



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

**Tratamiento de lodos de fosas sépticas en humedales de flujo
vertical con período de retención de 7 días, en la ciudad de
Cuenca- Ecuador**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores:

ÁLVAREZ LEMA ERIKA VICTORIA

PROAÑO DUQUE JOSÉ ERNESTO

Director:

ING. MARÍA BELÉN ARÉVALO DURAZNO

CUENCA – ECUADOR

2022

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico, de manera especial, a Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi formación profesional; por ser mi fortaleza y por brindarme una vida llena de salud y bienestar.

A mis padres, por todo el apoyo brindado durante mi proceso de preparación académica; por sus consejos, paciencia y apoyo incondicional durante todos estos años. Gracias a ustedes estoy logrando cumplir mis sueños. Ustedes son el pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos, por creer siempre en mí y ayudarme en los momentos más difíciles. Gracias por motivarme siempre y no dejarme sola.

Erika Álvarez Lema

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios, que me ha dado vida y salud para poder cumplir mis sueños.

De manera muy especial, a mis padres José y Ana, quienes a lo largo de mi vida me han demostrado que, con esfuerzo y constancia, todo se puede lograr. Gracias papi y mami por siempre darme su amor y comprensión; sin ustedes no habría podido llegar hasta este punto de mi vida.

A mis hermanos, quienes siempre han estado presentes brindándome un consejo y su apoyo incondicional.

José Proaño Duque

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal docente que conforman la Universidad del Azuay, quienes estuvieron presentes durante todo el transcurso de nuestra formación profesional.

De manera muy especial, a nuestra directora de tesis, la ingeniera María Belén Arévalo, por su apoyo, tiempo y dedicación a lo largo de este trabajo.

A la empresa ETAPA EP, por el apoyo brindado durante este estudio.

Y un agradecimiento especial a la ingeniera Andrea Narváez y al ingeniero Jorge García, quienes se encuentran involucrados en el proyecto.

Índice de Contenido

Introducción.....	9
Antecedentes.....	10
Justificación.....	10
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos.....	11
CAPÍTULO 1	12
Revisión Literaria.....	12
1.1 Manejo de Lodos Residuales.....	12
1.2 Lodos de fosas sépticas	13
1.2.1 Fosas sépticas.....	13
1.2.2 Lodos	15
1.3 Humedales de flujo vertical.....	18
1.3.1 Definición, aplicaciones, ventajas y desventajas	18
1.3.2 Humedales de Flujo Vertical para el tratamiento de lodos	19
1.4 Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos.....	19
1.4.1 Sólidos	19
1.4.2 Temperatura	20
1.4.3 Color	20
1.4.4 Olor	20
1.4.5 Humedad.....	21
1.4.6 Materia orgánica biodegradable.....	21
1.4.7 Oxígeno disuelto	21
1.4.8 pH	22
1.4.9 Coliformes	22
CAPÍTULO 2	23
Metodología	23
2.1 Generalidades del área de estudio	23
2.2 Monitoreo	24
2.2.1 Toma de muestras	24
2.2.2 Cuantificación del tiempo de descarga	25

2.2.3 Carga hidráulica.....	26
2.2.4 Parámetros analizados y frecuencia de medición	26
2.2.5 Análisis Físico - Químico	27
CAPÍTULO 3	30
Resultados y discusión	30
3.1 Características generales de las descargas en el humedal	30
3.2 Tasa de carga de sólidos	32
3.2.1 Cuantificación del tiempo de entrada	32
3.2.2 Cálculo de la carga hidráulica.....	32
3.2.3 Cálculo de la tasa de carga de sólidos.....	34
3.3 Análisis físico – químico	35
3.3.1 Humedad en el lodo depositado.....	35
3.3.2 Materia orgánica	36
Conclusiones y recomendaciones	50
Conclusiones	50
Recomendaciones.....	51
Referencias bibliográficas.....	53
Anexos	56
5.1 Anexos fotográficos.....	56
5.1.1 Descarga 1 del humedal.....	56
5.1.2 Descarga 2 del humedal.....	56
5.1.3 Descarga 3 del humedal.....	56
5.1.4 Descarga 4 del humedal.....	57
5.1.5 Descarga 6 del humedal.....	57
5.1.6 Descarga 7 del humedal.....	57
5.1.7 Descarga 8 del humedal.....	57
5.1.8 Descarga 9 del humedal.....	58
5.1.9 Labores de mantenimiento del humedal	58
5.1.10 Descarga 11 del humedal.....	58
5.1.11 Descarga 12 del humedal.....	58
5.1.12 Descarga 13 del humedal.....	59
5.1.13 Descarga 14 del humedal.....	59

5.1.14 Descarga 15 del humedal.....	59
5.2 Anexo de tablas	59
5.2.1 Tabla de registro y observaciones.....	59
5.2.2 Tabla de humedad.....	62
5.2.3 Tabla carga hidráulica y tasa de carga de sólidos.....	63
5.2.4 Tabla DBO ₅ y DQO.....	64
5.2.5 Tabla de Sólidos Totales.....	65
5.2.6 Tabla de Sólidos Volátiles	66
5.2.7 Tabla de Sólidos Totales en lodos	67
5.2.8 Tabla de Sólidos Volátiles en lodos.....	68

Índice de Figuras

<i>Figura 1.1: Cadena de saneamiento y manejo de lodos fecales.....</i>	13
<i>Figura 2.1: Localización de los humedales piloto dentro del PTAR de Ucubamba.....</i>	23
<i>Figura 2.2: Humedal piloto</i>	24
<i>Figura 2.3: Toma de muestra de lodo.....</i>	28
<i>Figura 2.4: Medidor de humedad HB43-S Halogen.....</i>	29
<i>Figura 3.1: Porcentaje de humedad a razón de descarga.....</i>	36
<i>Figura 3.2: Carga de DBO₅ a razón de las descargas</i>	37
<i>Figura 3.3: Porcentaje de remoción del DBO₅</i>	38
<i>Figura 3.4: Carga de DQO a razón de las descargas.</i>	39
<i>Figura 3.5: Porcentaje de remoción del DQO.</i>	40
<i>Figura 3.6: Carga de sólidos totales.</i>	41
<i>Figura 3.7: Porcentaje de remoción de sólidos totales</i>	42
<i>Figura 3.8: Carga de sólidos volátiles</i>	43
<i>Figura 3.9: Porcentaje de remoción de sólidos volátiles</i>	44
<i>Figura 3.10: Carga de sólidos totales del lodo en el humedal.</i>	45
<i>Figura 3.11: Carga de sólidos volátiles del lodo en el humedal.</i>	46

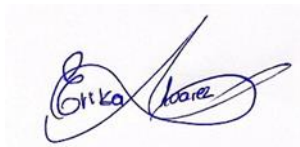
Índice de Tablas

<i>Tabla 1.1: Rendimiento de depuración de fosas sépticas</i>	14
<i>Tabla 2.1: Parámetros analizados y frecuencia de medición</i>	27
<i>Tabla 3.1: Características de las descargas en el humedal</i>	30
<i>Tabla 3.2: Cálculo del tiempo de entrada</i>	32
<i>Tabla 3.3: Cálculo de la carga hidráulica</i>	33
<i>Tabla 3.4: Cálculo de la carga de sólidos totales de entrada del humedal</i>	34
<i>Tabla 3.5: Promedio del lodo crudo, filtrado de la unidad de lodos (después de la retención de 7 días)</i>	47
<i>Tabla 3.6: Promedio del lodo crudo, filtrado de la unidad de lodos (después de la retención de 7 días)</i>	47
<i>Tabla 3.7: Eficiencia de remoción promedio de la materia orgánica</i>	48
<i>Tabla 3.8: Eficiencia de remoción promedio de la materia orgánica del estudio analizado</i>	48

Resumen

Cuando los lodos de fosas sépticas no se tratan de una manera correcta traen impactos negativos ambientales. El objetivo de este estudio es calcular la eficiencia de la aplicación del humedal de flujo vertical tipo francés con un periodo de retención de 7 días para el tratamiento de lodos de fosas sépticas y comprobar si el efluente se puede descargar de forma segura en un cuerpo receptor. El sistema de tratamiento tiene un periodo de alimentación que será controlado manualmente. Se estimará la carga aplicada según el volumen de lodo depositado en el humedal, así mismo, se tomarán muestras que serán analizadas en laboratorio. Este trabajo nos ayudará a identificar el desempeño de deshidratación y estabilización de las tasas de carga de sólidos. Además, saber si el efluente puede descargarse de manera segura o necesita otro tratamiento adicional.

Palabras clave: lodos, fosa séptica, humedal de flujo vertical tipo francés, periodo de retención, sistema de tratamiento.



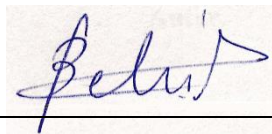
Erika Álvarez Lema

Autor.



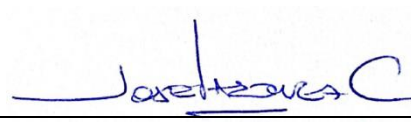
José Proaño Duque

Autor.



Ing. Belén Arévalo Durazno

Directora de tesis




Ing. José Vázquez Calero

Director de Escuela

Abstract

When septic tank sludge is not treated in a correct way, it brings negative environmental impacts. The objective of this study was to calculate the efficiency of the application of the French vertical flow wetland with a retention period of 7 days for the treatment of septic tank sludge and to check if the effluent can be safely discharged into a receiving body. The treatment system has a feeding period that is manually controlled. The applied load was estimated according to the volume of sludge deposited in the wetland, likewise, samples were taken to be analyzed in the laboratory. This work will help us identify the dehydration and stabilization performance of solids load rates and know if the effluent can be discharged safely or needs other additional treatment.

Keywords: sludge, septic tank, French type vertical flow wetland, retention period, treatment system.



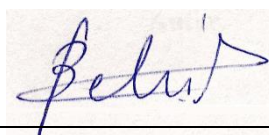
Erika Alvarez Lema

Author.



José Proaño Duque

Author.



Ing. Belén Arévalo Durazno

Thesis director

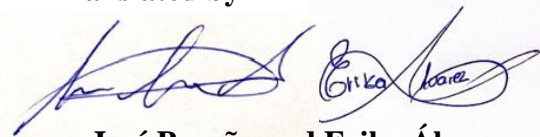


Ing. José Vázquez Calero

School Director



Translated by



José Proaño and Erika Álvarez

Introducción

En la sociedad actual y futura existe la gran necesidad de encontrar una solución funcional y sostenible para el manejo de los lodos provenientes de fosas sépticas. Estos lodos son generados durante el tratamiento de las aguas residuales, las cuales son producto de las actividades domésticas, comerciales e industriales del ser humano. Silva (2019) menciona que la cantidad total de fango o lodo producido y su composición está estrechamente relacionado con las características del influente y del tipo de tratamiento de aguas residuales utilizado.

Debido a la falta de un sistema de tratamiento adecuado para los lodos generados en las fosas sépticas, surgen varios problemas ambientales y de salud especialmente en los países en vías de desarrollo, por lo que es necesario encontrar un sistema de tratamiento que sea simple, de bajo costo y que se ajuste a las condiciones de este tipo de regiones. Manjate (2016) menciona que el tratamiento de lodos residuales utilizando humedales construidos, aparece como una alternativa eficiente para el saneamiento descentralizado en los países en desarrollo. Este tipo de sistema de saneamiento se caracteriza por un bajo costo de construcción, mantenimiento y operación, así como una alta eficiencia en la retención y remoción de contaminantes.

Strande, et al. (2014) mencionan que la gestión eficaz de los sistemas de Manejo de Lodos Fecales (MLF) implica transacciones e interacciones entre una variedad de personas y organizaciones de los sectores público, privado y la sociedad civil, en cada paso de la cadena de servicios: desde el usuario en su hogar, pasando por las compañías de recolección y transporte, hasta los operadores de las estaciones de tratamiento y los usuarios finales de los lodos tratados. Los sistemas de alcantarillado y el MLF pueden ser complementarios y coexisten frecuentemente en los países de bajos ingresos. En el Ecuador rural, por ejemplo, el 25% de la población todavía no tiene acceso a instalaciones sanitarias mejoradas. De tal modo que, teniendo en cuenta los limitados recursos financieros disponibles en los países en desarrollo, a decir de Alvarado et al. (2017) existe

una creciente demanda de sistemas de tratamiento de aguas y lodos residuales ambientalmente y económicamente sostenibles.

Antecedentes

Alrededor de la ciudad de Cuenca existe un alto porcentaje de viviendas que utilizan fosas sépticas, por lo que requieren del servicio de limpieza de las mismas cada cierto tiempo. Esta actividad es realizada por la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP), mediante el uso de *hidrocleaners*.

Sin embargo, al no contar con un correcto diseño para el tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas, estos equipos descargan dichos lodos directamente en las algunas aireadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ucubamba, lo que genera problemas medioambientales como la acumulación de lodos o el material grueso fino e inerte, constituyendo un impacto negativo para la planta de tratamiento.

Justificación

Los lodos provenientes de fosas sépticas en la ciudad de Cuenca son depositados de manera directa en la laguna aireada de la PTAR de Ucubamba. Esta PTAR no cuenta con un diseño para el tratamiento adecuado de dichos desechos, lo que ocasiona una pérdida de eficiencia y capacidad de la planta. Por esta razón, la implementación de los humedales construidos de flujo vertical, representa una alternativa sostenible para el tratamiento de los lodos de fosas sépticas. Este sistema es de bajo coste, fácil accesibilidad, control, operación y se puede depositar los lodos durante un periodo determinado, para, posteriormente, evaluar el nivel de remoción de los contaminantes, mediante el uso de estos humedales.

Objetivos

Objetivo general

Investigar la eficiencia de los humedales construidos de flujo vertical tipo francés, para el tratamiento de lodos de fosas sépticas en la ciudad de Cuenca, considerando un periodo de retención de 7 días dentro del humedal.

Objetivos específicos

1. Planificar la estrategia operativa que brinde el mejor desempeño del humedal construido de flujo vertical considerando un periodo de retención.
2. Determinar la deshidratación y mineralización del lodo en el humedal considerando un periodo de retención.
3. Evaluar y analizar los resultados obtenidos del efluente para determinar la eficiencia del humedal artificial considerando un periodo de retención.

CAPÍTULO 1

Revisión Literaria

1.1 Manejo de Lodos Residuales

El manejo de lodos de fosas sépticas es un servicio de saneamiento basado en el vaciado, recolección, transporte, tratamiento y el uso o disposición final de los lodos. Los sistemas descentralizados se basan en una estructura de almacenamiento que, al momento de llenarse, requieren un vaciado de los lodos que salen sin tratamiento y, a su vez, contaminando el medio ambiente con organismos patógenos, afectando a la salud de los seres humanos de la zona.

El manejo eficaz de los sistemas de MLF requiere una planificación que involucra personas y organizaciones de los sectores público, privado y la sociedad civil en cada paso de la cadena de servicios que van desde el usuario en su hogar, pasando por las compañías de recolección y transporte, hasta los operadores de las estaciones de tratamiento y los usuarios finales de los lodos tratados.

