de la eficiencia de la planta y las combinaciones son infinitas ratificando también de esta manera la importancia operativa en los resultados finales de la planta.

4.3 Ensayos de laboratorio realizados en lodos.

4.3.1 Protocolos de muestreo y monitoreo de lodos y biosólidos.

Los métodos de muestreo empleados para el análisis de agua residual, lodos y biosólidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Blas, son los que establece la Norma Mexicana “NOM-004-SEMARNAT-2002”.

El Protocolo de Monitoreo de Biosólidos es la herramienta que brinda la orientación técnica necesaria para sustentar la producción de biosólidos y su reaprovechamiento adecuado, de conformidad con lo establecido en el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Asimismo, permitirá el desarrollo de acciones de monitoreo a cargo de productores y comercializadores, siendo una herramienta indispensable para las acciones de supervisión y fiscalización ambiental, ante la ausencia de laboratorios con acreditación de métodos necesarios para la caracterización de biosólidos.

El protocolo permite establecer metodologías para determinar si un lodo proveniente de una PTAR puede ser calificado como biosólido, cumpliendo exigencias definidas respecto:

- Al grado mínimo de estabilización.
- A concentraciones máximas de metales pesados.
- A concentraciones máximas de parámetros microbiológicos, según el caso.

Además, permite determinar las restricciones en la tasa de aplicación de biosólidos en suelos para evitar dotaciones en exceso de nitrógeno y metales pesados. (FAO, 2008).

El método establecido por la Norma Oficial Mexicana consiste en obtener una porción del volumen generado, la cual debe conservar la integridad de todos sus constituyentes desde el momento en que es tomada la muestra (parte representativa de un universo o población finita obtenida para conocer sus características) y hasta el final de su análisis o determinación en el laboratorio. El tiempo en que éstas permanecen estables dependerá de sus características y método de preservación utilizado. El muestreo constituye una parte integral y fundamental para evaluar la calidad de los lodos y biosólidos, para su depósito final.

El método tiene como fin obtener muestras representativas de lodos y biosólidos para determinar su contenido de Coliformes fecales, *Salmonella* spp., huevos de helmintos, tasa específica de absorción de oxígeno, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc.

El protocolo establece que las muestras pueden ser de dos tipos:

- Muestras líquidas o semisólidas.
- Muestras sólidas.

Muestras líquidas.

Las muestras líquidas se colectan directamente del vertedor en un recipiente de plástico, hasta obtener el doble del volumen por utilizar para cada uno de los análisis por realizar como mínimo.

Para la toma de muestras procedentes de digestores se debe colectar la muestra de un tanque mezclado que es alimentado a través de líneas provenientes de diferentes niveles en

el digestor. Antes del muestreo asegurarse de eliminar el lodo acumulado previamente en las líneas.

Para la toma de muestras procedentes de tanques y cámaras de purga se debe mezclar completamente el tanque y coleccionar varias muestras a diferentes profundidades y puntos. Juntar todas las muestras en una sola antes de realizar el análisis.

Los siguientes puntos de muestreo se recomiendan para el muestreo de lodo en plantas de tratamiento de agua residual:

- Lodo primario. - Conducir el lodo desde el tanque de estabilización hasta el cárcamo antes del bombeo, mezclar perfectamente y coleccionar una muestra representativa en este punto. Alternativamente coleccionar muestras de la bomba de lodos y de las tuberías, cercanas a éstas.
- Lodo activado. - El punto de muestreo se debe localizar en una región de buena agitación para la suspensión de sólidos.
- Lodo digerido. - Coleccionar muestras en la tubería de descarga del digestor al equipo o lechos de secado.
- Azolves. - Para el caso de los azolves, aplica cuando ha sido extraída una muestra representativa de la zona donde se encuentran depositados.

Muestras sólidas.

Para conformar las muestras se usa el método del cuarteo. Para eso:

Se toman de 4 a 8 bolsas de polietileno de 0,70 m x 0,50 m o 1,10 m x 0,90 m, se selecciona al azar el mismo número de sitios diferentes. Posteriormente, se llena cada una de las bolsas con el material de cada sitio y se trasladan a un área plana horizontal de

aproximadamente 4 m x 4 m, preferentemente de cemento pulido o similar y bajo techo y se deposita su contenido en montículo.

Traspalear el material con pala o bieldo, para obtener una mezcla homogénea. A continuación, dividir en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D y eliminar las partes opuestas A y C o B y D. Repetir esta operación hasta dejar 10 kg aproximadamente de lodo o biosólido. La pila resultante sirve para determinar en el laboratorio el contenido de Coliformes fecales, *Salmonella ssp.*, huevos de helmintos, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. El material restante se usa para determinar el peso volumétrico de los lodos in situ, conforme al punto 8.

Trasladar la muestra al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase marcado). Evitar que queden expuestas al sol durante su transporte, además tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna ruptura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

La preservación y tiempo máximo para el análisis de cada uno de los parámetros es la siguiente:

PARÁMETROS	PRESERVACIÓN*	TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS
Coliformes fecales y Salmonella ssp.	4°C	48 horas
Huevos de helmintos	4°C	30 días
Arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc	4°C	180 días
Mercurio	4°C	13 días (plástico) 38 días (vidrio)
Sólidos totales	4°C	24 horas
Sólidos volátiles	4°C	24 horas
Tasa específica de absorción de oxígeno **	No requiere	Inmediato

*A partir de su toma y hasta antes de iniciar el análisis, la muestra debe mantenerse en refrigeración.

**Si la muestra es tomada en el laboratorio, debe mantenerse la temperatura constante o ambiente durante el transporte y analizarla inmediatamente.

Ensayos físico-químicos.

Los análisis físico-químicos a los lodos fueron realizados en el laboratorio propio de la PTAR San Blas, a cargo del personal especializado de COSAALT R.L.

Los ensayos de laboratorio se realizaron al lodo en distintas etapas del proceso de tratamiento, incluyendo el lodo seco una vez terminada tu etapa de centrifugado en el decanter, proveniente de los digestores A y B.

Se cuenta con la información proporcionada por parte de COSAALT R.L. de los ensayos de laboratorio de los siguientes periodos:

-Gestión 2021:

Julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

-Gestión 2022:

Enero, marzo, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre.

De manera rutinaria, durante el funcionamiento del decanter y producción de lodo seco se realizó el control de distintos parámetros físico-químicos, como se puede ver el ejemplo de la planilla resumen de análisis del mes de enero en la gestión 2022. (Tabla 3).

Tabla 3:

Resumen de análisis al biosólido y lodo de la PTAR San Blas el mes de enero 2022.

Datos generales		T.A	T.L	COND	SDT	pH	Alc	%ST	%S.T.V	%H	S.S.T	SSV
Nº	Descripción	(C°)	(C°)	ms/cm	mg/l		mg/l	%	%	%	mg/l	mg/l
		Termométrico		Potenciométrico		Nefelom		Gravimétrico				
Análisis físico-químico												
1	Agua clarificada del decanter	24	27	5,48	2750	7,84		0	67		2780	1852
2	SALIDA DIGESTOR B	24	26	4,87	2550	7,23		6	41	94	56784	23396
3	LODO B SECO	24	24			7,5		30	37	70	302580	110752
4	Agua clarificada del decanter	24	26	5,19	2610	7,94		0	74		2432	1788
5	SALIDA DIGESTOR B	24	26	5,02	2510	7,28		6	42	94	57680	23964
6	LODO B SECO	24	24			7,5		29	35	71	296020	104640
7	Agua clarificada del decanter	25	27	5,29	2640	7,81		0	78		2948	2304
8	SALIDA DIGESTOR B	25	27	5,18	2600	7,36		6	41	94	59092	24380
9	LODO B SECO	25	25			7,5		28	37	72	281284	104924
10	Agua clarificada del decanter	25	27	5,25	2600	7,84		0	77		1620	1240
11	SALIDA DIGESTOR B	25	27	5,31	2,66	7,26		5	42	95	34424	14532
12	LODO B SECO	25	27			7,5		28	38	72	169796	64044
13	Agua clarificada del decanter	20	25	5,29	2630	7,81	274	0	79		1336	1052
14	SALIDA DIGESTOR B	20	25	5,13	2570	7,52		5	39	95	50556	19664
15	LODO B SECO	20	23			7,5		28	36	72	281704	102624
16	Agua clarificada del decanter	18	25	5,29	2740	7,79	250	0	46		1784	812
17	SALIDA DIGESTOR B	18	25	5,11	2510	7,16		5	39	95	55092	21696
18	LODO B SECO	18	21			7		31	39	69	309340	121560
19	Agua clarificada del decanter	22	25	4,96	2470	7,76	244	0	68		2380	1616
20	SALIDA DIGESTOR A	22	25	4,77	2390	7,27		58	39	95	53280	22108
21	LODO A SECO	22	22			7		27	38	73	271992	104508
22	Agua clarificada del decanter	22	25	4,93	2450	7,79	231	0	66		1932	1280
23	SALIDA DIGESTOR A	22	25	4,95	2480	7,24		5	44	95	53044	23392
24	LODO A SECO	22	23			7		28	41	72	280520	115064
25	SALIDA DIGESTOR B	18	24	4,73	2380	7,15						

Datos generales		Acid.Volátil	DQO	(PO4-P)	N.T	M.O	Coli. T	Coli. F	
N°	Descripción	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/100 grs	NPM/100ml		
		Espectrofotométrico					Tubos múltiples		
		Análisis físico-químico					Análisis biológico		
11	SALIDA DIGESTOR B	4440	13100						
12	LODO B SECO		40800	260	3829				
13	Agua clarificada del decanter								
14	SALIDA DIGESTOR B		16300						
15	LODO B SECO		35100	381	3645				
16	Agua clarificada del decanter								
17	SALIDA DIGESTOR B		7629						
18	LODO B SECO		36900	642	3920	34,3	70.000.000	70.000.000	
19	Agua clarificada del decanter								
20	SALIDA DIGESTOR A	3600	9039						
21	LODO A SECO		41700	929	3840				
22	Agua clarificada del decanter								
23	SALIDA DIGESTOR A		10400						
24	LODO A SECO		43620	689	3900	28,5	90.000.000	90.000.000	
25	SALIDA DIGESTOR B	2790							

Fuente: Laboratorio PTAR San Blas.

