



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

Tratamiento de lodos de fosas sépticas mediante humedales de flujo  
vertical con y sin vegetación

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA  
DE CONSTRUCCIONES

**Autores:**

Elizabeth Mery Capa Ramón  
Marco Antonio Loayza Salazar

**Directora:**

María Belén Arévalo Durazno

**Cuenca – Ecuador**

**2023**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios, en especial a la Virgencita del Cisne por nunca abandonarme a través de las dificultades de este largo camino.

Desde el fondo de mi corazón se lo dedico a los mejores padres del mundo, Apolinario Capa (+) y Mélida Ramón quienes siempre me apoyaron desde el primer día. Sin su motivación, su apoyo, y amor infinito esto no habría sido posible.

A mi hermano, Christian quien siempre fue mi ejemplo a seguir.

A mis abuelitos, Félix (+) y María quienes me cobijaron siempre con su amor incondicional.

Cuando los que uno ama parten, pasan a vivir entre nosotros.  
Yupaychani, por tanto.

**Elizabeth Mery Capa Ramón**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación lo dedico, a Dios, por ser guía y compañía durante este proceso, por ser mi fortaleza, brindarme salud y sobre todo paciencia y constancia para alcanzar este objetivo.

De manera muy especial a mis padres, Marco y Grey y a mis hermanos Manuel y Grace, quienes fueron apoyo indispensable para seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaron durante mi recorrido estudiantil, siempre ayudándome a sacar lo mejor de mi para cumplir mis metas y objetivos y alcanzar el título profesional. Gracias por siempre estar ahí en los buenos momentos y más aún en los malos.

A mi pareja, Samantha, presente en la última etapa de mi carrera, gracias por estar ahí, por el apoyo y paciencia, por escuchar y por darme ánimos para superarme y ser mejor cada día, aún en los momentos más difíciles. Gracias por el amor y el cariño el mismo que es mutuo.

A mis tíos, Eddy y Bernardita, quienes fueron un soporte muy importante en mi vida universitaria, atentos y dispuestos a ofrecer su ayuda en lo que necesité, continuamente dándome un empujoncito para ser mejor, tal como unos padres harían con su hijo. Gracias por ese cariño y aprecio.

**Marco Antonio Loayza Salazar**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento a la Universidad de Azuay y a todo el Personal Docente que fueron partícipes de nuestra formación profesional.

Un agradecimiento cordial a nuestra tutora de tesis, la ingeniera María Belén Arévalo, por su guía, apoyo y tiempo a lo largo de este proyecto.

De manera especial a la ingeniera Andrea Narváez y al ingeniero Christian Galarraga quienes fueron de gran apoyo en el transcurso de este proyecto.

A la empresa ETAPA EP por el soporte durante este estudio.

**Elizabeth Mery Capa Ramón – Marco Antonio Loayza Salazar**

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>3</b>
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos .....	3
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Manejo de lodos residuales .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Lodos de fosas sépticas.....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Fosas Sépticas .....	5
1.2.2 Lodos .....	6
1.2.2.1 Origen.....	6
1.2.2.2 Características del lodo de fosas sépticas.....	7
1.2.2.3 Características Físicas .....	7
1.2.2.3.1 Sólidos Suspendidos Totales .....	7
1.2.2.3.2 Sólidos Volátiles.....	8
1.2.2.3.3 Temperatura.....	8
1.2.2.3.4 Olor.....	8
1.2.2.3.5 Color .....	9
1.2.2.4 Características Químicas .....	9
1.2.2.4.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	9
1.2.2.4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	9
1.2.2.4.3 pH (Potencial de Hidrógeno).....	10
1.2.2.4.4 Oxígeno Disuelto.....	10
1.2.2.5 Características Biológicas .....	11

1.2.2.5.1 Coliformes .....	11
1.2.2.6 Disposición del lodo.....	11
1.3. Humedales Artificiales .....	11
1.3.1. Humedales de Flujo Vertical.....	12
1.3.1.1 Sistema Francés .....	13
1.3.2 Humedales para el tratamiento de Lodos .....	13
1.3.3 Funcionamiento del humedal artificial vs métodos tradicionales .....	13
1.3.3.1 Ventajas .....	14
1.3.3.2 Desventajas.....	14
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Generalidades de la zona de estudio .....</b>	<b>15</b>
2.1.2 Descripción del humedal piloto .....	15
<b>2.2 Fases del proyecto.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Fase 1 – Con vegetación y válvula abierta.....	16
2.2.2 Fase 2 – Con vegetación y válvula cerrada.....	17
2.2.3 Fase 3 – Sin vegetación y válvula cerrada.....	18
<b>2.3 Toma de muestras.....</b>	<b>19</b>
2.3.1. Procedimiento .....	20
2.3.1.2. Salida.....	21
<b>2.4 Cuantificación del volumen de lodos depositados .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5 Cuantificación del caudal de entrada .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Carga hidráulica.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7 Periodos de medición y parámetros analizados .....</b>	<b>23</b>
<b>2.8 Análisis Físico-Químico.....</b>	<b>24</b>
2.8.1 Análisis DQO, DBO <sub>5</sub> , Sólidos Totales y Sólidos Volátiles .....	24
2.8.2 Análisis de PH y Oxígeno Disuelto .....	24
2.8.4 Análisis de Humedad .....	26
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Características generales de la descarga en los humedales .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Parámetros operativos y de diseño .....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Cuantificación del volumen de lodo depositado.....	31
3.2.2 Caudal de entrada.....	32
3.2.3 Carga hidráulica.....	33
3.2.4 Tasa de carga de sólidos .....	34
<b>3.3 Parámetros Físico Químicos.....</b>	<b>37</b>

3.3.1 Oxígeno Disuelto .....	37
3.3.2 pH.....	39
3.3.3 Humedad en el lodo .....	41
3.3.4 DBO <sub>5</sub> .....	44
3.3.5 DQO.....	45
3.3.6 Sólidos Totales.....	46
3.3.6.1 Porcentaje de remoción de Sólidos Totales .....	49
3.3.6.2 Sólidos Totales en el lodo depositado .....	51
3.3.7 Sólidos Volátiles .....	52
3.3.7.1 Porcentaje de remoción de Sólidos Volátiles .....	54
3.3.7.2 Sólidos Volátiles en el lodo depositado.....	55
<b>3.4 Resumen de resultados.....</b>	<b>58</b>
3.4.1 DBO <sub>5</sub> .....	59
3.4.2 DQO.....	60
3.4.3 Sólidos Totales.....	60
3.4.4 Sólidos Volátiles .....	60
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>61</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>68</b>
5.1 Anexos Fotográficos .....	68
5.1.1 Descarga del humedal – 02/03/2022 .....	68
5.1.2 Observación – 03/03/2022 .....	68
5.1.3 Descarga del humedal – 16/03/2022 .....	68
5.1.4 Observación – 17/03/2022 .....	69
5.1.5 Descarga del humedal – 25/04/2022 .....	69
5.1.6 Observación – 28/04/2022 .....	69
5.2 Anexo de Tablas .....	70
5.2.1 Tabla de registro de campo y observaciones del tercer escenario.....	70
5.2.2 Tabla pH y OD .....	79
5.2.3 Tabla de humedades del lodo depositado en la superficie .....	80
5.2.4 Tabla Carga Hidráulica y Tasa de carga de sólidos .....	86
5.2.5 Tabla Parámetros físico – químicos (DBO <sub>5</sub> , DQO, SV y ST).....	88
5.2.6 Tabla de SV y ST de los lodos depositados en la superficie del humedal .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Cadena de saneamiento y manejo de lodos fecales</i> .....	4
<i>Figura 2: Fosa séptica</i> .....	5
<i>Figura 3: Ubicación Humedal Piloto - PTAR Ucubamba</i> .....	15
<i>Figura 4: Esquema de la estación experimental de aguas residuales sin escala</i> .....	16
<i>Figura 5: Humedal Piloto - Fase 1</i> .....	17
<i>Figura 6: Humedal Piloto Fase 2</i> .....	18
<i>Figura 7: Humedal Piloto - Fase 3</i> .....	18
<i>Figura 8: Descarga del afluente (hidrocleaner)</i> .....	20
<i>Figura 9: Medición y depósito de la muestra de entrada</i> .....	20
<i>Figura 10: Salida del efluente del humedal piloto</i> .....	21
<i>Figura 11: Toma de muestras a la salida del humedal piloto</i> .....	21
<i>Figura 12: Depósito y Medición de la muestra (salida)</i> .....	22
<i>Figura 13: Máquina de medición WTW 3420</i> .....	25
<i>Figura 14: Medición de pH y Oxígeno disuelto</i> .....	25
<i>Figura 15: Toma de Muestras de lodo</i> .....	26
<i>Figura 16: Analizador de humedad HB43-S Halogen</i> .....	26
<i>Figura 17: Primer escenario OD</i> .....	38
<i>Figura 18: Tercer escenario OD</i> .....	39
<i>Figura 19: Primer escenario pH</i> .....	40
<i>Figura 20: Tercer escenario pH</i> .....	41
<i>Figura 21: Comparación entre los 3 escenarios del porcentaje de humedad en el lodo</i> .....	43
<i>Figura 22: Porcentaje de remoción DBO<sub>5</sub>– Tercer escenario</i> .....	45
<i>Figura 23: Porcentaje de Remoción DQO- Tercer escenario</i> .....	46
<i>Figura 24: Sólidos Totales-Primer escenario</i> .....	47
<i>Figura 25: Sólidos Totales – Segundo escenario</i> .....	48
<i>Figura 26: Sólidos Totales -Tercer escenario</i> .....	49
<i>Figura 27: Porcentaje de Remoción de ST en los 3 escenarios</i> .....	50
<i>Figura 28: Sólidos Totales – Escenario 2&amp;3</i> .....	51
<i>Figura 29: Sólidos Volátiles- Primer escenario</i> .....	52
<i>Figura 30: Sólidos Volátiles-Segundo escenario</i> .....	53
<i>Figura 31: Sólidos Volátiles-Tercer escenario</i> .....	54
<i>Figura 32: Porcentaje de Remoción en los 3 escenarios – Sólidos Volátiles</i> .....	55
<i>Figura 33: Sólidos Volátiles en los 3 escenarios</i> .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Rendimiento de depuración de fosas sépticas .....	6
<b>Tabla 2:</b> Granulometría del humedal en estudio .....	16
<b>Tabla 3:</b> Parámetros analizados y frecuencia de medición en el lodo séptico.....	23
<b>Tabla 4:</b> Parámetros analizados y frecuencia de medición en el lodo depositado en la superficie del humedal.....	24
<b>Tabla 5:</b> Características de las descargas en el humedal .....	28
<b>Tabla 6:</b> Cálculo de volumen en la superficie del humedal -Escenario 1 .....	31
<b>Tabla 7:</b> Cálculo de volumen en la superficie del humedal – Escenario 3.....	32
<b>Tabla 8:</b> Caudal de entrada (l/s).....	32
<b>Tabla 9:</b> Tasa de carga hidráulica.....	34
<b>Tabla 10:</b> Cálculo de la tasa de carga de sólidos.....	35
<b>Tabla 11:</b> Valores Promedio de Entrada y Salida (DBO <sub>5</sub> , DQO, ST & SV).....	58
<b>Tabla 12:</b> Promedio de lodo crudo, filtrado de la unidad de lodos (después de 7 días).....	58
<b>Tabla 13 :</b> Eficiencias Promedio de los Parámetros (DBO <sub>5</sub> , DQO, ST & SV).....	59
<b>Tabla 14:</b> Eficiencia de remoción promedio.....	59



**“TRATAMIENTO DE LODOS DE FOSAS SÉPTICAS MEDIANTE HUMEDALES DE FUJO VERTICAL CON Y SIN VEGETACIÓN”**

**RESUMEN**

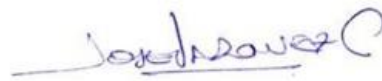
Los lodos de fosas sépticas no son tratados correctamente lo que genera un impacto negativo en los ecosistemas, por ende, la finalidad de este estudio consiste en determinar la eficiencia del humedal de flujo vertical con un Sistema Tipo Frances, y la viabilidad de este sistema para el tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas. Este sistema cuenta con un periodo de alimentación controlado manualmente, desde la carga del humedal con la ayuda del hidrocleaner, hasta las muestras de afluente, efluente y lodos depositados para su respectivo análisis en laboratorio. Esta investigación permitió analizar la deshidratación de lodos sépticos y la variabilidad de sus parámetros físico-químicos. A su vez, determinar si es seguro realizar la descarga del efluente o si es necesario otros tratamientos adicionales.

**Palabras clave:** Humedales, flujo vertical, lodos, fosa séptica, sistema de tratamiento



Ing. María Belén Arévalo Durazno

**Directora de Tesis**



Ing. José Fernando Vázquez Calero

**Director de Escuela**



Elizabeth Mery Capa Ramón

**Autor**



Marco Antonio Loayza Salazar

**Autor**

**“TRATAMIENTO DE LODOS DE FOSAS SÉPTICAS MEDIANTE HUMEDALES DE FUJO VERTICAL CON Y SIN VEGETACIÓN”**

**ABSTRACT**

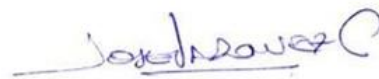
Septic tank sludge is not treated correctly which generates a negative impact on the ecosystems, therefore, the purpose of this study is to determine the efficiency of the French vertical flow wetland, and the feasibility of this system to treat sludge from septic tanks. This treatment system has a feeding period which is manually controlled, in which the wetland is loaded directly from the hydrocleaner, likewise the samples that come from the influent, effluent and the sludge deposited in the wetland; these samples are taken to the laboratory for their respective analysis. This investigation allowed us to analyze the dehydration of septic sludge and the variability of its physical-chemical parameters. This study leads us to determine if the effluent can be discharged safely or if it is necessary to apply other additional treatments.

**Keywords:** Wetlands, vertical flow, sludge, septic tank, treatment system



---

Ing. María Belén Arévalo Durazno  
**Thesis Director**



---

Ing. José Fernando Vázquez Calero  
**School Director**



---

Elizabeth Mery Capa Ramón  
**Author**



---

Marco Antonio Loayza Salazar  
**Author**

**Translated by:**



**Elizabeth Capa**

## **Introducción**

El agua es un recurso natural muy valioso para la subsistencia de la vida, por lo tanto, los seres humanos buscan su preservación. La disposición inadecuada de las aguas residuales y lodos genera un impacto negativo tanto para la población como para el ecosistema en contacto, ya que estas tienen como destino final fuentes de agua, que sin el debido tratamiento perjudican este recurso hídrico; es por ello que a lo largo de los años se han desarrollado diferentes alternativas para tratar las aguas residuales y lograr disminuir la contaminación del medio ambiente.

En las últimas décadas los humedales se han utilizado como zonas de descarga para la eliminación de contaminantes en las aguas residuales. A partir de la década de los noventa el uso de estos sistemas presentó un incremento y su aplicación pasó a ser no solo para tratar aguas de aguas residuales municipales, sino para otro tipo de descargas como lluvias (tormentas), agrícolas e industriales (Llagas & Guadalupe, 2006).

En Ecuador, los humedales se pueden presentar como una opción viable en zonas rurales, debido a los bajos recursos económicos de la población que habitan en estas zonas, sin embargo, disponen de terrenos en los cuales se pueden implantar estos sistemas, estas dos características son importantes al momento de analizar al humedal como una opción para el tratamiento de aguas residuales y lodos sépticos que se generan por el uso doméstico e incluso agrícola en las comunidades (Basantes, 2021).

En la actualidad según Alvarado et al. (2017), solo un cuarto de la población ecuatoriana en las zonas rurales dispone del servicio de sistema de alcantarillado, por ende, las comunidades se ven obligadas al uso de fosas sépticas, lo que a su vez ocasiona un problema ambiental debido a que los lodos generados en estas fosas no tienen una disposición apropiada por la falta de instalaciones adecuadas para su tratamiento.

Motivo por el cual, este estudio tiene como finalidad comprobar la eficiencia del humedal artificial vertical de Sistema Francés como una opción primaria para tratar los lodos provenientes de fosas sépticas. A su vez, los humedales se consideran alternativas viables debido a su costo operativo sumamente económico, mano de obra mínima requerida y bajo consumo energético (Sanz, Martín & Camacho, 2009).

**Antecedentes**

En las zonas rurales de la ciudad de Cuenca, las pequeñas comunidades se sirven del uso de las fosas sépticas, las mismas que necesitan servicio de limpieza y mantenimiento cada cierto periodo de tiempo; esto varía en función de su uso y del tamaño de la población. ETAPA EP (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento), es una empresa del cantón Cuenca encargada de proveer el servicio de limpieza de fosas sépticas; los lodos sépticos son extraídos con la ayuda de los hidrocleaners, estos son los encargados de transportarlos hasta las lagunas aireadas las mismas que se encuentran en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba (PTAR), esto debido a que en la actualidad no se cuenta con un tratamiento adecuado para estos desechos, ocasionando problemas en las lagunas debido a la acumulación de los lodos.

**Justificación**

La PTAR de Ucubamba no cuenta con un sistema de tratamiento de lodos sépticos, por tanto, los lodos provenientes de fosas sépticas se vierten directamente en la laguna aireada generando problemas para la planta; motivo por el cual, se busca una alternativa sostenible como es el caso de los humedales de flujo vertical. Estos humedales son ventajosos ya que son capaces de remover los contaminantes y a su vez tienen bajos costos de instalación, operación y mantenimiento, además de un bajo consumo energético.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar el comportamiento del humedal de flujo vertical método francés con y sin vegetación para determinar la viabilidad del tratamiento de lodos de fosas sépticas de la ciudad de Cuenca.

### **Objetivos Específicos**

1. Realizar la toma de muestras en campo
2. Analizar las cargas orgánicas y de sólidos aplicadas en el humedal durante toda su operación.
3. Realizar las proyecciones de cargas orgánicas y de sólidos aplicadas.
4. Calcular las remociones (DBO, DQO, sólidos volátiles, y sólidos totales) en el humedal sin vegetación.
5. Calcular las humedades de las muestras de lodo tomadas en campo.

## CAPÍTULO 1

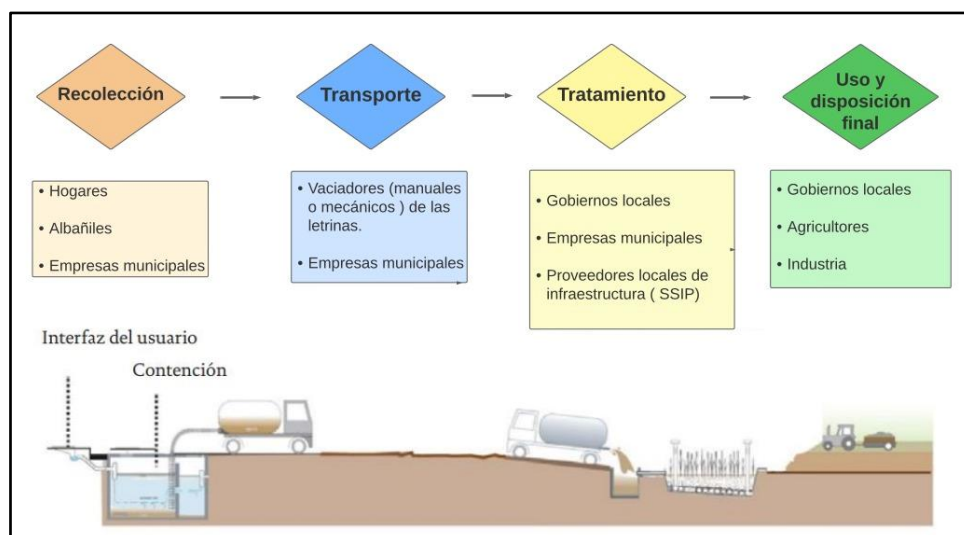
### Introducción y Definiciones

#### 1.1 Manejo de lodos residuales

La efectividad de un sistema de tratamiento de lodos de fosas sépticas está relacionada con las interacciones entre una amplia gama de personas y organizaciones, tanto públicas como privadas, a lo largo de toda la cadena de servicio desde un punto inicial de recolección (usuario) seguido de transporte, tratamiento y su disposición final.