El servicio de saneamiento y manejo de los lodos fecales es una cadena en la que se puede presentar problemas relacionados con distintos factores. En este sentido, Strande, et al. (2014) describen los siguientes factores: los hogares que no pueden afrontar el costo de los servicios profesionales de vaciado; camiones de recolección y transporte que no pueden ingresar a las calles y sendas estrechas; operadores que no alcanzan a pagar mucho transporte de LF hasta las estaciones de tratamiento; y, la falta de lugares legítimos de descarga y tratamiento. Para el diseño de un sistema MLF eficiente y sostenible se

requiere una solución óptima a cada uno de los problemas, es decir, un enfoque sistémico que analice paso a paso esta cadena de servicios.

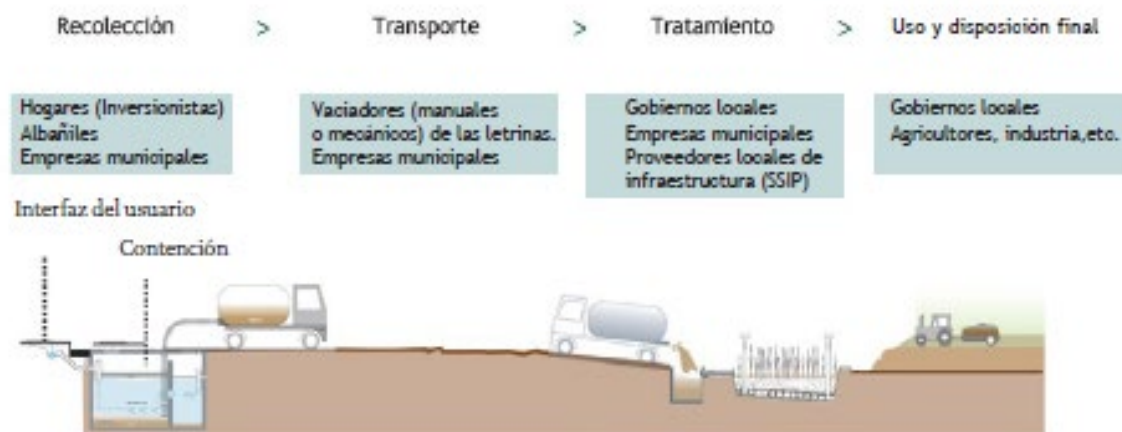


Figura 1.1: Cadena de saneamiento y manejo de lodos fecales.

Fuente: Strande, et al. (2014).

1.2 Lodos de fosas sépticas

1.2.1 Fosas sépticas

Las fosas sépticas son un sistema descentralizado encargado del tratamiento de aguas grises y aguas negras; es considerado como un tanque de sedimentación cuya forma puede ser rectangular o cilíndrica. Generalmente, son construidos a base de concreto, fibra de vidrio, polietileno, ferrocemento, plástico y bloques de concreto; están disponibles como unidades prefabricadas. Los tanques de fibra de vidrio y de plástico son ligeros y de uso frecuente en los sitios donde se dificulta el transporte de los tanques de concreto, según aseguran Lucho, et al., (2015).

Las fosas sépticas son diseñadas para retener las aguas residuales por un periodo de tiempo necesario para que las partículas suspendidas en el líquido sean separadas. Las partículas flotarán o sedimentarán, dependiendo si son más densas o menos densas que el fluido que las transporta. Las grasas, aceites y demás material ligero, tienden a acumularse en la superficie en donde forma una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo (Mendez, et al., 2007).

En este sistema, los sólidos flotantes, las grasas y los aceites, tienden a acumularse en la superficie, en donde forma una capa flotante de espuma o nata; mientras que, los lodos sedimentan en el fondo del tanque (Mendez, et al., 2007). Es decir, se pueden identificar tres zonas principales en estos tanques: la zona inferior o de lodos, la zona superior o de natas y la zona central o sobrenadante, que es en donde ocurre la separación de partículas.

La zona de lodos, que es en donde se queda almacenada la materia orgánica, se encuentra sometida a un proceso de descomposición anaerobia en donde se obtienen compuestos y gases. El lodo se acumula en el fondo del tanque, lo que provoca que se reduzca la capacidad volumétrica del tanque, razón por la cual, es necesario realizar el vaciado cada cierto periodo de tiempo.

La calidad de los lodos provenientes de las fosas sépticas es difícil de determinar; sin embargo, algunos autores sugieren que el rendimiento de depuración de este sistema es el siguiente:

Tabla 1.1: Rendimiento de depuración de fosas sépticas

Parámetro	Reducción %
DBO ₅	30-50
Sólidos en suspensión	50-70
DQO	20-30
Coliformes fecales	0-1

Fuente: Mendez, et al. (2007).

Con los datos mostrados en la Tabla 1.1, se puede inferir que emplear fosas sépticas ayudan a obtener un tratamiento primario del efluente, por lo que estos residuos deben ser conducidos en un transporte especializado y someterse a tratamientos posteriores y, de esta forma, disminuir el impacto ambiental.

1.2.2 Lodos

1.2.2.1 Origen

La Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 define a los lodos como sólidos, con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Andreoli, et al. (2007) designan a los lodos residuales como los subproductos sólidos del tratamiento de aguas residuales. Mediante los procesos de tratamiento biológico, parte de la materia orgánica es absorbida y se convierte en biosólidos o lodos secundarios.

Los lodos de los tanques sépticos son definidos por Mendez, et al. (2007) como el material semilíquido que se extrae de los tanques sépticos, el cual, se ha depositado en el fondo durante un periodo de años; además, está formado por el líquido y por una capa superficial de espuma. Estos lodos contienen arena, agua, aceites, materia orgánica, compuestos potencialmente tóxicos, metales pesados y sales inocuas, que pueden ser removidos mediante procesos de tratamiento.

Los lodos de fosas sépticas son muy diluidos; su composición es de alrededor del 97% de agua y contiene grandes concentraciones de materia orgánica. El lodo fecal se produce a partir de tecnologías de saneamiento *in situ*, por ejemplo, letrinas de pozo y fosas sépticas, y es el resultado de la recolección, el almacenamiento o el tratamiento de una combinación de excrementos y aguas negras, con o sin aguas grises de estas tecnologías (Kengne, et al., 2014).

1.2.2.2 Caracterización del lodo de fosas sépticas

Para realizar el estudio de los lodos provenientes de fosas sépticas, es necesario la caracterización de los lodos; de esta manera, se pueden evaluar sus características físicas, químicas y biológicas. Las características de los lodos dependen de su origen, es decir, de dónde fueron retiradas las aguas residuales y del proceso de su obtención; además, permiten conocer el grado de contaminación y la determinación del tratamiento apropiado.

Los lodos, en dependencia de su grado de estabilización, se clasifican en dos tipos: frescos y digeridos. Los lodos frescos son aquellos que no han recibido ningún tipo de tratamiento y se caracterizan por un olor muy desagradable y por su alto contenido de gérmenes patógenos. Los lodos digeridos, en cambio, se originan al someter los lodos frescos a un proceso de digestión aerobia o anaerobia; tienen un olor menos desagradable y menor contenido de gérmenes patógenos (Lara, 2016). Los dos tipos de lodos deben estar sometidos a un proceso de deshidratación.

Los lodos provenientes de fosas sépticas se caracterizan por su contenido significativo de sólidos y materia orgánica, además contienen arena, aceite y grasa. La materia orgánica retenida en el fondo del tanque se somete a un proceso de descomposición anaerobia y facultativa, transformándose en compuestos y gases más estables como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y sulfuro de hidrogeno (H_2S).

El lodo que se acumula en el fondo del tanque séptico está compuesto, sobre todo, de hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina, la cual, forma parte de la composición del papel higiénico; aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que se acumulan (Méndez et al., 2007).

El 97% del lodo proveniente de fosas sépticas es agua, por lo que es muy diluido y tiene altas concentraciones de materia orgánica, es decir, un DQO que sobrepasa los

3000 mg/l. La Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos de Norte América, US EPA (1999) menciona que los factores que afectan la características físicas de los residuos sépticos son: el clima, los hábitos del usuario, el tamaño del tanque séptico, el diseño, la frecuencia de bombeo, las características del suministro de agua y el material de tuberías; así como el uso de dispositivos de conservación del agua, trituradores de basura, productos químicos caseros y compuestos reductores de la dureza del agua.

1.2.2.3 Disposición de lodo

Tanto las aguas residuales como los lodos depositados en el fondo de las fosas sépticas, necesitan una disposición final y, en estos, se deben conocer las características físicas, químicas, corrosivas, explosivas, tóxicas, infecciosas, reactivas y biológicas, para determinar si el lodo debe ser desechado o si es que mediante tratamientos adicionales puede ser usado. Strande (2014) menciona que los lodos pueden recibir este tratamiento en un tanque de sedimentación y espesamiento o en un lecho de secado, y el efluente puede ser tratado en un humedal artificial. Es decir, el lodo depositado antes de su disposición final puede ser tratado mediante el sistema de tratamiento de los humedales artificiales de flujo vertical, incluso puede pasar en el humedal por algunos años antes de ser removido.

Para la disposición final de los lodos fecales es necesaria la realización de varios procesos, con el fin de que estos puedan ser depositados de manera segura. Existen varias tecnologías de tratamiento de lodos fecales, por lo que se debe conocer perfectamente cuál es la meta final de los lodos para el producto que se generará posteriormente. Por ejemplo: si será destinado como producto seco para agricultura, entonces, debe existir la separación del agua y reducción de patógenos; si la meta es quemar los lodos para aprovechar la energía, se enfatiza la deshidratación y no la reducción de patógenos.

1.3 Humedales de flujo vertical

1.3.1 Definición, aplicaciones, ventajas y desventajas

La Asociación Internacional del Agua (2000) (IWA, por sus siglas en inglés), define un humedal como una zona inundada o saturada, bien sea por aguas superficiales i/o aguas subterráneas y con una frecuencia, duración y profundidad suficientes para mantener especies de plantas predominantemente adaptadas a crecer en suelos saturados. Estas zonas húmedas se han aprovechado para el control de la contaminación, generada por las aguas residuales. Una de las funciones de un humedal artificial es la depuración de aguas residuales, así como mejorar la calidad del medio ambiente, restaurar o crear nichos ecológicos que generan zonas de retención para las crecidas de ríos.

Molle, et al. (2005) mencionan que los humedales artificiales más comunes en Francia son los humedales artificiales de flujo vertical en dos etapas. La característica principal de este diseño es que las aguas residuales pueden ser depositadas directamente en la primera etapa, en donde la gestión de lodos es mucho más sencilla. El diseño más común de estos humedales consta de dos etapas; la primera, de 3 filtros y es en donde se realiza la fase de alimentación; y, la segunda, consta de dos filtros, en donde se completa el tratamiento.

Tilley, et al. (2018) definen al humedal artificial de flujo vertical como un lecho filtrante con plantas que drena en el fondo. Las aguas residuales son vertidas o dosificadas desde un punto más alto en la superficie, utilizando un sistema mecánico de dosificación. El agua fluye verticalmente a través de la matriz de filtrado hacia el fondo de la cuenca, donde es recolectada por un tubo de drenaje.

Las ventajas del uso de humedales de flujo vertical son las siguientes:

- Alta reducción de DBO, sólidos suspendidos y patógenos.
- Tiene una gran capacidad de nitrificación.
- Debido a sus criterios de diseño, requiere menos espacio.

- Su costo de operación es relativamente bajo, debido a que no existe un alto gasto energético.

Díaz (2015) menciona que la principal desventaja de los humedales consiste en que se requieren áreas de gran tamaño para lograr una buena remoción. Moncada (2016), en cambio, señala las siguientes desventajas:

- Requiere de mayores espacios para su implementación en comparación con tratamientos físicoquímicos.
- Requiere de un proceso de puesta en marcha y adaptación.

1.3.2 Humedales de Flujo Vertical para el tratamiento de lodos

Los humedales de flujo vertical, también conocidos como lechos de secado de lodos con vegetación de macrófitos, son esenciales para la deshidratación, estabilización y humificación de lodos de fosas sépticas. MI. Kengne, et al. (2014) mencionan que los lodos son depositados sobre el lecho, logrando que la parte sólida sea retenida en la superficie de la matriz filtrante donde se mineraliza; mientras que, la fase líquida sale del sistema para su posterior tratamiento. El sistema se basa en plantas emergentes que desempeñan un papel importante en la deshidratación de lodos, lo que permite un funcionamiento a largo plazo.

1.4 Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos

1.4.1 Sólidos

- Sólidos suspendidos totales (SST)

Severiche & Acevedo (2013) consideran que los sólidos suspendidos totales (SST) se basan en el incremento de peso tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a (103-105) ° C.

- Sólidos Volátiles

Corresponde a la parte que queda luego de que se seca la muestra, pero se pierde, con el proceso de incineración. El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, considerando que a 550 ± 50 °C, la materia orgánica se oxida a una velocidad razonable en forma de gas como CO₂ y agua que se volatilizan, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas (Argandoña & Macías, 2013).

1.4.2 Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, debido a la incorporación de agua caliente, precedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21° C, pudiendo tomar 15,6 °C como valor representativo (Metcalf & Eddy, Inc., 1995).

1.4.3 Color

Esta propiedad es esencial para clasificar las aguas residuales de manera correcta; es decir, cuando el agua residual es reciente, presenta un color grisáceo y con el paso del tiempo o el transporte, a través de redes de alcantarillado, su color se torna a gris oscuro hasta adquirir un color negro, estado en el cual el agua residual ya se considera como séptica.

1.4.4 Olor

Las aguas residuales de fosas sépticas son causantes de malos olores debido a la descomposición de la materia orgánica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno, que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de organismos anaerobios (Metcalf & Eddy, Inc., 1995).

1.4.5 Humedad

Este factor cambia en dependencia de las condiciones meteorológicas; se mide con un medidor de humedad absoluta. El material se seca en una cámara de calentamiento, determinando la humedad basada en la evapotranspiración del agua que contiene la muestra.

1.4.6 Materia orgánica biodegradable

- DBO

Se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalo, 2003). Raffo y Ruiz (2014) definen la DBO de cinco días o DBO_5 a la cantidad total de oxígeno consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación. Este indicador es el más importante para medir la contaminación de las aguas residuales.

- DQO

La demanda química de oxígeno (DQO) indica el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua; se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable mediante un agente químico oxidante, generalmente, el dicromato de potasio que es el agente oxidante por su característica de oxidar casi todos los compuestos orgánicos (con excepción de los ácidos grasos de bajo peso molecular), en un medio ácido y a alta temperatura. Es muy usado para medir la materia orgánica en las aguas residuales urbanas e industriales (Raffo & Ruiz, 2014).

1.4.7 Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a determinada temperatura; su presencia está directamente relacionada con la presencia de organismos en el agua. La calidad del agua se relaciona con el nivel de oxígeno disuelto en el que se encuentre. Si

el nivel es muy alto o muy bajo, el agua es inhabitable e inconsumible. Si se encuentra en el nivel medio, el agua es de buena calidad.