Como parte del análisis de las características físico-químicas y biológicas de las muestras de lodo que fueron tomadas durante el periodo establecido, se identificaron los valores promedios, máximos y mínimos de: porcentaje de humedad, coliformes fecales, pH y nitrógeno en el lodo seco para posteriormente analizarlos y compararlos de acuerdo a las distintas normativas internacionales de manejo y uso de lodos.

A continuación, se muestra en la tabla resumen los valores recopilados.

Tabla 4:

Resumen de análisis a parámetros físico-químicos del lodo.

	pH	%H	N. Total (mg/l)	Coli. F (NMP/100ml)	Vol. Lodo (m ³ /h)
PROMEDIO	7,1	71,33	2755,46	1,18E+08	3,76
MÍNIMO	6,00	40	690	2,0E+06	3,34
MÁXIMO	8,00	85	5613	1,4E+09	7,62

Fuente: Elaboración propia.

Ensayos microbiológicos.

Como parte del proceso de control de calidad a los biosólidos producidos en la PTAR San Blas, en la gestión 2021, en el mes de noviembre, la *Empresa Constructora Erika*, que se encontraba a cargo de la operación de la PTAR, realizó el muestreo de biosólido para que dicho sea analizado en el *Laboratorio Regional de Control de Calidad de Aguas perteneciente al Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental de la Universidad Mayor de San Simón en la ciudad de Cochabamba – Bolivia*. En el reporte del ensayo microbiológico se observa ausencia de “*Huevos de Helminetos*” y ausencia de “*Salmonella ssp*”. (Figura 20).

CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL



LABORATORIO REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
LABORATORIO PILOTO A NIVEL NACIONAL
REPORTE DE ENSAYO MICROBIOLÓGICO MATRIZ LODO

NUMERO DE REGISTRO:54951-SC-42259
NUMERO DE MUESTRA:1845/2021

PRESTATARIO : EMPRESA CONSTRUCTORA ERIKA S.R.L.
DIRECCION - TELEFONO : 72941467

DATOS DE LA MUESTRA:
DEPARTAMENTO : TARIJA
LOCALIDAD : SAN BLAS
TIPO DE MUESTRA : LODO
LUGAR DE MUESTREO : BIOSOLIDO 1
PUNTO DE MUESTREO : PTAR
CODIGO CLIENTE : 1
TIPO DE ANÁLISIS : ESPECIAL
MUESTREADOR : CLIENTE

NO REUNE LAS CONDICIONES DE TOMA Y PRESERVACION DE MUESTRAS

FECHA DE MUESTREO	: 08/11/21	HORA DE MUESTREO	:15:00
FECHA INGRESO LAB.	: 09/11/21	HORA INGRESO LAB.	:11:00
FECHA ANALISIS LAB.	: 09/11/21	HORA ANALISIS	:15:00
FECHA CONTROL	: 29/11/21	HORA CONTROL	:14:00

RESULTADOS

PARÁMETRO	METODO NORMALIZADO AWWA APHA, WEF	TECNICA	UNIDADES	LIMITE DE DETECCION	CONCENTRACIÓN
Huevos de Helmintos	.	BIFÁSICA Y RECuento DE HUEVOS DE HELMINTOS	HH/25 gr	0	Ascaris 0 /25g Taenia 0 /25g
Salmonella spp	9260 B	Identif. Bioqca.	Presencia Ausencia	0	Ausencia

Unidad formadora de Colonias

M.F. = Membrana Filtrante

* Método de flotación, decantación. Adaptado de NMX- AA-113 1999 (Norma Mexicana)

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. - Se observó crecimiento de otro tipo de bacterias fermentativas de azúcar y con producción de gas sulfúrico.

Cochabamba, 29 de noviembre del 2021


Lic. MSc. Rosario Montañó Mérida
RESPONSABLE LABORATORIOS C.A.S.A.




Ing. MSc. Alvaro Mercado Guzmán
DIRECTOR
CENTRO DE AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL
1 de

Figura 20: Reporte de ensayo microbiológico matriz lodo (2021).

Fuente: Laboratorio PTAR San Blas.

En Anexo 1 se adjuntan los análisis realizados durante las gestiones 2021, 2022 y 2023.

Ensayos de materia orgánica.

En la gestión 2021, en los meses de septiembre y octubre, la *Empresa Constructora Erika*, mandó a realizar el control de materia orgánica a través de los ensayos correspondientes en el laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, obteniendo valores favorables respecto a la calidad del biosólido analizado, como se muestra en la Figura 21 y Figura 22.



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGIA"
 CENTRO DE ANALISIS, INVESTIGACION Y DESARROLLO "CEANID"
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"

CEANID-FOR-88
 Versión 01
 Fecha de emisión: 2016-10-31



INFORME DE ENSAYO

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN BLAS"				
Solicitante:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN BLAS"				
Dirección:	Comunidad de San Blas				
Teléfono/Fax:	60890191	Correo-e	***	Código	MO 026/21

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Biosólido				
Código de muestreo:	M-1	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2021-09-21 Hr.: 07:20				
Procedencia (Localidad/Prov/ Dpto)	San Blas/Tarija - Cercado - Tarija Bolivia				
Lugar de muestreo:	Planta de tratamiento				
Responsable de muestreo:	Ing- Yoli Perez				
Código de la muestra:	927 FQ 698	Fecha de recepción de la muestra:	2021-09-21		
Cantidad recibida:	500 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2021-09-21 al 2021-09-29		

III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LÍMITES
				Min.	Max.	
DQO *	USEPA 410.4	mg/l	3987	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Fósforo	SM 4500-P-D	mg/100g	123	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Materia orgánica	NB 468	g/100g	47,94	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Nitrogeno total	SM 4500-Norg-B	g/100g	2,93	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Potasio	Fotometría	mg/100g	179	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

SM: Standard Methods mg/l: Miligramos por litro g/100g: Gramos por cien gramos
 USEPA: Agencia de Protección Ambiental mg /100g: Miligramos por 100 gramos NB: Norma Boliviana

* Un gramo de muestra en 200 ml de agua

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 29 de septiembre del 2021

Ing. Walid Aceituno Cáceres
 JEFE DEL CEANID



Figura 21: Reporte de ensayo de materia orgánica. (septiembre-2021).
 Fuente: Laboratorio PTAR San Blas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"
CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
Laboratorio Oficial del "SENASAG"



INFORME DE ENSAYO

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN BLAS"				
Solicitante:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN BLAS"				
Dirección:	Comunidad de San Blas				
Teléfono/Fax:	60890191	Correo-e:	***	Código:	MO 030/21

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Biosólido				
Código de muestreo:	M-1	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2021-10-07 Hr.: 07:00				
Procedencia (Localidad/Prov/ Depto)	San Blas/Tarija - Cercado - Tarija Bolivia				
Lugar de muestreo:	Planta de tratamiento				
Responsable de muestreo:	Ing- Yoli Perez				
Código de la muestra:	1020 FQ 776	Fecha de recepción de la muestra:	2021-10-07		
Cantidad recibida:	500 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2021-10-07 al 2021-10-18		

III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LÍMITES
				Min.	Max.	
DQO *	USEPA 410.4	mg/l	2178	Sin Referencia		Sin Referencia
Fósforo	SM 4500-P-D	mg/100g	21,3	Sin Referencia		Sin Referencia
Materia orgánica	NB 468	g/100g	8,14	Sin Referencia		Sin Referencia
Nitrogeno total	SM 4500-Norg-B	g/100g	1,89	Sin Referencia		Sin Referencia
Potasio	Fotometria	mg/100g	73,2	Sin Referencia		Sin Referencia

SM- Standard Methods mg/l: Miligramos por litro g/100g: Gramos por cien gramos
USEPA- Agencia de Protección Ambiental mg /100g: Miligramos por 100 gramos NB- Norma Boliviana

* Un gramo de muestra en 200 ml de agua

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 18 de octubre del 2021


Ing. Acacido Aceituno Cáceres
JEFE DEL CEANID



Figura 22: Reporte de ensayo de materia orgánica. (octubre-2021).
Fuente: Laboratorio PTAR San Blas.

