

# Estabilización de lodos por digestión aerobia en el tratamiento de aguas residuales

Gladyz Moya Veliz <sup>1</sup>; Oscar Zelada Jaldín <sup>2</sup>;  
Carmen Ayaviri Villegas <sup>1</sup>; Noel Ortuño Castro <sup>1</sup>

<sup>1</sup> FCAyP - UMSS; <sup>2</sup> Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (Sacaba)

*E mail:* keydimoyaveliz@gmail.com

**Resumen.** Los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales "El Abra", presentan fuertes olores y una alta concentración de contaminantes, depositados a cielo abierto, que atrae a ciertos vectores que pueden propagar enfermedades. El objetivo del trabajo fue reducir los efectos negativos en el ambiente y la sociedad. La investigación se enfocó en el diagnóstico, del *proceso tratamiento*, volumen total de lodo generado, además de buscar alternativas para estabilizar lodos, utilizando plantas, compost y lombrices. Posteriormente se analizó el lodo en laboratorio, con cuyos resultados se propuso la estabilización de lodos, presentando un diseño a escala (espesador y digestor aerobio). Los resultados demuestran que el lodo no sufre ningún proceso de estabilización y existen unidades que no cuentan con equipo de remoción mecanizado de lodos, por lo que el método aerobio, es el más recomendable debido a que el lodo indicó altas concentraciones de patógenos y bajas concentraciones de metales; la implementación de este tipo de tecnología es viable económicamente, debido a que se reducen costos de construcción civil, por la adecuación y otros gastos directos e indirectos.

**Palabras clave:** Contaminantes; Espesador; Microorganismos; Sedimentación

**Abstract: Sludge stabilization by aerobic digestion in wastewater treatment.** The sludge generated in the "El Abra" wastewater treatment plant has strong odors and a high concentration of pollutants, deposited in the open air, which attracts certain vectors that can spread diseases. The objective of the work was to reduce the negative effects on the environment and society. The investigation focused on the diagnosis, the treatment process, the total volume of sludge generated, in addition to seeking alternatives to stabilize sludge, using plants, compost and earthworms. Subsequently, the sludge was analyzed in the laboratory, with the results of which the sludge stabilization was proposed, presenting a scale design (thickener and aerobic digester). The results show that the sludge does not undergo any stabilization process and there are units that do not have mechanized sludge removal equipment, so the aerobic method is the most recommended because the sludge indicated high concentrations of pathogens and low concentrations of metals; The implementation of this type of technology is economically viable, since civil construction costs are reduced, due to adaptation and other direct and indirect expenses.

**Keywords:** Pollutants; thickener; Microorganisms; Sedimentation

## Introducción

Por muchos años, las actividades humanas que requieren de agua, han ido generando residuos líquidos conocidos como aguas residuales (García, 2016).

En Bolivia son muchas las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's) que no realizan un manejo apropiado de los lodos.

Un tercio del efluente tratado se convierte en lodo residual, el cual tiene características de ser un residuo peligroso; sin embargo, estos lodos tienen un gran potencial para ser aprovechados cuando se someten a un proceso de estabilización, son benéficos y pueden ser reutilizados en varias actividades (Peñaherrera, 2015).

Los lodos y arenas generados por la planta "El Abra", son purgados a cuatro lechos de secado, los cuales se encuentran a cielo abierto y generan olores desagradables a medida que los lodos van secando, el mal olor atrae a ciertos vectores como moscas, algunos roedores, aves, etc., los cuales pueden provocar posibles daños a la salud de la población circundante.

Los operadores aplican cal (CaO) a los lodos, con la idea de reducir el olor y los organismos patógenos, debido a que la planta maneja caudales de aguas residuales considerables.

Los lechos de secado reciben un total de 432 m<sup>3</sup> de lodo húmedo. Actualmente la PTAR "El Abra", trata la mitad del caudal de agua para la cual está diseñada y se presentan problemas con el volumen de lodos generados, por ser una planta compacta en la medida que utiliza un

área más pequeña, maximizando la eficiencia del tratamiento.

Otro problema que presenta la PTAR indicada, es la disposición final de los lodos; así, una vez secos los lodos, son transportados a un terreno a cielo abierto, donde se observa una gran cantidad de vectores. Estos lodos son usados como abono por el sector agrícola del lugar o son utilizados para la regeneración de áreas verdes del Municipio de Sacaba, sin previa estabilización.