1.4.8 pH

El potencial de hidrógeno describe la concentración de iones de hidrógeno que hay en una solución. Se lleva una escala con niveles de 0 a 14; en donde los valores de 0-6 indican una solución ácida, el pH de 8-14 es una solución básica y el pH7 es neutro. En el tratamiento de aguas residuales es necesario controlar los niveles de pH a fin de garantizar unas condiciones óptimas para conseguir las reacciones químicas o microbianas oportunas y que el proceso funcione de manera eficiente.

1.4.9 Coliformes

Son indicadores de contaminación. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004). La presencia de coliformes ayuda a medir la contaminación del agua residual, ya que los organismos existentes son difíciles de identificar.

CAPÍTULO 2

Metodología

2.1 Generalidades del área de estudio

La ciudad de Cuenca se encuentra a 2.538 m.s.n.m. y es la capital de la provincia del Azuay. Su sistema hidrográfico está conformado por cuatro ríos principales: Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui, que atraviesan la ciudad de oeste a este.

El estudio del presente trabajo se lo realizó en un humedal piloto de flujo vertical (Figura 2.2), que se encuentra construido en la PTAR de Ucubamba, ubicada en la parroquia Machángara, al Noroeste de la ciudad de Cuenca como se aprecia en la Figura 2.1, en el cual, se realizaron las respectivas descargas de los lodos de fosas sépticas del cantón Cuenca.



*Figura 2.1: Localización de los humedales piloto dentro del PTAR de Ucubamba.
Fuente: Google Earth (2022).*



Figura 2.2: Humedal piloto
Fuente: Autoría propia (2022).

2.2 Monitoreo

2.2.1 Toma de muestras

Para el desarrollo del estudio se necesitó realizar descargas de los lodos de fosas sépticas provenientes de los *hidrocleaners*, directamente en el humedal; posteriormente, se realizó la toma de muestras en campo, siendo las muestras de entrada las tomadas del lodo afluente al momento de la descarga en el humedal y las muestras de salida, tomadas del efluente líquido 7 días después. Adicionalmente, se realizó la respectiva toma de muestras y análisis de los lodos depositados sobre el lecho, siendo los datos de entrada los tomados al día siguiente de la descarga en el humedal y después de 7 días previo a la siguiente descarga los datos de salida. Las herramientas usadas en el proceso fueron las siguientes:

- Balde graduado
- Balde plástico
- Embudo
- Probeta
- Tarro de plástico
- Recipiente para muestras
- Cronómetro

- Traje de protección
- Guantes
- Mascarilla

Procedimiento:

ENTRADA

La toma de muestras de entrada se realiza con la válvula de salida del humedal cerrada, mediante el siguiente procedimiento:

1. Al iniciar la descarga se mide el tiempo de duración con el cronómetro; para ello, se toman muestras al inicio, mitad y final de la descarga con el tarro plástico.
2. Cada muestra se deposita en el balde plástico, de manera que la muestra final sea homogénea y representativa.
3. De la muestra final se extraen 2 litros para realizar los análisis respectivos.

SALIDA

1. Transcurridos 7 días desde la descarga al humedal se abre la válvula de salida.
2. En el momento en que empieza a salir líquido, con ayuda de la probeta se toman muestras en intervalos de 2 minutos; en un inicio se toman muestras de 1000 ml mientras el caudal no muestra variación aparente. Cuando el caudal empieza a disminuir se toman muestras de menor volumen hasta que el humedal se vacíe.
3. Las muestras recolectadas se depositan en un balde plástico para obtener una muestra final homogénea, de la cual, se toman 2 litros para realizar los análisis respectivos.

2.2.2 Cuantificación del tiempo de descarga

Al mantener la válvula de salida cerrada, el volumen de lodo depositado no podía sobrepasar la superficie del humedal, por lo tanto, se tiene que calcular el tiempo de descarga al humedal basado en el caudal de salida del *hidrocleaner*, que no siempre será

el mismo entre descargas. Para la toma del caudal se utiliza un segundo cronómetro, el balde graduado y, en base a la ecuación 1, se calcula el caudal:

$$Caudal = \frac{Volumen \text{ (litros)}}{Tiempo \text{ (segundos)}} \quad (1)$$

Después de haber obtenido el caudal se evalúa el tiempo total de descarga, utilizando un factor de volumen promedio de descarga de 1.3m^3 correspondiente a la capacidad del humedal de flujo vertical y un factor de conversión $f_c = \frac{3}{50}$ para obtener el tiempo en minutos para la descarga en proceso a través de la ecuación 2:

$$Tiempo \text{ (minutos)} = \frac{Volumen \text{ promedio } (m^3)}{Caudal \left(\frac{\text{litro}}{\text{segundo}} \right) * f_c * \left(\frac{m^3 * \text{segundo}}{\text{litro} * \text{min}} \right)} \quad (2)$$

Se obtiene, de esta forma, el tiempo total de la descarga en proceso.

2.2.3 Carga hidráulica

Según Romero & Borja (2015), la Tasa de Carga Hidráulica o *Hydraulic Loading Rate* (HLR) relaciona el caudal a tratar con el área del humedal, mediante la ecuación 3:

$$HLR = \frac{\text{caudal medio}}{\text{área del humedal}} \frac{m}{\text{día}} \quad (3)$$

2.2.4 Parámetros analizados y frecuencia de medición

Los datos proporcionados deben ser controlados correctamente; esto se puede realizar mediante las distintas variables obtenidas a base de los periodos de descanso al que estuvo sometido el humedal. Entre las variables analizadas están el DBO₅, DQO, ST y SV estos análisis se realizaron al lodo afluente y al efluente líquido después de haber realizado el muestreo en campo. En cambio, los análisis de ST y SV se realizaron en el lodo que queda 24 horas después de haber depositado el lodo en la cama del humedal y previo a la siguiente descarga del hidrocleaner. En la Tabla 2.1 se presentan los parámetros

y la frecuencia promedio que fueron analizados, para lograr un correcto manejo de los resultados.

Tabla 2.1: Parámetros analizados y frecuencia de medición

Parámetros	Frecuencia
Descarga de Hidrocleaner	1/semana
DBO	1/semana
DQO	1/semana
Sólidos totales	2/semana
Sólidos volátiles	2/semana
Humedad	2/semana

Fuente: Autoría propia (2022).

2.2.5 Análisis Físico - Químico

2.2.5.1 Análisis DBO Y DQO

El estudio y análisis del DBO fue llevado a cabo mediante el proceso de respirometría ejecutado en un sistema modelo BD 600, realizado a base del método que se detalla a continuación:

Las bacterias del agua residual depositada, consumen el oxígeno disuelto de la muestra, que es reemplazado por el oxígeno que se concentra en la cámara de aire del frasco de la muestra. El dióxido de carbono producido queda combinado químicamente por una solución de hidróxido de potasio, que se encuentra dentro de un pequeño depósito en el interior del frasco; así se produce un descenso de la presión. Este descenso de presión es directamente proporcional al valor DBO que es registrado por el sensor. El valor de DBO se visualizará directamente en mg/l (PCE Instruments, 2018).

El análisis de DQO se realizó en base al método estándar, utilizando el fotómetro MD 100.

2.2.5.2 Análisis sólidos totales y sólidos volátiles

Los análisis de los sólidos totales y sólidos volátiles se los realizó con el método estándar: *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

2.2.5.3 Análisis de Humedad

Para un correcto análisis de la humedad de los lodos se tomó la muestra al día siguiente de la descarga del *hidrocleaner*, y otra muestra 7 días después de alimentar al humedal, previo a su descarga; sin embargo, cuando los tiempos entre alimentaciones del humedal eran largos, se optó por tomar una muestra de humedad intermedia.



Figura 2.3: Toma de muestra de lodo.
Fuente: Autoría propia (2022).

La toma de muestras consistió en recoger muestras pequeñas de distintas partes del humedal para analizarlas posteriormente.

La humedad de los lodos se determinó mediante el METTLER TOLEDO HB43-S Halogen como se muestra en la Figura 2.4. Este equipo trabaja según el principio termogravimétrico que inicialmente determina el peso de la muestra y a continuación aplica calor de manera rápida, evaporando la humedad de la muestra. Durante el desecado, el equipo calcula continuamente el peso de la muestra, entregando al final del proceso el contenido de humedad en porcentaje.



Figura 2.4: Medidor de humedad HB43-S Halogen.

La máquina utiliza una muestra entre 2.6 a 3.0 gr de lodo, y el tiempo empleado para el análisis es de alrededor de 30 minutos a una hora, dependiendo de la humedad y el peso de la muestra.

CAPÍTULO 3

Resultados y discusión

3.1 Características generales de las descargas en el humedal

La información obtenida mediante inspección visual, de las diferentes descargas se detalla a continuación en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1: Características de las descargas en el humedal

Descarga	Fecha	Volumen (m3)	Observaciones
1	10/8/2021	2.00	La descarga en su mayor parte era líquida de olor medio y bajo contenido de sólidos y basura.
2	17/08/2021	1.30	La mayor parte de la descarga fue líquida de olor intermedio.
3	24/08/2021	1.30	La descarga en su mayor parte fue líquida de olor fuerte.
4	31/08/2021	1.30	La mayor parte de la descarga contenía líquido levemente espeso de olor fuerte con un alto contenido de sólidos.
5	14/9/2021	1.40	La descarga en su mayor parte fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor leve.
6	28/9/2021	1.40	La descarga en su mayor parte fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor leve.
7	5/10/2021	1.40	La descarga en su mayor parte fue líquida con alto contenido de sólidos (pepas de frutas y vegetales) y basura (tapas de envases y envolturas de plástico) de olor medio.
8	13/10/2021	1.23	La descarga en su mayor parte fue líquida con poco contenido de sólidos de olor leve.
9	9/11/2021	1.00	La descarga fue líquida con olor casi inexistente.
10	16/11/2021	1.40	La descarga fue líquida de olor fuerte y alto contenido de sólidos.
11	30/11/2021	1.80	La descarga fue líquida con un contenido de sólidos medio y olor fuerte.
12	8/12/2021	1.00	La descarga fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor medio.
13	12/1/2022	1.00	La descarga fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor medio.

14	19/1/2022	0.80	La descarga fue líquida sin olor aparente con un alto contenido de sólidos.
15	7/2/2022	1.20	La descarga fue líquida con contenido de sólidos bajo y olor medio.
Volumen promedio		1.30	

Fuente: Autoría propia (2022).

En la Tabla 3.1 se observa que la frecuencia de las descargas dependía únicamente de la disponibilidad del *hidrocleaner*, teniendo en cuenta que en varias ocasiones no contaban con trabajos cerca de la PTAR de Ucubamba, además de los daños que sufrían los camiones reiteradamente durante largos periodos de tiempo, lo que causaba retrasos en el avance del proyecto.

Dado que los *hidrocleaners* contaban con una capacidad de almacenaje de 7m³, que llega a ser muy superior a comparación de la capacidad del humedal, se procedió a descargar el volumen necesario para éste y el sobrante fuera depositado en una de las lagunas de la PTAR de Ucubamba. Además, la capacidad del sistema de tratamiento dependía de la cantidad y el tamaño de la vegetación contenida en el humedal, ya que, si no se quitaba a tiempo el exceso, el humedal tenía menos espacio disponible para la descarga del afluente.

Como se puede apreciar en la Tabla 3.1 se tuvo un periodo prolongado de tiempo entre la décimo segunda y décimo tercera descarga; esto causó que las nuevas plantas colocadas en el humedal se deterioraran de manera rápida y, eventualmente, fueran retiradas para la décimo quinta descarga.

Cabe recalcar que, luego de realizadas las diferentes descargas, los olores provenientes del lodo afluente disminuyen de manera considerable siendo muy leves luego de haber percolado al humedal y casi inexistentes 24 horas después de realizada la descarga.

3.2 Tasa de carga de sólidos

3.2.1 Cuantificación del tiempo de entrada

Al realizar las mediciones del caudal en campo, se determinó el tiempo de duración de cada descarga del *hidrocleaner* al humedal. En la Tabla 3.2 se detallan los tiempos calculados para cada descarga. Para dicho cálculo se consideró un volumen de 1.3m³; sin embargo, en algunas descargas el volumen depositado es mayor o menor al utilizado en el cálculo debido a las variaciones en el caudal de salida del *hidrocleaner*.

Tabla 3.2: Cálculo del tiempo de entrada

Descarga	Volumen (m ³)	Caudal promedio $\left(\frac{l}{seg}\right)$	Tiempo (min)
1	2.00	3.33	10
2	1.30	2.71	8
3	1.30	2.41	9
4	1.30	3.10	7
5	1.40	3.33	7
6	1.40	2.92	8
7	1.40	2.92	8
8	1.23	2.28	9
9	1.00	3.03	5.5
10	1.40	1.94	12
11	1.80	3.15	9.5
12	1.00	1.59	10.5
13	1.00	1.67	10
14	0.80	1.33	10
15	1.20	1.82	11

Fuente: Autoría propia (2022).

3.2.2 Cálculo de la carga hidráulica

Para el cálculo de la carga hidráulica se tomó en cuenta varios factores, tales como, el tiempo entre descargas, el volumen de lodo depositado en el humedal y la superficie del

humedal de 9.81 m². Los resultados obtenidos se detallan a continuación en la Tabla 3.3, en donde se observa un promedio de descarga semanal de 0.10 m.

Tabla 3.3: Cálculo de la carga hidráulica

Descarga	Volumen (m ³)	Tiempo (semana)	Caudal $\left(\frac{m^3 * descarga}{semana}\right)$	Carga hidráulica $\left(\frac{m * descarga}{semana}\right)$
1	2	1.00	2.00	0.20
2	1.3	1.00	1.30	0.13
3	1.3	1.00	1.30	0.13
4	1.3	1.00	1.30	0.13
5	1.4	2.00	0.70	0.07
6	1.4	2.00	0.70	0.07
7	1.4	0.86	1.63	0.17
8	1.23	1.14	1.08	0.11
9	1	3.86	0.26	0.03
10	1.4	1.00	1.40	0.14
11	1.7955	2.00	0.90	0.09
12	1	1.14	0.88	0.09
13	1	5.00	0.20	0.02
14	0.8	1.00	0.80	0.08
15	1.2	2.71	0.44	0.05
Carga hidráulica promedio				0.10
Rango				0.02 - 0.20

Fuente: Autoría propia (2022).

Se observa una variación del volumen de lodo que recibió el humedal con valores entre 0.8 y 2 m³. La tasa de carga hidráulica (HLR) no se pudo controlar, dando como resultado, los valores detallados en la Tabla 3.3.