Ensayos de metales pesados.

En diciembre de 2021 se realizó, de manera única, el análisis de metales al biosólido, el cual fue realizado en el laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la UAJMS. Obteniendo resultados aceptados dentro de las normas a comparar en el trabajo de investigación. (Figura 23).

CEANID-FOR-88
Versión 01
Fecha de emisión: 2016-10-31




UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGIA"
CENTRO DE ANALISIS, INVESTIGACION Y DESARROLLO "CEANID"
Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes
Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos
Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes
Laboratorio Oficial del "SENASAG"



INFORME DE ENSAYO

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN BLAS"			
Solicitante:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN BLAS"			
Dirección:	Comunidad de San Blas			
Teléfono/Fax:	60890191	Correo-e:	***	Código: MO 036/21

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Biosólido		
Código de muestreo:	M-1	Fecha de vencimiento:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2021-12-02	Hr.: 17:30	Lote: *****
Procedencia (Localidad/Prov/ Dpto)	San Blas/Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Planta de tratamiento		
Responsable de muestreo:	Ing- Yoli Perez		
Código de la muestra:	1480 FQ 1025	Fecha de recepción de la muestra:	2021-12-03
Cantidad recibida:	1000 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2021-12-03 al 2021-12-09

III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Cromo Total	E.A.A.	mg/100g	0,2	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Niquel Total	E.A.A.	mg/100g	0,9	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
Zinc Total	E.A.A.	mg/100g	13,8	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

E.A.A.: Espectrofotometría por Absorción Atómica mg/100g: Miligramos por 100 gramos

* Un gramo de muestra en 200 ml de agua

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 09 de diciembre del 2021



Ing. Abailid Aceituno Cáceres
JEFE DEL CEANID



Figura 23: Reporte de ensayo de metales (diciembre-2021).
Fuente: Laboratorio PTAR San Blas.

4.4 Análisis de las normativas asociadas a la aplicación de lodos en suelos.

A la fecha de elaboración de este proyecto, no existe en Bolivia una normativa establecida para el manejo y uso de biosólidos.

Se realiza un análisis de las normativas asociadas específicamente a la aplicación de lodos en suelos. Además, se efectúa una comparación con los principales criterios técnicos, sanitarios y ambientales de la Normativa Americana, Normativa Chilena y Normativa Argentina.

Normativa chilena (D.S. N°4/2009).

El Decreto Supremo N.º4, Ministerio de La Presidencia, del 30/01/2009, “Reglamento para el Manejo de Lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas”, fue oficializado en octubre de 2009 y entró en vigencia el 28 de abril de 2010. Este reglamento, de acuerdo a su artículo 1, tiene por objeto regular el manejo de los lodos provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas, y establece la clasificación sanitaria de lodos y las exigencias mínimas para su manejo, además de restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos. Es decir, este reglamento resalta, ya en su primer artículo, la temática de aplicación en suelos. Esta norma aplica una serie de requisitos de tratamiento para la reducción del potencial de atracción de vectores y la presencia de patógenos para definir la clasificación sanitaria de los lodos. Se clasifica a los lodos en clases A y B, y se indican condiciones de operación de procesos de higienización para obtener cada categorización.

En relación al manejo sanitario de los lodos se establece que toda PTARs debe contar con un proyecto de ingeniería aprobado por la Autoridad Sanitaria, el que deberá dar cuenta

del almacenamiento, tratamiento, transporte, disposición final y de los aspectos sanitarios de la aplicación de los lodos al suelo. Se exige que no existan riesgos para la salud de la población y para el medio ambiente entre otros aspectos.

Se permite en forma restrictiva la disposición de lodos en relleno sanitario considerando determinadas cantidades de lodos a disponer diariamente, no superior a un 6% del total de los residuos dispuestos diariamente, pudiendo autorizarse, en condiciones técnicas justificadas hasta un 8%, con humedades específicas, así también se permite la disposición en monorellenos.

Respecto de la aplicación de lodos al suelo, se requiere la elaboración previa de un plan de aplicación, el que debe contener, además de los datos que identifiquen al generador y en forma individual los predios o potreros donde se efectuará la aplicación, información sitio específica del área de aplicación, caracterización tanto del suelo como de los lodos, del manejo agronómico, entre otros. Además, se señalan los distanciamientos de la zona de aplicación.

Esta norma prohíbe el esparcimiento de lodos en aquellos suelos con: pH inferior a 5; en aquellos suelos de texturas gruesas (con más de un 70% de arena); en zonas con riesgo de inundación; en suelos saturados la mayor parte del tiempo (vegas, bofedales, ñadis); en suelos cubiertos con nieve; en aquellos suelos que se encuentren a menos de 15 m de riberas de ríos y lagos y que cuenten con recurso para bebida animal; prohíbe el uso de lodos en suelos ubicados en pendientes superiores al 15%, con la excepción de que a mayores pendientes, el área de aplicación debe presentar una cobertura vegetal arbustiva o arbórea, y la aplicación propiamente tal debe ser localizada.

Por otra parte, establece concentraciones máximas para ocho elementos traza metálicos en los suelos (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn) en función del pH y de las macrozonas para el país, según indica Tabla 5.

Tabla 5:
Concentraciones máximas de ETM en suelo receptor.

Concentraciones en base materia seca ⁽¹⁾ (mg kg⁻¹)

	Macrozona norte		Macrozona sur
	pH>6,5	pH<=6,5	pH>5
As	20	12,5	10
Cd	2	1,25	2
Cu	150	100	75
Hg	1,5	1	1
Ni	112	50	30
Pb	75	50	50
Se	4	3	4
Zn	175	120	175

Fuente: D.S. N.º 4/2009 Ministerio de La Presidencia de Chile.

(1): Concentraciones expresadas como contenidos totales de elementos traza metálicos (ETM).

Se establece una tasa máxima de aplicación de lodos de 90 Mg ha⁻¹ anual, en aquellos suelos que cumplan con los requisitos de concentración de elementos traza metálicos, no obstante, en aquellos casos en que el suelo posea una concentración de cualquier metal pesado superior a lo señalado la tabla 5, se podrá aplicar por una única vez, una tasa de 30 Mg ha⁻¹.

Por otra parte, la normativa indica que, en aquellos suelos destinados a cultivos hortícolas o frutícolas menores, que estén en contacto directo con el suelo y que se consuman normalmente sin proceso de cocción, los lodos clase B deberán aplicarse con a lo menos 12 meses de antelación a la siembra. Se prohíbe la aplicación de lodos durante el ciclo vegetativo

de estos cultivos. En el caso de praderas y cultivos forrajeros, podrá procederse al pastoreo o a la cosecha transcurridos 30 días desde la última aplicación de lodos clase B. En suelos de uso forestal la aplicación de lodos clase B podrá efectuarse sólo si se cuenta con un control de acceso al área durante los 30 días posteriores a la aplicación.

Se indican los límites máximos de concentración de los elementos traza metálicos en los lodos, en función de las condiciones y características de los suelos, según lo indicado en la Tabla 6.

Tabla 6:
Concentraciones máximas de ETM en lodos para aplicación al suelo.

Concentraciones en base materia seca⁽¹⁾ (mg kg⁻¹)

Metal	Suelos que cumplen los requisitos establecidos en este título	Suelos degradados que cumplen los requisitos establecidos en este título
As	20	40
Cd ^(*)	8	40
Cu	1000	1200
Hg ^(*)	10	20
Ni	80	420
Pb ^(*)	300	400
Se ^(*)	50	100
Zn	2000	2800

Fuente: D.S. N.º 4/2009 Ministerio de La Presidencia de Chile.

Concentraciones expresadas como contenidos totales de elementos traza metálicos.

(): Cuando las concentraciones totales de cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y selenio (Se) superen los valores de 20, 4, 100 y 20 mg kg⁻¹, respectivamente se deberá demostrar que estos lodos no son peligrosos de acuerdo a lo establecido en el DS*

148/2003 del Ministerio de Salud.

(1): Concentraciones expresadas como contenidos totales de elementos traza metálicos (ETM)

Por otra parte, la norma señala los procedimientos de medición y control de los lodos, de informes anuales que deben ser presentados por el generador de lodos y acerca de la fiscalización de los organismos del Estado.

Normativa Americana EEUU (40 CFR, Part 503).

Durante los años 1988 a 1991, la Environmental Protection Agency (EPA) efectuó una intensa investigación que abarcó 208 PTARs y el análisis de 419 contaminantes para identificar los potenciales riesgos asociados a distintas opciones de uso de los lodos tratados. Paralelamente y durante varios años se desarrollaron otros estudios de riesgo y una serie de muestreos en todo el país, los que en su conjunto llevaron a obtener la regulación “The Standards for the use or disposal of sewage sludge (title 40 of the Code of Federal Regulation [CFR, Part 503]”, publicada en 1993. Esta regulación establece las normas nacionales para el manejo y uso de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas domiciliarias para asegurar la protección de las personas y el medio ambiente.