Como en cualquier sistema, entre mayor sean los pasos a seguir y mayor sea el número de involucrados, mayor será el número de posibles inconvenientes y vulnerabilidades en la cadena del servicio de tratamiento de lodos; esto se puede enlistar como: costos de los servicios que los usuarios no pueden costear, complicaciones o inaccesibilidad para realizar la recolección y transporte de los lodos fecales, y lo más importante la falta de puntos adecuados de descarga y tratamiento de los mismos. Por tanto, para desarrollar un sistema eficiente y sostenible, se necesita implementar una solución óptima para cada problema, es decir, un enfoque sistemático para el análisis paso a paso de esta cadena de servicios (Figura 1) (Strande, et al. 2016).

*Figura 1: Cadena de saneamiento y manejo de lodos fecales*



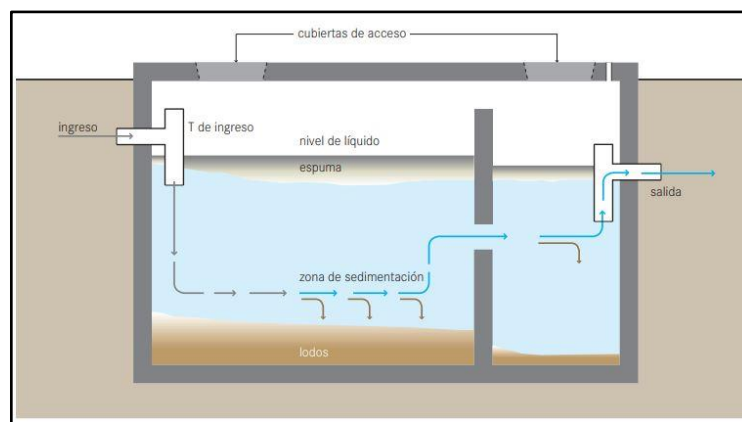
*Fuente: Strande, et al. (2016).*

## 1.2 Lodos de fosas sépticas

### 1.2.1 Fosas Sépticas

Según Lucho, et al., (2015) una fosa séptica es un sistema encargado del tratamiento de aguas grises y aguas negras; es considerado como un tanque de sedimentación cuya forma puede ser rectangular o cilíndrica comúnmente enterrados y cubiertos por una losa de concreto (Figura 2).

*Figura 2: Fosa séptica*



*Fuente: Tilley, E., et al. (2010)*

Debido a que estas fosas reciben aguas residuales de viviendas, poseen concentraciones elevadas de patógenos y material orgánico, por tanto, su diseño debe ser una estructura duradera y hermética, es por esto que generalmente se emplea ferrocemento o concreto reforzado para su construcción, aunque también se pueden encontrar tanques de plástico, fibra de vidrio para traslado rápido y fácil a zonas de difícil acceso o que requieran una estructura de uso inmediato (Once y Ruiz 2014).

Estas estructuras se diseñan con la finalidad de albergar por un determinado tiempo las aguas residuales vertidas en la misma, las partículas en el líquido sedimentarán o flotarán según la densidad del fluido en el que se encuentran, es decir que a menor densidad del fluido respecto a la densidad de los sólidos, mayor será la sedimentación y viceversa; por otra parte, todo el material menos denso que el fluido, es decir materiales ligeros, aceites, grasas tienen a reunirse en la superficie dando origen a la capa flotante de espuma que frecuentemente se aprecia en la parte superior. Se puede dividir a la fosa séptica en tres zonas principales: la zona inferior donde se quedan los sedimentos o zona

de lodos, la zona media o central donde se da lugar a la separación de partículas y la zona superior donde se acumulan las espumas o natas (Méndez, et al., 2007).

Varios autores establecen el rendimiento de depuración de este sistema como se observa en la Tabla 1:

*Tabla 1: Rendimiento de depuración de fosas sépticas*

<b>Parámetro</b>	<b>Reducción (%)</b>
DBO <sub>5</sub>	30-50
Sólidos en suspensión	50-70
DQO	20-30
Coliformes fecales	10-90

*Fuente: (Méndez, et al., 2007)*

Según los datos en la Tabla 1, se puede indicar que el uso de fosas sépticas ayuda a alcanzar un nivel primario de tratamiento; por tanto, los efluentes deberán ser trasladados mediante un sistema especializado para un posterior tratamiento y disposición final.

## **1.2.2 Lodos**

### **1.2.2.1 Origen**

El término lodo según Mantilla (2015) es utilizado para nombrar a los sólidos obtenidos del proceso de depuración de aguas residuales, estos lodos están conformados por el material sólido y restos de microorganismos que intervienen en los procesos de tratamiento.

Por otro lado, se le denomina lodo séptico, al material semilíquido proveniente de las fosas o tanques sépticas, el mismo que se ha asentado en el fondo durante un determinado periodo de tiempo, está conformado por una parte líquida y una capa de espuma o nata superficial (Méndez, et al., 2007).



Los lodos sépticos provienen de fuentes descentralizadas que no están conectadas al alcantarillado; estos pueden encontrarse parcial o totalmente digeridos con variable consistencia y concentración, es decir muy densos o muy líquidos; son la combinación de heces fecales (por tanto, materia orgánica) y aguas residuales (Strande, et al., 2016). Además, estos lodos pueden contener arena, aceites, materiales pesados y todo lo que se ha depositado a lo largo del tiempo de uso del tanque séptico, dichos periodos pueden llegar a ser muy extensos tanto como años (Méndez, et al., 2007).

### **1.2.2.2 Características del lodo de fosas sépticas**

Las características físicas, químicas y biológicas del lodo séptico dependen de varios factores tales como: su origen, es decir de donde provienen, el tiempo que han permanecido en su lugar de origen y del proceso para su obtención, esto permite determinar su grado de contaminación e identificar el tratamiento adecuado.

Según el grado de estabilización, los lodos de fosa sépticas se clasifican como: digeridos y frescos. Los lodos frescos tienen como característica el no haber sido tratados, por tanto, destacan por su fuerte olor desagradable y por su alto contenido de carga orgánica. Los lodos digeridos son el resultado de haber sometido a los lodos frescos a un proceso de digestión ya sea aerobio o anaerobio. A diferencia de los lodos frescos, estos poseen olores menos fuertes y desagradables al igual que un menor porcentaje de agentes patógenos (Lara, 2016).

El lodo asentado en la fosa séptica posee en su composición lignina, producto del uso de papel higiénico, sustancia que tiende a resistirse a la degradación, ya que su tiempo para descomponerse es elevado y tiende a acumularse (Méndez et al., 2007).

Las características físicas de los residuos de fosas sépticas se verán afectados directamente por factores tales como: hábitos de los usuarios (dieta), dimensiones del tanque séptico, el clima, frecuencia de limpieza, así como del suministro del agua y el material de las redes de tuberías (US EPA, 1999).

### **1.2.2.3 Características Físicas**

#### **1.2.2.3.1 Sólidos Suspendedos Totales**

Según Rodríguez (2017), los sólidos totales son todos los contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, que quedan como resultado de la evaporación del agua a

temperaturas entre 103°C y 105°C, sin embargo, los gases disueltos que aportan a la carga de sólidos no son tomados en cuenta.

#### **1.2.2.3.2 Sólidos Volátiles**

Se refiere a los componentes orgánicos e inorgánicos de los sólidos en suspensión. El análisis de sólidos volátiles determina la estabilidad biológica de fangos en las aguas residuales, es decir, una vez seca la muestra debido al proceso de incineración podemos obtener los sólidos volátiles. Se considera que a  $550 \pm 50^\circ\text{C}$  la materia orgánica se oxida a una velocidad razonable (Argandoña & Macías, 2013).

#### **1.2.2.3.3 Temperatura**

La temperatura del agua residual por lo general es superior a la temperatura del agua para abasto, esto se debe a que el agua residual se utiliza en actividades domésticas e industriales. Su medida es en grados Celsius ( $^\circ\text{C}$ ) y su rango varía entre los  $25^\circ\text{C}$  y  $35^\circ\text{C}$ .

Este parámetro es de gran importancia ya que influye sobre las reacciones químicas y la actividad bacteriana. A su vez condiciona los procesos de depuración biológica como la nitrificación y la degradación de la materia orgánica (Trapote, 2013, p. 21).

#### **1.2.2.3.4 Olor**

Los distintos olores que emanan las aguas residuales se deben a la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Se pueden presentar ciertos olores característicos tales como: amoníaco (amoniacal), sulfuro de hidrógeno (huevo podrido), dimetilsulfuro (vegetales descompuestos), eskatol (material fecal).

Una de las características del agua residual es el olor. Las aguas residuales frescas presentan un olor característico desagradable pero tolerable; mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo. El mal olor presente en las aguas residuales de fosas sépticas se debe a la descomposición de la materia orgánica. Cabe mencionar que el principal responsable del mal olor en las aguas residuales es el sulfuro de hidrógeno  $\text{H}_2\text{S}$  (Romero, 2000).

La determinación del olor es un parámetro muy importante, principalmente cuando se encuentra cerca de centros poblados; ya que este parámetro va aumentando conforme avanza el proceso de degradación de los contaminantes (Delgadillo et al., 2010, pp. 53- 54). Para el estudio realizado se determinaron los olores que emanan las aguas residuales provenientes del humedal mediante métodos sensoriales puesto que al emplear el olfato humano se puede obtener datos relevantes.

#### **1.2.2.3.5 Color**

Las aguas residuales presentan una coloración que indica el estado del agua. La coloración del agua presenta variaciones conforme la presencia de sólidos en suspensión, sustancias en solución y material coloidal. Si el agua tiene pocas horas de descarga esta presenta un color café claro a pardoso, mientras que, si el agua tiene un color gris oscuro a negro, entonces el agua ha sufrido una descomposición en condiciones anaerobias (Delgadillo et al., 2010).

Romero (2000) se refiere al color de las aguas residuales como un factor determinante para examinar la condición de la misma. El color de las aguas residuales domesticas tienden a tener un color café-grisáceo; una vez que el agua envejece este cambia de color, de gris oscuro a negro. La formación de sulfuros metálicos en las aguas residuales sépticas ocasiona el color negro. Mientras que en las aguas residuales industriales se puede determinar el origen de la polución a través de su color.

#### **1.2.2.4 Características Químicas**

##### **1.2.2.4.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno requerida para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica degradable o biodegradable presente en el agua, en un periodo de tres horas (Ortiz, 2011).

##### **1.2.2.4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Se define como una medida cuantitativa que indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que utilizan las bacterias para descomponer la materia orgánica presente

en un litro de agua. La prueba se realiza durante 3 o 5 días a 20°C motivo por el cual se expresa como DBO<sub>5</sub> (Espigares & Pérez, 1985).

Mediante el ensayo de DBO<sub>5</sub> se puede dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y a su vez medir la eficacia del proceso de tratamiento aplicado; esto debido a que al realizar el ensayo se determina la cantidad de oxígeno necesario para lograr la estabilización de la materia orgánica presente en el agua (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **1.2.2.4.3 pH (Potencial de Hidrógeno)**

El indicador pH del agua determina la solubilidad y disponibilidad biológica de componentes químicos tales como nutrientes y metales pesados. (Gaudet, 1979). El rango de valores de su escala oscila entre 0 y 14, si el pH tiene un valor de 7 este indica la neutralidad; mientras que, indica acidez si el valor se encuentra bajo 7 e indica alcalinidad si presenta valores superiores a 7 (Guanuchi, 2012).

De acorde a Gaudet (1979) el pH es una propiedad influyente en las demás propiedades del agua residual y los valores de pH que oscilan entre 7,0 y 8,0 son óptimos para poder alcanzar un ecosistema acuático diverso.

#### **1.2.2.4.4 Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto tiene como función indicar si las especies pueden habitar en un cuerpo de agua, puesto que estos organismos necesitan de oxígeno para sobrevivir (Kimirei et al., 2005). Este parámetro posee la capacidad de disolverse en el agua, sin embargo, esta solubilidad depende de factores como la temperatura y salinidad, puesto que la capacidad del oxígeno para disolverse en el agua disminuye al aumentar los mismos (Kalfy y Knoechel, 2002).

La determinación de este factor es uno de los más importantes ya que además de medir la calidad del agua, este parámetro es necesario para la determinación de la DBO (Metcalf & Eddy 2004).

### **1.2.2.5 Características Biológicas**

#### **1.2.2.5.1 Coliformes**

Es un indicador importante que tiene como finalidad evaluar los organismos patógenos presentes en el agua residual y a su vez indican el nivel de contaminación en la misma; estas bacterias que se encuentran por lo general en el suelo, en las plantas y en los animales (Ortiz,2011).

#### **1.2.2.6 Disposición del lodo**

Actualmente existen varios tipos de tecnologías y/o tratamientos de los lodos que se pueden aprovechar y combinar de distintas maneras. Estos tratamientos generan un producto final que podría ser aprovechado como recurso, sin embargo, se deben considerar las diferentes características finales con las que cuenta tales como: físicas, químicas, biológicas, infecciosas, tóxicas, entre otras, de tal forma que se pueda definir claramente si estos lodos resultantes son aprovechables o desechables. En el caso de querer reutilizar o recuperar los recursos, es de suma importancia evaluar los impactos que los agentes patógenos y/o metales pesados podrían generar en el ambiente donde se depositarán (contaminación del suelo, agua subterránea), atracción de vectores (ratas, insectos, etc.) y a su vez los perjuicios en humanos, animales y plantas (Oropeza, 2016; Strande, et al. 2016).

Los lodos necesitan de varios procesos para su disposición final con el fin garantizar de que estos puedan ser depositados de una forma segura; para ello se debe conocer exactamente cuál es su propósito final, como por ejemplo en la agricultura o en la quema de los mismos para producir energía, biocombustibles en base al biogás generado por la digestión anaeróbica, en todos los casos los métodos de tratamiento son específicos y difieren uno del otro (Strande, et al. 2016).

### **1.3. Humedales Artificiales**

Los humedales artificiales son sistemas formados por vegetación, agua y un ecosistema complejo de sustratos con población microbiana que tienen como finalidad remover los contaminantes existentes en el agua residual (Romero, 2009).

Mitsch y Gosselink (2007), definen que los humedales se caracterizan por estar permanentemente o estacionalmente saturado de humedad. A su vez, los procesos naturales que involucran la vegetación de los humedales, tanto los suelos como los conjuntos microbianos son utilizados para el tratamiento de las aguas residuales. La asociación de estos procesos conforma parte de lo que conocemos en la actualidad como un sistema de humedal artificial.

Para lograr una eliminación de los contaminantes del agua dentro del humedal artificial debe existir una combinación de los procesos físicos, químicos y biológicos en el mismo. Estos procesos deben incluir necesariamente sedimentación, precipitación, absorción de partículas del suelo, asimilación por plantas y microbios (Brix 1993; Vyzmazal 2005). Según Miranda (2000) los humedales artificiales son ecosistemas efectivos que pueden ser utilizados de forma segura para el tratamiento y recirculación del agua, siempre y cuando operen de manera adecuada y se mantengan en condiciones óptimas.

### **1.3.1. Humedales de Flujo Vertical**

Los humedales de flujo vertical poseen una mejor eliminación de nitrógeno debido a que tiene una mayor conducción de oxígeno. Esto se debe a la dosificación interrumpida de aguas residuales en la parte superior del lecho, en donde, el oxígeno es atraído hacia los poros del sustrato debido a que el medio se mantiene sin saturación. A su vez, se debe evitar un flujo saturado para garantizar la efectividad del tratamiento, es decir, que el lecho del filtro no debe inundarse con agua (Brix & Arias, 2005).

De acorde a Hoffman et al., (2011) el agua residual debe distribuirse uniformemente en la superficie del humedal para un correcto funcionamiento del humedal y obtener la aireación del lecho filtrante. Además, se debe incluir en el sistema plantas adecuadas para que cumplan con el mantenimiento y mejoren conductividad del humedal.

Los humedales de flujo vertical conocido con las siglas (HFV) se caracterizan por tener los intervalos de carga que son de corta duración y por sus largos periodos de

descanso. En este periodo de descanso el agua residual se filtra por medio del substrato saturado. Sin embargo, se debe mencionar que en este tipo de humedales existe el riesgo de obstrucción en la superficie del lecho filtrante ya sea porque los sólidos se acumulan o por el crecimiento rápido del lodo (Hoffman, et al., 2011).

#### **1.3.1.1 Sistema Francés**

El sistema francés consiste en tratar las aguas residuales crudas y se caracteriza ya que no tiene la necesidad de emplear un tratamiento primario. Este sistema consta de dos etapas. La primera etapa consiste en un humedal de flujo vertical que contiene grava de lecho filtrante. Según Molle et al. (2005), se debe dividir la superficie de la etapa 1 del tratamiento en tres compartimentos. Mientras que, para la segunda etapa se debe construir dos humedales separados (Hoffman et al, 2011). A su vez, este sistema vertical se caracteriza por su modalidad de alimentación. Al realizar la alimentación del humedal existe una mayor oxigenación, permitiendo así la degradación de materia orgánica en un mayor nivel.

#### **1.3.2 Humedales para el tratamiento de Lodos**

Los humedales han evolucionado durante las últimas tres décadas y presentan una solución para tratar los lodos que se generan del subproducto de tratamiento de aguas residuales (Kadlec & Wallace, 2008). Los humedales tienen como función eliminar organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales, además, sirven como filtro de retención y reducen el volumen de lodos mediante procesos tales como la deshidratación y mineralización de materia orgánica (Kim & Smith, 1997).

#### **1.3.3 Funcionamiento del humedal artificial vs métodos tradicionales**

Los humedales artificiales son diseñados con el objetivo de reducir al máximo cortos circuitos y zonas muertas. Cabe mencionar que, en los humedales, tanto las plantas como los microorganismos juegan un papel muy importante en el proceso de purificación. Por ende, al igual que los demás sistemas de depuración de agua, los humedales presentan ventajas y desventajas. A continuación, se indican ciertas particularidades de los mismos (López, 2009).

### **1.3.3.1 Ventajas**

- Económicamente factibles para tratar aguas residuales debido a su bajo costo de construcción y mantenimiento.
- Gastos de operación bajos y a su vez favorecen el reciclaje.
- El trabajo de operación y mantenimiento no debe realizarse de forma permanente.
- Los humedales pueden soportar las variaciones que se presentan en el caudal.
- Proporcionan una buena remoción de contaminantes típicos presentes en el agua residual doméstica.

### **1.3.3.2 Desventajas**

- El rendimiento del sistema puede presentar variaciones debido a que es menos constante a comparación de un proceso convencional. El rendimiento también puede verse afectado por los cambios que se presentan en las condiciones climáticas.
- Se requiere una gran extensión de terreno para la construcción del humedal. Cabe mencionar, que en el caso de contar con un terreno disponible y asequible este tratamiento es relativamente más barato a comparación de otros sistemas de depuración.
- En la actualidad aún existe falta de información sobre el rendimiento a largo plazo de los humedales.



## CAPÍTULO 2

### Metodología

#### 2.1 Generalidades de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Machángara, sector Panamericana Norte km 7 1/2 en las coordenadas UTM 728 722.81; 9 682 293.34 2 WGS84. El proyecto se realizó en un humedal piloto de flujo vertical construido en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba (PTAR); en donde se realizaron las descargas de lodos provenientes de distintas fosas sépticas del cantón Cuenca, como se observa en la Figura 3.