En los humedales de flujo vertical (VFCW), se tiene la hipótesis de que una carga hidráulica alta o baja, afecta de manera directa el rendimiento del sistema frente a la remoción de materia orgánica y la eliminación de contaminantes (Sete, 2016). Sin embargo, el mismo Sete (2016), obtuvo valores de la HLR que variaron entre 0.15-0.275 $\frac{m * descarga}{semana}$, con los cuales descarta la hipótesis de que el rendimiento de los humedales construidos de flujo vertical que tratan lodos de fosas sépticas está influenciado por las tasas de carga hidráulica, ya que, el sistema trabajó de manera

eficiente frente a la variación obtenida de la carga hidráulica. Debido a que, en este estudio se tiene valores similares al del estudio mencionado se puede concluir, que el sistema estudiado trabajó de manera eficiente ante los diferentes valores de HLR obtenidos en las descargas realizadas.

3.2.3 Cálculo de la tasa de carga de sólidos

La tasa de carga de sólidos (SLR) se calculó considerando los valores de HLR que se muestra en la Tabla 3.4 y los valores de entrada de sólidos totales (ST) mostrados en la Figura 3.6.

Tabla 3.4: Cálculo de la carga de sólidos totales de entrada del humedal

Descarga	Carga hidráulica $\left(\frac{m * descarga}{semana}\right)$	Sólidos totales (entrada) $\left(\frac{kg ST}{m^3}\right)$	Tasa de carga de sólidos $\left(\frac{kg ST * descarga}{m^3 * año}\right)$
1	0.20		
2	0.13	3.80	26.29
3	0.13	13.45	92.96
4	0.13	4.96	34.30
5	0.07	14.52	54.02
6	0.07	2.69	10.00
7	0.17	1.82	15.80
8	0.11	2.83	16.18
9	0.03	6.16	8.50
10	0.14	10.68	79.51
11	0.09	2.53	12.08
12	0.09	0.72	3.35
13	0.02	2.10	2.23
14	0.08	15.62	66.44
15	0.05	0.76	1.80
		SLR promedio	30.25
		Mediana	15.99

Fuente: elaboración propia.

Kengne, et al. (2014) recomienda un SLR de $200 \frac{kg ST}{m^2 * año}$ con frecuencia de aplicación de una vez por semana.

Sete, (2016) menciona en su estudio que SLR se caracterizó por una menor variabilidad, osciló entre $9,0 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ a $95 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$. La media de SLR obtenida fue de $40 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ y una mediana de $25 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ que permitió el rendimiento satisfactorio del humedal construido de flujo vertical, por lo que, al comparar este rango de valores, con los obtenidos en nuestro estudio se puede concluir que los valores de SRL se encuentran dentro del rango de valores recomendados para que el humedal trabaje de manera óptima.

3.3 Análisis físico – químico

Para determinar las características del lodo procedente de fosas sépticas y su comportamiento antes y después de haber permanecido durante 7 días en el humedal, se realizaron varios análisis que presentaron variaciones en las muestras tomadas, debido a las diferentes fuentes de donde fueron recolectados los lodos.

Los porcentajes de remoción se obtuvieron utilizando los resultados de los análisis entre el afluente y el efluente del humedal mediante la ecuación (4).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{carga de entrada} - \text{carga de salida}}{\text{carga de entrada}} * 100 \quad (4)$$

3.3.1 Humedad en el lodo depositado

Para determinar la humedad en el lodo depositado, se tomaron muestras un día después de la descarga del *hidrocleaner* y el día de descarga del humedal. Se procede de esta manera, ya que, al mantener cerrada la válvula de salida del humedal, el lodo depositado no percola inmediatamente, dificultando la toma de la muestra el mismo día.

Para representar los datos de humedades obtenidos, se elaboró la Figura 3.1 donde se muestran los porcentajes de humedad con respecto a cada descarga.

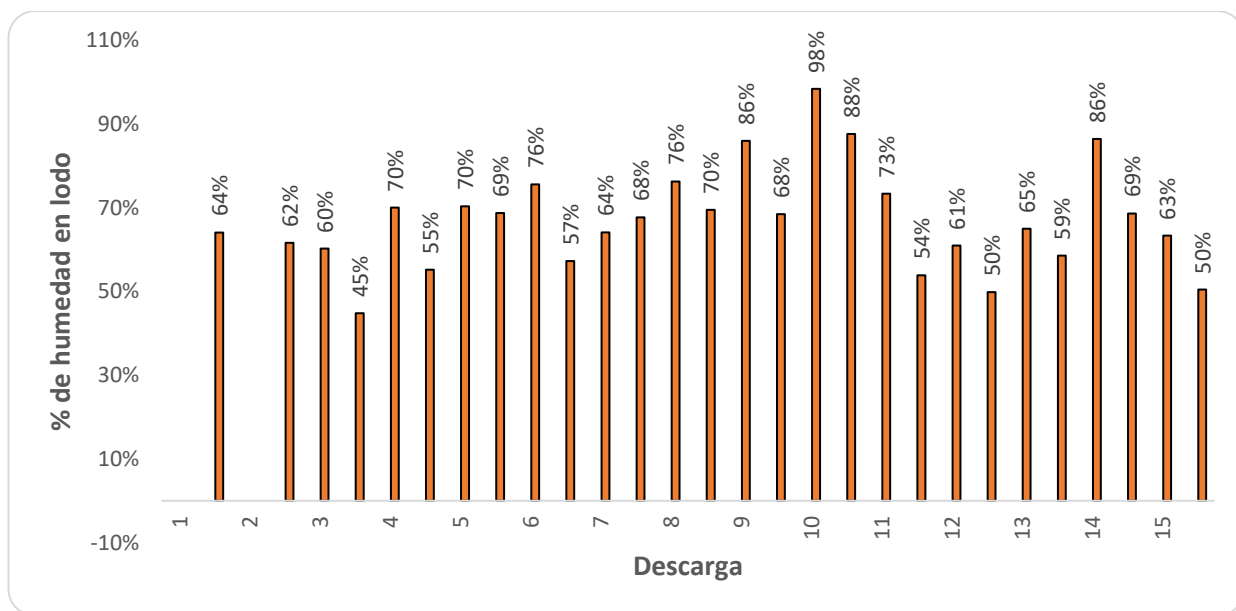


Figura 3.1: Porcentaje de humedad a razón de descarga
Fuente: Autoría propia (2022).

Como se aprecia en la Figura 3.1 los valores de humedades están en un rango de 45% al 98%; en muchos de los resultados no se aprecian valores favorables, esto se debe a que el estudio se realizó con la válvula de salida cerrada, en consecuencia, el volumen depositado y las condiciones climáticas afectan de manera directa en la humedad del lodo en la superficie.

En condiciones favorables se tienen resultados de pérdida de humedad de hasta 60% en las muestras tomadas 24 horas después de haber depositado el lodo afluyente y 45% 7 días después, caso contrario, se tienen resultados de hasta el 98% y 88% respectivamente.

3.3.2 Materia orgánica

3.3.2.1 DBO₅

Uno de los parámetros más usados para medir la calidad de un efluente es el DBO₅. Durante el estudio se realizó el análisis de DBO₅ en siete muestras, esto debido a fallos con la placa magnética del equipo de medición de este parámetro.

En la Figura 3.2 se aprecian los valores obtenidos en el estudio de las muestras tomadas para cada descarga con sus respectivos valores de entrada y salida para el parámetro de DBO₅.

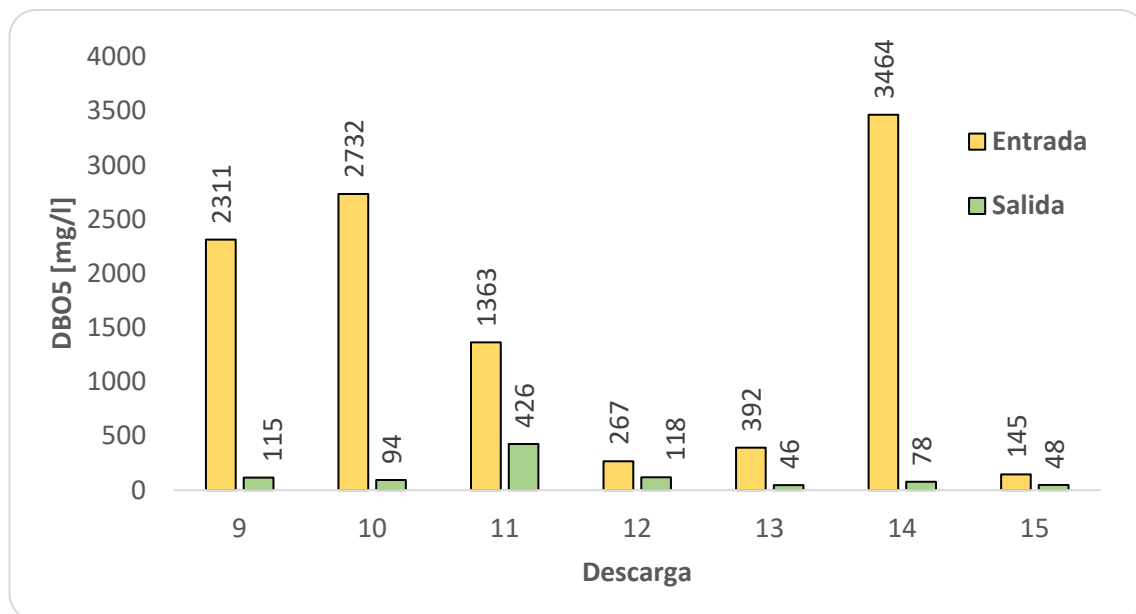


Figura 3.2: Carga de DBO₅ a razón de las descargas
Fuente: Autoría propia (2022).

Se cuenta con pocos valores de los datos estudiados, sin embargo, se puede apreciar una notable reducción de los valores del lodo afluente, comprobando que el sistema es capaz de reducir en gran medida el valor de DBO₅.

Cabe recalcar que después de la décima descarga se realizaron labores de mantenimiento en el humedal, se retiró la capa superficial de césped, lo que afectó su rendimiento; se asumió que, al retirar dicha capa, el humedal ya no estaba tratando el lodo depositado. Esta teoría se descartó al realizar los análisis de la décima cuarta descarga, en donde se puede apreciar un notable aumento en el rendimiento del humedal después de que se formó una nueva capa de lodo en la superficie. Lo mismo sucede durante la décima quinta descarga, por lo que se retiraron las plantas debido a su deterioro.

En la Figura 3.3 se puede apreciar los porcentajes de remoción obtenidos, demostrando que las actividades de mantenimiento afectaron al humedal hasta que se formó nuevamente la capa superficial de lodo.

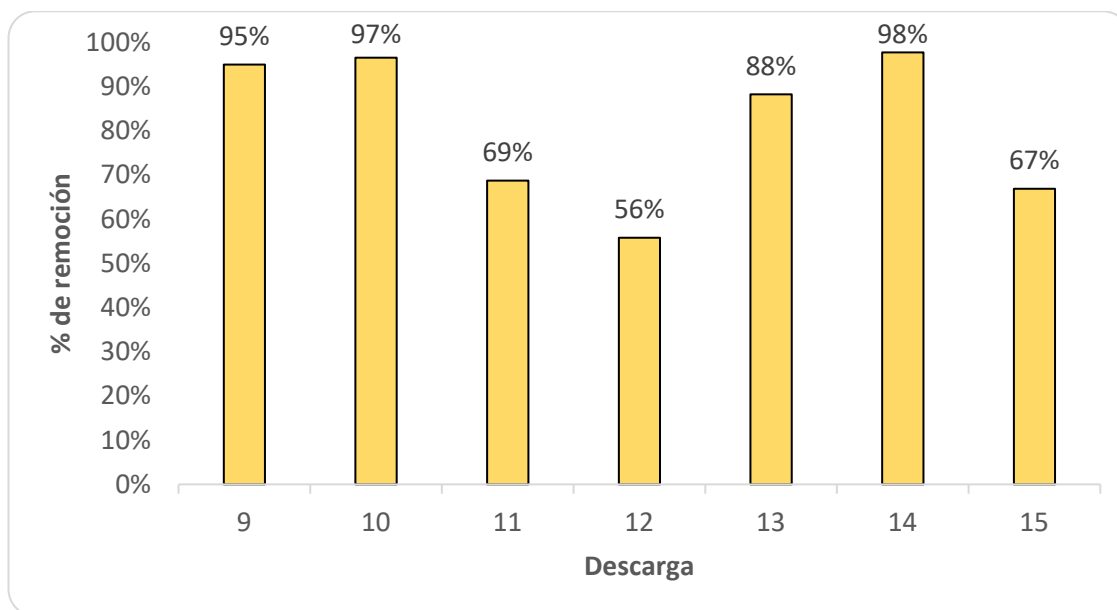


Figura 3.3: Porcentaje de remoción del DBO₅
Fuente: Autoría propia (2022).

3.3.2.2 DQO

La característica que tienen en común la DQO con la DBO₅ es que mientras más contaminada está el agua, mayor será el valor de estos parámetros.

En la Figura 3.4 se muestran los valores obtenidos para el parámetro de DQO, durante el estudio realizado, teniendo un rango para la entrada de 706 a 20000 mg/l; en cuanto a la salida se puede ver un rango entre 117 y 1071 mg/l, lo que demuestra la eficiencia de remoción del humedal de flujo vertical.

La variación de concentración en las muestras de entrada es muy notoria; se tienen valores muy altos en la tercera, quinta, décima y décima cuarta descarga, mientras que, para la salida, los valores son más constantes.

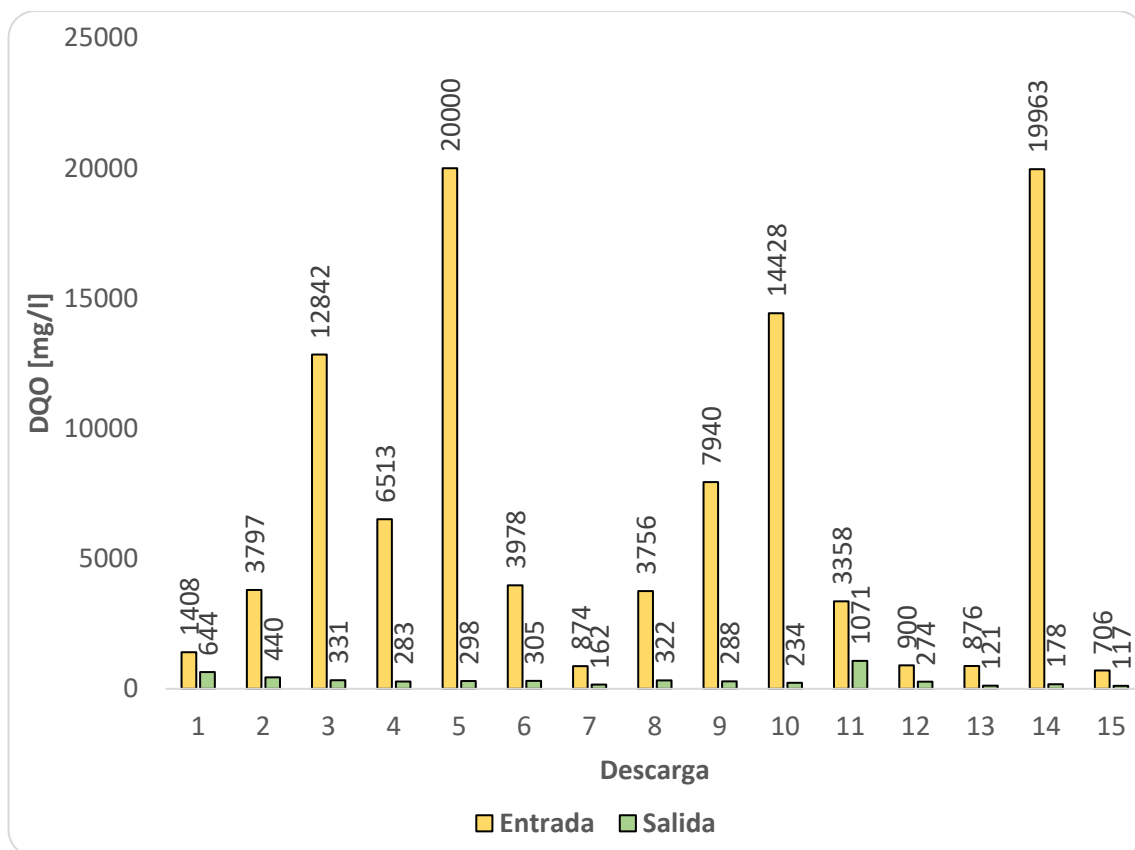


Figura 3.4: Carga de DQO a razón de las descargas.
Fuente: Autoría propia (2022).