No se realizan análisis físico-químicos ni biológicos a los lodos, por lo cual no se conoce si estos presentan materias nocivas como metales pesados o una alta concentración de organismos patógenos. El lodo generado produce altos costos de operación por la compra de cal, además requiere más personal para la remoción y contratación de maquinaria para transportar el lodo a otra sección de la PTAR.

A causa de utilizar lodo sin previa estabilización, se tiene un desconocimiento de la calidad del lodo, ya que en Bolivia no se cuenta con una normativa específica para tratamiento de lodos.

Mediante el método de tratamiento a proponer, se espera que el lodo estabilizado evite posibles enfermedades e intoxicaciones en las personas que tengan contacto con el mismo, como también evitar quejas de la población por los olores y la presencia de vectores. Se cumplirá con el reglamento nacional que exige un tratamiento del lodo antes de su uso o disposición final y se reducirá algunos impactos negativos que generan los lodos de la PTAR al medio ambiente.

La importancia de aprovechar el valor ambiental del lodo, por el alto contenido de nutrientes y materia orgánica, así co-

mo la oportunidad de lograr un beneficio económico para la empresa, los manejos adecuados de lodos pueden favorecer las condiciones del suelo y puedan ser utilizados para la adecuación de áreas verdes urbanas, recuperación de suelos degradados, la agricultura y etc.

Por otro lado, también se plantea reducir las descargas y volúmenes de lodos generados en la PTAR “El Abra”, lo cual ha significado un grave problema por ser una planta compacta.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la PTAR “El Abra”, ubicada, en el Municipio de Sacaba de Cochabamba, entre las instalaciones de *Moto Cross* y el Río Rocha. Geográficamente se encuentra en las coordenadas 66°7'4.2" de longitud Oeste y 17°23'41.9" de latitud Sur.

Para la elaboración del estudio, se aplicó la siguiente metodología:

Se inició con el trabajo de campo, donde se ingresó a la planta para realizar un diagnóstico general de proceso de tratamiento del agua residual y el lodo.

Primeramente, se realizó las pruebas de estabilización de lodos con plantas de Totorá (*Typha*) y Cartucho (*Zantedechia aethiopica*), compost y lombrices californianas, en ambientes de la PTAR y de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (FCAyP-UMSS), donde se evaluó durante tres semanas, el comportamiento de los estabilizadores y se identificó la alternativa más eficaz.

Para determinar las características del lodo se tomaron muestras en tres puntos estratégicos:

- Tubería de ingreso a lechos de secado que viene del sedimentador secundario.
- Lecho de secado provenientes del sedimentador primario piscina de secado.
- Lecho de secado provenientes del sedimentador secundario piscina de secado.

Posteriormente, en base al resultado de los análisis y pruebas, se realizó la propuesta de un sistema de digestión aerobia de lodos, para lo cual se diseñó lo siguiente:

- Un sistema de digestión aerobio, porque para este método se puede adecuar las estructuras del tanque de homogenización.
- Un espesador para separar el lodo y agua.
- Una bomba para direccionar lodos espesados, hacia el tanque de homogenización y ser estabilizados.

Por último, en base al diseño, se realizó una estimación de costos para la implementación del digestor aerobio y estimación de costos para la implementación.

## Resultados y discusión

### *Proceso de tratamiento del lodo*

Actualmente la planta “El Abra”, para evitar los malos olores, utiliza aproximadamente 11 kg de cal viva (CaO) por cada lecho, la cual evita la propagación de algunos parásitos volátiles; una vez transcurrido el tiempo de secado, se procede a hacer la limpieza por personal de la planta, de forma manual (usando palas, picotas y carretillas) para vaciar el lodo seco. Posteriormente la maquinaria (tractor y camión) puedan transportar el lodo, ya seco, a 500 m de la PTAR, los cuales son descargados a cielo abierto.

### Volumen del lodo generado en la PTAR

Los volúmenes de lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona (Rodríguez 2013). Cochabamba presenta dos épocas: la época seca (mayo - octubre) y la época de lluvia (noviembre - abril).