La regulación 503 incorpora estándares para el uso, disposición superficial e incineración, y requisito para la reducción de patógenos. Establece lodos de clases A y B. Los lodos clase A aseguran altos niveles de protección y requieren métodos avanzados de higienización, por tanto, pueden ser utilizados sin restricciones en jardines, bosques, cultivos agrícolas y áreas públicas. Los lodos clase B contemplan mínimos de protección y pueden ser aplicados con restricciones locales en bosques, zonas agrícolas y áreas de mínimo contacto con el público. Otras restricciones sanitarias que impone la EPA para aplicar lodos al suelo son: la reducción de la atracción de vectores, para lo cual entrega diversas alternativas y una frecuencia de monitoreo de acuerdo a la cantidad anual de lodos dispuesta.

La aplicación de lodos al suelo incluye un uso benéfico a tasas agronómicas, es decir, tasas para proveer la cantidad de nitrógeno necesaria para los cultivos o vegetación, minimizando la cantidad que pasa más allá de la zona de raíces.

Se definen límites para la concentración de nueve contaminantes inorgánicos (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Mo, Se, Pb y Zn).

Esta regulación prohíbe el uso de lodos en zonas inundables y humedales, a menos de 10 m de aguas superficiales o cuando exista exceso de nitrógeno en el suelo. Se permite el destino de los lodos a monorellenos exclusivos para lodos, estableciendo requisitos de diseño, clausura y post clausura, límites de contenido de Cr, NO₃⁻, As y Ni para la protección de aguas subterráneas. Además, controla la incineración de los lodos señalando límites para Pb, As, Cd, Cr y Ni e hidrocarburos y CO₂ en los gases emitidos.

Correspondiente al análisis de la normativa, se identifica los límites contaminantes y parámetros a tener en cuenta para el reuso de lodos.

Los lodos de depuradora.

(1) lodos de aguas residuales a granel o lodos de depuradora:

Vendido o regalado en una bolsa u otro recipiente no se aplicará a la tierra si la concentración de contaminantes en los lodos de aguas residuales excede el límite máximo de concentración del contaminante en la Tabla 7.

(2) Si los lodos de depuradora a granel se aplican a las tierras agrícolas, bosque, un sitio de contacto con el público, o en un sitio de recuperación, ya sea:

(2.1) La tasa de carga acumulativa de cada contaminante no debe exceder la tasa de carga contaminante acumulado para el contaminante en la Tabla 8.

(2.2) La concentración de los contaminantes en los lodos de depuradora no debe exceder la concentración del contaminante en la Tabla 9.

(3) Si los lodos de depuradora a granel se aplican a un jardín o un huerto familiar, la concentración de los contaminantes en los lodos de depuradora no debe exceder la concentración del contaminante en la Tabla 9.

(4) Si los lodos de depuradora vendido o regalado en una bolsa u otro recipiente para su aplicación a la tierra, ya sea:

(4.1) La concentración de los contaminantes en los lodos de depuradora no debe exceder la concentración del contaminante en la Tabla 9, o:

(4.2) El producto de la concentración de los contaminantes en los lodos de aguas residuales y la tasa anual del conjunto de aplicaciones de lodos para los lodos de depuradora no causará la tasa de carga contaminante anual del contaminante en la Tabla 10 se deben superar. El procedimiento utilizado para determinar la tasa anual del conjunto de aplicaciones de lodos se presenta en el Apéndice A de esta parte.

Tabla 7:
Concentraciones techo.

CONTAMINANTE	VALOR LÍMITE EN LODOS (mg/kg base materia seca)
Arsénico	75
Cadmio	85
Cinc	7500
Cobre	4300
Mercurio	57
Molibdeno	75
Níquel	420
Selenio	100
Plomo	840

Fuente: US EPA 40 parte 503.

Tabla 8:*Las tasas acumuladas de carga de contaminantes.*

CONTAMINANTE	Tasa acumulada de carga de contaminantes (kg por hectárea)
Arsénico	41
Cadmio	39
Cinc	2800
Cobre	1500
Mercurio	17
Níquel	420
Selenio	100
Plomo	300

*Fuente: US EPA 40 parte 503.***Tabla 9:***Concentraciones de contaminantes.*

CONTAMINANTE	Concentración media mensual (mg por kg base materia seca)
Arsénico	41
Cadmio	39
Cinc	2800
Cobre	1500
Mercurio	17
Níquel	420
Selenio	100
Plomo	300

*Fuente: US EPA 40 parte 503.***Tabla 10:***Tasas de carga de contaminantes.*

CONTAMINANTE	Tasa anual de carga de contaminante (kg por hectárea por 365 días)
Arsénico	2,0
Cadmio	1,9
Cinc	140,0
Cobre	75,0
Mercurio	0,85
Níquel	21,0
Selenio	5,0
Plomo	15,0

Fuente: US EPA 40 parte 503.

Los lodos de aguas residuales a granel no se aplicarán a las tierras agrícolas, los bosques, o un sitio de recuperación que es de 10 metros o menos de las aguas de los Estados Unidos, según se define en 40 CFR 122.2.

Normativa Argentina.

La ley N° 24.051, la cual aprueba la resolución 97 “Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos” en Argentina. En su contenido se puede encontrar: Caracterización, Categorización, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad.

Esta normativa comenzó a regir desde el 22 de noviembre del 2001.

En Argentina se tiene como definición de biosólidos lo siguiente “Productos originados en la transformación de barros orgánicos a través de tratamientos destinados a reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores y a otorgarles aptitud para su utilización agrícola y para la recuperación de suelos y sitios degradados” (Resolución 97, año 2001, República Argentina. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable).

En Argentina, el reglamento para el manejo de los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua residual se realiza con el objetivo de regular el manejo sanitario de los lodos de tal modo que se pueda proteger la salud de la población y prevenir el deterioro de los recursos naturales.

Caracterización de los barros.

Se establecen dos categorías principales:

Categoría A: Comprende aquellos barros que cumplen con la totalidad de los valores-límite establecidos para los parámetros contemplados en la Tabla N° 11.

Categoría B: Comprende aquellos barros en los que alguno de los parámetros supera el valor-límite establecido en la Tabla N° 11, los que quedan excluidos de esta norma y deben tratarse conforme lo dispuesto por la normativa vigente.

Se establece la siguiente tipología por calidad de barros conforme a la caracterización detallada:

A.1: Biosólidos. No superan ninguno de los valores-límite de las Tablas N° 11, 12 y el Nivel A de la Tabla N° 13.

A.2: Biosólidos. No superan ninguno de los valores-límite de las Tablas N° 11, 12 y Nivel B de Tabla N° 13.

A.3: No superan ninguno de los valores-límite de las Tablas N° 11, 14 y 15.

A.4: No superan ninguno de los valores-límite de las Tablas N° 11 y 16.

A.5: No superan ninguno de los valores-límite de las Tablas N° 11, 14, y 15 y cumplen con los requerimientos vigentes para termo destrucción.

Tabla 11:*Atracción de vectores. Determinaciones a realizar sobre barros.*

INDICADOR	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR LÍMITE
Sólidos volátiles (SV)	Método 2250 solids e) Standard Methods for the examinations of water and wastewater. EPA ed. 20 (1998)	Reducción de SV > al 40%
Nivel de estabilización (para 5, 10, 20 y 30 minutos)	Método 423 (Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1985)	Deflexión de oxígeno disuelto no mayor en promedio del 10% del oxígeno disuelto del agua destilada de dilución.

*Fuente: Resolución 97 Anexo III. Reglamento para uso de lodos Argentina.***Tabla 12:***Metales y PCBs.*

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR LÍMITE EN BARROS (mg/kg base materia seca)
Arsénico	Método 3500 b	75
Cadmio	Método 3111 b	20 a 40
Cinc	Método 3111 b	2500 a 4000
Cobre	Método 3111 b	1000 a 1750
Cromo Total	Método 3111 b	1000 a 1500
Mercurio	Método 3112 b	16 a 25
Níquel	Método 3111 b	300 a 400
Plomo	Método 3111 b	750 a 1200
Bifenilos policlorados (*)	Método 1668-Rev.A : Polychlorinated biphenyls congeners in water, soil, sediment and tissues by HRGC/HRMS.	0,8

Fuente: Resolución 97. Anexo III. Reglamento para uso de lodos Argentina.

(*) Se refiere a siete (7) principales congéneres: 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180.

Tabla 13:*Nivel de patógenos. Caracterización microbiológica.*

PARÁMETRO	MÉTODO DE DETERMINACIÓN	VALOR LÍMITE NIVEL A	VALOR LÍMITE NIVEL B
Escherichia coli	Part 9221 E. o Part 9222 D. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 20th Ed. 1999. APHA.	< 1000 NMP/g MS	< 2.000.000 NMP/g MS
Salmonella	Part 9260 D. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 20th Ed., 1999. APHA.	< 3 NMP /4 g MS	-
Huevos viables de Helmintos	Yanko, W.A. EPA 600/1-87-014, 1987.	< 1 / 4 g MS	-
Indicadores virales (*)	-	Reducción del 99,9 % de la densidad de bacteriófago somáticos de Escherichia coli.	-

Fuente: Resolución 97. Reglamento para uso de lodos Argentina.

(*) Este parámetro deberá ser considerado de aplicación transitoria hasta definir el valor límite de densidad límite del indicador viral más adecuado.