En la Figura 3.5 se observan los porcentajes de remoción. El sistema remueve en gran medida este parámetro, teniendo un rango desde el 54% al 99% que, en consideración a la gran contaminación de algunas de las descargas, este trabaja de manera eficiente.

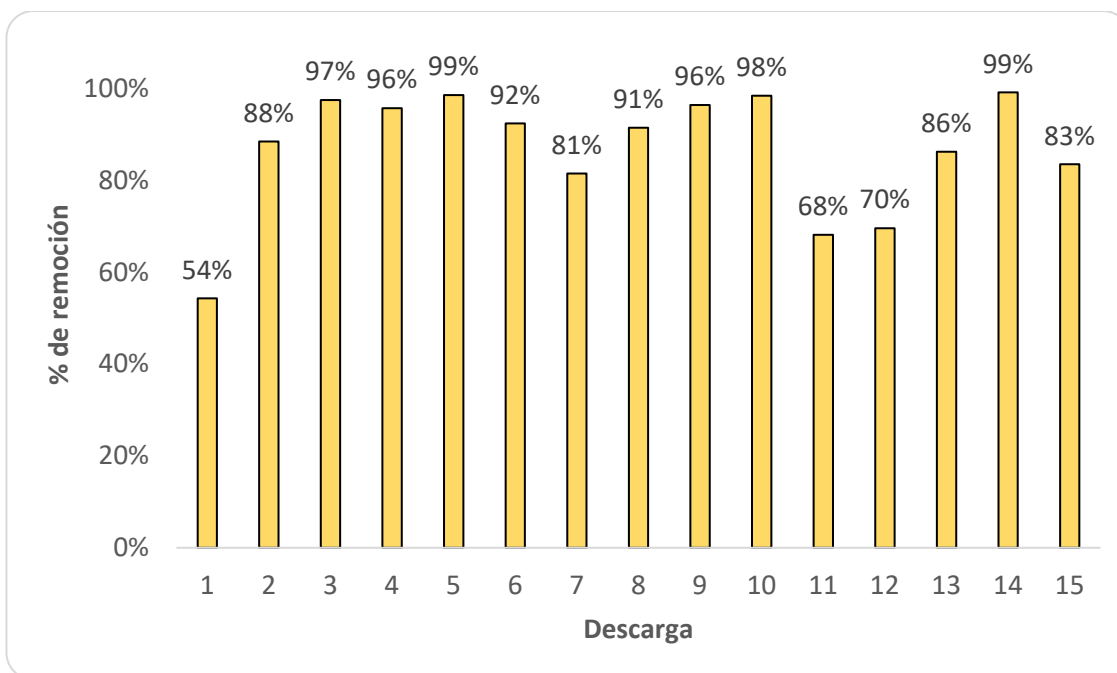


Figura 3.5: Porcentaje de remoción del DQO.

Fuente: Autoría propia (2022).

3.3.2.3 Sólidos Totales

Luego de haber tomado las muestras del lodo afluente el día de la descarga del *hidrocleaner* y del efluente líquido 7 días después, éstas son llevadas al laboratorio para su análisis. Los resultados se detallan en la Figura 3.6.

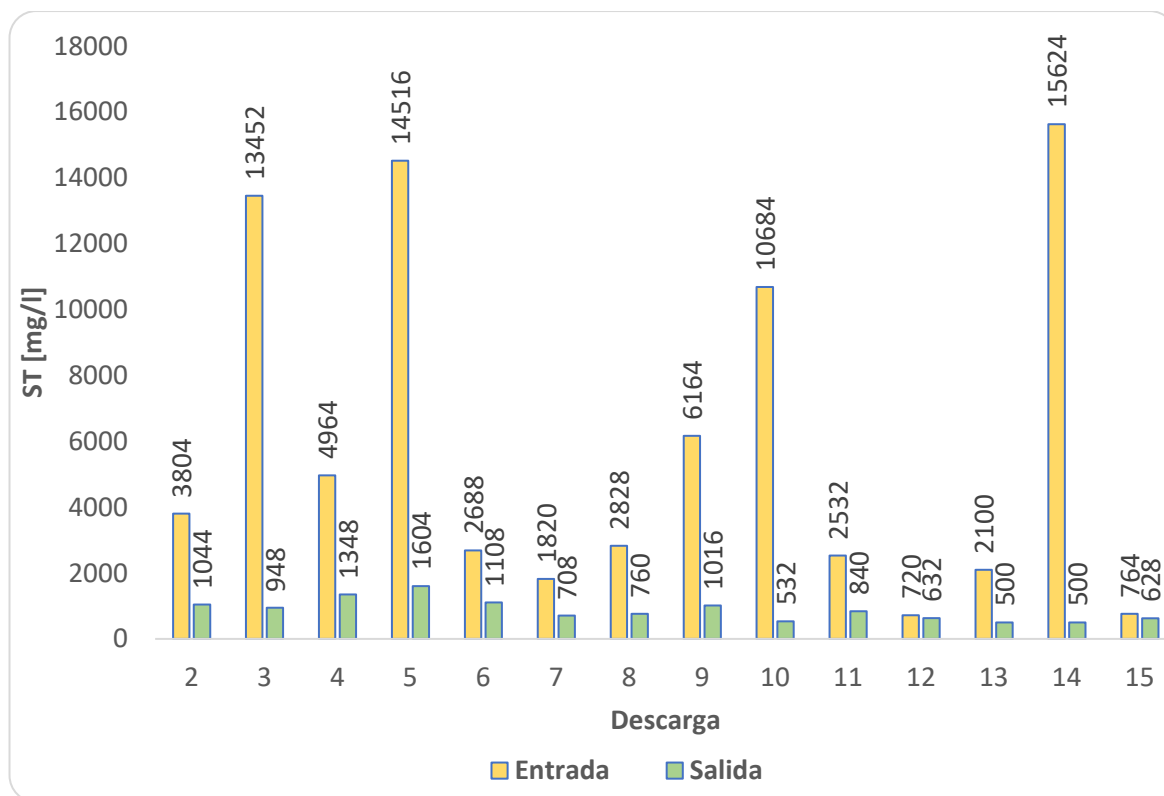


Figura 3.6: Carga de sólidos totales.

Fuente: Autoría propia (2022).

En la Figura 3.6 se aprecia una alta variabilidad en cuanto a los valores de entrada; se tiene cuatro de quince descargas con valores muy superiores. En cuanto a los valores de salida, el rango está entre 500 a 1604 mg/l que, de acuerdo con la Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes al recurso de agua, se menciona que el límite permisible máximo de descarga a un cuerpo de agua dulce es de 1600 mg/l (TULSMA, 2015).

Con los resultados obtenidos en el estudio se considera al humedal como un sistema joven, al manejarlo de buena manera puede llegar a tener valores de remoción mucho mayores. Además, se puede verter el efluente líquido directamente a un cuerpo receptor.

En la Figura 3.7 se puede observar los porcentajes de remoción calculados en función de los resultados obtenidos anteriormente. Se obtiene un promedio del 69% de eficiencia con un rango entre el 12% y 97%, en donde los mayores porcentajes de

remoción corresponden a las mayores concentraciones de entrada; caso contrario, cuando se tienen menores concentraciones, los porcentajes bajan drásticamente, como es el caso de la décimo segunda y décimo quinta descarga donde se tienen los menores porcentajes de remoción.

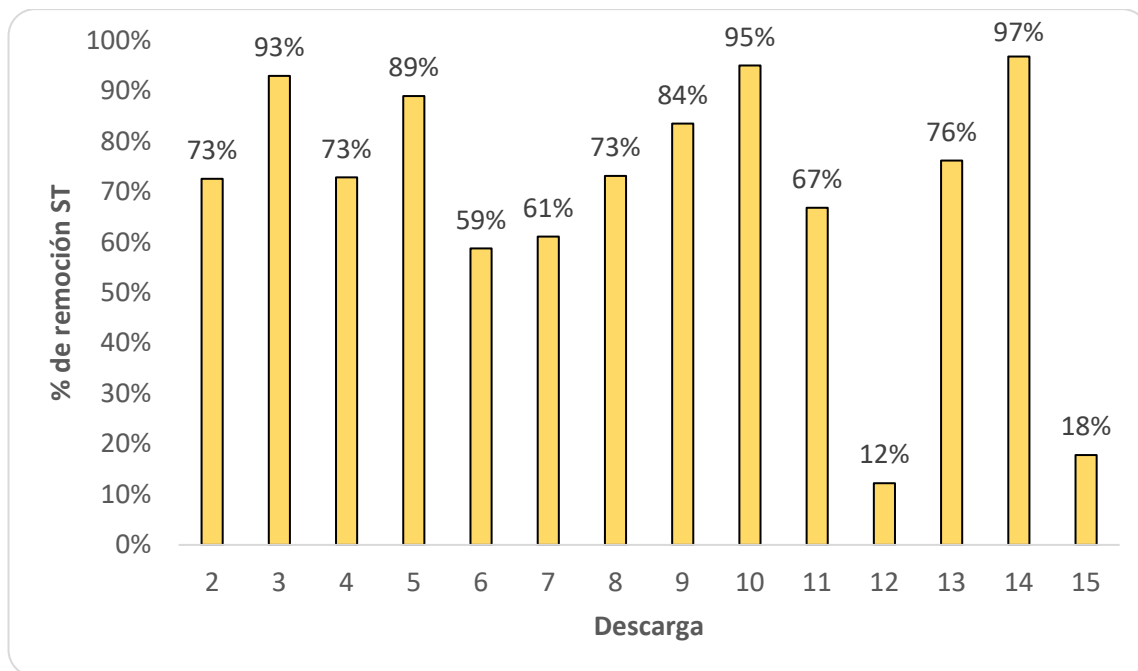


Figura 3.7: Porcentaje de remoción de sólidos totales
Fuente: Autoría propia (2022).

3.3.2.4 Sólidos volátiles

En la Figura 3.8 se detallan los valores obtenidos; se puede observar que los valores del lodo afluente son muy variables, mientras que, los valores del efluente líquido están en un rango de 160 a 640 mg/l.

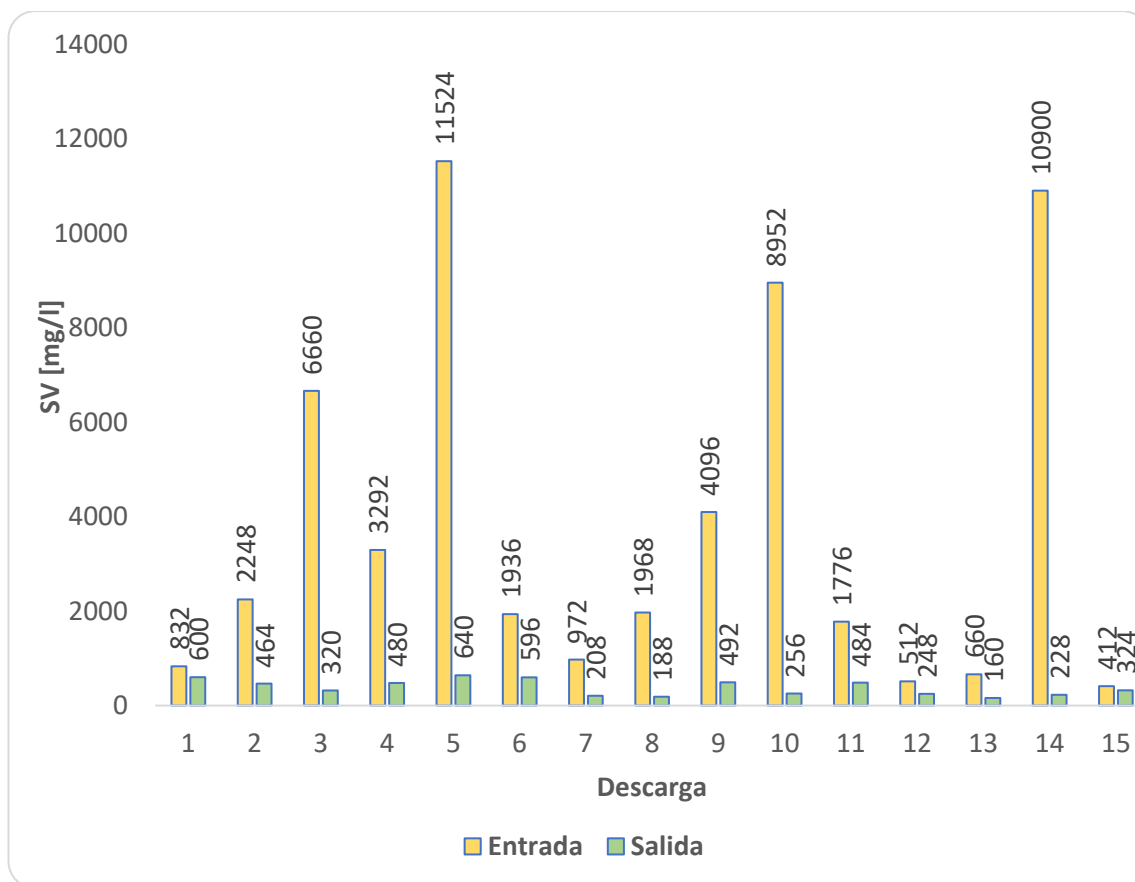


Figura 3.8: Carga de sólidos volátiles
Fuente: Autoría propia (2022).

La concentración de SV está relacionada con la materia orgánica que, al pasar por un humedal artificial de flujo vertical, se queda en la superficie. Para descargas con altas concentraciones se tiene como resultado, altos porcentajes de remoción. Para descargas con bajas concentraciones sucede lo contrario, es decir, el porcentaje de remoción es mucho más bajo, lo que se puede observar en la Figura 3.9.