*Figura 3: Ubicación Humedal Piloto - PTAR Ucubamba*

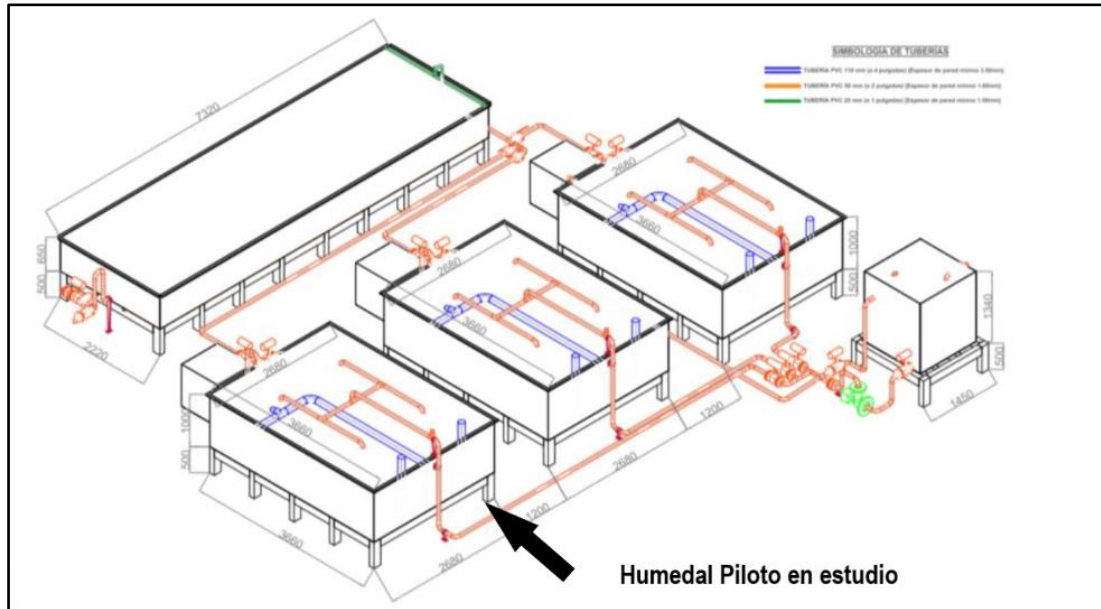


*Fuente: Google Earth (2023)*

#### 2.1.2 Descripción del humedal piloto

La forma geométrica del humedal piloto en estudio es rectangular, presenta dimensiones de 3.6m de longitud y 2.68 m de ancho como se observa en la figura 4. El humedal cuenta con un área superficial de filtro de 9.81 m<sup>2</sup> y una profundidad media de 0.7m. A su vez se encuentra conformado por 3 capas de distinta granulometría (Tabla 2).

Figura 4: Esquema de la estación experimental de aguas residuales sin escala



Fuente: Arévalo Durazno et al., 2020

Tabla 2: Granulometría del humedal en estudio

CAPA	ESPESOR	TAMAÑO	GRANULOMETRÍA
1	30 cm	pequeña	$\phi$ 2 – 10mm
2	20 cm	media	$\phi$ 10 – 20mm
3	20 cm	grande	$\phi$ 20 – 60mm

Fuente: Barreto, Chica, 2021

## 2.2 Fases del proyecto

### 2.2.1 Fase 1 – Con vegetación y válvula abierta

En esta primera fase el humedal piloto en estudio presentó las siguientes características:

- Presencia de vegetación (*Lolium perenne*)
- Válvula de salida abierta

*Figura 5: Humedal Piloto - Fase 1*



*Fuente: Carchi, García (2021)*

### **2.2.2 Fase 2 – Con vegetación y válvula cerrada**

En la segunda fase del estudio del humedal piloto se presentaron las siguientes características:

- Válvula de salida cerrada
- Al inicio de esta fase existió la presencia de vegetación (*Lolium perenne*)
- En el transcurso de la fase 2 se realizó el mantenimiento del humedal y se procedió a retirar la capa superficial de vegetación.
- Luego de realizar la limpieza de la capa superficial de césped se plantó una nueva capa de vegetación (*Lolium perenne*). Sin embargo, la presencia de esta especie sufrió un deterioro, por lo tanto, fue retirada del humedal.

*Figura 6: Humedal Piloto Fase 2*



*Fuente: Álvarez, Proaño, 2022*

### **2.2.3 Fase 3 – Sin vegetación y válvula cerrada**

- En esta última etapa, el humedal en estudio no contó con ningún tipo de vegetación.
- En esta etapa se trabajó con la válvula de salida cerrada.

*Figura 7: Humedal Piloto - Fase 3*



*Fuente: Autores (2022)*

### **2.3 Toma de muestras**

Para llevar a cabo el desarrollo del estudio se necesitó realizar descargas de lodos de fosas sépticas provenientes de los hidrocleaners. Cabe mencionar que las descargas provenían de distintos sectores de la ciudad; es decir, existió una gran variabilidad de la muestra entre cada descarga. En el estudio se tomaron muestras al momento en el que se realizó la descarga en el humedal y a su vez muestreos a la salida. En el primer escenario las muestras del efluente fueron tomadas al momento de la descarga del hidrocleaner; mientras que en el escenario 2 y 3 las muestras de efluente se tomaron a los 7 días después de la descarga, esto debido a que la válvula de salida se encontraba cerrada. Al día posterior de la descarga del humedal también se realizó la toma de muestras de los lodos depositados sobre el lecho. Finalmente se realizó una toma de muestra de lodo depositado sobre el humedal luego de haber transcurrido 7 días, previo a realizarse la siguiente descarga en el humedal. La toma de muestras de todas las fases (1,2 & 3) se realizó con un esquema similar y las muestras fueron analizadas en campo y laboratorio.

#### **Herramientas**

- Baldes (plástico y graduado)
- Embudo
- Probeta
- Tarro de Plástico
- Cronómetro
- Flexómetro
- Recipiente para muestreo
- Traje de protección
- Guantes
- Mascarilla
- Máquina de medición WTW Multi 3420
- Medidor de humedad HB43-S Halogen

### 2.3.1. Procedimiento

#### 2.3.1.1 Entrada

Para realizar la toma de muestras de entrada, la válvula de salida del humedal se mantuvo abierta en el escenario 1 y cerrada en los escenarios 2 y 3, se siguió el procedimiento que se muestra a continuación:

1. El lodo proveniente de fosas sépticas fue descargado directamente sobre el humedal. Se midió el tiempo de duración de la descarga con la ayuda del cronómetro. En esta fase se tomó muestreos tanto iniciales, a la mitad del proceso y un muestreo final utilizando el tarro plástico.

*Figura 8: Descarga del afluente (hidrocleaner)*



*Fuente: Autores (2022)*

2. Las muestras (iniciales, medias, finales) fueron depositadas en el balde plástico para obtener una muestra final representativa para el análisis posterior.

*Figura 9: Medición y depósito de la muestra de entrada*



*Fuente: Autores*

Finalmente, se procedió a extraer 2 litros de la muestra final para llevar a cabo el análisis correspondiente.

### 2.3.1.2. Salida

1. En el escenario 1 la muestra del efluente se tomó al mismo momento que se realizó la descarga del hidrocleaner. Mientras tanto, en los escenarios 2 y 3 se abrió la válvula de salida del humedal para tomar la muestra de efluente a los 7 días después de haberse realizado la descarga del humedal.

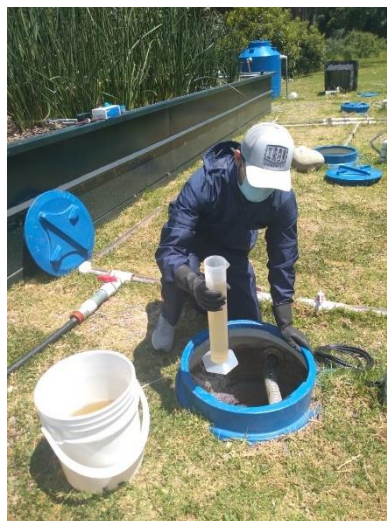
*Figura 10: Salida del efluente del humedal piloto*



*Fuente: Autores*

2. En el instante en que el líquido empezó a salir se tomaron muestras cada 2 minutos con la ayuda de la probeta. A un inicio se tomaron muestras de 1000 ml respectivamente.

*Figura 11: Toma de muestras a la salida del humedal piloto*



*Fuente: Autores*

3. Una vez que el caudal comenzaba a disminuir se realizó la toma de muestras de menor volumen hasta el momento en el que el humedal se vació por completo.

*Figura 12: Depósito y Medición de la muestra (salida)*



*Fuente: Autores*

## 2.4 Cuantificación del volumen de lodos depositados

Para cuantificar el volumen de lodos, se realizaron dos observaciones semanales, una el día de alimentación del humedal y otra aproximadamente 24 horas después, apreciando de forma visual el aumento de lodos en el humedal; tomando en cuenta el área del mismo, se verificó el volumen del mismo mediante la ecuación 1:

$$\mathbf{Volumen} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Altura} \quad (1)$$

## 2.5 Cuantificación del caudal de entrada

Para cuantificar el caudal de entrada se consideró el volumen total descargado del hidrocleaner en el humedal y el tiempo que tardó en hacerlo, con estos parámetros se obtuvo el caudal de entrada mediante la ecuación 2:

$$\mathbf{Q} = \frac{\mathbf{Volumen}}{\mathbf{Tiempo}} \left[ \frac{\mathbf{l}}{\mathbf{s}} \right] \quad (2)$$



## 2.6 Carga hidráulica

La tasa de carga hidráulica o *Hydraulic Loading Rate* (HLR) es una relación entre el caudal medio y la superficie del humedal (Borja y Romero, 2015), cuyo cálculo se realizó mediante la ecuación 3:

$$\mathbf{HLR} = \frac{\text{Caudal medio}}{\text{Superficie del humedal}} \left[ \frac{\text{m}}{\text{día}} \right] \quad (3)$$

## 2.7 Periodos de medición y parámetros analizados

Todas las muestras fueron analizadas para DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos totales, sólidos volátiles, pH y oxígeno disuelto tanto del lodo afluente como efluente líquido. A su vez, se analizó la humedad, sólidos totales y volátiles en la capa de lodo depositado en la superficie del humedal previo a la descarga del hidrocleaner y 24 horas después de haber realizado la misma.

En la Tabla 3 y 4, se presentan los parámetros contemplados en el estudio y sus respectivas frecuencias de análisis y observación. Con respecto a la frecuencia de carga del humedal se realizó una vez por semana con la ayuda del hidrocleaner.

*Tabla 3: Parámetros analizados y frecuencia de medición en el lodo séptico*

	Parámetros	Frecuencia	
		Entrada	Salida
<b>Lodo Séptico</b>	Color	1/Semana	1/Semana
	Olor	1/Semana	1/Semana
	DBO	1/semana	1/semana
	DQO	1/semana	1/semana
	Sólidos totales	1/Semana	1/Semana
	Sólidos volátiles	1/Semana	1/Semana
	pH	1/Semana	1/Semana
	Oxígeno disuelto	1/Semana	1/Semana

*Fuente: Autores (2022)*

**Tabla 4:** Parámetros analizados y frecuencia de medición en el lodo depositado en la superficie del humedal

	<b>Parámetros</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Lodo depositado en la superficie del humedal</b>	Sólidos totales	2/Semana
	Sólidos volátiles	2/Semana
	Humedad	2/Semana

Fuente: Autores (2022)

En el caso de lodo depositado en la superficie del humedal se tomó una muestra antes de la descarga del hidrocleaner y otra muestra luego de 24 horas.

## 2.8 Análisis Físico-Químico

### 2.8.1 Análisis DQO, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales y Sólidos Volátiles

- El análisis del DQO se lo realizó mediante el método estándar, con ayuda de un fotómetro MD 100.
- El análisis de DBO<sub>5</sub> se realizó mediante un sistema respirométrico denominado BD 600, el mismo que tiene el siguiente principio:

Durante la medición las bacterias del agua residual consumen oxígeno disuelto, el mismo que es reemplazado por el oxígeno en la cámara del frasco; el hidróxido de potasio en un depósito interior se combina químicamente con el CO<sub>2</sub> resultante, así se genera un descenso de presión el mismo que es directamente proporcional al valor de DBO registrado por el sensor, este valor se presenta en mg/l (PCE Instruments, 2018).

El análisis tanto de los sólidos totales como de sólidos volátiles se los realizó según el método estándar: *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

### 2.8.2 Análisis de PH y Oxígeno Disuelto

El análisis de estos parámetros estuvo en función al día de la descarga del hidrocleaner, debido a que las muestras del efluente se tomaron previo a la alimentación del humedal, y las muestras del afluente durante la alimentación.

El pH y Oxígeno disuelto se miden con ayuda de la máquina WTW Multi 3420, indicado en la Figura 13.

*Figura 13: Máquina de medición WTW 3420*



*Fuente: Autores (2022)*

El procedimiento consistió en colocar las muestras en recipientes plásticos para posteriormente insertar las sondas de medición, como se indica en la figura 14. Este procedimiento se realizó en campo.

*Figura 14: Medición de pH y Oxígeno disuelto*



*Fuente: Autores (2022)*

### 2.8.4 Análisis de Humedad

Para llevar a cabo el análisis de humedad se realizó la toma de 2 muestras como se muestra en la figura 15. La primera muestra se tomó minutos previos antes de la descarga del hidrocleaner. Mientras que la segunda toma de muestra se llevó a cabo al día siguiente después de haberse realizado la alimentación del humedal.

*Figura 15: Toma de Muestras de lodo*



*Fuente: Autores*

Luego de tomar las respectivas muestras de lodo en el humedal piloto, las muestras fueron llevadas posteriormente al laboratorio. A través del medidor de humedad HB43-S Halogen, se obtenía el porcentaje de humedad de la misma. Para ello, se debía obtener una muestra de lodo con un rango de peso entre 2.5g y 3.5g.

*Figura 16: Analizador de humedad HB43-S Halogen*



*Fuente: <https://www.mt.com>*

El equipo que se muestra en la figura 16 es el encargado de calcular el peso inicial de la muestra y el peso final. Esto se logra a través de la aplicación de calor siguiendo el principio termogravimétrico. Este principio consiste en evaporar la humedad de la muestra de manera rápida (45 min- 1 hora). Finalmente se obtiene el valor del contenido de humedad del lodo en porcentaje.

## CAPITULO 3

### Resultados y Discusión

#### 3.1 Características generales de la descarga en los humedales

Para analizar el comportamiento del humedal se realizó un registro de observación tomado en campo durante las 3 fases para contabilizar el tiempo transcurrido entre las descargas realizadas y realizar las respectivas comparaciones posteriormente.

En la Tabla 5 se detallan las condiciones y observación de cada descarga realizada en campo a través de las 3 fases del proyecto.

*Tabla 5: Características de las descargas en el humedal*

	Descarga	Fecha	Volumen (l)	Observaciones
<b>Escenario 1</b>	<b>1</b>	19/2/21	3000	Presencia de gran cantidad de basura
	<b>2</b>	3/3/21	5000	La mayor parte de la descarga era líquida, se tuvo que parar la descarga, pues el humedal se desbordó
	<b>3</b>	10/3/21	3500	La mayor parte de la descarga era líquida, alto contenido de materia orgánica y poca presencia de basura
	<b>4</b>	19/3/21	4000	La descarga contenía un alto contenido de grasas, basura y un fuerte olor, que dificultó al momento de la toma de muestras
	<b>5</b>	30/3/21	3500	Presencia de poca cantidad de basura
	<b>6</b>	8/4/21	4000	La descarga era completamente líquida con poca presencia de basura
	<b>7</b>	21/4/21	3500	La descarga era completamente líquida con poca presencia de basura
	<b>8</b>	4/5/21	3500	La descarga era completamente líquida con poca presencia de basura
	<b>9</b>	26/5/21	2800	La descarga era completamente líquida con poca presencia de basura, poco volumen de descarga debido a que el hidrocleaner solo

				tenía un trabajo de vaciado cerca de la PTAR de Ucubamba
	<b>10</b>	4/6/21	4200	La descarga era complemente líquida, poca presencia de sólidos, presencia de un olor leve.
	<b>11</b>	14/6/21	3500	La descarga en su mayor parte fue líquida, tenía un color oscuro con trazas de grasa, presentaba un olor leve, la descarga se hizo de manera rápida. Casi se desborda el humedal debido a la alta vegetación.
	<b>12</b>	7/7/21	5250	La descarga era líquida, olor leve, sin presencia de grasas ni nada, una descarga muy normal.
	<b>13</b>	22/7/21	2000	La descarga era líquida, tenía un color claro, con un leve olor.
<b>Escenario 2</b>	<b>14</b>	10/8/21	2000	La descarga en su mayor parte era líquida de olor medio y bajo contenido de sólidos y basura.
	<b>15</b>	17/8/21	1300	La mayor parte de la descarga fue líquida de olor intermedio.
	<b>16</b>	24/8/21	1300	La descarga en su mayor parte fue líquida de olor fuerte.
	<b>17</b>	31/8/21	1300	La mayor parte de la descarga contenía líquido levemente espeso de olor fuerte con un alto contenido de sólidos.
	<b>18</b>	14/9/21	1400	La descarga en su mayor parte fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor leve.
	<b>19</b>	28/9/21	1400	La descarga en su mayor parte fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor leve.
	<b>20</b>	5/10/21	1400	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.
	<b>21</b>	13/10/21	1230	La descarga en su mayor parte fue líquida con poco contenido de sólidos de olor leve.
	<b>22</b>	9/11/21	1000	La descarga fue líquida con olor casi inexistente.

	<b>23</b>	16/11/21	1400	La descarga fue líquida de olor fuerte y alto contenido de sólidos.
<b>Escenario 3</b>	<b>24</b>	30/11/21	1795	La descarga fue líquida con un contenido de sólidos medio y olor fuerte.
	<b>25</b>	8/12/21	1000	La descarga fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor medio.
	<b>26</b>	12/1/22	1000	La descarga fue líquida con bajo contenido de sólidos y olor medio.
	<b>27</b>	19/1/22	800	La descarga fue líquida sin olor aparente con un alto contenido de sólidos.
	<b>28</b>	7/2/22	1200	La descarga fue líquida con contenido de sólidos bajo y olor medio.
	<b>29</b>	16/2/22	1000	La descarga presentaba un color oscuro, olor medio, poca presencia de basura y/o sólidos, hubo percolación inmediata.
	<b>30</b>	2/3/22	1000	La descarga casi no contenía sólidos, con un olor no muy intenso, color marrón, mínima presencia de basura, se tomaron las muestras y se llevaron al laboratorio.
	<b>31</b>	16/3/22	1000	La descarga líquida casi en su totalidad, coloración oscura, olores intermedios, ligera presencia de basura.
	<b>32</b>	25/4/22	1000	La descarga muestra bastante presencia de sólidos por lo que se notaba bastante densa, olores fuertes, color café claro. No percolaba de inmediato debido a la densidad.

*Fuente: Autores (2023)*

Las descargas realizadas en el humedal en estudio dependían directamente de la disposición del hidrocleaner, por ende, la frecuencia de las descargas era variable, puesto que, en varias ocasiones no se contaba con trabajos cerca de la PTAR de Ucubamba. Sumado a esto, los camiones sufrían daños constantes viéndose obligados a paralizar sus actividades y ocasionaban retrasos en el avance del proyecto.

Los hidrocleaners poseen una capacidad de almacenamiento de 7m<sup>3</sup>. sin embargo, el volumen que transportaba dependía netamente de los trabajos previos a la descarga. Cabe mencionar que luego de cargar el humedal, el resto de lodos provenientes de fosas sépticas eran depositadas en las lagunas de PTAR de Ucubamba.



### 3.2 Parámetros operativos y de diseño

#### 3.2.1 Cuantificación del volumen de lodo depositado

Para realizar la cuantificación del volumen depositado en el humedal se utilizó el concepto de deshidratación de lodos. De acuerdo a Silva (2019), la deshidratación de lodos consiste en disminuir la cantidad de agua presente en el mismo. A su vez, al realizar este proceso se obtienen ventajas, tales como, obtener una reducción del volumen y una mejor manejabilidad de los lodos. Además, este proceso está sujeto a varios aspectos como son: la composición del lodo, su origen, condiciones climáticas e incluso si existe vegetación en el humedal.