Tabla 14:*Condiciones básicas para rellenos sanitarios. Determinaciones sobre barro.*

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR LÍMITE
Sulfuros	Método 9030 Test Methods for Evaluating Solid Waste – Physical/Chemical Methods (1987)	500 mg/ks MS (ComoH ₂ S)
Cianuros	Método 9010 Test Methods for Evaluating Solid Waste – Physical/Chemical Methods (1987)	250 mg/kg MS (Como HCN)
Líquidos Libres	Ensayo Líq. Libres. Federal Register/Vol 47 N° 38, Feb. 25,1982 / Proposed Rules	Ausencia
Sólidos Totales	Método 2540 solids b). Standard Methods for the examination of water and wastewater EPA. Ed 20 (1990)	20 %

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR LÍMITE
pH (para 10 g. de muestra en 25, 50 y 75 cm ³)	Método 4500 b). Standard Methods for the examination of water and wastewater EPA Ed 20 (1990)	6 a 8

Fuente: Resolución 97. Reglamento para uso de lodos Argentina.

Tabla 15:

Condiciones básicas para rellenos sanitarios. Determinaciones sobre lixiviado.

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	VALORES LÍMITE
Arsénico	Método 7061 a	1 mg/l
Bario	Método 7080 a	100 mg/l
Cadmio	Método 7130	0,5 mg/l
Cinc	Método 7950	500 mg/l
Cobre	Método 7210	100 mg/l
Cromo Total	Método 7190	5 mg/l
Mercurio	Método 7440 a	0,1 mg/l
Níquel	Método 7520	1,34 mg/l
Plata	Método 7760 a	5 mg/l
Plomo	Método 7420	1 mg/l
Selenio	Método 7741 a	1 mg/l
Aldrin + Dieldrin	Método 8081 a	3 x 10 ⁻³ mg/l
Atrazina	Determinación de Atrazina: Reserved-phased high performance Liquid chromatography of some common herbicides – T.H. Byast, Journal of Chromatography Science, 134 (1977) 216-218	ND (no detectable)
Clordano	Método 8081 a	0,03 mg/l
2,4,D	Método 8151 a	10 mg/l
Endosulfan	Método 8081 a	7,4 mg/l
Heptacloro – Heptacloroepoxi	Método 8081 a	0,01 mg/l
Lindano	Método 8081 a	0,3 mg/l
MCPA	Método 8151 a	ND (no detectable)
Metoxicloro	Método 8081 a	3 mg/l
Paraquat	Determination of Paraquat, P.F. Lott, J.W. Lott, Journal of Chromatographic Science, Vol. 16, 390 Set. 1970	ND (no detectable)
Trifluralina	High Pressure Liquid Chromatographic determination of Oryzalin and others herbicides, J.H. Kennedy, Journal of Chromatographic Science, Vol. 15, 79 Feb. 1977	ND (no detectable)

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	VALORES LÍMITE
Bifenilos Policlorados	Método 8081 a	$7,9 \times 10^{-6}$ mg/l
Compuestos Fenólicos	Método 9065	0,1
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares	Método 8100	$2,8 \times 10^{-4}$ mg/l

Fuente: Resolución 97. Reglamento para uso de lodos Argentina.

Tabla 16:

Condiciones para tratamiento biológico en suelos (según niveles guía de calidad de suelo para uso agrícola).

PARÁMETRO (*)	NIVEL GUÍA USO AGRÍCOLA mg/g peso seco
Cadmio (total)	3
Cobalto	40
Cromo Total	750
Cromo (+6)	8
Mercurio (total)	0,8
Níquel (total)	150
Plata (total)	20
Plomo (total)	375
Vanadio	200

Fuente: Resolución 97. Reglamento para uso de lodos Argentina.

(*) Los parámetros indicados se refieren a metales pesados y no son excluyentes de otros requerimientos que establezca la autoridad competente o disposiciones locales para este tipo de tratamiento.

Los barros que no cumplen con la Tabla N° 11, pueden transformarse en barros de Categoría A con los tratamientos indicados en el Anexo IV del Reglamento para uso de lodos correspondiente a la Resolución 97. destinados a modificar su calidad en cuanto a la disminución del potencial de atracción de vectores.

Los barros Categoría A son caracterizados, a efectos de definir su tipología y su aptitud de uso y disposición final, conforme a los valores-límite de los parámetros e indicadores, según los métodos de extracción, medio y las técnicas analíticas de las Tablas N° 11 a 16.

Normativa Mexicana SERMANAT 2002.

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

La aplicación de esta normativa es de observancia obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir con la especificación 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 de la presente Norma Oficial Mexicana; y lo establecido en las tablas 1, 2 y 3 de la presente Norma Oficial Mexicana.

A continuación, se detallan las especificaciones mencionadas:

4.4. Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de vectores, demostrando su efectividad. Se deben conservar los registros del control por lo menos durante los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su generación.

4.5. Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

4.6. Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la Tabla 17.

Tabla 17:

Límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos.

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente: Norma Oficial Mexicana 2002.

4.7. Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la Tabla 18.

Tabla 18:

Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en biosólidos.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: Norma Oficial Mexicana 2002.

4.8. El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la Tabla 19 y su contenido de humedad hasta el 85%.

Tabla 19:
Aprovechamiento del biosólido.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	-Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación -Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	-Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación -Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	-Usos forestales -Mejoramientos de suelos -Usos agrícolas

Fuente: Norma Oficial Mexicana 2002.

La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se establece en la Tabla 20.

Tabla 20:
Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos.

Volumen generado por año (Ton/año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
hasta 1500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos.
mayor de 1500 hasta 15000	Una vez por semestre	
mayor de 15000	Una vez por trimestre	

Fuente: Norma Oficial Mexicana 2002.

El generador podrá quedar exento de realizar el muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, siempre y cuando la detección de éstos sea en cantidades menores que los límites máximos establecidos, o cuando por la procedencia de los lodos y biosólidos éstos no contengan los contaminantes regulados en la presente Norma Oficial Mexicana, en ambos casos, deberá manifestarlo ante las

autoridades pertinentes por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad se reserva el derecho de verificar dicha información.

4.5 Comparación de las normativas.

Luego de la revisión sobre el manejo y disposición final de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual, los cuales deben ser sometidos a diferentes tratamientos para ser transformados en biosólidos y lograr determinar su uso sujeto a la clasificación que se presenta en Argentina, Chile, México y Estados Unidos. Se realizó un análisis comparativo de los diferentes parámetros que se tienen en cuenta en los reglamentos de cada uno de estos países, evidenciando los cambios entre ellos. Fue posible identificar que Chile no presenta valores máximos de aplicación como los otros países, pero presenta un plan de aplicación. Respecto a la US EPA40 se percibe que varios de sus criterios presentan unos valores con una gran diferencia uno respecto a las normativas latinas.

Además, la normativa argentina no tiene en cuenta los valores de Selenio en biosólidos.

También se identificó que la normativa mexicana clasifica como: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

De acuerdo a las normas descritas, existen puntos en común, así, por ejemplo, el objeto de protección para todas ellas es la protección del medio ambiente, con algunos énfasis ya que las tres normativas protegen la salud de la población.

En la Tabla 21 se puede apreciar una comparación entre las normativas según distintas variables que consideran.

Tabla 21:
Comparación entre normas latinas y norma americana.

Variables	Norma Chilena y Argentina	Norma Mexicana	Norma Americana US EPA
Objeto de protección	Salud humana, medio ambiente y suelo	Salud humana, medio ambiente	Salud humana, medio ambiente
Disposición	Monorrelleno/Relleno sanitario/Suelo	Monorrelleno/Relleno sanitario/Suelo	Monorrelleno/Incineración/Suelo
Clasificación sanitaria	Clases: A y B	Clases: A, B y C - Excelente/Bueno	Clases: A y B
Prop. Físicas en suelos	Clase textural (%arena gruesa)	No especifica	No especifica
Prop. Químicas en suelos	As/Cd/Cu/Hg/Ni/Pb/Se/Zn/pH/CE/MO	No especifica	As/Cd/Cu/Cr/Hg/Mo/Ni/Pb/Se/Zn
Prop. Químicas en lodos	As/Cd/Cu/Hg/Ni/Pb/Se/Zn/pH/CE/MO/%H ₂ O	As/Cd/Cr/Cu/Pb/Hg/Ni/Zn/%H ₂ O	As/Cd/Cu/Cr/Hg/Mo/Ni/Pb/Se/Zn
Tasa de aplicación	90 Mg ha ⁻¹ si cumple requisito de ETM en suelo. 30 Mg ha ⁻¹ por única vez cuando no cumple ETM en suelo.	Demanda nutricional según el cultivo o vegetación	Demanda nutricional según el cultivo o vegetación
Limitación al pastoreo	Igual o superior a 1 mes	No especifica	No especifica
Limitación cultivo hortícola	Aplicar 12 meses antes de la siembra	No especifica	No especifica
Limitación cultivo frutícola	En frutales menores antes de 12 meses	No especifica	No especifica
Prohibiciones de uso	Suelos con pH<5. En zonas inundables o con riesgo de inundación. A menos de 15 m de agua superficial. En suelos cubiertos de nieve, suelos saturados la mayor parte del año y con arena igual o mayor a 70%.	En zonas inundables o con riesgo de inundación. A menos de 15 m de agua superficial. El biosólido no debe superar el 85% de humedad.	En zonas inundables a menos de 10 m de agua superficial.