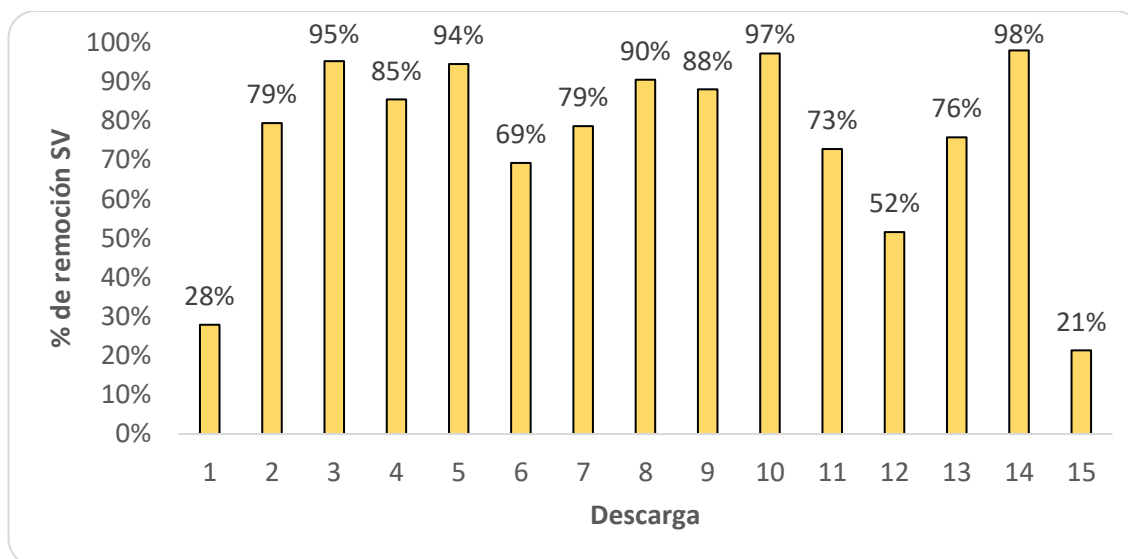


Figura 3.9: Porcentaje de remoción de sólidos volátiles

Fuente: Autoría propia (2022).

3.3.2.5 Sólidos totales en el lodo depositado

Los sólidos totales son un indicador de la cantidad de materia que contienen las aguas residuales, como se expresó en el capítulo 1. Este es uno de los parámetros más importantes y se espera que, al pasar por el humedal artificial, ayude en el proceso de remoción.

Durante el estudio se realizaron los análisis para determinar la cantidad de sólidos que fueron removidos durante las diferentes descargas; los resultados se detallan en la Figura 3.10.

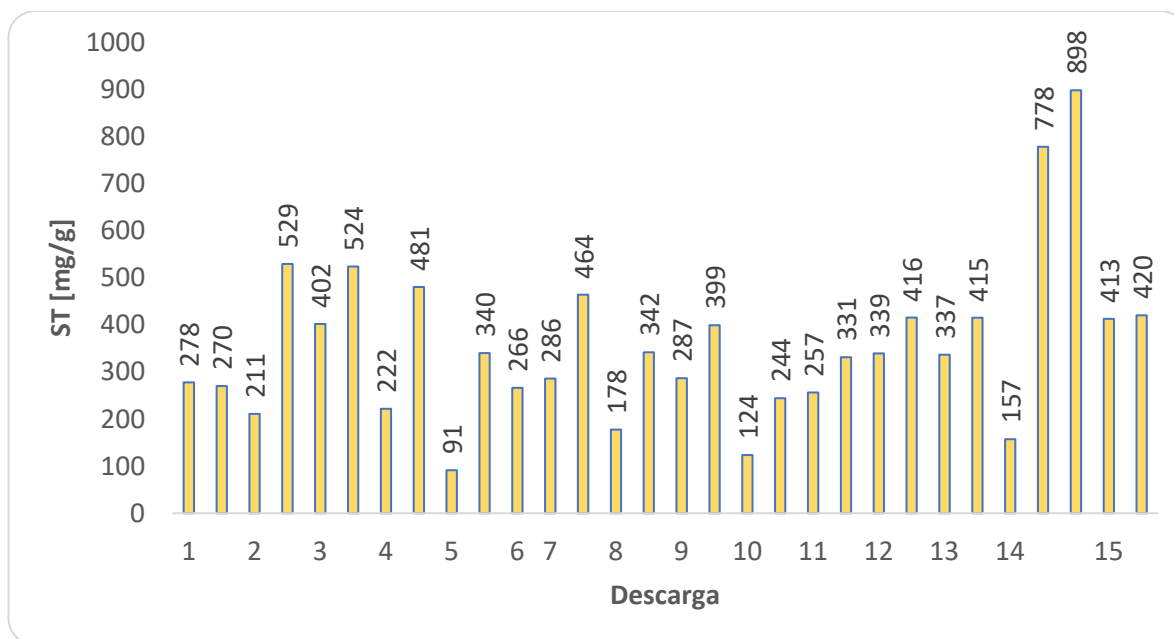


Figura 3.10: Carga de sólidos totales del lodo en el humedal.

Fuente: Autoría propia (2022).

La Figura 3.10 muestra que existe una gran variabilidad en los resultados obtenidos; esto depende de cada descarga y el contenido de sólidos que contenga. El aumento en los valores después del tiempo de retención a los que estuvieron sometidos los lodos de fosas sépticas se debe a que el lodo en la superficie del humedal ha perdido parte de su contenido de agua. Cabe recalcar que el humedal está sujeto a condiciones de intemperie por lo que los resultados pueden variar, dependiendo de las condiciones climáticas anteriores a la toma de la muestra.

3.3.2.6 Sólidos volátiles en el lodo depositado.

Los sólidos volátiles son empleados para estimar la estabilidad del humedal a base de la materia orgánica que contienen los lodos.

En el estudio realizado se tomaron muestras del lodo afluyente depositado, obtenido en la superficie del humedal 24 horas después de haber sido depositado en el mismo y 7 días después previo a la siguiente descarga, las cuales, según su análisis, se encuentran en un rango de 74 a 527 mg/g y que se representan en la Figura 3.11.

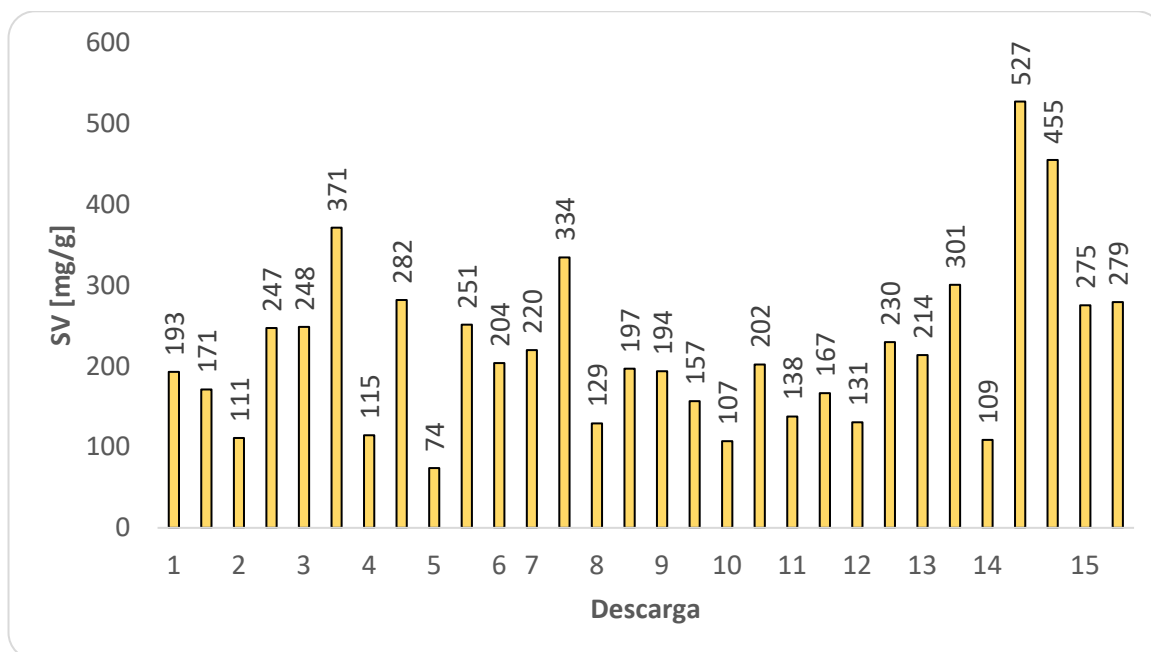


Figura 3.11: Carga de sólidos volátiles del lodo en el humedal.
Fuente: Autoría propia (2022).

Durante el transcurso del estudio se espera que la materia orgánica se mineralice en la superficie del humedal y el valor de SV disminuya al pasar el tiempo de retención; no obstante, algunos valores aumentaron, debido a las condiciones de intemperie en las que se encuentra sometido el humedal.

Se puede interpretar que el tiempo entre descargas es muy corto, ya que en la décimo cuarta descarga se tomaron tres muestras, donde el valor de SV aumenta en gran magnitud entre la primera y segunda muestra. Mientras tanto, para la tercera muestra, el valor empieza a disminuir por lo que se puede interpretar que el humedal está trabajando correctamente.

Además, el lodo con el paso del tiempo, en capas inferiores, tiende a mineralizarse; en consecuencia, se espera que los resultados mejoren.

3.3.2.7 Comparación de datos

En la Tabla 3.5 se muestra la media de los datos de entrada y de salida de este estudio.

Tabla 3.5: Promedio del lodo crudo y filtrado de la unidad de lodos (después de la retención de 7 días)

Parámetro	Afluente	Efluente
DBO ₅ (mg/l)	5904	869
DQO (mg/l)	3783	379
ST (mg/l)	1525	132
SV (mg/l)	6756	338

Fuente: Autoría propia (2022).

Sete (2016) en su estudio acerca del comportamiento de los humedales construidos de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales domésticas y de lodos de fosas sépticas, en la tercera estrategia operativa, el humedal vertical recibió lodos de fosas sépticas donde el percolado fue retenido durante un período de siete días. Se obtuvieron datos similares a los de este estudio, que están detallados en la tabla 3.6 que muestra una media de resultados de entrada y de salida.

Tabla 3.6: Promedio del lodo crudo y filtrado de la unidad de lodos (después de la retención de 7 días) en el estudio de Sete (2016)

Parámetro	Afluente	Efluente
DBO ₅ (mg/l)	906	250
DQO (mg/l)	5200	919
ST (mg/l)	3050	961
SV (mg/l)	1740	389

Fuente: Sete (2016).

Los resultados de los análisis de la materia orgánica, provenientes del humedal, reflejan en términos de DBO₅, DQO, ST, SV, que alcanzó una eficiencia promedio (Tabla 3.7).

Tabla 3.7: Eficiencia de remoción promedio de la materia orgánica

Parámetro	% de remoción promedio
DBO ₅	81%
DQO	87%
ST	69%
SV	75%

Fuente: Autoría propia (2022).

A base de los datos mostrados en la Tabla 3.6, se analiza el porcentaje de remoción de dicho estudio. Los valores se indican en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Eficiencia de remoción promedio de la materia orgánica de acuerdo a Sete (2016)

Parámetro	% de remoción promedio
DBO ₅	72%
DQO	82%
ST	68%
SV	78%

Fuente: Sete (2016).

Se observa que los porcentajes de remoción en ambos estudios son similares, debido a que, se utiliza la misma metodología; es decir, el tratamiento se llevó a cabo con un tiempo de retención de 7 días.

Torres (2017), en su estudio de un humedal artificial con la especie *Typha dominguensis* (totoras) para el tratamiento de aguas grises domésticas, obtiene resultados de 96,39% de DBO₅, 95,20% de DQO, 97,48% en ST que son mayores a los obtenidos en

este estudio debido a que los lodos crudos tienen concentraciones mucho más altas y variables comparados con las aguas residuales.

Además, en la Tabla 3.7 se observa que el tratamiento de lodos residuales mediante el uso del humedal vertical joven con tiempo de retención de 7 días tiene un buen desempeño; sus porcentajes de remoción promedio se aproxima al obtenido en el estudio de Sete (2016), sin embargo, no son iguales a los mostrados en la Tabla 3.8, debido a que, mientras se realizaban las descargas no se tenía un control total del volumen descargado, esto ocasionó que en la primera y décima primera descarga se depositara un mayor volumen del deseado.

Además, en reiteradas ocasiones el lodo descargado no percolaba directamente, por lo que no era posible observar de manera directa si se depositaba la cantidad suficiente del afluente, provocando que se descargara un menor volumen de lodo.

Por otro lado, el viernes 26 de noviembre se realizaron labores de mantenimiento en el sistema para retirar el césped; con el paso del tiempo, se formó una capa gruesa de lodo que impedía que el lodo depositado percole de manera rápida en el humedal, razón por la cual, se procedió a retirar dicha capa y se plantó una de diferente especie (totoras), ya que el césped que se encontraba anteriormente tenía un tendido de raíces bastante grueso.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La correcta planificación de la estrategia operativa ayudó a establecer el periodo de alimentación y descanso del humedal, a fin de lograr un óptimo desempeño; además, permitió el análisis y evaluación del tratamiento de los lodos provenientes de fosas sépticas.
- Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el uso del humedal vertical con un periodo de retención de 7 días para el tratamiento de lodos de fosas sépticas es viable, debido a que el sistema trabajó de manera óptima frente a los parámetros físico - químicos que fueron analizados.

Para los parámetros físicos se obtuvo lo siguiente:

- ✓ El humedal de flujo vertical no produce malos olores, ya que estos son removidos sin necesidad de sistemas de tratamiento externos. Esta característica posibilita la implementación de estos humedales cerca de zonas pobladas sin que genere malestar debido a fuertes olores como se da en el caso del uso otros sistemas de tratamiento.
- ✓ El humedal trabaja de manera favorable en el proceso de deshidratación de lodos, los porcentajes de pérdida de humedad de los lodos se vieron afectados por las condiciones meteorológicas y el volumen depositado en el humedal. En condiciones favorables se obtuvieron resultados de pérdida de humedad en los valores de entrada de hasta 60% y de hasta 45% en los valores de salida; caso contrario, se tienen resultados de hasta el 98% y 88% respectivamente.

Para los parámetros químicos se tiene que:

- ✓ Para el DBO₅ se comprobó la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento con respecto a este parámetro; además, se demostró que las diferentes actividades de mantenimiento realizadas en el humedal afectaron positivamente al rendimiento del sistema.
- ✓ Para DQO, se obtuvieron valores en un rango de 706 a 20000 mg/l; para la entrada y para la salida se obtuvieron valores entre 117 y 1071 mg/l, con lo que se demuestra la eficiencia de remoción del humedal con respecto a este parámetro, debido a que el sistema remueve entre el 54% al 99%, considerando la gran contaminación del efluente depositado en algunas de las descargas.
- ✓ Para los sólidos totales y volátiles se obtuvieron porcentajes de remoción entre 12.22% - 96.80% y 21.36% - 97.91% respectivamente, analizados tanto a la entrada como en la salida; de esta manera, se puede apreciar que el sistema es capaz de reducir efectivamente los niveles de carga.