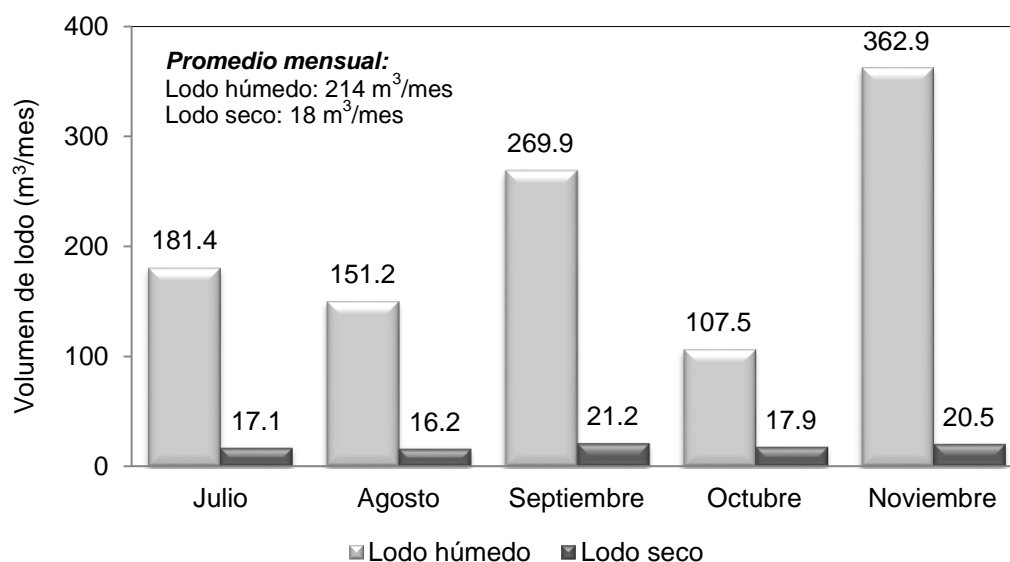
Los lechos de secado, al estar abiertos, se encuentran expuestos a las condiciones climáticas que pueden tener efectos en la cantidad de lodos que se generan dentro de la PTAR. En la Figura 1, se presenta la producción de lodos húmedos y secos en diferentes meses. Como promedio mensual se obtuvo 214 m<sup>3</sup> de lodo húmedo y 18 m<sup>3</sup> de lodo seco. Esto quiere decir que 92% es agua que se evapora o se elimina, mediante las válvulas que presenta cada lecho de secado, y solo el 8% queda como lodo seco. En un año se generaría 216 m<sup>3</sup> de lodo seco.

Se determinó el volumen húmedo y seco de los lodos de la PTAR, para un caudal

de 50 l/s, la planta tiene un caudal de tratamiento máximo de 130 l/s, es decir que en los próximos años irá aumentado, lo que provocaría un incremento en el volumen de generación de lodos.

Las descargas industriales alteran el sistema de tratamiento de aguas, además de provocar un incremento en el volumen de los lodos por la alta carga orgánica que manejan. Según González (2015), la producción estimada de lodos de la planta es de 4.06 kg/día, igual a 1482 kg/año, lo que implica un área necesaria de 15.000 m<sup>2</sup>.

El tanque de homogenización (designado como tanque de regularización), actualmente es fuente de malos olores, que pueden ser atribuibles a la formación de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). El otro problema es el depósito de sólidos, debido a la falta de turbulencia en el tanque, lo suficientemente alta para mantener los sólidos en suspensión.



**Figura 1.** Volumen de lodos en la PTAR del Municipio de Sacaba

Según EMAPAS (2018), para resolver el problema de depósito de sólidos, se propone la instalación de mezcladores sumergidos para inducir suficiente trucción, que mantenga los sólidos en suspensión, como también sería necesaria la instalación de aireadores superficiales, para eliminar la generación de malos olores, es decir que el tanque no trae ninguna ventaja de operación frente a las actuales condiciones de la planta.

En la siguiente figura, se muestra el aspecto de la superficie del tanque y la canaleta de alimentación de agua residual.



**Figura 2.** Tanque de homogenización de la PTAR de Sacaba

### ***Evaluación de alternativas de estabilización de lodo***

Según Donado (2013), aplicar un lodo con un contenido elevado de materia orgánica, es poco estable, producirá un crecimiento rápido de los vegetales, pero no dejará un efecto duradero sobre las características del suelo y, podría generar, excesos de nitrógeno y fósforo.