Fuentes: Resolución 97. República Argentina.

Decreto Supremo 004. Ministerio de la Presidencia de Chile.

40CFR parte 503. Normativa Americana.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Según los decretos establecidos en los cuatro países se deben tener en cuenta los valores máximos permisibles de Químicos-Metales en los biosólidos, estos varían según el reglamento de cada país, como se puede ver en la Tabla 22.

Tabla 22:
Comparación de concentraciones máximas permisibles.

Variable	unidad de medida	ARGENTINA ¹	CHILE ²		US EPA ³	MEXICO ⁴	
		Biosólidos valores máximos permisibles	Categoría Biosólidos valores máximos permisibles		Biosólidos valores máximos permisibles	Biosólidos valores máximos permisibles	
			A	B		EXCELENTES	BUENOS
Arsénico (As)	mg/kg de biosólido (base seca)	75	20	40	41	41	75
Cadmio (Cd)		20-40	8	40	39	39	85
Cobre (Cu)		1000-1750	1000	1200	1500	1500	4300
Cromo (Cr)		1000-1500	-	-	1200	1200	3000
Mercurio (Hg)		16-25	10	20	17	17	57
Molibdeno (Mb)		-	-	-	18	-	-
Níquel (Ni)		300-400	80	420	420	420	420
Plomo (Pb)		750-1200	300	400	300	300	840
Selenio (Se)		-	50	100	36	-	-
Zinc (Zn)		2500-4000	2000	2800	2800	2800	7500

Fuente: ¹Resolución 97

²Decreto Supremo 004

³40CFR parte 503

⁴SERMANAT 2002; 004

Con los datos recolectados de los análisis de laboratorio realizados a los lodos, se procedió a elaborar una tabla comparativa respecto a los límites de concentración permitida de “Elementos Traza Metálicos (ETM)” en lodos. (Tabla 23).

Tabla 23:
Comparación de análisis ETM en PTAR San Blas y las normativas seleccionadas.

Concentración permitida en lodos (mg/kg)

ETM	Chile		Argentina	USA EPA	México		PTAR San Blas dic-2021
	A	B			Excelentes	Buenos	
Cromo (Cr)	-	-	1000 - 1500	3000	1200	3000	2,0
Níquel (Ni)	80	420	300 - 400	420	420	420	9,0
Zinc (Zn)	2000	2800	2500 - 4000	2800 - 7500	2800	7500	138,0

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia en la Tabla 23 que los resultados respecto a la presencia de metales en lodos de la PTAR San Blas están muy por debajo de los límites máximos permitidos por las normativas establecidas.

La razón por la cual únicamente se realiza un análisis comparativo de tres metales: Cromo, Níquel y Zinc; se debe a que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “San Blas” a la fecha aún se encuentra en una etapa de transición administrativa entre el municipio y COSAALT R.L. Por lo que la cooperativa aún no tiene permitido realizar una mayor inversión de recursos económicos para la operación de la PTAR, incluyendo en la misma el costo de realizar los análisis de control y monitoreo de lodos en laboratorios externos para tener análisis actualizados de concentraciones de metales pesados y agente microbiológicos como huevos de Helminfos y Salmonella ssp.

Como establece la norma argentina, el pH correcto que debe tener el lodo para su aplicación al suelo debe estar entre 6 a 8, siendo un pH neutro. Por lo tanto, se realizó un análisis de todos los datos obtenidos y los resultados se ven en la Tabla 24.

Las normativas tomadas en cuenta en este análisis determinan una humedad máxima de lodos del 85%, teniendo los resultados de los análisis resumidos en la Tabla 24.

Correspondiente a la comparación de los agentes químicos como el Nitrógeno total, microbiológicos como coliformes fecales, se puede apreciar en la Tabla N°24 los valores recopilados.

Tabla 24:*Análisis de parámetros esenciales de lodos en la PTAR San Blas.*

	pH	%H	N. Total (mg/l)	Coli. F NMP /100ml	Vol. Lodo húmedo (m ³ /hr)	Vol. Lodo seco (m ³ /hr)
Promedio	7,1	71,33	2755,46	1,18x10 ⁸	3,76	0,58
Mínimo	6,00	40	690	2,00x10 ⁶	3,34	0.56
Máximo	8,00	85	5613	1,40x10 ⁹	7,62	0.6

Fuente: Elaboración propia.

Así también se estimó el volumen de lodo seco generado por año, en función al volumen generado por día siempre y cuando la planta se encuentre produciendo lodo. A la fecha aproximadamente se extrae lodos de los digestores a la razón de un mes por cada mes y medio, lo cual es aproximadamente 5 de los 12 meses del año. Dando como estimado un volumen de **2100 m³ por año**.

4.6 Caracterización del biosólido de la PTAR San Blas.

De acuerdo a las normativas analizadas y comparadas con los datos recopilados del biosólido de la PTAR San Blas, se procede a realizar la caracterización del biosólido según cada normativa y sus especificaciones para clasificarlo.

Norma Mexicana.

Correspondiente a los datos recopilados del único análisis realizado al biosólido de la PTAR San Blas y comparándolos con los ETM que la norma mexicana especifica, se puede afirmar que los valores de ETM presentes en los biosólidos son muy inferiores a los valores límites establecidos por la normativa mexicana. (Tabla 25).

Tabla 25:*Elementos traza metálicos según norma mexicana y datos de PTAR San Blas.*

ETM	México		PTAR San Blas
	Excelentes	Buenos	dic-2021
Cromo (Cr)	1200	3000	2,0
Níquel (Ni)	420	420	9,0
Zinc (Zn)	2800	7500	138,0

Fuente: Elaboración propia.

Evidenciando que los tres metales analizados: Cromo, Níquel y Zinc cumplen con la especificación de la normativa mexicana, el biosólido de la PTAR San Blas es caracterizado como **Excelente**.

La normativa mexicana también caracteriza los biosólidos según lo establecido en sus límites máximos permisibles de patógenos y parásitos presentes en los biosólidos. (Tabla 26).

Tabla 26:*Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en biosólidos.*

Indicador	PTAR San Blas dic-2021
Coliformes fecales	1,18 x10 ⁸ valor promedio
Salmonella spp.	Ausencia
Huevos de helminths	Ascaris 0/25g Taenia 0/25g

Fuente: Laboratorio Cosaalt R.L.

Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en biosólidos.

CLASE	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACIÓN	PATÓGENOS	PARÁSITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helminths/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: Norma Oficial Mexicana 2002.

Se observa que los resultados obtenidos del análisis tanto para los agentes patógenos como Salmonella y de parásitos como Huevos de helmintos muestran **ausencia** de ambos. Mientras que para coliformes fecales **excede** el límite de 2×10^6 de NMP/g. Según la normativa mexicana y de acuerdo con los especialistas de laboratorio que operan la PTAR San Blas, este indicador puede reducir considerablemente con un proceso de estabilización alcalina, es decir el uso de cal y a su vez, la exposición del biosólido a los rayos UV del sol, pudiendo así cumplir con las tres especificaciones y poder alcanzar al menos la clase C; ya que, de ser solo por Salmonella y Huevos de helminto, el biosólido podría ser caracterizado por clase A.

Así también considerar que el único análisis de laboratorio realizado al biosólido fue en la gestión 2021, cuando la planta llevaba pocos meses de operación y los procesos aún no se encontraban estables tanto en el aspecto microbiológico como operativo.

Norma Argentina.

La caracterización de los lodos comprendidos en la presente norma se ajustará según superen o no el valor-límite establecido para los parámetros contemplados en la Tabla 11, que establece dos indicadores:

- Reducción de Sólidos Volátiles (SV) > al 40%.
- Estabilización de lodos.

Categoría A: Comprende aquellos barros que cumplen con la totalidad de los valores-límite establecidos para los parámetros contemplados en la Tabla N° 11.

Categoría B: Comprende aquellos barros en los que alguno de los parámetros supera el valor-límite establecido en la Tabla N°11, los que quedan excluidos de esta norma y deben tratarse conforme lo dispuesto por la normativa vigente.

En los análisis mensuales desde julio de 2021 hasta diciembre 2022 proporcionados por COSAALT. R.L. los valores de reducción de sólidos volátiles oscilan entre 40% y 84%, **cumpliendo favorablemente con el primer indicador de la norma.**

Respecto a la estabilización de lodos, la PTAR utiliza una digestión anaerobia y una deshidratación de lodos mediante un decanter centrífugo que alcanza al 70% de humedad en promedio, que luego reduce hasta un 50% de humedad cuando el biosólido es extendido en el área de almacenamiento debido a la exposición directa con el sol. Por lo tanto, **se cumple con el segundo indicador de la norma respecto a la estabilización del lodo.**

En base al cumplimiento de ambos indicadores, se establece que el biosólido de la PTAR San Blas, es de **categoría A**, según la Norma Argentina.