Para lograr una mayor deshidratación de los lodos en el humedal dentro del escenario 1 se utilizaron plantas conocidas como *Lolium perenne*. Puesto que, las plantas juegan un papel muy importante en este proceso. Según Nielsen (2009) la vegetación aporta aspectos tales como:

- La evapotranspiración
- Mayor absorción de nutrientes
- Incremento en la porosidad del lodo
- Mejor conductividad hidráulica

El cálculo del volumen de lodo en la superficie del humedal se obtuvo mediante la Ecuación 1, para este cálculo se realizó la medición del espesor que se acumuló al final de las descargas realizadas en el escenario 1, este valor promedio fue de 2mm.

*Tabla 6: Cálculo de volumen en la superficie del humedal -Escenario 1*

Área del humedal (m <sup>2</sup> )	Espesor de lodo acumulado (m)	Volumen de lodo (m <sup>3</sup> )
9.81	0.002	0.02

*Fuente: Autores (2023)*

El volumen de lodo promedio obtenido fue de 0.02m<sup>3</sup> como lo indica la Tabla 6, este valor promedio se obtuvo durante los primeros 5 meses desde la primera descarga realizada en el humedal; lo que representa un valor de 0.0048m de crecimiento de la capa

de lodo superficial por año. Cabe mencionar que este valor podría variar considerablemente conforme a la cantidad de sólidos presentes en cada descarga.

Al comienzo del tercer escenario el humedal presentaba una capa de lodo con un espesor de 0.01 m. A su vez, se realizó otra medición in situ al finalizar esta etapa en el mes de mayo de 2022, obteniendo un valor de 0.05 m de espesor. Cabe mencionar que la última descarga realizada en el humedal presentó una alta densidad de sólidos, ocasionando que el espesor de la capa de lodo aumentara drásticamente.

El volumen de lodo al finalizar el tercer escenario es de 0.0981 m<sup>3</sup> como se muestra en la **Tabla 1**Tabla 7 a continuación:

*Tabla 7: Cálculo de volumen en la superficie del humedal – Escenario 3*

Area del humedal (m <sup>2</sup> )	Espesor de lodo acumulado (m)	Volumen de lodo (m <sup>3</sup> )
9.81	0.05	0.49

*Fuente: Autores (2023)*

### 3.2.2 Caudal de entrada

Para llevar a cabo la cuantificación del caudal de entrada en las muestras tomadas en campo se consideró el volumen total descargado del hidrocleaner en el humedal y el tiempo que tardó en realizar la descarga, con estos parámetros se obtuvo el caudal de entrada a través del método volumétrico basado en la ecuación 2. A su vez, se realizó el cálculo del caudal promedio de las distintas fases de la investigación que se detallan a continuación en la Tabla 8:

*Tabla 8: Caudal de entrada (l/s)*

	Descarga	Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
<b>Escenario 1</b>	<b>1</b>	3000	420	7,14
	<b>2</b>	5000	470	10,64
	<b>3</b>	3500	320	10,94
	<b>4</b>	4000	340	11,76
	<b>5</b>	3500	315	11,11
	<b>6</b>	4000	350	11,43
	<b>7</b>	3500	350	10,00
	<b>8</b>	3500	310	11,29
	<b>9</b>	2800	220	12,73
	<b>10</b>	4200	205	20,49
	<b>Caudal Promedio</b>			<b>11,75</b>
<b>Escenario 2</b>	<b>14</b>	2000	600	3,33
	<b>15</b>	1300	480	2,71

	<b>16</b>	1300	540	2,41
	<b>17</b>	1300	420	3,10
	<b>18</b>	1400	420	3,33
	<b>19</b>	1400	480	2,92
	<b>20</b>	1400	480	2,92
	<b>21</b>	1230	540	2,28
	<b>22</b>	1000	330	3,03
	<b>23</b>	1400	720	1,94
	<b>Caudal Promedio</b>			<b>2,80</b>
<b>Escenario 3</b>	<b>24</b>	1800	570	3,16
	<b>25</b>	1000	630	1,59
	<b>26</b>	1000	600	1,67
	<b>27</b>	800	600	1,33
	<b>28</b>	1200	660	1,82
	<b>Caudal Promedio</b>			<b>1,91</b>
<b>Caudal Promedio Total</b>			<b>6,20</b>	

*Fuente: Autores (2023)*

Cabe mencionar que para las descargas 11,12,13,29,30,31 y 32, no se pudo medir el tiempo que tardó el hidrocleaner en cargar el humedal, por tanto, no se pudo calcular el caudal de entrada de las mismas.

### 3.2.3 Carga hidráulica

Para realizar el cálculo de este parámetro se tomó en cuenta los siguientes factores:

- Volumen depositado en el humedal (m<sup>3</sup>)
- Tiempo transcurrido entre descargas (semana)
- Área de superficie (9.81m<sup>2</sup>)

Se estableció la carga hidráulica promedio por semana y se observa el rango de cada fase como se muestra a continuación en la Tabla 9:

Tabla 9: Tasa de carga hidráulica

Escenario	Max	Min	Carga Hidráulica Promedio	Desviación estándar
	(m <sup>3</sup> * descarga / semana)	(m <sup>3</sup> * descarga / semana)	(m <sup>3</sup> * descarga / semana)	
1	0.36	0.1	0.24	0,09
2	0.2	0.03	0.12	0,05
3	0.09	0.02	0.06	0,03

Fuente: Autores (2023)

El volumen depositado en el humedal varía entre 0.8 a 5.25 m<sup>3</sup> en el transcurso de los 3 escenarios. Este volumen varía puesto que el hidrocleaner depositaba diferentes cantidades en cada descarga.

La carga hidráulica conocida como Hydraulic Loading Rate en inglés (HLR) es un factor determinante para analizar la eficiencia y el nivel de rendimiento del humedal en el tratamiento de aguas residuales domésticas. A pesar de que no existe un rango hidráulico específico de acorde a las fuentes literarias para determinar la eficiencia de un sistema, los humedales de flujo vertical se caracterizan por presentar una variabilidad en la eficiencia del humedal de acorde al modelo del mismo.

Sin embargo, según Molle et al. (2005) un alto valor de carga hidráulica reduce el rendimiento del humedal vertical. Cabe mencionar que el diseño del humedal de flujo vertical es un factor relevante que afecta al rendimiento del sistema; esto se debe a que ciertas características disminuyen la remoción de materia orgánica, SST, y nitrógeno.

No obstante, en un estudio realizado por Sete (2016) se destacan valores de HLR entre 0.12-0.549  $\frac{m^3 * descarga}{semana}$ , los cuales indican un trabajo eficiente por parte del sistema. Por ende, se puede determinar que el humedal en estudio presentó un rendimiento favorable en los escenarios 1 y 2 a pesar de la variación de HLR.

### 3.2.4 Tasa de carga de sólidos

Para el cálculo de la tasa de carga de sólidos (SLR), se consideró la carga hidráulica (HLR). A continuación, en la Tabla 10 se presenta la carga de sólidos para los 3 escenarios.

Tabla 10: Cálculo de la tasa de carga de sólidos

	Descarga	Tasa de carga de sólidos (kg/m <sup>2</sup> *semana)	Tasa de carga de sólidos (kg/m <sup>2</sup> *año)	
<b>Escenario 1</b>	1	0,33	17,14	
	2	0,46	24,09	
	3	0,51	26,46	
	4	9,20	479,61	
	5	0,32	16,93	
	6	1,26	65,82	
	7	0,36	18,81	
	8	0,37	19,51	
	9	0,50	26,18	
	10	0,33	17,19	
	11	6,14	320,30	
	12	0,18	9,58	
	13	0,10	5,44	
		<b>Tasa de carga de sólidos Promedio por Escenario</b>	<b>1,54</b>	<b>80,54</b>
		<b>Mediana</b>	<b>0,37</b>	<b>19,51</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>2,80</b>	<b>146,15</b>	
<b>Escenario 2</b>	14	0,31	16,37	
	15	0,50	26,29	
	16	1,78	92,95	
	17	0,66	34,30	
	18	1,04	54,01	
	19	0,19	10,00	
	20	0,30	15,80	
	21	0,35	18,49	
	22	0,16	8,49	
	23	1,52	79,50	
		<b>Tasa de carga de sólidos Promedio por Escenario</b>	<b>0,68</b>	<b>35,62</b>
		<b>Mediana</b>	<b>0,43</b>	<b>22,39</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,57</b>	<b>29,98</b>	
<b>Escenario 3</b>	24	0,23	12,08	
	25	0,06	3,35	
	26	0,04	2,30	
	27	1,27	66,44	
	28	0,03	1,80	
	29	0,08	4,00	
	30	0,18	9,42	
	31	0,08	4,25	
	32	0,73	37,93	

	<b>Tasa de carga de sólidos Promedio por Escenario</b>	<b>0,30</b>	<b>15,73</b>
	<b>Mediana</b>	<b>0,08</b>	<b>4,25</b>
	<b>Desviación estándar</b>	<b>0,42</b>	<b>22,12</b>
<b>Promedio Total</b>			
	<b>Promedio Total</b>	<b>0,93</b>	<b>48,28</b>
	<b>Mediana Total</b>	<b>0,34</b>	<b>17,84</b>

*Fuente: Autores (2023)*

Autores como Kengne, et al. (2014) y Strande, et al. (2016) recomiendan un SLR de  $200 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$  para lodos de fosas sépticas con una frecuencia de aplicación de una vez por semana, mientras que Koottatep, et al. (2008), recomienda  $250 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$  como valor óptimo de SLR.

Sete (2016) presenta valores que oscilaron entre 11 a  $944 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ ; además de presentar una media de SLR de  $73 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$  y una mediana de  $32 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ .

### **Primer Escenario**

En este escenario se obtuvieron valores en un rango que va desde 5.44 a  $92.95 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ , siendo el mínimo y máximo respectivamente, además de presentar una media de  $80.54 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$  y una mediana de  $19.51 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ .

### **Segundo Escenario**

Para este escenario se obtuvieron valores en un rango que va desde 8.49 a  $479.61 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ , siendo el mínimo y máximo respectivamente, además de presentar una media de  $35,62 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$  y una mediana de  $22,39 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ .

### **Tercer Escenario**

Para este escenario final los valores se encontraron en un rango de 2.30 a  $66.44 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ , en este caso la media fue de  $15.73 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$  y una mediana de  $4.25 \frac{\text{kg ST}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$ .

Comparando el estudio realizado con los valores de otros estudios previamente mencionados se puede observar que los resultados obtenidos se encuentran en algunos en

algunos casos muy por debajo de los valores óptimos, esto debido a varios factores tales como: el inadecuado control de la carga hidráulica y las concentraciones de sólidos totales que ingresaron al humedal, esto en respuesta a la variabilidad en las características de los lodos sépticos vertidos en el humedal los mismos que provenían de distintas zonas de la ciudad expuestas distintos factores que alteran considerablemente el funcionamiento adecuado del sistema.

### **3.3 Parámetros Físico Químicos**

Para determinar el porcentaje de remoción de las muestras se utilizaron los datos del líquido afluyente y efluente.

Las muestras tomadas a lo largo de los 3 escenarios provenían de diferentes fosas sépticas, por consiguiente, las muestras eran variables y además se pudo analizar que los lodos presentaban un comportamiento previo a la descarga y otro comportamiento luego del sistema de tratamiento.

#### **3.3.1 Oxígeno Disuelto**

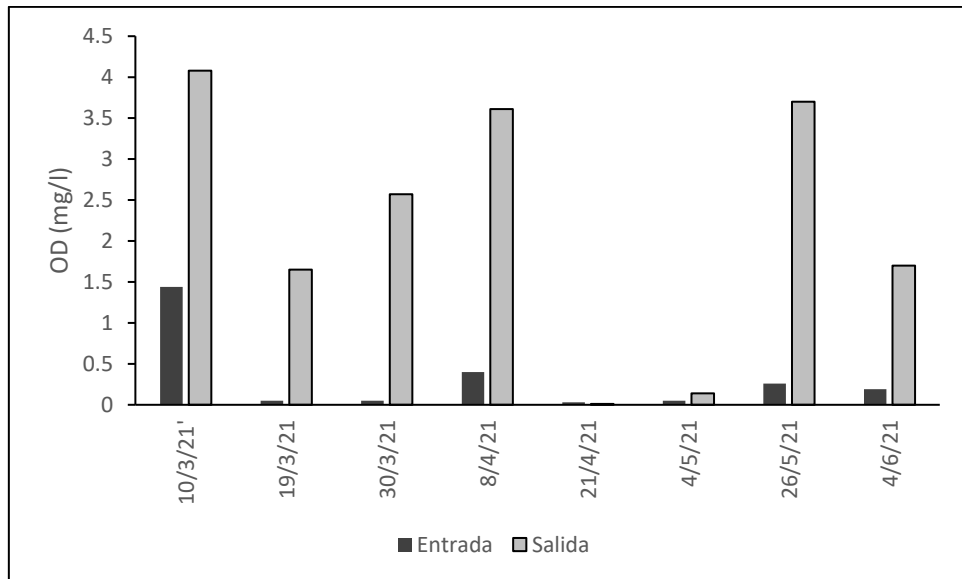
La comparación de afluentes y efluentes, nos permite realizar una evaluación del sistema y si este es beneficioso respecto a la remoción de contaminantes, siendo la circulación y aireación adecuada uno de los factores importantes para obtener resultados positivos (Estrada, 2010).

A continuación, se presenta el comportamiento del oxígeno disuelto para el primer y tercer escenario registrados en este proyecto.

#### **Primer escenario**

En la Figura 17, se puede apreciar que los valores de OD del efluente son mayores que el afluyente, obteniendo un rango de resultados entre 0.01 y 4.08, como valores mínimo y máximo respectivamente.

Figura 17: Primer escenario OD



Fuente: Autores (2023)

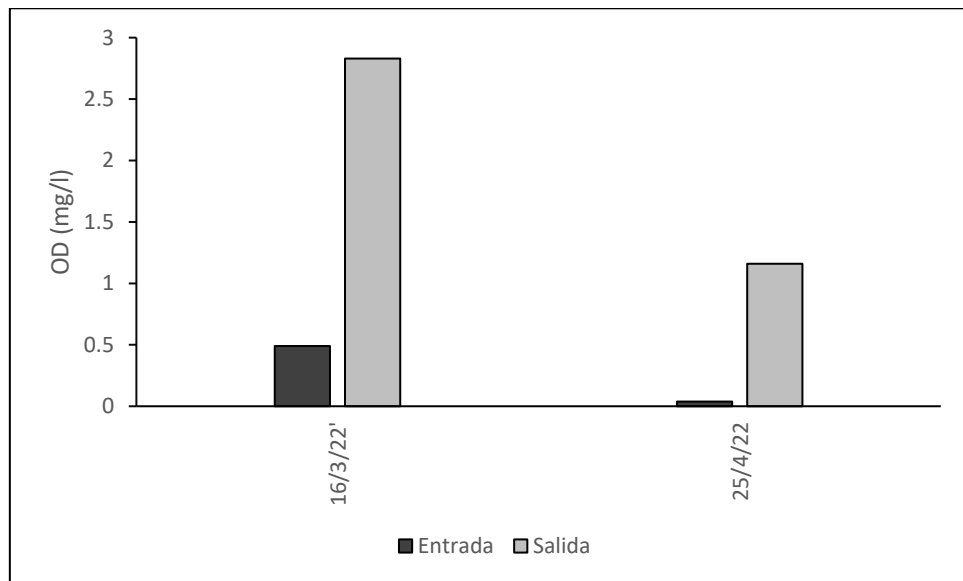
Los resultados del OD muestran un comportamiento positivo del humedal, exceptuando dos de las descargas en las que se obtuvieron valores mínimos de 0.01 y 0.14 para las descargas con fecha 21/4/21 y 4/5/21 respectivamente, siendo valores muy bajos para un efluente, ya que niveles bajos de OD indican que el rendimiento del humedal es deficiente.

### Tercer Escenario

Para este escenario como se aprecia en la Figura 18, se realizaron dos tomas del OD, en ambos casos los valores de salida son mayores a los de entrada, lo que indica el correcto funcionamiento del humedal con esta configuración (sin vegetación).



Figura 18: Tercer escenario OD



Fuente: Autores (2023)

Los valores de oxígeno disuelto de entrada son menores a los de salida, mostrando que el humedal sin importar la configuración (con y sin vegetación) es capaz de oxigenar el sistema. Si bien el oxígeno disuelto es un parámetro muy importante respecto a la calidad del efluente, se dificulta realizar comparaciones de los resultados obtenidos con otros estudios, debido a que el OD varía en función de la temperatura y altitud, por lo que para cada estudio serán condiciones particulares según la zona donde se llevaron a cabo (Arévalo, et al. 2021).

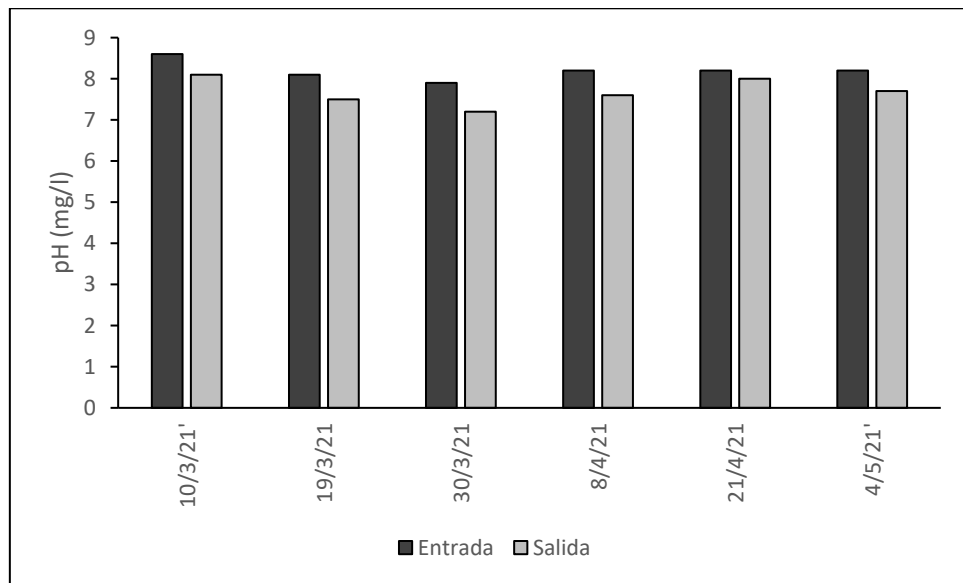
### 3.3.2 pH

La medición del pH llevó a cabo in situ, se tomaron muestras a la entrada y salida del humedal. A continuación, se presentan los resultados para cada uno de los escenarios que forman parte de este estudio.

#### Primer escenario

Se registró el comportamiento desde la tercera descarga con fecha 10/3/21, ya que no se contaba con la máquina para dicho análisis, hasta la octava con fecha 4/5/21.

Figura 19: Primer escenario pH



Fuente: Autores, (2023)

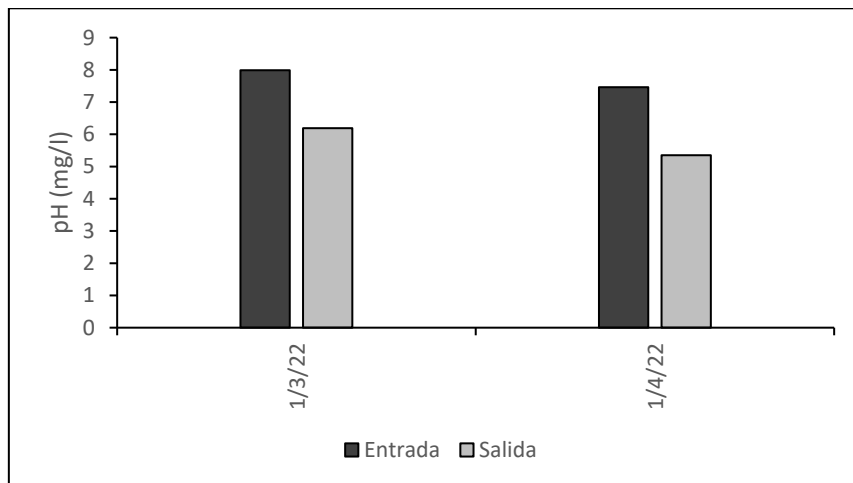
Como se puede observar en la Figura 19, los valores de salida son menores que los de entrada, con un rango de salida de 7,2-8,1 mg/l, lo que indica que el humedal trabaja de manera adecuada siendo capaz de reducir el pH de lodos extraídos de fosas sépticas.