El contenido elevado de nitrógeno amoniacal o fácilmente degradable, favorecerá pérdidas por amoníaco, malos olores y desequilibrio en la nutrición de las plantas. Es decir que es aconsejable la mezcla de lodo residual y tierra, para mantener un equilibrio dando lugar a que el suelo genere condiciones para el crecimiento de la planta.

En la Figura 3, se muestra el resultado de las pruebas realizadas con plantas de totora (*Typha*) y cartucho (*Zantedeschia aethiopica*).



**Figura 3.** Estabilización de lodos con plantas en la PTAR de Sacaba

### ***Características fisicoquímicas y microbiológicas del lodo que se genera en la planta***

La caracterización del lodo, permitió conocer los parámetros que se encuentren por encima de la normativa y que hace del lodo un compuesto inestable y tóxico.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con los análisis realizados a las muestras tomadas de la PTAR “El Abra”, en tres puntos de muestreo.

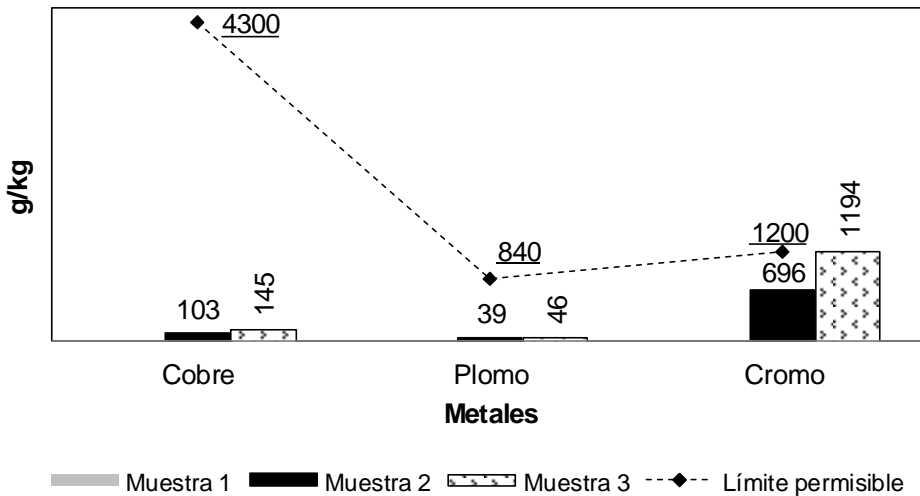
La presencia de metales puede estar asociada a la descarga de los efluentes de pequeñas industrias establecidas en el municipio, que vierten sus residuos líquidos al alcantarillado, sin ningún tratamiento, llegando a la PTAR “El Abra”.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 1 y Figura 4), las concentraciones de cobre, plomo, cromo y fósforo se encuentran dentro del límite permisible, según la *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos* (EPA 2006), que establece límites máximos permisibles para el control de metales pesados y microorganismos patógenos, de tal manera que los biosólidos puedan ser aplicados en el suelo, sin atentar contra la salud de la población y el medio ambiente.

**Cuadro 1.** Resultados de la caracterización de lodos en los tres muestreos en la PTAR del Municipio de Sacaba

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Muestreo 1 16/07/19	Muestreo 2 16/07/19	Muestreo 3 16/07/19
pH	-	7.21	7.21	8.00
Cobre	mg/kg	$0.37 \times 10^{-3}$	102.97	144.76
Plomo	mg/kg	$1.44 \times 10^{-3}$	38.58	46.00
Cromo total	mg/kg	0.13	696.12	1194.24
Cromo hexavalente	mg/kg	< 0.01	-	-
Nitrógeno org. total	mg/kg	1.67	821.76	198.41
Fósforo total	mg/kg	1540	2090	2210
Materia orgánica	%	0.36 (*)	64.18	67.78
Humedad	%	85.00	40	38
Coliformes termotolerantes	UFC/g	-	$1.7 \times 10^5$	-
<b>Huevos de helmintos</b>				
<i>Ascaris</i> sp.	N°HH/g	-	1	5
<i>Taenia</i> sp.	N°HH/g	-	1	1
<i>Trichuris</i> sp.	N°HH/g	-	-	1

UFC Unidad formadora de colonias  
 (\*) En base húmeda  
 HH Huevos de helmintos



**Figura 4.** Concentración de metales en los tres muestreos comparando con los requerimientos establecidos por la EPA

Las altas concentraciones de coliformes termo tolerantes en la muestra 2, indica que gran porcentaje de los microorganismos presentes en el agua, son eliminados por la adsorción en el lodo.