Recomendaciones

- Se debe planificar de mejor manera los tiempos de alimentación y volumen de descarga en el humedal, para controlar la variabilidad de la carga hidráulica y de la carga de sólidos, debido a que, en algunas descargas realizadas, el sistema se inundó ya que el lodo depositado no percoló de manera inmediata.
- Brindar un mantenimiento periódico a las máquinas utilizadas para los análisis físico - químicos, ya que uno de los equipos presentaba una falla y no se pudo obtener una mayor cantidad de datos de ese análisis.
- El humedal es un sistema de tratamiento joven aún, por lo que se recomienda seguir con un plan de alimentación adecuado y constante, con el fin de lograr que

el sistema maduro, debido a que mientras más antiguo sea este, trabaja de mejor manera y es mucho más eficiente con respecto a la remoción de los contaminantes.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, A., Larriva, J., Sánchez, E., Idrovo, D., & Cisneros, J. (2017). Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador . *Water Practice and Technolog.* doi:<https://doi.org/10.2166/wpt.2017.027>
- Andreoli, C. V., von Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). Sludge Treatment and Disposal. *Biological Wastewater Treatment Series.* <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402130.pdf>
- Argandoña Zambrano, E., & Macías García, R. (2013). *Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013.* Portoviejo, Manabí.
- Díaz, F. (2015). *Optimización de los sistemas de humedales artificiales de flujo vertical por medio de biofiltros.* Bogotá, Colombia. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/25125474/mi_952-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1655514025&Signature=QTHsuFwWfzWXmruBx4s1mEMyoAh3QZcBcoYTtSQiZIk2aQtnTtohUUFTIS1RVrWzeaznIlyKYXwnqKaM5P5-3limiuX2SueS5ND27ScrMfw7eJfuaGmFixcvX4dQ16Bp5OCW8vqCYAZ5ig4ilEo1l
- Kengne, E., Kengne, I., Letah, W., Amougou, A., Viet, H., & Strande, L. (2014). *Performance of vertical flow constructed wetlands for faecal sludge drying bed leachate: Effect of hydraulic loading.*
- La Asociación Internacional del Agua (IWA). (2000). *Tratamiento biológico de aguas residuales. Humedales de Tratamiento.* doi:<https://doi.org/10.2166/9781789062526>
- Lara, L. (2016). *Alternativas a la gestión actual de lodos de fosas sépticas en pequeñas poblaciones rurales: El caso de San Agustín (TERUEL).* <http://193.147.134.18/bitstream/11000/3033/1/TFM%20Lara%20Martín%2C%2>
- Lucho, C., Medina, S., R.I., B., Juárez, B., Vázquez, G., & Lizárraga, L. (2015). *Diseño de fosas sépticas rectangulares mediante el uso de la herramienta FOSEP.*

- Pachuca Hidalgo, Mexico. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62043088016.pdf>
- Mendez Novelo, R., Gijóm Yescas., A., Quintal Franco, C., & Osorio Rodriguez, H. (2007). Determinación de la tasa de acumulación de lodos en fosas sépticas de la ciudad dde Mérida, Yucatán. *Revista Académica de Ingeniería*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46711306>
- Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido, y Reutilización* (Tercera ed., Vol. 1). Madrid.
- Molle, P., Merlin, G., & Boutin, C. (2005). How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems. *Water Science & Technology*. doi:10.2166/wst.2005.0277
- Moncada, A. (2016). *Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales*. Manizales, Caldas. Obtenido de <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/1326>
- Munn, C. (2004). *Marine Microbiology : Ecology and Applications*. New York: BIOS Scientific Publisher.
- PCE Instruments. (2018). Greentech. <https://greentech.com.uy/producto/sistema-de-medicion-de-dbo-bd-600/>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*. doi:<https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>
- Ramalo, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Quebec, Canadá: Reverté S.A. https://www.academia.edu/4242135/tratamiento_de_aguas_residuales_r_s_ramalho
- Romero, M., & Borja, C. (2015). *Estudio y dimensionamiento experimental de humedales artificiales para la mejora de la calidad de aguas de cursos fluviales eutrofizados*.
- Sete, E. (2016). *Behaviour evaluation of vertical flow constructed wetlands for treatment of domestic sewage and septic tank sludge*. Belo Horizonte, Brasil.

- Severiche, C., & Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*.
<http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). *Manejo de lodos fecales*.
https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/manejo_fsm.pdf
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Suiza.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnolog%C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf
- Torres, G. M. (2017). Humedal artificial con la especie *Typha dominguensis* para el tratamiento de aguas grises domésticas, AA.HH. San Benito-Carabayllo, 2017. Lima, Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28338>
- TULSMA. (2015). Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua. *Anexo 2, 26. Quito.* chrome-extension://efaidnbmnnh<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPU-ESTA%20ANEXO%201.pdf>
- US EPA. (1999). *Folleto informativo de sistemas descentralizados*. Washington, D.C.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1009DJ2.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>

Anexos

5.1 Anexos fotográficos

5.1.1 Descarga 1 del humedal



5.1.2 Descarga 2 del humedal



5.1.3 Descarga 3 del humedal



5.1.4 Descarga 4 del humedal



5.1.5 Descarga 6 del humedal



5.1.6 Descarga 7 del humedal



5.1.7 Descarga 8 del humedal



5.1.8 Descarga 9 del humedal



5.1.9 Labores de mantenimiento del humedal



5.1.10 Descarga 11 del humedal



5.1.11 Descarga 12 del humedal



5.1.12 Descarga 13 del humedal



5.1.13 Descarga 14 del humedal



5.1.14 Descarga 15 del humedal



5.2 Anexo de tablas

5.2.1 Tabla de registro y observaciones

REGISTRO DE DESCARGAS		
DÍA	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
martes, 10 de agosto de 2021	Se realizó la primera descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargaron 2m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras durante un lapso de 10 min una al iniciar la descarga, a los 5 min y al final de la descarga. El césped se encontraba recién cortado. Al mantener la válvula cerrada el agua no percola y el humedal se inunda. La descarga casi no contenía sólidos, con un olor intermedio, baja presencia de basura, se tomaron las muestras y se llevaron al laboratorio.
martes, 17 de agosto de 2021	Se realizó la primera descarga del humedal y la segunda descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargó aproximadamente 1.3m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras durante un lapso de 8min al inicio, mitad y final de la descarga. La mayor parte de la descarga contenía líquido, con un olor intermedio. A la salida se tomaron muestras cada 2 min con la llave totalmente abierta, en total se tomaron 12 muestras de 800ml para el final de la descarga. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron al laboratorio.
martes, 24 de agosto de 2021	Se realizó la segunda descarga del humedal y la tercera descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargaron aproximadamente 1.3m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras durante un lapso de 9min al inicio, mitad y final de la descarga. La descarga casi no contenía sólidos, tenía un olor fuerte. A la salida se tomaron muestras cada 2 min con la llave totalmente abierta, en total se tomaron 10 muestras, 8 de 1000ml y 2 muestras de 500ml y 300ml para el final de la descarga. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron a laboratorio.
martes, 31 de agosto de 2021	Se realizó la tercera descarga del humedal y la cuarta descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargaron aproximadamente 1.3m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras en un lapso de 7 min al inicio, mitad y final de la descarga. La mayor parte de la descarga contenía líquido espeso de olor fuerte con un alto contenido de sólidos. A la salida se tomaron 9 muestras cada 1.5 min con la válvula totalmente abierta, 8 de 1000ml y la última de 500ml. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron a laboratorio.
martes, 7 de septiembre de 2021	Se realizó la cuarta descarga del humedal	Se descargó solo el humedal ya que el <i>hidrocleaner</i> no estuvo disponible A la salida se tomaron muestras cada 2 min, 8 de 1000ml y dos de 500 ml con la válvula totalmente abierta. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron a laboratorio.
martes, 14 de septiembre de 2021	Se realizó la quinta descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargó aproximadamente 1.4m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras en un lapso de 7 min al inicio, mitad y final de la descarga. La descarga en su mayor parte fue líquida con bajo contenido de sólidos de olor no fuerte y color verdoso. Se tomaron las muestras y se llevaron a laboratorio. No se descargó el humedal ya que se encuentra vacío.
martes, 21 de septiembre de 2021	Se realizó la quinta descarga del humedal	Se descargó solo el humedal ya que el <i>hidrocleaner</i> no se encontraba disponible. A la salida se tomaron muestras cada 2min, 7 de 1000ml, 2 de 300ml y 1 de 100ml; con la válvula totalmente abierta. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron a laboratorio.
martes, 28 de septiembre de 2021	Se realizó la sexta descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargó aproximadamente 1.4m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras en un lapso de 8 min al inicio, mitad y final de la descarga. La descarga en su mayor parte fue líquida; casi no se observaron sólidos, no contaba con olores fuertes, de color verdoso claro. Se tomaron las muestras y se llevaron a laboratorio. No se descargó el humedal ya que se encontraba vacío.
martes, 5 de octubre de 2021	Se realizó la sexta descarga del humedal y la séptima descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descargó 1.4m ³ aproximadamente Se tomaron 3 muestras en un lapso de 8min al inicio, mitad y final de la descarga. La descarga en su mayor parte fue líquida con un alto contenido de sólidos (pepas de frutas y vegetales) y basura (tapas de bebidas y envolturas de plástico), de olor medio y color oscuro. A la salida se tomaron muestras cada 2 min durante un lapso de 20 min, 8 de 1000ml, 1 de 500ml y 1 de 300ml. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron a laboratorio.
martes, 12 de octubre de 2021	Se realizó la séptima descarga del humedal	Se descargó solo humedal ya que el <i>hidrocleaner</i> se encuentra realizándose mantenimiento. La descarga del humedal dura 20 min se toman muestras cada dos min un total de 11 muestras, 9 de 1000ml y dos de 500ml. El día anterior hubo lluvia por lo que el césped está bastante crecido. Se tomó la muestra de lodo que, al parecer, no está tan húmeda dado que el césped se encuentra alto por lo que se necesita una muestra grande.
miércoles, 13 de octubre de 2021	Se realizó la octava descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Aproximadamente se descargó 1.23m ³ del <i>hidrocleaner</i> Se tomaron 3 muestras de aproximadamente 3 litros cada una. La descarga, en su mayor parte, fue líquida y contenía poco material sólido con olor no muy fuerte. El clima durante la descarga fue soleado.
miércoles, 20 de octubre de 2021	Se realizó la octava descarga del humedal	Se descarga solo humedal ya que el <i>hidrocleaner</i> no se encuentra disponible. La descarga dura 15 min se toman 7 muestras de 1000ml, una de 500ml y dos de 300ml. El agua a la salida tenía un color verdoso claro de olor casi inexistente. El llano del humedal se encuentra recién cortado por lo que existe una gran cantidad de material residual del corte sobre el humedal. Se tomaron las muestras de lodo y se llevaron el laboratorio para su análisis.
martes, 9 de noviembre de 2021	Se realizó la novena descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descarga aproximadamente 1m ³ Se tomaron 3 muestras durante un intervalo de 5:30 minutos al inicio mitad y final de la descarga con un caudal de 3.2lt/s. El efluente descargado contiene pocos residuos sólidos de color oscuro y poco olor. El clima estuvo soleado. Durante la descarga el llano se encuentra crecido.
martes, 16 de noviembre de 2021	Se realizó la novena descarga del humedal y la décima descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	Se descarga 1.4m ³ aproximadamente La descarga dura 12 min se toman muestras cada 3 min. La descarga fue líquida con un alto contenido de sólidos, olor fuerte. El clima durante la descarga fue parcialmente nublado. El personal del <i>hidrocleaner</i> nos supo indicar que era la primera vez que el pozo séptico se limpiaba. La descarga del humedal presenta un color café claro de olor intermedio. La descarga dura 18 min se toman 10 muestras de aproximadamente 1000ml cada 2 min. El llano en el humedal se encuentra recién cortado con poco material orgánico restante sobre el humedal.
martes, 23 de noviembre de 2021	Se realizó la décima descarga del humedal	La descarga del humedal dura 23 min, se toman 13 muestras cada dos min todas de 1000ml a excepción de las 3 últimas que fueron de 500ml. La descarga tenía un color amarillo claro de poco olor. El clima durante la descarga fue nublado. El humedal se encontraba con una gruesa capa de lodo resultado de la descarga del <i>hidrocleaner</i> de la semana anterior por lo que esta semana no se realiza descarga.

viernes, 26 de noviembre de 2021	se realizan labores de mantenimiento en el humedal	El humedal está con una gruesa capa de lodo que no permite que las descargas del <i>hidrocleaner</i> percolen de manera directa, por lo que se procede a retirar esta capa y se planta una diferente variedad de plantas, ya que el llano que estaba anteriormente tenía un tendido de raíces bastante grueso.
martes, 30 de noviembre de 2021	Se realizó la décimo primera descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	La descarga dura 9:30 min. El volumen descargado es aproximadamente 1.7955m ³ se toman 4 muestras. La descarga fue líquida de color gris oscuro, olor fuerte con un contenido de sólidos medio. El clima durante la descarga fue parcialmente nublado. El volumen descargado inunda por lo que se procede a vaciar aproximadamente 800lt.
martes, 7 de diciembre de 2021	Se realizó la décimo primera descarga del humedal	La descarga duró 20 min. Se tomaron 11 muestras cada 2 min todas de 1000ml, a excepción de las 4 últimas que fueron dos de 600ml y dos de 100ml. La descarga tenía un olor fuerte de color verde claro al inicio y café oscuro al final. El clima durante la descarga fue parcialmente nublado.
miércoles, 8 de diciembre de 2021	Se realizó la décimo segunda descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	La descarga tiene una duración de 10:30 min y se descarga aproximadamente 1m ³ . Se tomaron 4 muestras. La descarga fue líquida de color gris oscuro, olor medio sin mucho contenido de sólidos. El clima durante la descarga fue parcialmente nublado.
miércoles, 15 de diciembre de 2021	Se realizó la décimo segunda descarga del humedal	La descarga duró 22 min. Se tomaron 12 muestras cada 2 min todas de 1000ml a excepción de las 5 últimas que fueron dos de 500ml dos de 300ml y una de 10ml. La descarga tenía un olor medio de color café claro. El clima durante la descarga fue nublado.
miércoles, 12 de enero de 2022	Se realizó la décimo tercera descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	La descarga duró 10 min. Se descargaron 1 m ³ aproximadamente La descarga tenía un olor medio de color gris claro, con un bajo contenido de sólidos el clima. Durante la descarga el clima estuvo soleado.
miércoles, 19 de enero de 2022	Se realizó la décimo cuarta descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal Se realizó la décimo tercera descarga del humedal	La descarga dura 10 min, se descarga 0.8 m ³ aproximadamente. La descarga no tiene olor aparente, de color gris oscuro con contenido de sólidos alto. Se tomaron muestras cada 3 minutos. El caudal descargado no percola inmediatamente. El clima durante la descarga fue parcialmente nublado La descarga del humedal dura 20 min. Se tomaron un total de 11 muestras cada dos min de la siguiente manera: 6 de 1000ml, 1 de 600ml, 1 de 400ml, 2 de 200ml y 1 de 100 ml. La descarga del humedal tenía un olor casi inexistente de color amarillo claro. El clima durante la descarga fue parcialmente nublado.
miércoles, 26 de enero de 2022	Se realizó la décimo cuarta descarga del humedal	El clima durante la descarga estuvo parcialmente nublado La descarga del humedal dura 13 min, se tomaron un total de 8 muestras, 5 de 1000ml, 2 de 500ml y una de 200ml. La descarga del humedal tiene muy poco olor, de color amarillo claro.
lunes, 7 de febrero de 2022	Se realizó la décimo quinta descarga del <i>hidrocleaner</i> en el humedal	La descarga tiene una duración de 11 min y se descarga 1.2 m ³ . La descarga tiene un olor medio con contenido de sólidos bajo de color gris verdoso. El clima durante la descarga estuvo nublado.
miércoles, 16 de febrero de 2022	Se realizó la décimo quinta descarga del humedal	El clima durante la descarga fue soleado. La descarga duró 20 min. Se tomaron muestras cada 2 min en total 11 muestras 5 de 1000ml, 4 de 500ml y 2 de 200m. La descarga tiene poco olor un color amarillo claro.