Según Vera et al. (2012) la disminución del pH puede estar relacionado con la acidificación del medio, esto debido a la producción de sustancias orgánicas generadas por la vegetación presente en el humedal, y por el proceso de mineralización de la materia orgánica.

### Tercer Escenario

En este escenario, como se aprecia en la Figura 20, se registró el comportamiento del pH para dos de las descargas realizadas, con valores de salida de 6,19 y 5,35 respectivamente, pese a la poca cantidad de datos para este escenario, con los valores obtenidos podemos decir que esta configuración (sin vegetación), sirve para la disminución del pH de los lodos sépticos vertidos en el humedal. La disminución del pH en este escenario se asocia a la mineralización de la materia orgánica producto de la acidificación del medio (Vera et al. ,2012).

Figura 20: Tercer escenario pH



Fuente: Autores, (2023)

Romero (2004) expresa que para la existencia de gran parte de la vida biológica el valor de pH apropiado para distintos procesos de tratamiento se encuentra entre 6.5 y 8.5.

En base a los resultados se puede concluir que los valores obtenidos en el análisis de pH realizado en este estudio para los dos escenarios presentados para este parámetro, presentan reducción de pH en la salida, pero solo el primer escenario presenta valores óptimos, dentro del rango previamente mencionado. Los valores para el tercer escenario están por debajo de 6.5, según Romero (2004) aguas con pH inferiores a 6, favorecen al crecimiento de hongos sobre las bacterias.

Valores cercanos al pH neutro dan lugar a un ambiente adecuado para la existencia de microorganismos. Un pH fuera del rango permisible puede influir en la toxicidad de sustancias que sean dependientes del grado de disociación (Carchi y García, 2021).

### 3.3.3 Humedad en el lodo

La determinación de la humedad en el lodo depositado, se efectuó tomando una muestra de lodo, antes y después de su alimentación.

Con base a los resultados obtenidos se realizó una gráfica como se muestra en la Figura 21, en donde se representa el porcentaje de humedad del lodo con respecto a las

descargas, se puede observar máximos de 100 por ciento que están relacionados al día que se realizó la alimentación del humedal y que representa el valor máximo de humedad.

### **Primer escenario**

En la Figura 21 se observa que los valores obtenidos de humedad están en un rango que va de 44-76 %, estos valores son considerados óptimos al tratarse de un humedal joven.

Las muestras tomadas antes y después de la alimentación muestran resultados beneficiosos para el sistema, ya que el humedal es capaz de perder entre un 24 % y 56 % de humedad en un lapso de 24 horas.

### **Segundo escenario**

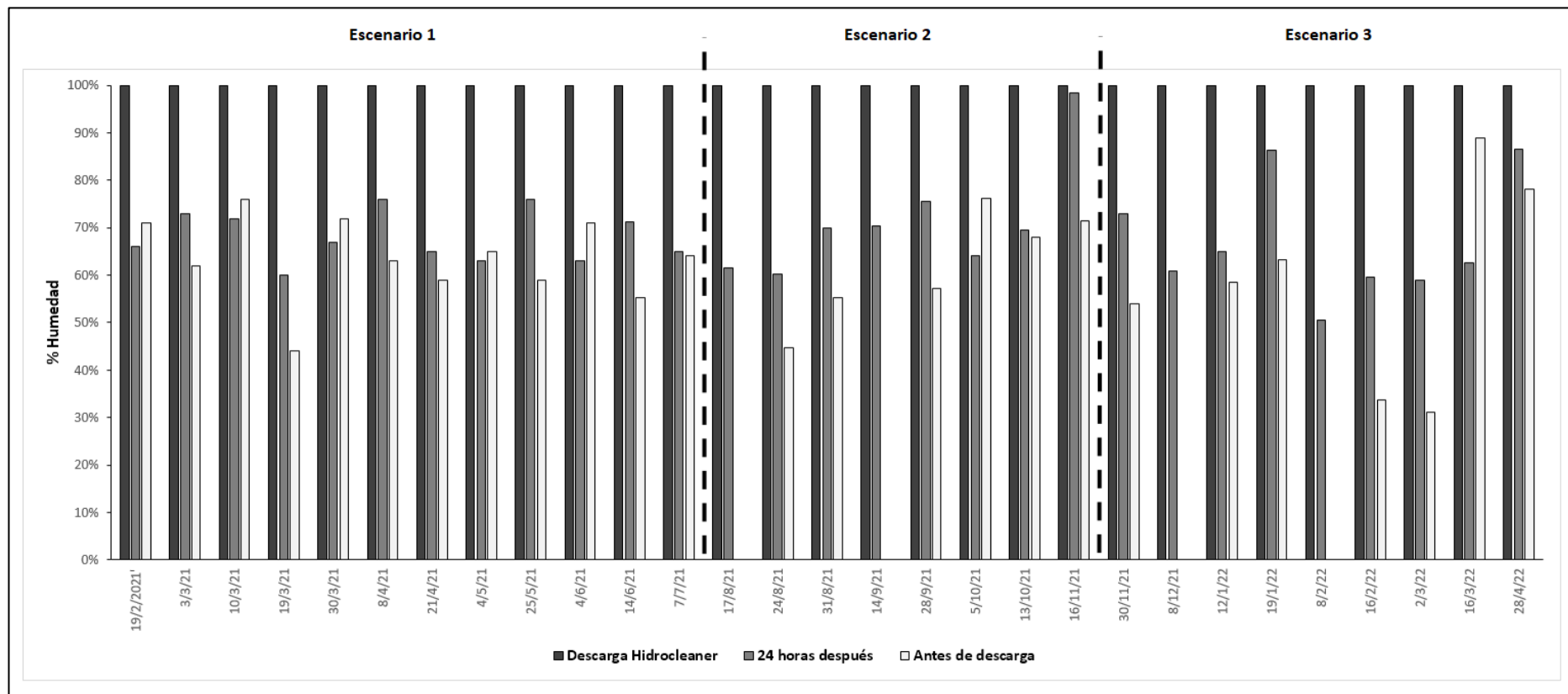
Para este escenario, como se puede observar en la Figura 21 se observa que los valores obtenidos de humedad están en un rango desde 45-98 %, es decir que existió una pérdida de humedad de entre el 2%-55% para esta configuración del humedal.

### **Tercer Escenario**

En este escenario, como se puede observar en la Figura 21 los valores obtenidos de humedad están en un rango desde 31-89 % es decir que existió una pérdida de humedad de entre el 11%-69% para esta configuración del humedal.

Estos resultados, reflejan que el sistema trabaja de forma positiva y de manera más simple a comparación de otros sistemas de tratamiento de lodos en donde se ve influenciado por previos procesos como es el espesamiento, estabilización, acondicionamiento y todo eso antes de llegar a la deshidratación del lodo. Cabe mencionar que, pese a que en este estudio se tuvieron 3 configuraciones o escenarios distintos, estos resultados varían en base a las condiciones meteorológicas y las características particulares de los lodos sépticos extraídas de distintos puntos para cada descarga.

Figura 21: Comparación entre los 3 escenarios del porcentaje de humedad en el lodo



Fuente: Autores, (2023)

### **3.3.4 DBO<sub>5</sub>**

#### **Primer Escenario**

En esta fase inicial se tomaron únicamente 2 mediciones debido a que se presentaron problemas con el equipo de medición.

En esta etapa existe una reducción de DBO<sub>5</sub> demostrando que el humedal es capaz de reducir los valores iniciales de este parámetro.

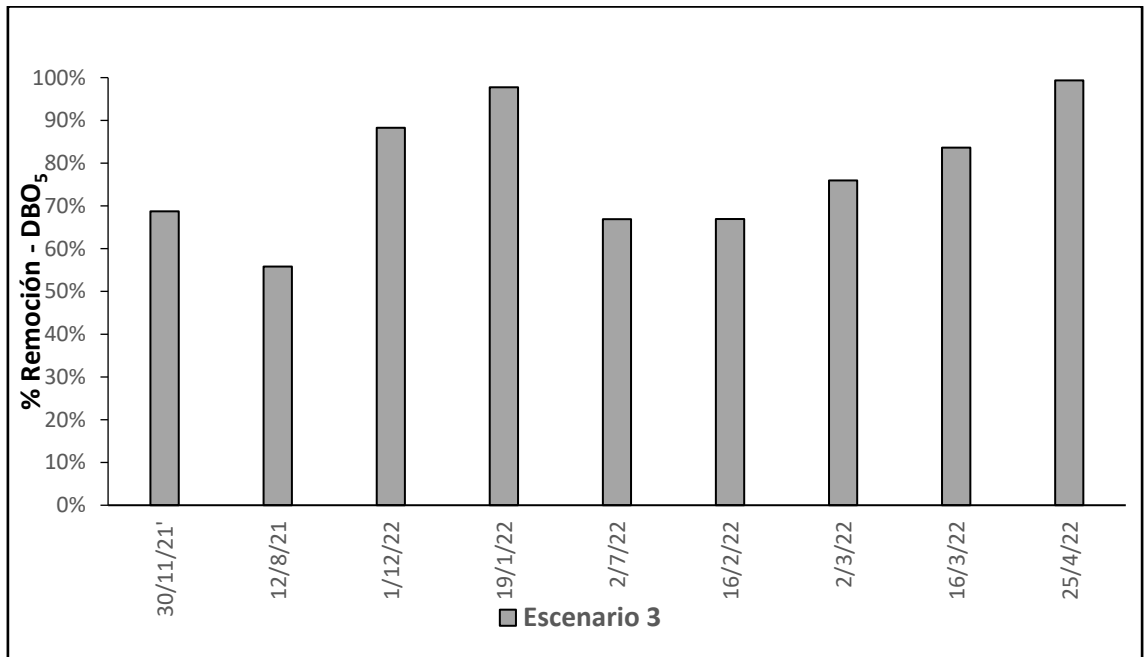
#### **Segundo Escenario**

Al igual que en el escenario anterior se realizaron 2 mediciones, en donde se pudo apreciar un porcentaje de remoción relativamente alto a comparación del primer escenario. Cabe mencionar que al finalizar este escenario del proyecto se realizaron labores de mantenimiento en el humedal que consistieron en el retiro de la capa de césped y lodo de la superficie del humedal. El mantenimiento se realizó puesto que esta capa impedía que el humedal percole de manera eficaz. Posterior a esto se plantó la especie *Lolium perenne*.

#### **Tercer Escenario**

En esta etapa se realizó el retiro de plantas debido a su deterioro. En el tercer escenario se realizó la toma de 9 muestras, en donde, el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> es superior al 50% en todas las muestras como se muestra en la figura 22.

Figura 22: Porcentaje de remoción DBO<sub>5</sub>– Tercer escenario



Fuente: Autores, (2023)

Exceptuando el primer escenario, las demás descargas realizadas a lo largo del proyecto presentan un porcentaje de remoción superior al 50%. El porcentaje de remoción mínimo corresponde a un valor de 55.81% en la descarga 22 (tercer escenario), mientras que un 99.34% corresponde al valor máximo de remoción que se presenta en la última descarga del proyecto.

No se puede realizar una comparación eficaz entre los 3 escenarios puesto que en el primer y segundo escenario no existe una cantidad de datos relevantes para analizar el comportamiento del humedal, sin embargo, se puede observar que trabaja de una manera eficaz.

### 3.3.5 DQO

#### Primer Escenario

Cómo se aprecia en la figura 23, en este escenario el humedal demostró que pese a ser joven es un sistema capaz de soportar cargas elevadas puesto que se presentaron resultados óptimos en la disminución de la carga de DQO. Los valores de porcentaje de remoción varían entre 10.10% y 79.30%. A su vez, el porcentaje promedio de remoción de DQO en este escenario corresponde a un valor de 49%.

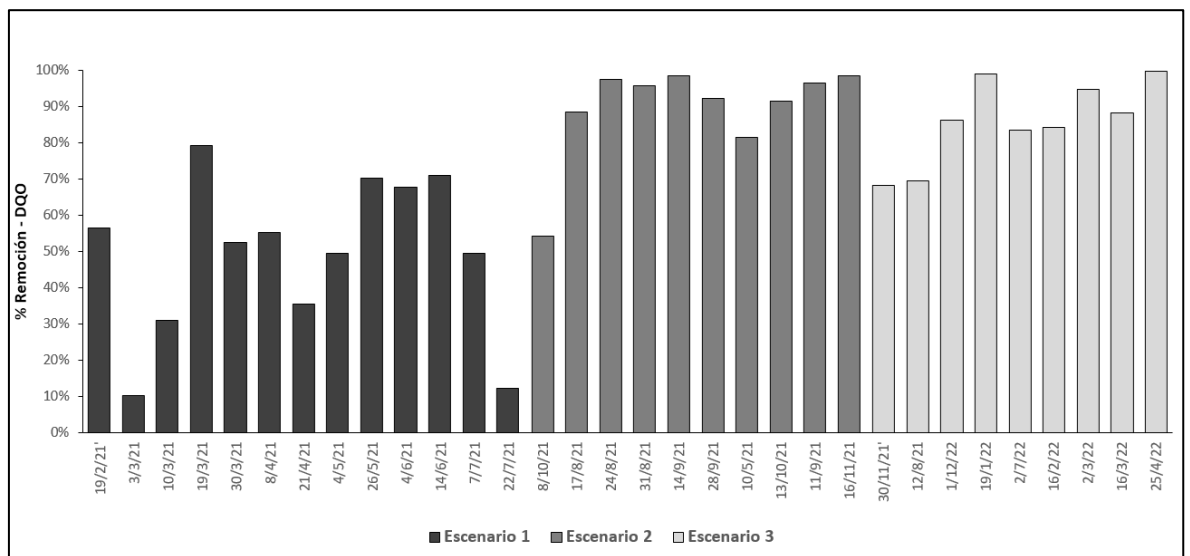
#### Segundo Escenario

El porcentaje de remoción de DQO varía entre 54% a 98,51 %, como se puede apreciar en la figura 23, debido a la gran contaminación existente en las descargas realizadas a lo largo de este escenario. El porcentaje promedio de remoción de DQO en este escenario corresponde a un valor de 89.42%.

**Tercer Escenario**

En este escenario se puede observar que el porcentaje de remoción de DQO en todos los casos es superior a un 60%, como se aprecia en la figura 23, con un promedio de 85.91%, lo que indica que el humedal funciona correctamente.

*Figura 23: Porcentaje de Remoción DQO- Tercer escenario*



*Fuente: Autores, (2023)*

Al comparar los 3 escenarios podemos apreciar que el segundo y tercer escenario presentan un porcentaje de remoción relativamente superior al primer escenario. Los porcentajes promedios obtenidos en la segunda y tercera fase superan al porcentaje óptimo de remoción de acuerdo al estudio realizado por Sete (2016).

**3.3.6 Sólidos Totales**

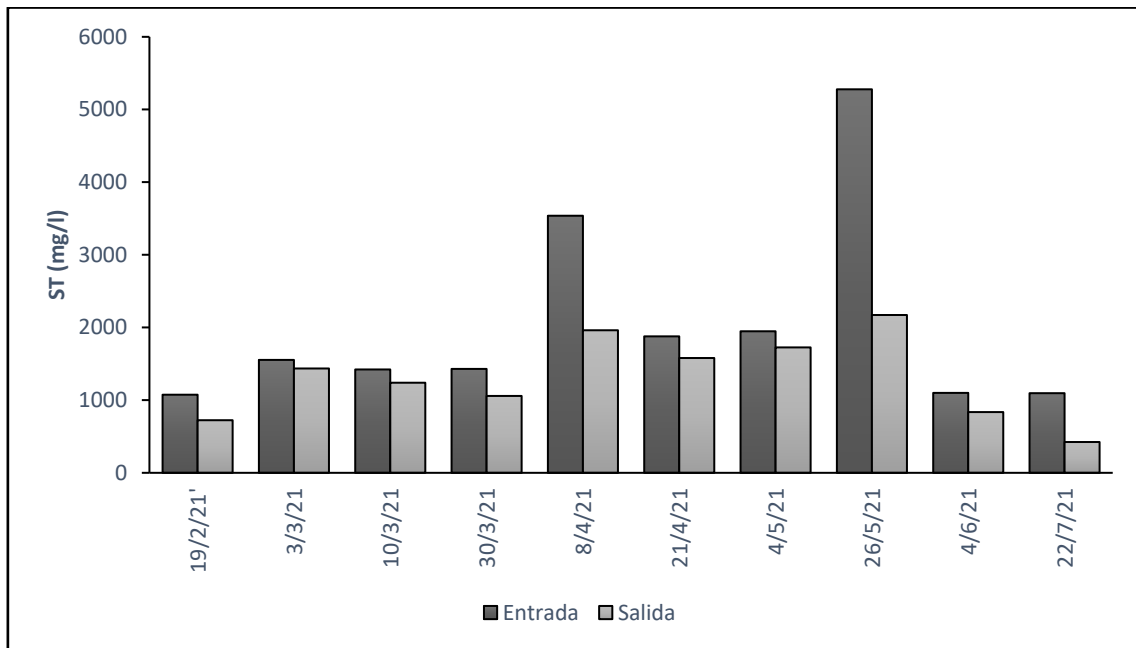
De acuerdo a la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes (TULSMA, 2015), el límite máximo permisible de descarga hacia un cuerpo de agua dulce corresponde a un valor en la salida de 1600 mg/l.



**Primer Escenario**

Como se observa en la Figura 24, en este escenario, 7 de las 12 descargas realizadas cumplen con el límite máximo permisible, es decir tienen un valor de salida menor a 1600 mg/l, las 5 descargas restantes con valores de salida superior al límite permitido presentaron características físicas similares entre sí, en donde, 3 de ellas mostraron un color gris oscuro. Mientras que 2 de ellas presentaron una anomalía en sus valores respecto a las otras descargas, las descargas mencionadas se refieren al 19/03/2021 y al 14/06/2021. Estas descargas mostraron particularmente un color negro, con presencia de grasa y a su vez emanaban un fuerte olor, esto debido a que los lodos sépticos provenían de distintas zonas de la ciudad y se vertían en el humedal sin tener en cuenta este tipo de factores que podían afectar el rendimiento del sistema.

*Figura 24: Sólidos Totales-Primer escenario*



*Fuente: Autores, (2023)*

En este escenario, en las descargas realizadas el 19/03/2021 y el 14/06/2021 se obtuvieron valores elevados a comparación de las demás descargas que se mantuvieron en un rango estable.