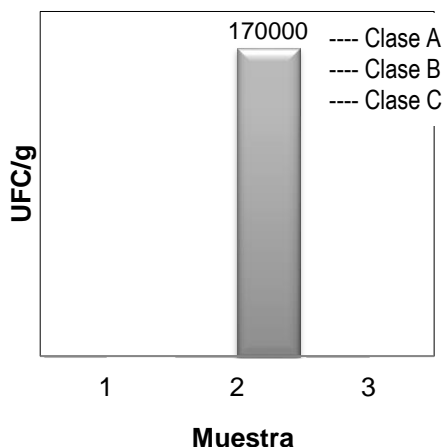
Según la Norma SEMARNAT (2002), especificada en la base normativa ambiental, los coliformes termo tolerantes se encuentran fuera de las clases A, B y C. Esto quiere decir que no es posible usar estos lodos directamente como mejoradores de suelo agrícola, o darle un uso forestal, porque puede generar problemas en la salud.

Los análisis de huevos de helmintos en los tres muestreos, indican que el lodo pertenece a la clase B. Esto muestra que al lodo puede darse un uso urbano, sin contacto público directo durante su aplicación en usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas. Se hizo el análisis de *Ascaris* sp., *Taenia* sp. y *Trichuris* sp., por ser los más persistentes.

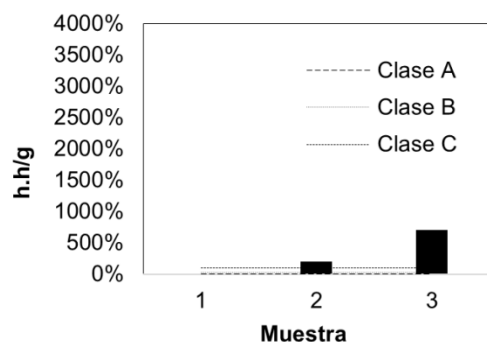
El color de los lodos depende del tipo de tratamiento de aguas y el tipo de agua residual que ingresa a una PTAR. En el caso de los lodos de la PTAR de “El Abra”, el color y olor que se presentan, son característicos de aguas residuales domésticas e industriales provenientes de los diferentes distritos.

El tanque de homogenización y el sedimentador primario, tienen una mezcla de lodo con algunos residuos más grandes (materia orgánica, cabellos, etc.) por lo cual el olor es más fuerte en estas dos unidades y el color es más claro, ya que los microorganismos no degradan aún la materia orgánica.

El lodo secundario presenta un color más oscuro debido a que la degradación de la materia orgánica, por acción de los microorganismos, es más acelerada.



**Figura 5.** Concentración de coliformes termotolerantes en la PTAR del Municipio de Sacaba



**Figura 6.** Concentración de huevos de helminto en la PTAR del Municipio de Sacaba

### ***Diseño del digestor aerobio para estabilización de lodos de la PTAR***

Como una alternativa de estabilización, se diseñó el digestor aerobio como se muestra en el corte de la Figura 7, adecuando a la infraestructura existente, tomando en cuenta las dimensiones de acuerdo a volumen de lodo que se genera y el caudal para el que fue diseñada la PTAR “El Abra”.