Así mismo, la normativa argentina subclasifica los lodos que se encuentran en la categoría A, siendo el A.1 el de mejor calidad y el A.5 sin ningún uso, únicamente para ser termo destruido. Para esta clasificación se toma en cuenta los valores límites establecidos de ETM en lodos y también agentes patógenos y bacteriológicos como coliformes fecales, salmonella y huevos de helminto.

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE EN BARROS (mg/kg base materia seca)	VALOR PTAR SAN BLAS
Zinc	2500 a 4000	138,8
Cromo Total	1000 a 1500	2,0
Níquel	300 a 400	9,0

Se aprecia en la comparación que los valores metales pesados están muy por debajo del límite que establece la Norma Argentina, siendo un resultado favorable.

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE NIVEL A	VALOR LÍMITE NIVEL B	VALOR PTAR SAN BLAS
Escherichia coli	< 1000 NMP/g MS	< 2.000.000 NMP/g MS	1,18 x10 ⁸ valor promedio
Salmonella	< 3 NMP /4 g MS	-	Ausencia
Huevos viables de Helmintos	< 1 / 4 g MS	-	Ausencia

Se observa que los resultados obtenidos del análisis tanto para los agentes patógenos como Salmonella y de parásitos como Huevos de helmintos muestran **ausencia** de ambos. Mientras que para coliformes fecales **excede** el límite de 2×10^6 de NMP/g. Quedando **clasificado como un lodo A.3**. Pudiendo mejorar la calidad de los lodos a futuro y subir a una clasificación A.2 en caso de reducir el valor de coliformes fecales.

Norma Chilena.

Los parámetros a considerar para la clasificación sanitaria de lodos corresponden a la reducción del potencial de atracción de vectores y la presencia de patógenos, clasificando los lodos en dos: Clase A y Clase B.

Se considerarán lodos estabilizados o con reducción del potencial de atracción de vectores sanitarios, a los lodos que se les ha reducido los sólidos volátiles en un 38 % como mínimo. Sin perjuicio de lo anterior, también se considerarán estabilizados, los lodos que cumplan con uno de los siguientes requerimientos:

- Si los lodos son tratados por digestión anaeróbica, y la reducción de sólidos volátiles es inferior al 38%.

- Reducción de humedad. En caso que los lodos no contengan lodos crudos provenientes de un tratamiento primario de aguas servidas, el porcentaje de sólidos debe ser igual o superior a 75%, previo a la mezcla de lodos con otros materiales.
- Tiempo de residencia. El tiempo de residencia del lodo en el sistema debe ser igual o superior a 25 días, siempre y cuando se trate de lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, en las que la estabilización de los lodos se realiza en la misma unidad en que ocurre la oxidación biológica de la materia orgánica.

En base a las especificaciones de la normativa para determinar si un lodo es se encuentra estabilizado, se confirma que cumple con los requisitos establecidos, debido a que el lodo seco de la PTAR San Blas logra reducir los sólidos volátiles entre 40 a 84% en su tratamiento.

Se considerarán lodos Clase A aquellos que cumplan con los siguientes requisitos, adicionalmente al cumplimiento de la reducción de la atracción de vectores:

1.- Tener una densidad de coliformes fecales menor a 1.000 Número Más Probable (NMP) por gramo de sólidos totales, base materia seca, o tener una densidad de Salmonella sp. menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, base materia seca.

2.- Tener un contenido de ova helmíntica viable menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base materia seca.

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE CLASE A	VALOR PTAR SAN BLAS
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g MS	1,18 x10 ⁸ valor promedio
Salmonella	< 3 NMP /4 g MS	Ausencia
Huevos viables de Helmintos	< 1 / 4 g MS	Ausencia

El biosólido de la PTAR San Blas es clasificado como Clase A según normativa chilena, ya que cumple con el punto 1 en el indicador de tener ausencia de salmonella y en el punto 2 igualmente evidenciar la ausencia de huevos de helminto.

Norma Americana.

Los lodos clase A aseguran altos niveles de protección y requieren métodos avanzados de higienización, por tanto, pueden ser utilizados sin restricciones en jardines, bosques, cultivos agrícolas y áreas públicas. Los lodos clase B contemplan mínimos de protección y pueden ser aplicados con restricciones locales en bosques, zonas agrícolas y áreas de mínimo contacto con el público.

Se consideran biosólida clase A aquellos biosólidos que tengan una densidad de coliformes fecales menor a 1.000 NMP por gramo de sólidos totales, o tener una densidad de salmonella sp. Menor a 3 NMP en 4 g de sólidos totales, tener un contenido de huevos de helmintos viable menor a 1 por 4 g de sólidos totales.

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE EN LODOS (mg/kg base materia seca)	VALOR PTAR SAN BLAS
Zinc	2800	138,8
Cromo Total	1200	2,0
Níquel	420	9,0

PARÁMETRO	VALOR LÍMITE CLASE A	VALOR PTAR SAN BLAS
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g MS	1,18 x10 ⁸ valor promedio
Salmonella	< 3 NMP /4 g MS	Ausencia
Huevos viables de Helmintos	< 1 / 4 g MS	Ausencia

El biosólido de la PTAR San Blas es clasificado como Clase A según normativa americana US EPA, ya que cumple con el punto 1 en el indicador de tener ausencia de salmonella y en el punto 2 igualmente evidenciar la ausencia de huevos de helminto y la presencia de metales pesados es muy baja respecto a los valores máximos establecidos por la norma.

4.7 Análisis de sostenibilidad.

La sostenibilidad de un proyecto es el resultado del análisis desarrollado en función a los ingresos y costos corrientes del proyecto. La sostenibilidad se identifica cuando los ingresos corrientes cubren por lo menos los costos de operación y mantenimiento.

Los ingresos estimados por la implementación del componente PTAR Modulo San Blas son por:

- Tarifa de Tratamiento de Aguas Residuales por Categoría de Usuario.
- Ingreso por la venta de agua tratada para riego.

Estos ingresos se estimaron de la siguiente forma:

Tarifa de tratamiento de aguas residuales por categoría de usuario.

Para este caso se procedió a estimar las tarifas de tratamiento de agua residual por categoría de usuario, de acuerdo a los requerimientos de la Guía Metodológica Tarifas del Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA). En la guía se presenta la clasificación de usuarios/consumidores de los servicios, de acuerdo a las siguientes categorías:

- Categoría doméstica solidaria.
- Categoría doméstica.
- Categoría estatal.
- Categoría comercial.
- Categoría industrial.
- Categoría social solidaria.
- Categoría seguridad ciudadana.

De las categorías nombradas, para el proyecto se consideraron las siguientes categorías: Categoría Domestica, Categoría Comercial y Categoría Industrial.

La tipología tarifaria utilizada para el proyecto es la Estructura Tarifaria (Tabla N°25) con Incrementos por Rangos de Consumo y Categorías, ya que se considera una combinación de tarifas fijas y tarifas variables crecientes según rangos de consumo y conforme a la categorización de consumidores. A continuación, se presenta la estructura tarifaria estimada para el proyecto, se debe hacer notar que, según la metodología aplicada, la estructura tarifaria es realizada para cada quinquenio, además se consideró la estructura de rangos de la EPSA “COSAALT R.L.” la que opera actualmente en la Ciudad de Tarija.

Tabla 25:
Estructura tarifaria de la PTAR San Blas.

Categoría	Cargo Fijo	Cargo Variable		
		0 a 10 m ³	11 a 40 m ³	Más de 40 m ³
Primer Quinquenio				
Domestica	0,37	0,08	0,09	0,11
Comercial	0,39	0,59	0,70	1,17
Industrial	111,14	1,17	1,54	0,00
Segundo Quinquenio				
Domestica	0,39	0,08	0,10	0,11
Comercial	0,49	0,74	0,88	1,48
Industrial	140,21	1,47	1,94	0,00
Tercer Quinquenio				
Domestica	0,41	0,09	0,10	0,12
Comercial	0,62	0,93	1,11	1,87
Industrial	176,86	1,86	2,45	0,00
Cuarto Quinquenio				
Domestica	0,41	0,09	0,10	0,12
Comercial	0,75	1,12	1,33	2,24
Industrial	211,72	2,22	2,93	0,00
Quinto Quinquenio				
Domestica	0,41	0,08	0,10	0,12
Comercial	0,75	1,26	1,49	2,52
Industrial	211,72	2,50	3,31	0,00
Sexto Quinquenio				
Domestica	0,36	0,08	0,10	0,12
Comercial	0,94	1,41	1,49	2,52
Industrial	267,80	2,81	3,31	0,00

Fuente: Guía Metodológica Tarifas del Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA).

Ingreso por la venta de agua tratada para riego.

El riego con el agua tratada se convierte en un sistema sencillo y barato de postratamiento de las aguas residuales; ya no se vierten al río, lo que significa que la descontaminación llega al 100%.

El valor de las aguas negras tratadas es del orden de 3,50 Bs. por metro cúbico, esto para motivar a los agricultores. Por otra parte, se considera que con la venta de agua tratada también se puede regar las áreas verdes de la ciudad de Tarija, siendo esta otra alternativa para la venta de aguas tratada de la PTAR Modulo San Blas.