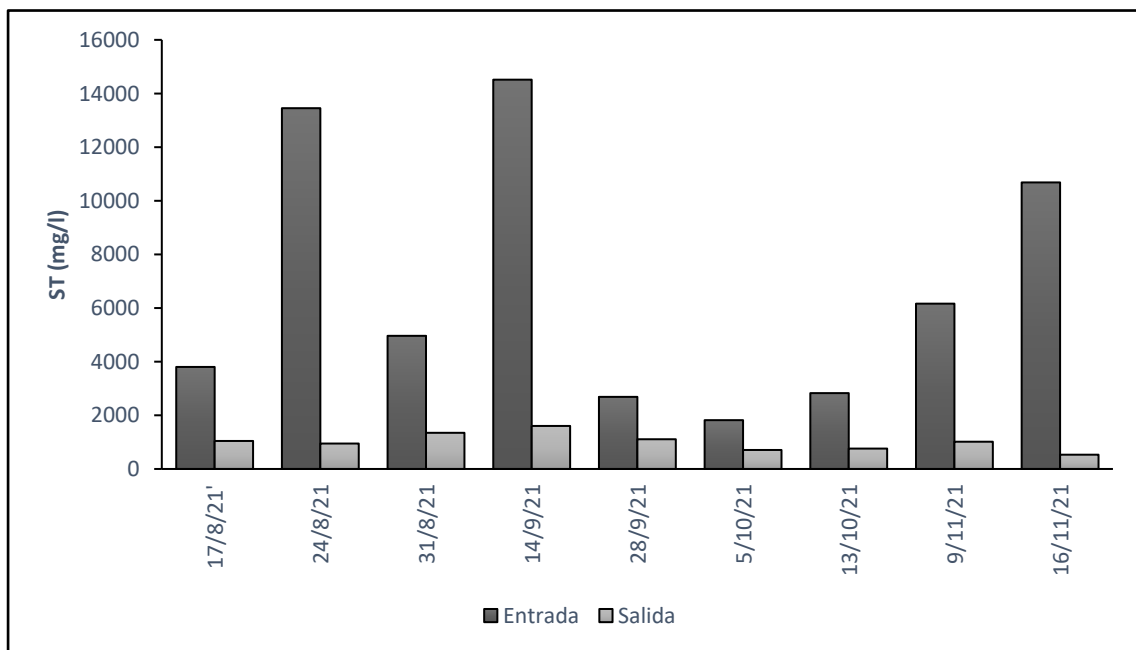
El valor de excesivo de los sólidos totales presentes en estas dos descargas se relaciona con la presencia de basura y grasa que contenían dichas descargas. Por ende, en la Figura 24 no se visualizan las descargas realizadas de las fechas antes mencionadas, debido a que no se consideran representativas a comparación del resto.

### Segundo Escenario

En este escenario, se realizaron 9 descargas, en donde, tan solo la descarga realizada el 14/09/2021 no cumple con el límite máximo permisible de acuerdo a la norma, como podemos apreciar en la Figura 25, el valor de salida es de 1604 mg/l, que corresponde a un 0.25% de excedente, lo no que representa un valor significativo y por tanto se lo puede considerar dentro del rango permisible.

Los resultados para este escenario indican que el humedal trabajó de forma óptima con esta configuración, además de que no se presentaron mayores particularidades en las descargas con respecto a los ST.

Figura 25: Sólidos Totales – Segundo escenario

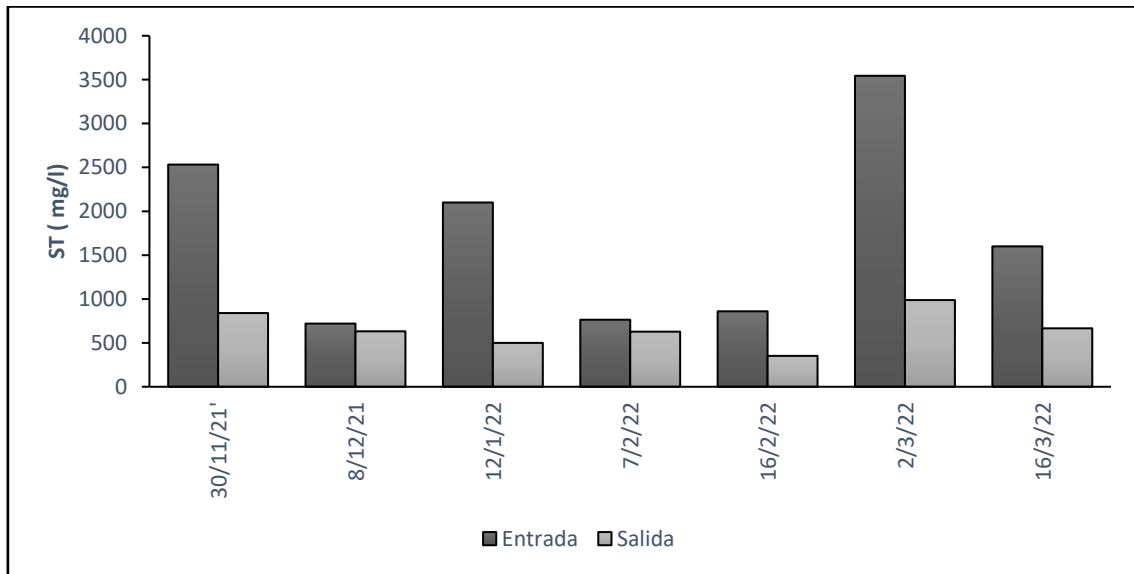


Fuente: Autores, (2023)

### Tercer Escenario

En el tercer escenario, se realizaron 9 descargas, en donde únicamente la descarga final realizada el 25/04/2022 no cumple con el límite máximo establecido, sobrepasando el valor de salida permisible por un 57,12%, debido a que esta descarga presentó características particulares tales como: alta presencia de sólidos, por lo que dificultó la percolación inmediata debido a su alta densidad.

Figura 26: Sólidos Totales -Tercer escenario



Fuente: Autores, (2023)

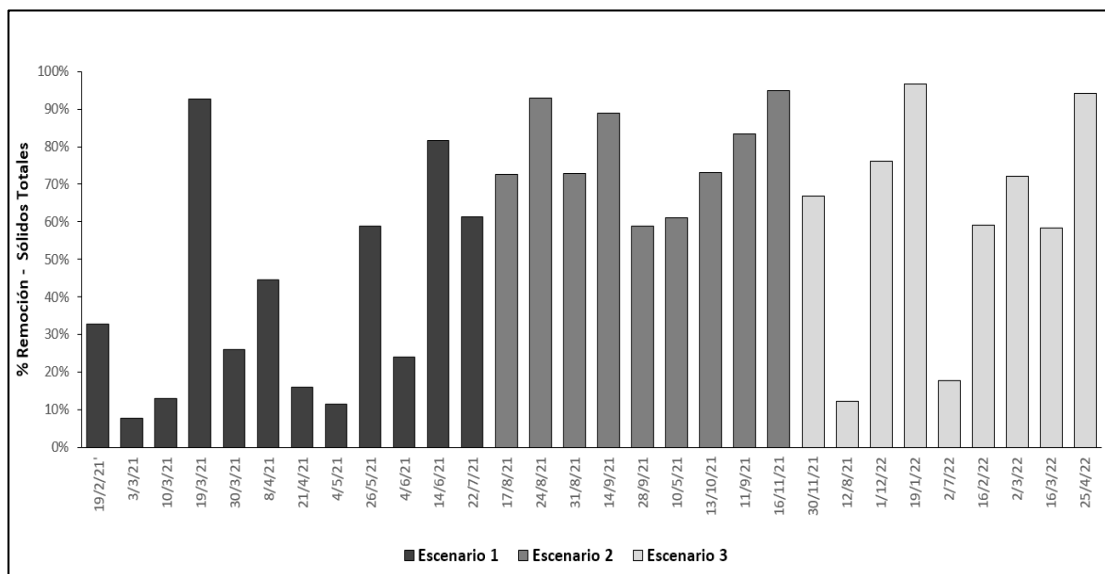
En el escenario final, las descargas realizadas el 19/01/2022 y el 25/04/2022 se obtuvieron valores sumamente elevados a comparación del resto de descargas que se mantuvieron en un rango similar.

Las dos descargas antes mencionadas presentaron un alto contenido de sólidos, esto se debió a que dichas descargas presentaron una alta densidad, el humedal presentó dificultades durante la percolación. Por lo tanto, en la Figura 26, no se consideraron las descargas realizadas de las fechas antes mencionadas para el análisis de este parámetro, debido a que no se consideran representativas a comparación del resto.

### 3.3.6.1 Porcentaje de remoción de Sólidos Totales

A continuación, la Figura 27 muestra el porcentaje de remoción de ST para cada escenario.

Figura 27: Porcentaje de Remoción de ST en los 3 escenarios



Fuente: Autores, (2023)

En el primer escenario el porcentaje de remoción se encuentra en un rango de 7.59 – 92.55%. En donde 8 de las descargas presentaron una remoción inferior al 50%. En el total de descargas, tan solo una de ellas presentó una eficiencia cercana al 100%, esta descarga corresponde a la realizada el 19/03/2021.

En el segundo escenario se pudo observar que todas las descargas superaron el 50% de remoción, por tanto, el humedal trabajó de manera más eficiente con respecto al escenario anterior, con un rango que va desde 58.78-95.02%, en donde la descarga con mayor porcentaje de remoción corresponde a la realizada el 16/11/2021, cuyo valor es de 95.02%.

En el tercer escenario se obtuvo un rango que va desde 12.22-96.80%, en donde dos de las descargas se encuentran por debajo del 50% de remoción de ST, siendo la descarga con fecha de 19/01/2022 aquella que presentó el mayor porcentaje de remoción siendo del 96.80%.

Se puede concluir que el tercer escenario trabajó de una manera más eficiente en cuanto a la remoción de ST, con un promedio de remoción de 77.65%, en comparación al 39.11% del primer escenario y al 61.52% del segundo escenario. Cabe mencionar, que mientras mayor sea la concentración de entrada de ST mayor será el porcentaje de remoción.

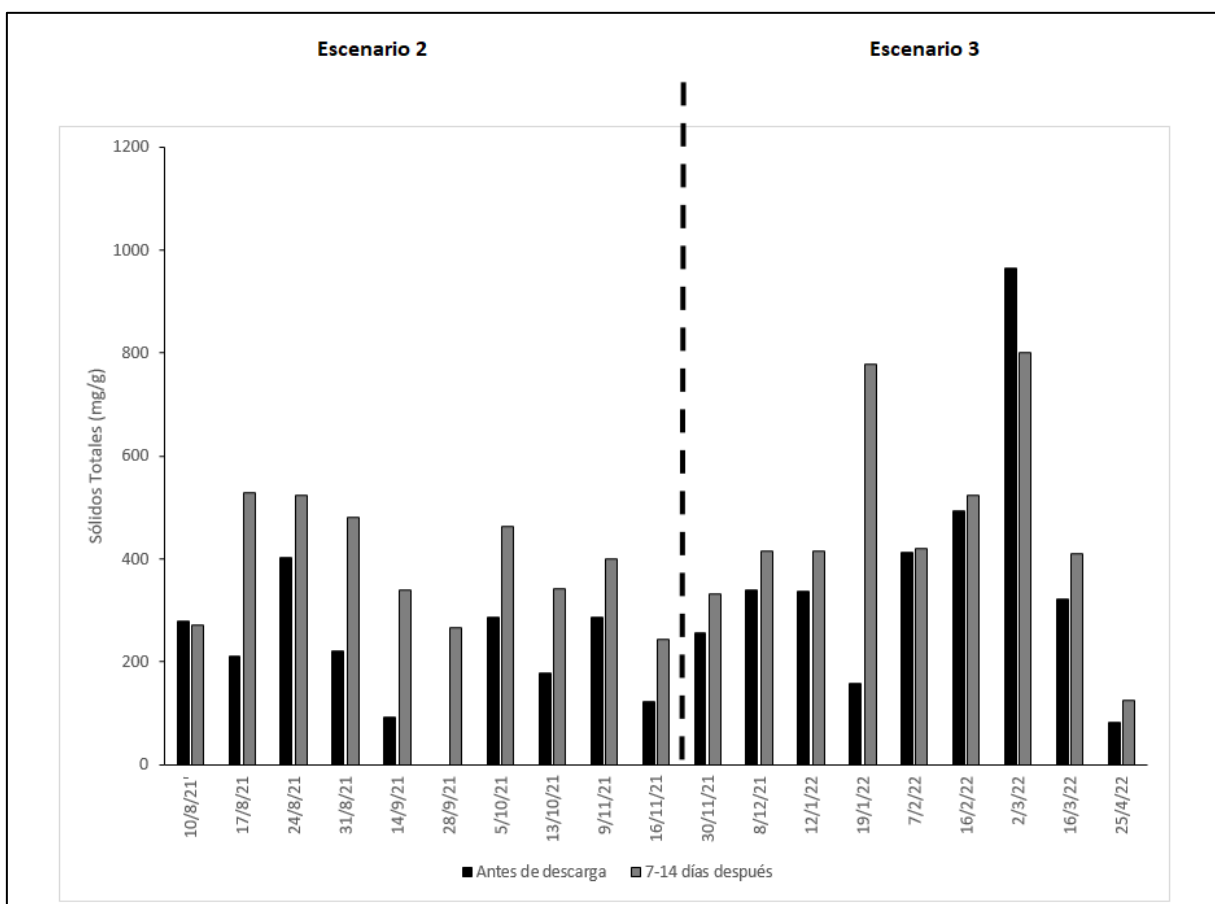
### 3.3.6.2 Sólidos Totales en el lodo depositado

Al realizar el análisis de los sólidos totales en los lodos, se llevó a cabo el muestreo del lodo depositado en el humedal. Se tomó una muestra de lodo de la superficie del humedal antes de la descarga del hidrocleaner y se llevó a cabo otra toma de muestra a los 7 días después de la descarga.

La variabilidad de los resultados depende en gran escala de las características particulares de cada descarga realizada y de las condiciones climáticas de la zona.

En la Figura 28, se observa la cantidad de ST en los lodos depositados en la superficie del humedal.

Figura 28: Sólidos Totales – Escenario 2&3



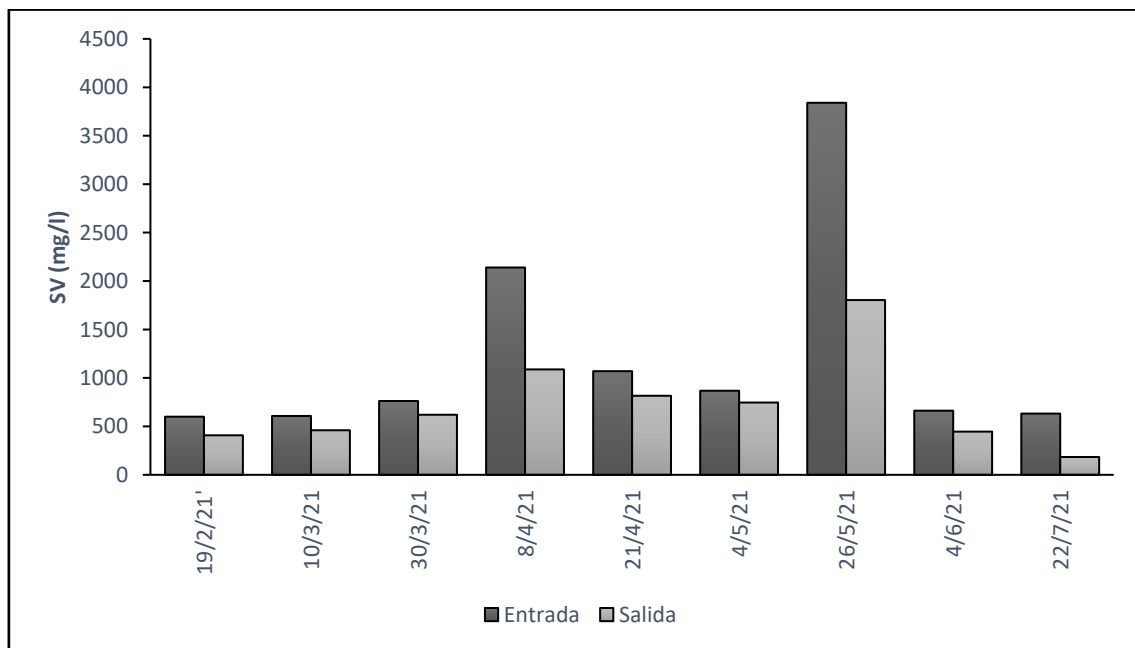
Fuente: Autores, (2023)

### 3.3.7 Sólidos Volátiles

#### Primer Escenario

Como se observa en la Figura 29, en este escenario, 2 de las descargas realizadas no fueron consideradas para el análisis debido a que presentaron errores en su medición ya que presentaron valores de salida más elevados que los valores de entrada; en la cuarta descarga se presentó un valor de entrada relativamente alto a las demás descargas, esto implica que la remoción será más eficiente, debido que a mayor entrada de carga orgánica y la configuración del humedal de flujo vertical, la materia tiende a quedarse en la superficie, por tanto el valor de SV de la salida será mucho menor que en descargas con valores de entrada de materia orgánica más bajos.

Figura 29: Sólidos Volátiles- Primer escenario



Fuente: Autores, (2023)

En las descargas realizadas el 19/03/2021 y el 14/06/2021 se obtuvieron valores muy por encima del promedio a comparación de las demás descargas realizadas.

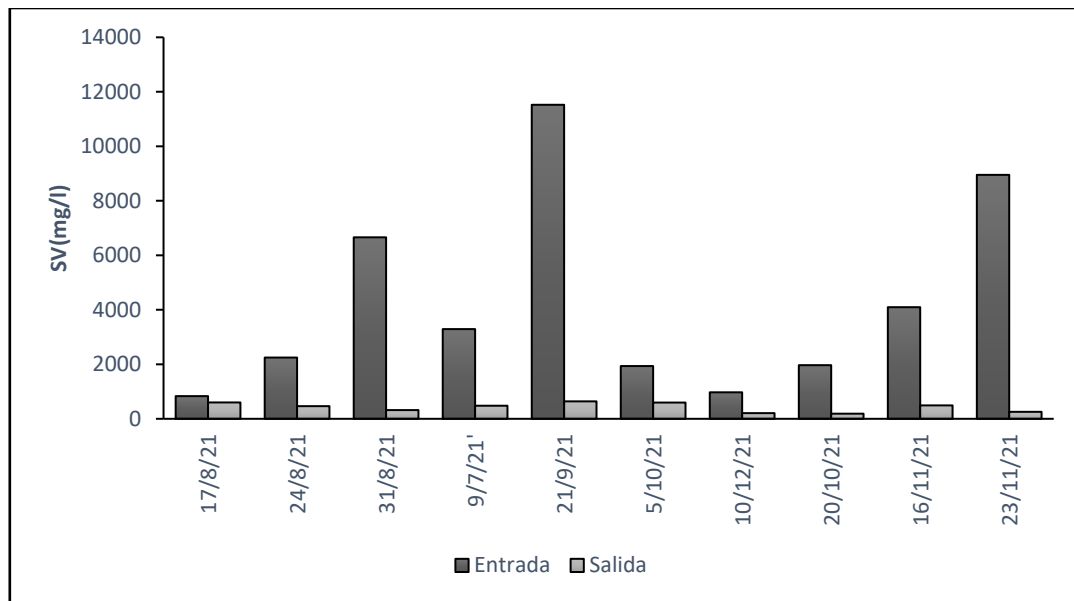
El valor de excesivo de los sólidos volátiles se relaciona con la presencia de basura y grasa que contenían estas descargas. Por lo tanto, en la Figura 29, no se visualizan los parámetros de SV para las descargas realizadas en las fechas antes mencionadas.

**Segundo Escenario**

En este escenario, como se observa en la figura 30, se hace énfasis en la primera descarga puesto que la remoción de SV es relativamente baja a comparación del resto de descargas, debido a que la cantidad de materia orgánica de entrada presenta un valor bajo.

Las 9 descargas restantes presentan un valor de salida de SV bajo, en comparación al valor de entrada. Los valores de salida de SV van desde 188-640 mg/l, indicando el correcto funcionamiento del humedal con esta configuración.