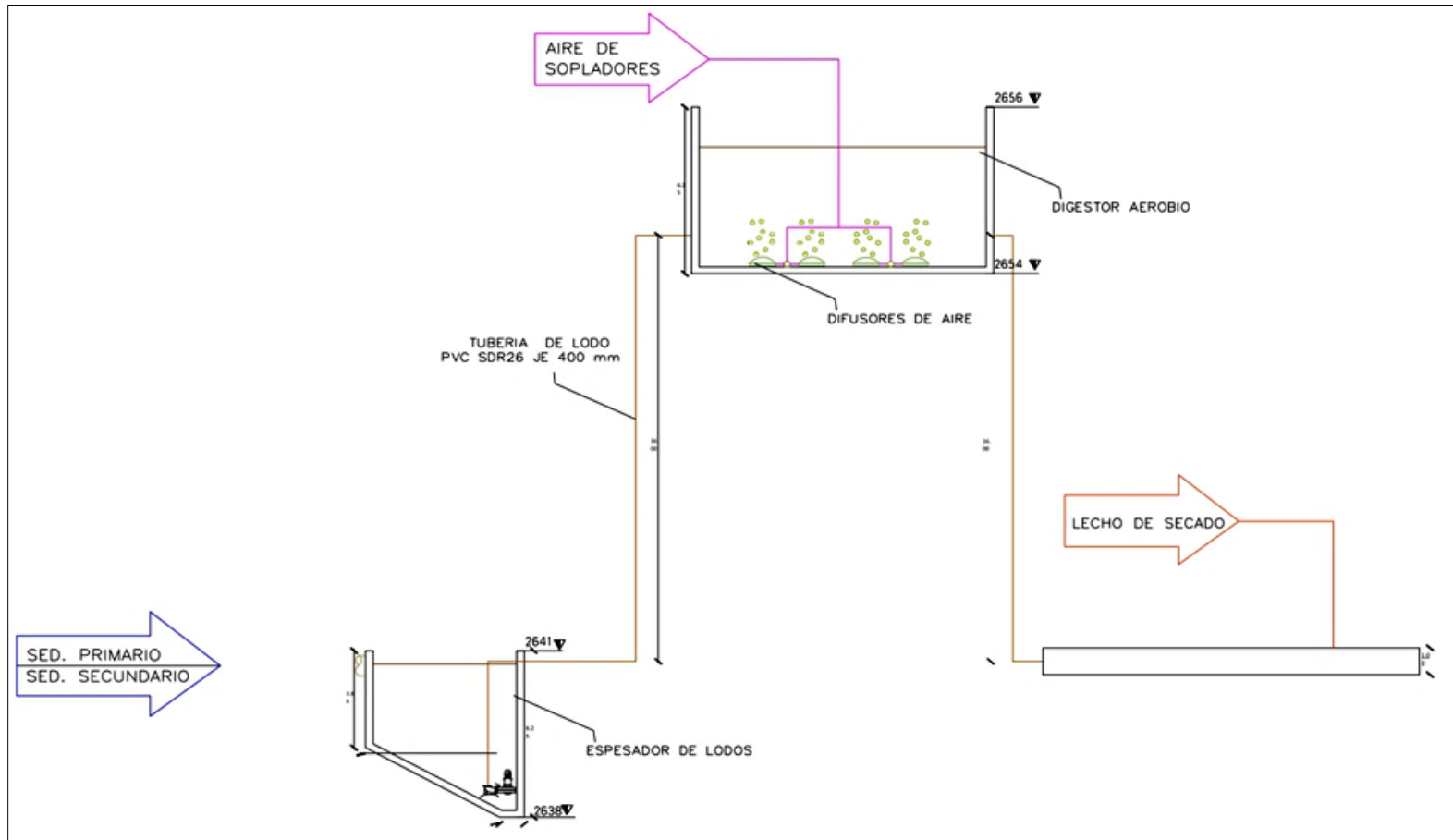
En la Figura 7 se observa el diseño para la estabilización de lodos. El lodo generado en el sedimentador primario y secundario, pasará al *espesador*, el cual, por acción de la gravedad separa el lodo del agua; luego el lodo espesado será bombeado por medio de una *bomba sumergible (15 HP)* hacia el *digestor aerobio (actualmente conocido como tanque de homogenización)*; en el tanque se implementará tres *sopladores (50 HP)* que sirven como bombas de inyección de aire y transfiere oxígeno por *difusores de burbuja (120 unidades)* al tanque de lodo. Mediante procesos biológicos en un tiempo aproximado de 20 días, el lodo queda estabilizado y es expulsado hacia el lecho de secado.

### ***Presupuesto para implementación del digestor aerobio en la PTAR El Abra***

Para cubrir los costos de construcción civil del espesador, la implementación de sopladores, la bomba y otros imprevistos, se necesita un presupuesto total de 1.419.600,00 Bs. La empresa EMAPAS se encarga de la operación y mantenimiento de la planta de PTAR “El Abra”, los cuales son considerados como costos indirectos generales. Sin embargo, los costos directos e indirectos pueden variar, debido a que la planta ya cuenta con una infraestructura instalada, lo que garantiza la viabilidad del proyecto de tratamiento de lodos.