5.2.2 Tabla de humedad

Descarga	Fecha	% de humedad
Primera	17/08/2021	64%
	18/08/2021	
Segunda	24/08/2021	62%
	25/08/2021	60%
Tercera	31/08/2021	45%
	01/09/2021	70%
Cuarta	07/09/2021	55%
	15/09/2021	70%
Quinta	21/09/2021	69%
	29/09/2021	76%
Sexta	05/10/2021	57%
	06/10/2021	64%
Séptima	12/10/2021	68%
	13/10/2021	76%
Octava	20/10/2021	70%
	10/11/2021	86%
Novena	16/11/2021	68%
	17/11/2021	98%
Décima	23/11/2021	88%
	01/12/2021	73%
Décima primera	08/12/2021	54%
	09/12/2021	61%
Décima segunda	15/12/2021	50%
	13/01/2022	65%
Décima tercera	19/01/2022	59%
	20/01/2022	86%
Décima cuarta	26/01/2022	69%
	08/02/2022	63%
Décima quinta	16/02/2022	50%

5.2.3 Tabla carga hidráulica y tasa de carga de sólidos

Fecha	Descarga	Volumen (m3)	Tiempo (semana)	Caudal $\left(\frac{m^3 * descarga}{semana}\right)$	Carga hidráulica $\left(\frac{m * descarga}{semana}\right)$	Sólidos totales (entrada) $\left(\frac{kg ST}{m^3}\right)$	Tasa de carga de sólidos $\left(\frac{kg ST * descarga}{m^3 * año}\right)$
10/08/2021	1	2	1.00	2.00	0.20		
17/08/2021	2	1.3	1.00	1.30	0.13	3.80	26.29
24/08/2021	3	1.3	1.00	1.30	0.13	13.45	92.96
31/08/2021	4	1.3	1.00	1.30	0.13	4.96	34.30
14/09/2021	5	1.4	2.00	0.70	0.07	14.52	54.02
28/09/2021	6	1.4	2.00	0.70	0.07	2.69	10.00
05/10/2021	7	1.4	0.86	1.63	0.17	1.82	15.80
13/10/2021	8	1.23	1.14	1.08	0.11	2.83	16.18
09/11/2021	9	1	3.86	0.26	0.03	6.16	8.50
16/11/2021	10	1.4	1.00	1.40	0.14	10.68	79.51
30/11/2021	11	1.7955	2.00	0.90	0.09	2.53	12.08
08/12/2021	12	1	1.14	0.88	0.09	0.72	3.35
12/01/2022	13	1	5.00	0.20	0.02	2.10	2.23
19/01/2022	14	0.8	1.00	0.80	0.08	15.62	66.44
02/07/2022	15	1.2	2.71	0.44	0.05	0.76	1.80

Caudal promedio (litros / semana)	992.25	Carga hidráulica promedio	0.10	Media	30.25
		Rango	0.02 - 0.20	Mediana	15.99

5.2.4 Tabla DBO₅ y DQO

Descarga	Fecha	Tipo	DBO ₅			DQO		
			Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	% Remoción	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	% Remoción
Primera	10/08/2021	Puntual				1408.4	644	54.27%
Segunda	17/08/2021	Puntual				3797.2	439.8	88.42%
tercera	24/08/2021	Puntual				12842	330.8	97.42%
Cuarta	31/08/2021	Puntual				6512.8	283.2	95.65%
Quinta	14/09/2021	Puntual				20000	298.4	98.51%
Sexta	28/09/2021	Puntual				3978.4	305	92.33%
Séptima	05/10/2021	Puntual				873.6	162.2	81.43%
Octava	13/10/2021	Puntual				3756	322.2	91.42%
Novena	09/11/2021	Puntual	2311	115	95.02%	7940	288.2	96.37%
Décima	16/11/2021	Puntual	2732	94	96.56%	14428	233.8	98.38%
Décima primera	30/11/2021	Puntual	1363	426	68.75%	3358	1070.6	68.12%
Décima segunda	08/12/2021	Puntual	267	118	55.81%	900	274.2	69.53%
Décima tercera	12/01/2022	Puntual	392	46	88.27%	876	121	86.19%
Décima cuarta	19/01/2022	Puntual	3464	78	97.75%	19963.3	178	99.11%
Décima quinta	02/07/2022	Puntual	145	48	66.90%	706	116.8	83.46%

5.2.5 Tabla de Sólidos Totales

Descarga	Fecha	Tipo	ENTRADA				SALIDA				% Remoción
			A [g]	B [g]	D [ml]	ST [mg/l]	A [g]	B [g]	D [ml]	ST [mg/l]	
Primera	10/08/2021	Puntual	49.2333	49.2718	25	1540	49.2341	49.2761	25	1680	
Segunda	17/08/2021	Puntual	53.8163	53.9114	25	3804	51.188	51.2141	25	1044	72.56%
Tercera	24/08/2021	Puntual	49.2352	49.5715	25	13452	51.1896	51.2133	25	948	92.95%
Cuarta	31/08/2021	Puntual	53.817	53.9411	25	4964	49.2327	49.2664	25	1348	72.84%
Quinta	14/09/2021	Puntual	53.8175	54.1804	25	14516	51.1905	51.2306	25	1604	88.95%
Sexta	28/09/2021	Puntual	53.8193	53.8865	25	2688	49.2334	49.2611	25	1108	58.78%
Séptima	05/10/2021	Puntual	53.8222	53.8677	25	1820	49.2348	49.2525	25	708	61.10%
Octava	13/10/2021	Puntual	51.1935	51.2642	25	2828	53.8243	53.8433	25	760	73.13%
Novena	09/11/2021	Puntual	51.1973	51.3514	25	6164	53.8254	53.8508	25	1016	83.52%
Décima	16/11/2021	Puntual	49.2352	49.5023	25	10684	49.2338	49.2471	25	532	95.02%
Décima primera	30/11/2021	Puntual	51.2029	51.2662	25	2532	53.8259	53.8469	25	840	66.82%
Décima segunda	08/12/2021	Puntual	96.0676	96.0856	25	720	53.827	53.8428	25	632	12.22%
Décima tercera	12/01/2022	Puntual	49.2371	49.2896	25	2100	49.2349	49.2474	25	500	76.19%
Décima cuarta	19/01/2022	Puntual	51.216	51.6066	25	15624	49.2403	49.2528	25	500	96.80%
Décima quinta	02/07/2022	Puntual	51.2155	51.2346	25	764	49.2449	49.2606	25	628	17.80%

5.2.6 Tabla de Sólidos Volátiles

Descarga	Fecha	Tipo	ENTRADA				SALIDA				% Remoción
			B [g]	C [g]	D [ml]	SV [mg/l]	B [g]	C [g]	D [ml]	SV [mg/l]	
Primera	10/08/2021	Puntual	49.2718	49.2510	25	832	49.2761	49.2611	25	600	27.88%
Segunda	17/08/2021	Puntual	53.9114	53.8552	25	2248	51.2141	51.2025	25	464	79.36%
Tercera	24/08/2021	Puntual	49.5715	49.405	25	6660	51.2133	51.2053	25	320	95.20%
Cuarta	31/08/2021	Puntual	53.9411	53.8588	25	3292	49.2664	49.2544	25	480	85.42%
Quinta	14/09/2021	Puntual	54.1804	53.8923	25	11524	51.2306	51.2146	25	640	94.45%
Sexta	28/09/2021	Puntual	53.8865	53.8381	25	1936	49.2611	49.2462	25	596	69.21%
Séptima	05/10/2021	Puntual	53.8677	53.8434	25	972	49.2525	49.2473	25	208	78.60%
Octava	13/10/2021	Puntual	51.2642	51.215	25	1968	53.8433	53.8386	25	188	90.45%
Novena	09/11/2021	Puntual	51.3514	51.249	25	4096	53.8508	53.8385	25	492	87.99%
Décima	16/11/2021	Puntual	49.5023	49.2785	25	8952	49.2471	49.2407	25	256	97.14%
Décima primera	30/11/2021	Puntual	51.2662	51.2218	25	1776	53.8469	53.8348	25	484	72.75%
Décima segunda	08/12/2021	Puntual	96.0856	96.0728	25	512	53.8428	53.8366	25	248	51.56%
Décima tercera	12/01/2022	Puntual	49.2896	49.2731	25	660	49.2474	49.2434	25	160	75.76%
Décima cuarta	19/01/2022	Puntual	51.6066	51.3341	25	10900	49.2528	49.2471	25	228	97.91%
Décima quinta	02/07/2022	Puntual	51.2346	51.2243	25	412	49.2606	49.2525	25	324	21.36%

5.2.7 Tabla de Sólidos Totales en lodos

Sólidos totales en lodos						
Descarga	Fecha de descarga	Fecha toma de muestra	A [g]	B [g]	D [g]	ST [mg/g]
Primera	10/08/2021	12/08/2021	53.8165	58.6596	17.4355	278
		17/08/2021	51.1887	57.2705	22.5099	270
Segunda	17/08/2021	18/08/2021	101.1230	106.1199	23.6747	211
		24/08/2021	53.8170	60.8938	13.3672	529
Tercera	24/08/2021	25/08/2021	101.1200	109.9395	21.9341	402
		31/08/2021	89.0490	96.4645	14.1563	524
Cuarta	31/08/2021	01/09/2021	49.2339	58.4431	41.5519	222
		07/09/2021	51.1903	59.7035	17.7165	481
Quinta	14/09/2021	15/09/2021	51.1912	53.3433	23.5441	91
		21/09/2021	49.2340	56.6561	21.8237	340
Sexta	28/09/2021					-
		05/10/2021	51.1943	53.0557	6.9919	266
Séptima	05/10/2021	06/10/2021	51.1936	51.9170	2.5299	286
		12/10/2021	53.8248	56.4752	5.7125	464
Octava	13/10/2021	13/20/2021	94.8861	96.4361	8.7257	178
		20/10/2021	51.1952	53.1726	5.7843	342
Novena	09/11/2021	10/11/2021	49.2362	50.1724	3.2668	287
		16/11/2021	51.2088	52.4040	2.9949	399
Décima primera	16/11/2021	17/11/2021	116.0705	116.4197	2.8255	124
		23/11/2021	53.8268	54.8882	4.3438	244
Décima segunda	30/11/2021	1/12/2021	96.0670	97.4982	5.5774	257
		7/12/2021	94.3326	95.0112	2.0491	331
Décima tercera	08/12/2021	9/12/2021	53.8274	54.7746	2.7914	339
		15/12/2021	94.3315	96.2402	4.5924	416
Décima cuarta	12/01/2022	13/1/2022	53.8672	54.0868	0.6524	337
		19/1/2022	96.0756	96.3844	0.7437	415
Décima quinta	19/01/2022	20/1/2022	53.8507	54.5369	4.3644	157
		26/1/2022	116.0792	117.2137	1.4582	778
		7/2/2022	116.0746	117.1472	1.1943	898
Décima sexta	02/07/2022	8/2/2022	49.2460	50.0300	1.8995	413
		16/2/2022	116.0759	117.0548	2.3299	420

5.2.8 Tabla de Sólidos Volátiles en lodos

Sólidos volátiles en lodos						
Descarga	Fecha de descarga	Fecha toma de muestra	B [g]	C [g]	D [g]	SV [mg/g]
Primera	10/08/2021	12/08/2021	58.6596	55.2978	17.4355	193
		17/08/2021	57.2705	53.4178	22.5099	171
Segunda	17/08/2021	18/08/2021	106.1199	103.4905	23.6747	111
		24/08/2021	60.8938	57.5925	13.3672	247
Tercera	24/08/2021	25/08/2021	109.9395	104.4922	21.9341	248
		31/08/2021	96.4645	91.2098	14.1563	371
Cuarta	31/08/2021	01/09/2021	58.4431	53.6831	41.5519	115
		07/09/2021	59.7035	54.7140	17.7165	282
Quinta	14/09/2021	15/09/2021	53.3433	51.6015	23.5441	74
		21/09/2021	56.6561	51.1736	21.8237	251
Sexta	28/09/2021					-
		05/10/2021	53.0557	51.6315	6.9919	204
Séptima	05/10/2021	06/10/2021	51.9170	51.3609	2.5299	220
		12/10/2021	56.4752	54.5649	5.7125	334
Octava	13/10/2021	13/20/2021	96.4361	95.3097	8.7257	129
		20/10/2021	53.1726	52.0346	5.7843	197
Novena	09/11/2021	10/11/2021	50.1724	49.5397	3.2668	194
		16/11/2021	52.4040	51.9352	2.9949	157
Décima	16/11/2021	17/11/2021	116.4197	116.1169	2.8255	107
		23/11/2021	54.8882	54.0109	4.3438	202
Décima primera	30/11/2021	1/12/2021	97.4982	96.7302	5.5774	138
		7/12/2021	95.0112	94.6700	2.0491	167
Décima segunda	08/12/2021	9/12/2021	54.7746	54.4101	2.7914	131
		15/12/2021	96.2402	95.1852	4.5924	230
Décima tercera	12/01/2022	13/1/2022	54.0868	53.9475	0.6524	214
		19/1/2022	96.3844	96.1609	0.7437	301
Décima cuarta	19/01/2022	20/1/2022	54.5369	54.0626	4.3644	109
		26/1/2022	117.2137	116.4453	1.4582	527
		7/2/2022	117.1472	116.6040	1.1943	455
Décima quinta	02/07/2022	8/2/2022	50.0300	49.5072	1.8995	275
		16/2/2022	117.0548	116.4047	2.3299	279