Los ingresos por la venta del agua tratada para riego también se van incrementando en función al crecimiento poblacional y el requerimiento de caudal de diseño (litros/segundo). Los ingresos se detallan en la Tabla N° 26:

Tabla 26:
Ingresos por venta de agua tratada.

Años		Ingresos		
		Tarifa de Tratamiento	Venta de Agua Tratada	Total Ingresos
0	2019	0,00	0,00	0,00
1	2020	4.278.052,37	6.388.612,94	10.666.665,31
2	2021	4.281.017,40	6.616.653,40	10.897.670,80
3	2022	4.284.088,25	6.852.833,73	11.136.921,98
4	2023	4.287.268,72	7.097.444,47	11.384.713,19
5	2024	4.290.562,72	7.350.786,55	11.641.349,27
6	2025	6.786.943,63	7.613.171,63	14.400.115,26
7	2026	6.790.889,93	7.884.922,51	14.675.812,44
8	2027	6.794.977,10	8.166.373,48	14.961.350,58
9	2028	6.799.210,15	8.457.870,81	15.257.080,96
10	2029	6.803.594,30	8.759.773,08	15.563.367,38
11	2030	10.770.481,27	9.072.451,70	19.842.932,96
12	2031	10.775.735,61	9.396.291,33	20.172.026,93
13	2032	10.781.177,50	9.731.690,36	20.512.867,85
14	2033	10.786.813,63	10.079.061,40	20.865.875,03
15	2034	10.792.650,95	10.438.831,79	21.231.482,75
16	2035	15.400.164,31	10.811.444,13	26.211.608,44
17	2036	15.406.468,06	11.197.356,80	26.603.824,87
18	2037	15.412.996,83	11.597.044,56	27.010.041,39
19	2038	15.419.758,64	12.010.999,11	27.430.757,75
20	2039	15.426.761,81	12.439.729,69	27.866.491,50
21	2040	19.519.700,18	12.883.763,74	32.403.463,92
22	2041	19.526.404,18	13.343.647,51	32.870.051,69
23	2042	19.533.347,48	13.819.946,76	33.353.294,24
24	2043	19.540.538,63	14.313.247,42	33.853.786,05
25	2044	19.547.986,45	14.824.156,37	34.372.142,82
26	2045	24.549.430,92	15.353.302,12	39.902.733,05
27	2046	24.556.304,25	15.901.335,65	40.457.639,90
28	2047	24.563.422,93	16.468.931,14	41.032.354,07
29	2048	24.570.795,70	17.056.786,85	41.627.582,55
30	2049	24.578.431,64	17.665.625,98	42.244.057,62
31	2050	24.586.340,15	18.296.197,51	42.882.537,66

Fuente: Evaluación económica EDTP PTAR San Blas.

Respecto a la disposición de los residuos y biosólidos, se asigna un monto mensual de 2.000 Bs para este fin y se considera un incremento del 1% anual por cambios tarifarios y picos de operación llegando a un promedio anual de **27.973,73 Bs.**

En la Tabla N°27 se representa la sostenibilidad del proyecto. Se puede apreciar saldos positivos en cada año de operación del proyecto, lo que indica que los ingresos cubren los gastos corrientes a lo largo de vida del proyecto.

Tabla 27:
Sostenibilidad del proyecto.

	Años	Ingresos	Costos Operación y Mantenimiento	Flujo de Fondos
0	2019	0,00	0,00	0,00
1	2020	10.666.665,31	2.818.999,92	7.847.665,39
2	2021	10.897.670,80	2.956.591,19	7.941.079,60
3	2022	11.136.921,98	3.099.836,90	8.037.085,08
4	2023	11.384.713,19	3.248.975,64	8.135.737,55
5	2024	11.641.349,27	3.404.255,31	8.237.093,96
6	2025	14.400.115,26	3.565.933,43	10.834.181,83
7	2026	14.675.812,44	3.734.277,54	10.941.534,91
8	2027	14.961.350,58	3.909.565,51	11.051.785,07
9	2028	15.257.080,96	4.092.085,99	11.164.994,96
10	2029	15.563.367,38	4.282.138,76	11.281.228,61
11	2030	19.842.932,96	4.478.200,43	15.364.732,54
12	2031	20.172.026,93	4.682.373,96	15.489.652,97
13	2032	20.512.867,85	4.852.820,26	15.660.047,59
14	2033	20.865.875,03	5.282.167,50	15.583.707,54
15	2034	21.231.482,75	5.436.430,64	15.795.052,11
16	2035	26.211.608,44	5.591.096,90	20.620.511,54
17	2036	26.603.824,87	5.738.871,93	20.864.952,94
18	2037	27.010.041,39	5.886.847,52	21.123.193,87
19	2038	27.430.757,75	6.035.025,69	21.395.732,05
20	2039	27.866.491,50	6.183.408,46	21.683.083,04
21	2040	32.403.463,92	6.331.997,87	26.071.466,05
22	2041	32.870.051,69	6.480.795,99	26.389.255,70
23	2042	33.353.294,24	6.629.804,91	26.723.489,33
24	2043	33.853.786,05	6.779.026,73	27.074.759,31
25	2044	34.372.142,82	6.928.463,59	27.443.679,23
26	2045	39.902.733,05	7.078.117,63	32.824.615,42
27	2046	40.457.639,90	7.227.991,03	33.229.648,87
28	2047	41.032.354,07	7.378.085,98	33.654.268,08
29	2048	41.627.582,55	7.528.404,70	34.099.177,85
30	2049	42.244.057,62	7.678.949,42	34.565.108,20
31	2050	42.882.537,66	7.829.722,41	35.052.815,25

Fuente: Evaluación económica EDTP PTAR San Blas.

CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- El análisis realizado en este proyecto, permite demostrar que el biosólido obtenido del tratamiento de aguas residuales de la PTAR San Blas, es una alternativa viable para su utilización como fertilizante para áreas verdes, y mediante esta práctica se reduce el impacto ambiental ocasionado por la mala disposición.
- El aprovechamiento del lodo como insumo para áreas verdes se convierte en la mejor opción, porque debido a sus propiedades y características orgánicas, otorga un manejo de nutrientes en sus cultivos que permiten la disminución del impacto ambiental que pueda generar la utilización de fertilizantes químicos.
- Los análisis de metales pesados en el biosólido no mostraron acumulación tóxica y se encontraban en el rango esperado, sin embargo, es preocupante que sólo se haya realizado una vez desde que se encuentra en funcionamiento la PTAR y no se hayan analizado todos los metales que especifican las normativas. Así mismo no hay documentación o informes que justifiquen por qué no se hayan realizado el ensayo a todos los metales requeridos por la norma.
- Evaluando desde el punto de vista normativo y técnico, el uso de los biosólidos generados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Blas, se adecúa con las normativas establecidas en países latinoamericanos como México, Argentina y Chile, en donde se establecen los criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de

aguas residuales municipales, y adicionalmente con los índices y restricciones reglamentados por la EPA en el título 40, sección 530, sub parte B “Land Applications”, en donde se estipulan los límites de metales permitidos en los lodos para ser usados en los suelos.

- El biosólido fue clasificado por las distintas normativas, siendo aprovechable u beneficioso sobre el suelo y el cultivo.
- La composición y contenido de materia orgánica en el lodo analizado, arroja resultados positivos para su utilización como fertilizante y acondicionador del suelo ya que incrementa la actividad de los microorganismos nativos del suelo, lo que va a inducir a una correcta mineralización de los nutrientes del lodo que van a quedar disponibles para la realización de cultivos.
- Con lo explicado previamente, se cumple la hipótesis planteada en el trabajo de investigación, que el biosólido de la PTAR San Blas es apto para usarlo como fertilizante en áreas verdes de la ciudad de Tarija.
- La operación y funcionamiento de la PTAR San Blas es sostenible, siendo contemplado el manejo y disposición de los lodos en el presupuesto de operación a lo largo de la vida útil de la planta.

5.2 Recomendaciones.

- Implementación periódicamente el análisis y control de agentes patógenos y metales pesados en los biosólidos, en distintas épocas del año, pudiendo realizarse en época antes de las lluvias, durante y después del periodo de lluvias, para tener la seguridad al momento de uso y manipulación del biosólido durante todo el año.

- Hacer ensayos de laboratorio después del proceso de aplicación al suelo, con el fin de evaluar el contenido de materia orgánica, nutrientes y metales con los que finalizó el suelo.
- Destinar mayor cantidad de recursos económicos y equipamiento al laboratorio de la PTAR San Blas para que puedan realizar ahí mismo los ensayos de metales pesados y patógenos como Huevos de Helmintos y Salmonella.
- Realizar las prácticas experimentales en un suelo en campo abierto dentro del área municipal a evaluar, que permita observar el desarrollo de estos cultivos bajo condiciones climáticas, existencia de plagas u otros factores que influyen en la actividad agrícola.
- Realizar estudios de la aplicación de biosólidos en diferentes cultivos que son altamente rentables en el Valle Central de Tarija, como ser el cultivo de la vid.
- Es necesario incentivar a los estudiantes de Ingeniería civil y carreras afines a continuar con los trabajos de investigación que contribuyan con nuevas alternativas para la solución y aprovechamiento de los lodos residuales, evitando su mala disposición e impactos ambientales.