Una vez tratados los lodos de la PTAR “El Abra”, estos se pueden utilizar para recuperación edafológica de suelos erosionados, teniendo en cuenta que este producto puede ser comercializado y generar, al mismo tiempo, ingresos para la misma planta de tratamiento.





**Figura 7.** Diseño del digester aerobio para la PTAR del Municipio de Sacaba

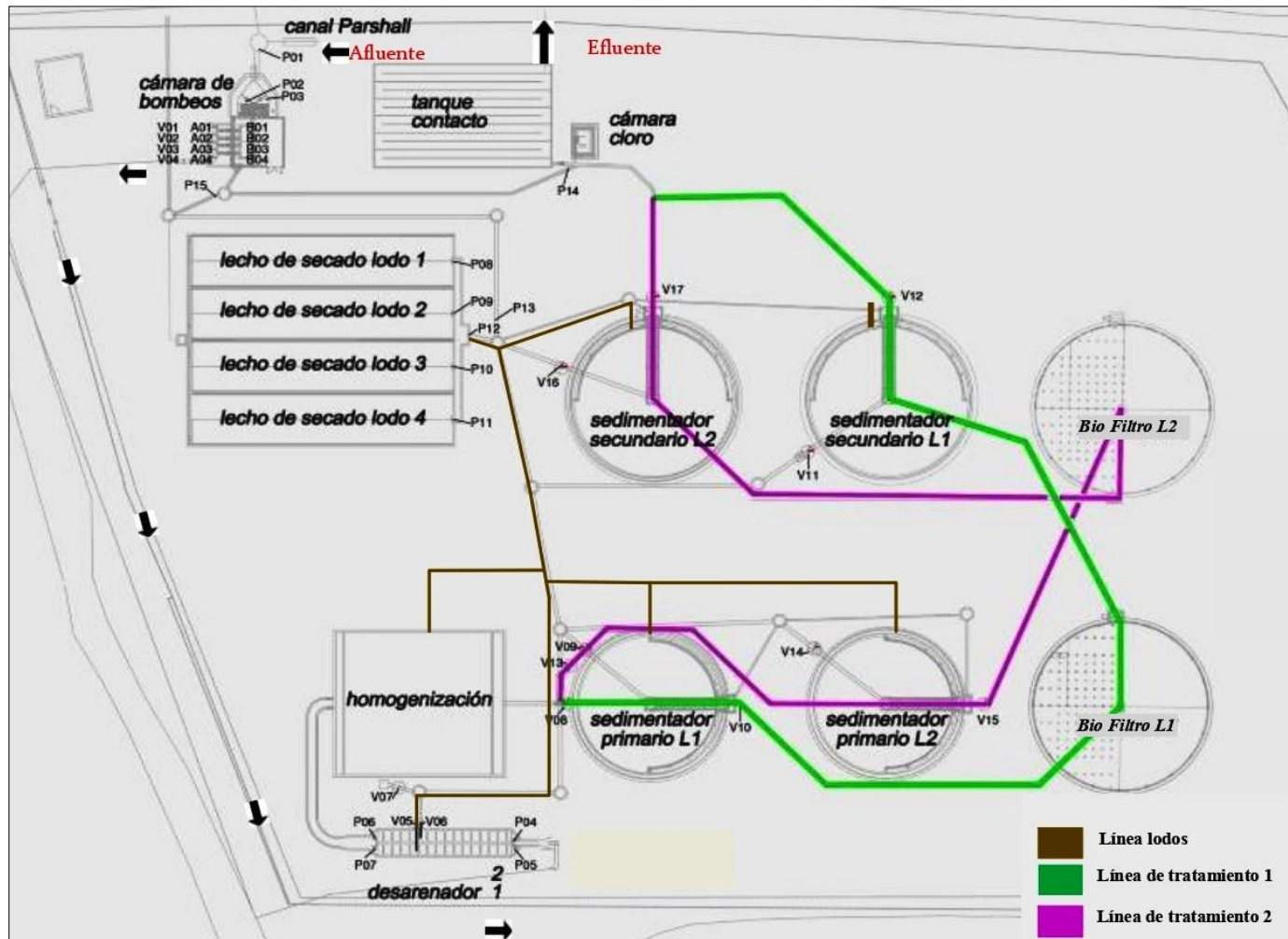


Figura 8. Esquema de la PTAR "El Abra", indicando las líneas de tratamiento.

Una opción adicional, es ofrecer los lodos a sitios pertenecientes al Municipio de Sacaba, donde se los requiera para su uso en áreas verdes, parque o forestación. Esta propuesta de tratamiento de lodos es para la línea de tratamiento 1; para el caso de línea de tratamiento 2 (referir a la Figura 8), sería necesario implementar otro espesador y otro tanque de digestión en base al caudal y el volumen de lodo de la línea, para su buen funcionamiento.

## Conclusiones

- En el proceso de tratamiento actual, es que la línea de lodos adolece de importantes defectos y omisiones que conllevan a costos de operación elevados para su manejo, no sufren ningún proceso de estabilización lo que constituye un serio problema ambiental y sanitario. El área superficial de los lechos de secado es insuficiente para las necesidades de la planta.
- El tratamiento a escala, con plantas, resultó factible en la reducción de volumen de lodo, una vez estabilizado puede emplearse como abono orgánico para recuperación de suelos o para fines agrícolas. Por otro lado, este tipo de tratamiento necesita extensas superficies para tratar todo el volumen de lodo que se genera en la PTAR “El Abra” y un tratamiento convencional (digestor aerobio) es el más adecuado.
- Las caracterizaciones de las muestras indicaron que los lodos no presentan altas concentraciones de metales pesados, pero presentan altas concentraciones de coliformes fecales, en relación a lo establecido en la normativa internacional; el pH varía según los análisis entre 7 - 8 y el color y olor son característicos de los lodos en las diferentes unidades.

- Con el análisis de costos para la implementación del espesador y el digestor aerobio, se pudo concluir que económicamente es viable para la PTAR “El Abra”, porque se haría la adecuación a las condiciones que presenta actualmente la planta, lo cual reduce algunos gastos de construcción civil, además que es de sumamente importante y necesario -por ser una planta compacta- realizar el tratamiento de lodos ya que tiene un valor intangible en beneficio del medio ambiente.

## Referencias consultadas

- Donado H. 2013. Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 86 p.
- EMAPAS (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, Bolivia). 2018. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Abra”: Evaluación de las condiciones de operación de la planta de tratamiento de agua residuales de “El Abra”. Grupo Banco Mundial, Agencia de Cooperación Alemana (GIZ). Cochabamba, Bolivia. 59 p.
- EPA (Environment Protection Agency, Estados Unidos). 2006. Norma 40 CFR Parte 503. Estados Unidos. 30 p.
- García M. 2016. Tratamiento de lodos residuales provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. 128 p.

González I. 2015. Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias. Córdoba, Argentina. 356 p.

tratamiento de aguas residuales domésticas mediante digestión anaerobia. Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. Quito, Ecuador. 122 p.

Normas Oficiales Mexicanas. 2002. NOM- 004-SERMARNAT: Protección ambiental, lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México. 37 p.

Rodríguez T. 2013. Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la Sabana de Bogotá. Bogotá, Colombia. 112 p.

Peñaherrera M. 2015. Estabilización de lodos provenientes de la planta de

*Trabajo recibido el 2 de mayo de 2021 - Trabajo aceptado el 24 de junio de 2022*

## **NUEVA PÁGINA WEB DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN FORRAJES “LA VIOLETA”**

[www.cifumss.agro.bo](http://www.cifumss.agro.bo)

Desde diciembre de 2022, el Centro de Investigación en Forrajes “La Violeta” (CIF-UMSS), cuenta con una página web nueva, con dominio propio, y en la cual se plasman prácticamente todas las publicaciones del CIF, de manera sistematizada, y con carácter de acceso libre (en formato PDF).



### **Acceso a:**

Publicaciones técnicas y divulgativas generadas por el CIF; nuevo número de la revista técnica / científica del CIF: “Forrajes y Semillas Forrajeras”, tesis de grado ejecutadas en el CIF en el año 2022, videos técnicos ....

**... y mucha más información, VISÍTENOS**