*Figura 30: Sólidos Volátiles-Segundo escenario*

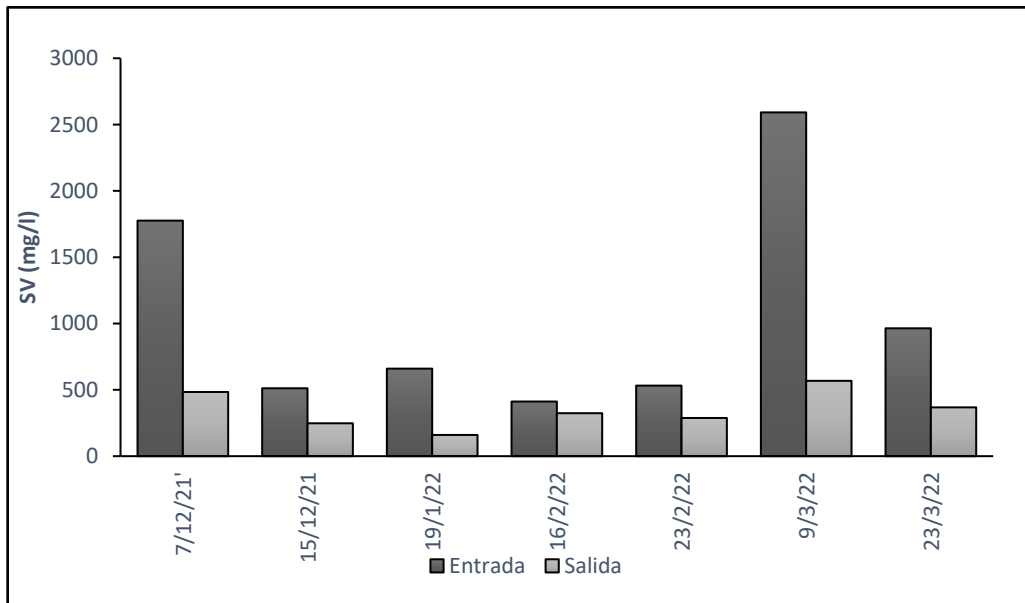


*Fuente: Autores, (2023)*

**Tercer Escenario**

En este último escenario de las 9 descargas realizadas, la descarga final con fecha 03/05/2022, como se observa en la Figura 31, presentó la particularidad de alto contenido de materia orgánica en comparación a las demás, ocasionando así una mayor remoción de SV, una vez más demostrando que es conveniente una alta entrada de carga orgánica para un mejor rendimiento del humedal.

Figura 31: Sólidos Volátiles-Tercer escenario



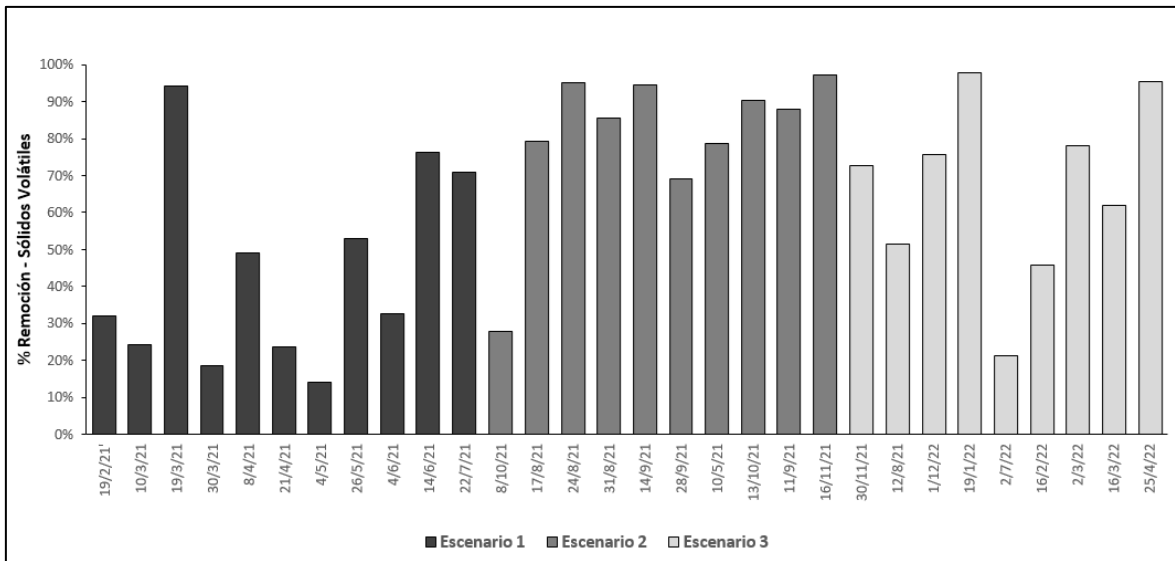
Para el análisis de ST en el escenario final, no se consideraron las descargas realizadas el 19/01/2022 y el 25/04/2022 puesto que los valores obtenidos fueron sumamente elevados a comparación del resto de descargas, las cuales presentaron un rango similar. Estas descargas tuvieron un alto contenido de sólidos, esto se debió a que presentaron una alta densidad, y, por tanto, el humedal presentó dificultad para percolar. Cabe mencionar, que en la Figura 31, no se consideraron estas descargas para el análisis de SV, debido a que no se consideran representativas a comparación del resto.

### 3.3.7.1 Porcentaje de remoción de Sólidos Volátiles

A continuación, la Figura 32, muestra el porcentaje de remoción de SV en los tres escenarios.



Figura 32: Porcentaje de Remoción en los 3 escenarios – Sólidos Volátiles



Fuente: Autores, (2023)

En el primer escenario el porcentaje de remoción se encuentra en un rango de 14.06 – 94.32%. En donde 7 de las descargas presentaron una remoción inferior al 50%. En el total de descargas, tan solo una de ellas presentó una eficiencia cercana al 100%, esta descarga corresponde a la realizada el 19/03/2021.

En el segundo escenario se pudo observar que todas las descargas superaron el 50% de remoción, a excepción de la primera descarga, la cual presenta un 27.88% de remoción, por tanto, el humedal trabajó de manera más eficiente con respecto al escenario anterior, con un rango de remoción de SV que va desde 27.88-97.14%, en donde la descarga con mayor porcentaje de remoción corresponde a la realizada el 16/11/2021, cuyo valor es de 97.14%.

En el tercer se obtuvo un rango que va desde 21.36-97.91%, en donde dos de las descargas se encuentran por debajo del 50% de remoción de SV, siendo la descarga con fecha de 19/01/2022 aquella que presentó el mayor porcentaje de remoción siendo del 97.91%.

### 3.3.7.2 Sólidos Volátiles en el lodo depositado

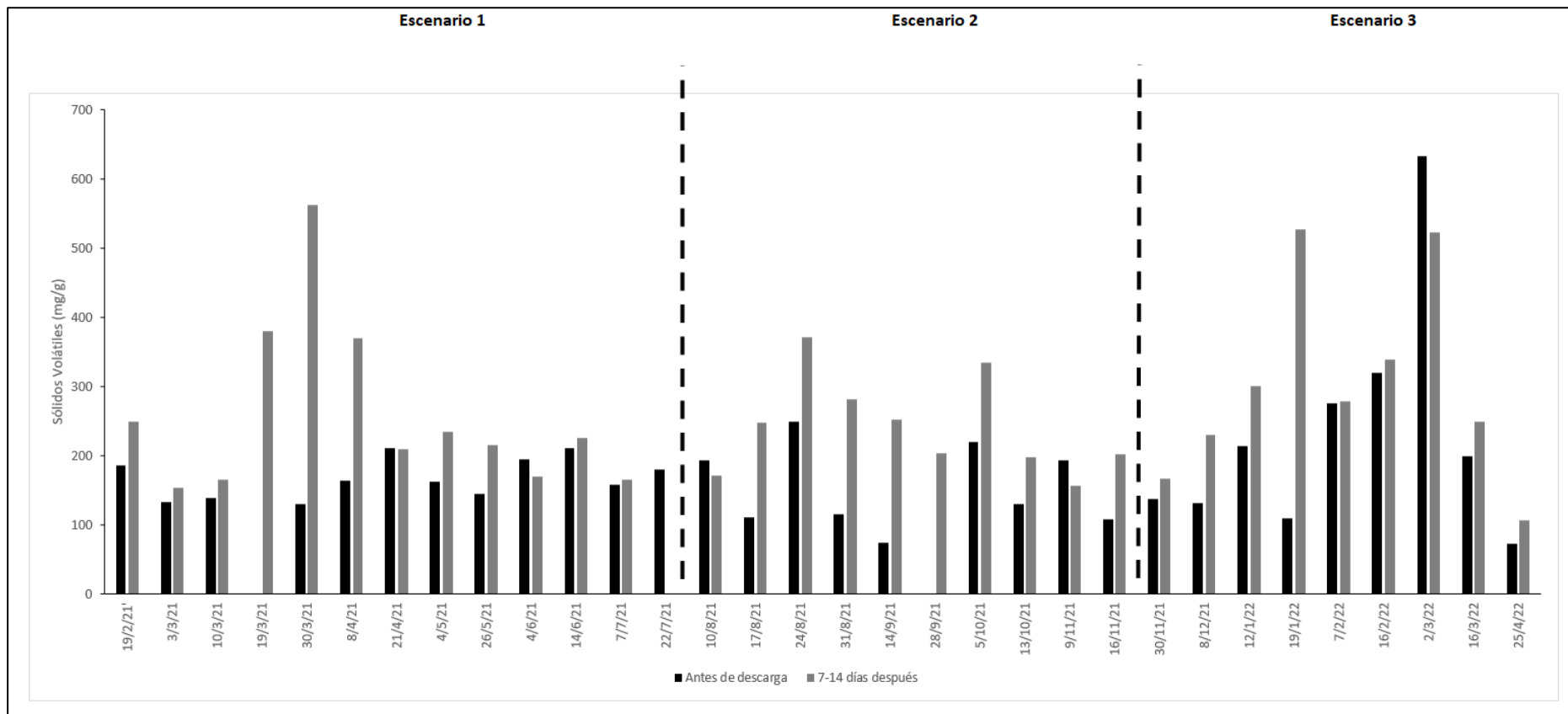
Al realizar el análisis de los sólidos volátiles en los lodos se determina la estabilidad que presenta el humedal en estudio, para ello se llevó a cabo el muestreo del lodo depositado en el sistema. Cabe mencionar que la toma de muestras se llevó a cabo a

los 7 días después (en su mayoría), previo a la siguiente descarga. Sin embargo, la toma de muestras fue variable en el transcurso del estudio y se lo define en un rango de 7 a 14 días.

La variabilidad de los resultados depende en gran escala de las características particulares de cada descarga realizada y de las condiciones climáticas de la zona.

En la Figura 33, se observa la concentración de SV en los lodos depositados en la superficie del humedal. La concentración de SV luego de 7 – 14 días de reposo del lodo sobre la superficie aumenta esto es debido a que en este tipo de tratamiento diferentes tipos de sólidos orgánicos pueden depositarse a la capa superficial.

Figura 33: Sólidos Volátiles en los 3 escenarios



### 3.4 Resumen de resultados

En la Tabla 11 presentada a continuación, se pueden observar los valores promedio de entrada y salida de los distintos parámetros analizados en este estudio (DBO5, DQO, ST, SV) para cada escenario.

*Tabla 11: Valores Promedio de Entrada y Salida (DBO5, DQO, ST & SV)*

	<b>Parámetro</b>	<b>Afluente</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Efluente</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Escenario 1</b>	DBO5 (mg/l)	279,0	28,28	193,5	38,89
	DQO (mg/l)	2721,6	2974,90	993,5	787,39
	ST (mg/l)	6159,9	9763,36	1652,2	1061,57
	SV (mg/l)	4388,3	8242,72	936,5	641,09
<b>Escenario 2</b>	DBO5 (mg/l)	2521,5	297,69	104,5	14,85
	DQO (mg/l)	7553,6	6281,10	330,8	130,67
	ST (mg/l)	6768,9	4861,84	1007,6	328,61
	SV (mg/l)	4248,0	3632,68	424,4	169,30
<b>Escenario 3</b>	DBO5 (mg/l)	1916,9	3334,14	118,9	117,79
	DQO (mg/l)	9682,8	17903,61	272,6	304,67
	ST (mg/l)	7953,3	14248,63	846,7	653,03
	SV (mg/l)	6273,8	12396,32	494,7	499,96

*Fuente: Autores, (2023)*

El estudio realizado por Sete (2016) obtuvo datos relevantes para el análisis del comportamiento de los humedales de flujo vertical con respecto al tratamiento de aguas residuales domésticas. El estudio de Sete estuvo conformado por 3 estrategias operativas distintas, en donde la estrategia operativa #3 se caracterizó por realizar la descarga de lodos de fosas sépticas en la unidad de lodos y fue retenido en el mismo durante 7 días para su respectiva percolación. A continuación, en la Tabla 12, se muestran los distintos parámetros físico químicos obtenidos en este estudio:

*Tabla 12: Promedio de lodo crudo, filtrado de la unidad de lodos (después de 7 días)*

<b>Parámetro</b>	<b>Afluente</b>	<b>Efluente</b>
DBO5 (mg/l)	906	250
DQO (mg/l)	5200	919
ST (mg/l)	3050	961
SV (mg/l)	1740	389

*Fuente: (Sete,2016)*

Los valores promedio de afluente y efluente del estudio realizado varían notoriamente respecto al estudio de Sete (2016), debido a que las descargas depositadas en el humedal provenían de diferentes lugares y presentaban en ciertos casos características muy particulares.

A continuación, en la Tabla 13 se presentan las eficiencias promedio en base a los resultados obtenidos en el estudio realizado con respecto a la materia orgánica, estos valores se presentan para cada escenario.

*Tabla 13 : Eficiencias Promedio de los Parámetros (DBO<sub>5</sub>, DQO, ST & SV)*

<b>Escenario</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>	<b>σ</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>σ</b>	<b>ST (mg/l)</b>	<b>σ</b>	<b>SV (mg/l)</b>	<b>σ</b>
1	31%	0,069	49%	0,217	39%	0,286	44%	0,265
2	96%	0,011	89%	0,134	78%	0,132	81%	0,205
3	78%	0,150	86%	0,114	62%	0,296	67%	0,245

*Fuente: Autores, (2023)*

*Tabla 14:Eficiencia de remoción promedio*

<b>Parámetro</b>	<b>% Remoción promedio</b>
DBO <sub>5</sub>	72%
DQO	82%
ST	68%
SV	78%

*Fuente: (Sete,2016)*

### 3.4.1 DBO<sub>5</sub>

Es un factor determinante en la calidad del agua residual, como podemos apreciar en la tabla 12, el primer escenario presenta y valor promedio de 31%, siendo el escenario menos favorable en relación al porcentaje de remoción promedio obtenido en el estudio de Sete (2016), esto debido a que en este escenario se tomaron tan solo dos lecturas de este parámetro, por ende, no existe certeza de que el humedal no funcionó correctamente en comparación a los otros escenarios. En los escenarios 2 y 3, los porcentajes de remoción sobrepasan al valor establecido por Sete (2016), demostrando que el humedal trabajó de forma óptima. A su vez, Kania et al. (2017) establece que la humedad beneficia al sistema ya que existe mayor actividad biológica.

### **3.4.2 DQO**

El escenario 1 presenta un bajo porcentaje de remoción, como se muestra en la Tabla 13 . Además, en este escenario existió la presencia de totora, esto facilitó el incremento de microorganismos que serían ventajosos para los escenarios posteriores.

En los escenarios 2 y 3, presentan valores por encima del valor promedio obtenido por Sete (2016), en donde el rendimiento del humedal fue mayor debido a la actividad natural de los microorganismos. Cabe mencionar que en estos escenarios se presentaron mayor cantidad de precipitaciones.

### **3.4.3 Sólidos Totales**

El porcentaje de remoción promedio de ST obtenido en el primer escenario se encuentra por debajo del valor obtenido en el estudio de Sete (2016), por otro lado, los escenarios 2 y 3 presentaron valores relativamente cercanos al valor de referencia, lo que indica una mayor eficiencia por parte del humedal.

### **3.4.4 Sólidos Volátiles**

Para este parámetro podemos apreciar en la Tabla 13 que el escenario 1 y 3 presentan valores promedio inferiores al obtenido en el estudio de Sete (2016), mientras que el escenario 2 presenta un porcentaje superior al comparado, lo que demuestra que en este escenario el humedal trabajó de manera óptima.

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

- Al analizar este tipo de humedal (flujo vertical - sistema francés) se demuestra que es una opción viable, puesto a que no requiere altos costos de construcción y mantenimiento. El control del humedal es sencillo y requiere un consumo energético mínimo. Sin embargo, debe estar bajo observación habitual de acuerdo a la frecuencia con la que se alimente al humedal.
- Se concluye que los humedales verticales tipo francés son una alternativa aplicable para el tratamiento de lodos puesto a que se adaptan de mejor manera a los distintos cambios climáticos, así como fue el caso de la variabilidad del clima que se presentó en el periodo de este estudio.
- Al analizar la efectividad de remoción de los distintos parámetros (DBO<sub>5</sub>, DQO, ST & SV) se puede determinar que el humedal cumplió con función al tratar los lodos provenientes de fosas sépticas de una manera adecuada.
- Este sistema posee la capacidad de atenuar olores, lo que beneficia a la construcción de humedales de este tipo cerca de poblados, en comparación de otros sistemas de tratamiento.
- Cuando existió la presencia de vegetación en el humedal (*Lolium perenne*) se produjo una mayor deshidratación del lodo, puesto que las plantas mejoraron la conductividad del humedal y a su vez aumentaron la porosidad en el lodo. Las plantas también aportaron al crecimiento de microorganismos, los cuales aceleran el proceso de mineralización.

### **Recomendaciones**

- Para obtener resultados consistentes con respecto al funcionamiento del humedal se debe tener un control más riguroso de la carga hidráulica y de la carga de sólidos. Para ello, se recomienda que las descargas realizadas en el humedal se realicen con la misma frecuencia durante el análisis de este sistema de tratamiento.
  
- Se recomienda verificar que las cargas del humedal sean provenientes de fosas sépticas que no hayan sido previamente mezcladas con sustancias ajenas tales como grasas, aceites, químicos, etc., que afectan las propiedades y características propias de los lodos, ocasionando resultados irregulares y afectaciones en el rendimiento del humedal.
  
- Para garantizar la validez de la toma de muestras se recomienda revisar el correcto funcionamiento y manejo de las maquinas utilizadas para analizar los parámetros físico-químicos, para evitar errores y perdidas de resultados.



## Referencias Bibliográficas

- 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. Obtenido de: <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION%20DE%20SOLIDOS%20TOTALES%2C%20SUSPENDIDOS%2C%20SEDIMENTADOS%20Y%20VOLATILES.pdf>
- Características de las aguas residuales. Usal.es. Recuperado el 24 de marzo de 2023, de <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- Castañeda, A., & Flores, H. (2014). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México* Aldo Antonio Castañeda Villanueva. 378
- David, M. G., James, L. A., Christopherson, S. H., & Axler, R. (2002). *A report of constructed wetlands*. Minneapolis, MN: University of Minnesota.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales* (Nelson Ant)
- Estrada, I. Y. (2010). Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesado en aguas residuales.
- Gaudet, J. J. (1979). *Seasonal Changes in Nutrients in a Tropical Swamp: North Swamp, Lake Naivasha, Kenya*. *Journal of Ecology*, 67(3), 953–981. Obtenido de: <https://doi.org/10.2307/2259223>
- Gerba C.P., Thurston J.A., Falabi J.A., Watt P.M. y Kar-piscak M.M. (1999). *Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa*. *Wat. Sci. Tech.* 40, 363-368.

Obtenido de:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273122399005193>

Gonzalez, D. (2015). *Remoción de contaminates en humedales construidos de flujo vertical sembrados con Heliconia Psittacorum y alimentados con diferentes frecuencias.* Obtenido de: [core.ac.uk:](https://core.ac.uk/)  
<https://core.ac.uk/download/pdf/71398667.pdf>

Hoffmann, H., Platzer, C., von Münch, E., Winker, M. (2011). *Technology review of constructed wetlands - Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment.* Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, Germany

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.*

Kalff, J. and R. Snoechel. (2002). *Limnology. Inland water ecosystems.* Prentice Hall Inc. Upper Saddle River. New Jersey. Pages, 592 Obtenido de:  
<https://livresbioapp.files.wordpress.com/2016/03/limnology-kalff.pdf>

Lara, L. (2016). *Alternativas a la gestión actual de lodos de fosas sépticas en pequeñas poblaciones rurales: El caso de San Agustín (TERUEL).* Obtenido de  
<http://193.147.134.18/bitstream/11000/3033/1/TFM%20Lara%20Martín%2C%20>

Lazcano, C. (2016). *Bioteología Ambiental de Aguas y Aguas Residuales (ECOE).*

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, México. Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/pdf/620/62043088016.pdf>

Mantilla, G (2015). Validación de uso de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales tipo UASB como insumo en recuperación de suelos

agrícolas. Obtenido de:

[https://www.researchgate.net/publication/296622322\\_Validacion\\_de\\_uso\\_de\\_lodos\\_generados\\_en\\_plantas\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_tipo\\_UA\\_SB\\_como\\_insumo\\_en\\_recuperacion\\_de\\_suelos\\_agricolas](https://www.researchgate.net/publication/296622322_Validacion_de_uso_de_lodos_generados_en_plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_tipo_UA_SB_como_insumo_en_recuperacion_de_suelos_agricolas).

Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. 4 ed. Miami: McGraw Hill, 2004.

Miranda R.M. (2000). *Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3509402>

Once, D., & Ruiz, J. (2014). *Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de Soldados y Churugunzo, cantón Cuenca, Azuay (Tesis de pregrado)*. Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20923>

Olsson, L. (2011). *Effect of design and dosing regime on the treatment performance of vertical flow constructed wetlands* (Dissertation). Obtenido de: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-69689>

Oropeza, N. (11 de Noviembre de 2016). *Lodos Residuales: Estabilización y Manejo*. Obtenido de estrucplan: <https://estrucplan.com.ar/lodos-residuales-estabilizacion-y-manejo/>

PCE Instruments. (2018). Greentech. <https://greentech.com.uy/producto/sistema-de-medicion-de-dbo-bd-600/>

Rodríguez Fernández-Alba, A., Letón, P., Roberto, G., García, R., Dorado Valiño, M., & Sanz García, J. M. (s/f). Madrid.org. Recuperado el 13 de abril de 2023, de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001696.pdf>

Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería Romero, M., & Borja, C. (2015). *Estudio y dimensionamiento experimental de humedales artificiales para la mejora de la calidad de aguas de cursos fluviales eutrofizados*.

- Rodríguez, A. (2017). Diseño de un humedal artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel). <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/89917>
- Romero Aguilar, M., Colín Cruz, A., Sánchez Salinas, E., & Ortiz Hernández, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018849992009000300004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992009000300004)
- Romero, J. *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEORÍA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO*. Bogotá. Editorial Escuela Colombiana de ingeniería. Cuarta Edición. 2004. 1248p.
- Sete, E. (2016). Behavior evaluation of vertical flow constructed wetlands for treatment of domestic sewage and septic tank sludge. Belo Horizonte, Brasil.
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2016). *Manejo de Lodos Fecales*. Obtenido de: <https://www.iwapublishing.com/books/9781780408019/manejo-de-lodos-fecales>
- Trapote, Arturo. (2013) *Depuración de aguas residuales urbanas*. Alicante-España: Publicaciones de la Universidad de Alicante, p. 21
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R., Founaud, B., & Canaday, C. (2010). *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. Obtenido de: [https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua\\_documento/Compendio\\_de\\_Sistemas\\_y\\_Tecnologias\\_de\\_saneamiento.pdf](https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/Compendio_de_Sistemas_y_Tecnologias_de_saneamiento.pdf)
- US EPA. (1999). *Folleto informativo de sistemas descentralizados Tratamiento y disposición de residuos sépticos*. Washington, D.C. Obtenido de: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1009DJ2.txt>
- Vera, Alexandra, Andrade, Charity, Flores, Eddymar, Núñez, Marisel, Cárdenas, Carmen, & Morales, Ever. (2010). Remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal construido en función del desarrollo de la macrófita *Typha*

dominguensis Pers. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 33(2), 153-163. Recuperado en 04 de mayo de 2023, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702010000200006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702010000200006&lng=es&tlng=es).

## Anexos

### 5.1 Anexos Fotográficos

#### 5.1.1 Descarga del humedal – 02/03/2022



#### 5.1.2 Observación – 03/03/2022



#### 5.1.3 Descarga del humedal – 16/03/2022



**5.1.4 Observación – 17/03/2022**



**5.1.5 Descarga del humedal – 25/04/2022**



**5.1.6 Observación – 28/04/2022**



**5.2 Anexo de Tablas**

**5.2.1 Tabla de registro de campo y observaciones del tercer escenario**

<b>Semana 1</b>		14/2/2022 - 20/2/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 16 de febrero de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	Se realizó la descarga del hidrocleaner.
	SI	SI	En la entrada se tomaron 4 muestras cada 3 minutos aprox. Al vaciar el humedal se tomaron muestras de salida cada 2 min con la llave parcialmente abierta, en total se tomaron 12 muestras, 4 de 1000ml, 4 de 500ml, 4 de 250ml
miércoles, 16 de febrero de 2022	Observación del humedal día 1 ( <b>día 1: Día de descarga de hidrocleaner y/o Humedal</b> )		El clima: nublado, la descarga presentaba un color oscuro, olor medio, poca presencia de basura y/o sólidos, hubo percolación inmediata.
jueves, 17 de febrero de 2022	Observación del humedal día 2 ( <b>día 2: 24 horas aprox después de la descarga del hidrocleaner</b> )		El clima: nublado, la capa de lodo en el humedal se nota húmeda debido a la descarga del día anterior, olores bajos, baja cantidad de vegetación.
<b>Semana 2</b>		21/2/2022 - 27/2/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 23 de febrero de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	Se realizó la toma de muestra de lodos previo a realizarse la descarga del humedal y esta se llevó al laboratorio para medir la humedad.
	SI	NO	No hubo descarga del hidrocleaner por indisponibilidad del chofer, por tanto, no hubo muestras de entrada.



			A la salida se tomaron muestras cada 2 min con la llave abierta, en total se tomaron 13 muestras, 6 de 1000ml, 4 de 500ml, 3 de 250ml.
miércoles, 23 de febrero de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: soleado, los lodos en el humedal estaban ligeramente húmedos, con una capa de lodo de aproximadamente 1 cm, el humedal se nota seco, olores muy bajos.
-	Observación del humedal día 2		
<b>Semana 3</b>	28/2/2022 - 06/3/2022		
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 2 de marzo de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	Se realizó la toma de muestra de lodos previo a realizarse la descarga del humedal y esta se llevó al laboratorio para medir la humedad.
	NO	SI	Se descargó <b>m<sup>3</sup></b> del hidrocleaner Se tomaron muestras en la entrada cada 3 min durante un lapso de 12 min aprox, para un total de 4 muestras. La válvula cerrada, el humedal se inundó y se esperó que percole, la descarga casi no contenía sólidos, con un olor no muy intenso, color marrón, mínima presencia de basura, se tomaron las muestras y se llevaron al laboratorio.
miércoles, 2 de marzo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: nublado, no hubo percolación inmediata, por tanto, los lodos quedaron sumergidos.
jueves, 3 de marzo de 2022	Observación del humedal día 2		El clima: nublado, El lodo formado estaba húmedo debido a la descarga del hidrocleaner del día anterior y a las lluvias recientes, se pudo notar una cama de lodo de 5 mm, no uniforme. El lodo despide bajo olor.

		Se tomó una muestra de lodos y se llevó al laboratorio para medir la humedad.
<b>Semana 4</b>	7/3/2022 - 13/3/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	
	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>
miércoles, 9 de marzo de 2022	SI	NO
	Se realizó la toma de muestra de lodos previo a realizarse la descarga del humedal y esta se llevó al laboratorio para medir la humedad.	
	No hubo descarga del hidrocleaner por indisponibilidad del chofer, por tanto, no hay muestras de entrada.	
	Se vació el humedal, a la salida se tomaron muestras cada 2 min con la llave parcialmente abierta, en total se tomaron 10 muestras, 10 de 1000ml, 2 de 500ml, 2 de 250ml	
miércoles, 9 de marzo de 2022	Observación del humedal día 1	
	El clima: muy soleado y caluroso, el humedal se puede apreciar seco, olores bajos, ligera presencia de basura, ligera presencia vegetación.	
-	Observación del humedal día 2	
<b>Semana 5</b>	14/3/2022 - 20/3/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	
	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>
miércoles, 16 de marzo de 2022	NO	SI
	El humedal estaba vacío, no se tomaron muestras de salida.	
	Se realizó la toma de muestra de lodos previo a realizarse la descarga del hidrocleaner y se llevó al laboratorio para medir la humedad.	

			Se descargó <b>m3</b> del hidrocleaner, se tomaron muestras de entrada cada 2 min durante 12 minutos para un total de 6 muestras. Se analizaron las muestras de entrada para medir en campo el Ph y el Oxígeno disuelto.
miércoles, 16 de marzo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: muy soleado, el humedal se puede apreciar ligeramente seco antes de la descarga del hidrocleaner. Las características de la entrada: Descarga líquida casi en su totalidad, coloración oscura, olores intermedios, ligera presencia de basura.
jueves, 17 de marzo de 2022	Observación del humedal día 2		El clima: Soleado, El humedal estaba con bastante humedad debido a la descarga del hidrocleaner del día anterior y a las lluvias recientes, se pudo notar una cama de lodo no uniforme. El lodo despide bajo olor. Se tomó una muestra de lodos y se llevó al laboratorio para medir la humedad.
<b>Semana 6</b>	21/3/2022 - 27/3/2022		
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 23 de marzo de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No hubo descarga del hidrocleaner por indisponibilidad de los camiones. Se realizó la toma de muestra de lodos se llevó al laboratorio para medir la humedad. Se analizó una sola muestra de salida (por problemas de energía no funcionaba la bomba por tanto no se descargó el humedal) para medir el Ph y el Oxígeno disuelto.
	NO	NO	
miércoles, 23 de marzo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: muy soleado, el humedal se puede apreciar húmedo, con una cama de lodo no uniforme de entre 0.5 y 1 cm de espesor.
-	Observación del humedal día 2		

Semana 7			
Semana 7	28/3/2022 - 3/4/2022		
DÍA	ACTIVIDAD		OBSERVACIONES
-	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No hubo descarga del hidrocleaner.
	NO	NO	No se realizó descarga del humedal por problemas energéticos, no se puede utilizar la bomba. No se realiza la toma de muestra de lodos debido a que no hay cambios en el humedal. (No carga, ni descarga)
-	Observación del humedal día 1		
-	Observación del humedal día 2		
Semana 8			
Semana 8	4/4/2022 - 10/4/2022		
DÍA	ACTIVIDAD		OBSERVACIONES
lunes, 4 de abril de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No hubo descarga del hidrocleaner, los camiones estaban en mantenimiento.
	SI	NO	Se realizó la toma de muestra de lodos se llevó al laboratorio para medir la humedad. Se analizaron las muestras de salida para medir en campo el Ph y el Oxígeno disuelto.
lunes, 4 de abril de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: muy soleado, el humedal se puede apreciar seco, con una cama de lodo no uniforme de entre 0.5 y 1 cm de espesor.

		Lodos secos bastantes agrietados de coloración café. Olores imperceptibles.
-	Observación del humedal día 2	
<b>Semana 9</b>	11/4/2022 - 17/4/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
-	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>
	NO	NO
		No hubo descarga del hidrocleaner por tema de días feriados. (Independencia de Cuenca, Semana Santa)
		El humedal está vacío. No se tomó muestra de lodos.
-	Observación del humedal día 1	
-	Observación del humedal día 2	
<b>Semana 10</b>	18/4/2022 - 24/4/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
-	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>
	NO	NO
		No hubo descarga del hidrocleaner por indisponibilidad de los camiones.
		El humedal está vacío. No se tomó muestra de lodos.
-	Observación del humedal día 1	
-	Observación del humedal día 2	

<b>Semana 11</b>		25/4/2022 - 1/5/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
lunes, 25 de abril de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	Se realizó la descarga del hidrocleaner
	NO	SI	Se tomaron muestras en la entrada cada 2 min durante un lapso de 10 min aprox, para un total de 5 muestras. La válvula cerrada, el humedal quedó inundado. Se analizaron las muestras de entrada para medir en campo el Ph y el Oxígeno disuelto.
lunes, 25 de abril de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: Soleado, el humedal se puede apreciar totalmente inundado, bastante presencia de sólidos, olores fuertes, color café claro. No se tomó muestra antes de la descarga por descoordinación con el hidrocleaner, llegó antes de lo acordado.
jueves, 28 de abril de 2022	Observación del humedal día 2		Debido a que la descarga presentó bastante cantidad de sólido el humedal no percoló inmediatamente por tanto no se pudo tomar la muestra de lodos 24 horas después de realizada la descarga. El clima: Lluvioso, el humedal presenta una cama de lodo uniforme de aprox 9.5 cm de espesor. La muestra de lodos presenta bastante humedad, bastante líquida, color café.
<b>Semana 12</b>		2/5/2022 - 8/5/2022	
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 4 de mayo de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No se realizó la descarga del hidrocleaner debido a la indisponibilidad de los camiones.
	SI	NO	Se realizó la descarga del humedal. A la salida se tomaron muestras cada 2 min aprox. con la llave abierta, en total se tomaron 8 muestras, 4 de 1000ml, 2 de 500ml, 1 de 200ml, 1 de 100 ml. La descarga duró 15 min.

			Se analizaron las muestras de salida para medir en campo el Ph y el Oxígeno disuelto. Se tomó una muestra de lodo para medir la humedad
miércoles, 4 de mayo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: Nublado, el humedal se observa con bastante humedad, lodo de color verdoso en la superficie, marrón en el interior, la capa de lodo presenta un espesor de 8.5 cm aprox, olores medios.
<b>Semana 13</b>	9/5/2022 - 15/5/2022		
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 11 de mayo de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No se realizó la descarga del hidrocleaner debido a la indisponibilidad de los camiones.
	NO	NO	No se realizó la descarga del humedal porque se encuentra vacío. Se tomó una muestra de lodo para medir la humedad
miércoles, 11 de mayo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: Nublado, el humedal conserva bastante humedad debido a las lluvias, lodo de color verdoso oscuro en la superficie, marrón en el interior, la capa de lodo presenta un espesor de 6 cm aprox, olores medios-bajos.
<b>Semana 14</b>	16/5/2022 - 22/5/2022		
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 18 de mayo de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No se realizó la descarga del hidrocleaner debido a la indisponibilidad de los camiones.
	NO	NO	No se realizó la descarga del humedal porque se encuentra vacío.

			Se tomó la muestra de lodo y se llevó al laboratorio para medir la humedad.
miércoles, 18 de mayo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: Nublado, el humedal aún conserva bastante humedad, lodo de color verdoso oscuro en la superficie, marrón en el interior, la capa de lodo presenta un espesor de 6 cm aprox, olores bajos.
<b>Semana 15</b>	23/5/2022 - 29/5/2022		
<b>DÍA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
miércoles, 25 de mayo de 2022	<b>Descarga de Humedal</b>	<b>Descarga del Hidrocleaner</b>	No se realizó la descarga del hidrocleaner debido a la indisponibilidad de los camiones.
	NO	NO	No se realizó la descarga del humedal porque se encuentra vacío. Se tomó la muestra de lodo y se llevó al laboratorio para medir la humedad.
miércoles, 25 de mayo de 2022	Observación del humedal día 1		El clima: Nublado, el humedal presenta lodo de color café oscuro en la superficie con bordes verdosos, tono marrón en el interior, la capa de lodo presenta un espesor de 5 cm aprox, olores bajos.



## 5.2.2 Tabla pH y OD

	Fecha	Oxígeno Disuelto (mg/l)		pH (mg/l)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
<b>Primer Escenario</b>	10/3/21	1,44	4,08	8,6	8,1
	19/3/21	0,05	1,65	8,1	7,5
	30/3/21	0,05	2,57	7,9	7,2
	8/4/21	0,4	3,61	8,2	7,6
	21/4/21	0,03	0,01	8,2	8
	4/5/21	0,05	0,14	8,2	7,7
	26/5/21	0,26	3,7	-	-
	4/6/21	0,19	1,7	-	-
<b>Tercer Escenario</b>	16/3/22	0,49	2,83	7,986	6,19
	25/4/22	0,038	1,16	7,462	5,35

## 5.2.3 Tabla de humedades del lodo depositado en la superficie

# Descarga	Días entre muestras	Clima		Fecha	%Humedad Maquina	% Pérdida de Humedad
<b>Primer Escenario</b>						
1			<b>Día de descarga</b>	<b>viernes, 19 de febrero de 2021</b>	<b>100%</b>	
	3	Lluvia		lunes, 22 de febrero de 2021	66%	34%
	6	Soleado		jueves, 25 de febrero de 2021	63%	37%
	11	Lluvia		martes, 2 de marzo de 2021	71%	29%
2			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 3 de marzo de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Lluvia		jueves, 4 de marzo de 2021	73%	27%
	6	Lluvia		martes, 9 de marzo de 2021	62%	38%
3			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 10 de marzo de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Lluvia		jueves, 11 de marzo de 2021	72%	28%
	8	Soleado		jueves, 18 de marzo de 2021	76%	24%
4			<b>Día de descarga</b>	<b>viernes, 19 de marzo de 2021</b>	<b>100%</b>	
	3	Soleado		lunes, 22 de marzo de 2021	60%	40%
	11	Templado		martes, 30 de marzo de 2021	44%	56%
5			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 30 de marzo de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Templado		miércoles, 31 de marzo de 2021	67%	33%
	9	Soleado		jueves, 8 de abril de 2021	72%	28%

6			<b>Día de descarga</b>	<b>jueves, 8 de abril de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		viernes, 9 de abril de 2021	76%	24%
	7	Soleado		jueves, 15 de abril de 2021	32%	68%
	13	Templado		miércoles, 21 de abril de 2021	63%	37%
7			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 21 de abril de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		jueves, 22 de abril de 2021	65%	35%
	8	Lluvia		jueves, 29 de abril de 2021	62%	38%
	13	Templado		martes, 4 de mayo de 2021	59%	41%
8			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 4 de mayo de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		miércoles, 5 de mayo de 2021	63%	37%
	9	Templado		jueves, 13 de mayo de 2021	69%	31%
	15	Templado		miércoles, 19 de mayo de 2021	70%	30%
	21	Nublado		martes, 25 de mayo de 2021	65%	35%
9			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 25 de mayo de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		miércoles, 26 de mayo de 2021	76%	24%
	10	Templado		viernes, 4 de junio de 2021	59%	41%
10			<b>Día de descarga</b>	<b>viernes, 4 de junio de 2021</b>	<b>100%</b>	
	3	Templado		lunes, 7 de junio de 2021	63%	37%
	7	Soleado		viernes, 11 de junio de 2021	74%	26%
	10	Templado		lunes, 14 de junio de 2021	71%	29%

11			<b>Día de descarga</b>	<b>lunes, 14 de junio de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Templado		martes, 15 de junio de 2021	71%	29%
	11	Soleado		viernes, 25 de junio de 2021	67%	33%
	18	Soleado		viernes, 2 de julio de 2021	43%	57%
	23	Templado		viernes, 7 de julio de 2020	55%	45%
12			<b>Día de descarga</b>	<b>viernes, 7 de julio de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Nublado		Jueves, 8 de julio de 2021	65%	35%
	9	Nublado		viernes, 16 de julio de 2021	55%	45%
	15	-		jueves, 22 de julio de 2021	60%	41%
	41	-		martes, 17 de agosto de 2021	64%	36%
<b>Segundo Escenario</b>						
15			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 17 de agosto de 2021</b>	<b>100%</b>	
	7	Soleado		martes, 24 de agosto de 2021	62%	38%
16			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 24 de agosto de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		miércoles, 25 de agosto de 2021	60%	40%
	7	Nublado		martes, 31 de agosto de 2021	45%	55%
17			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 31 de agosto de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Nublado		miércoles, 01 de septiembre de 2021	70%	30%
	7	Nublado		martes, 07 de septiembre de 2021	55%	45%
18			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 14 de septiembre de 2021</b>	<b>100%</b>	

	8	Soleado		miércoles, 15 de septiembre de 2021	70%	30%
	14	Soleado		martes, 21 de septiembre de 2021	69%	31%
	21	Soleado		martes, 28 de septiembre de 2021		
19			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 28 de septiembre de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		miércoles, 29 de septiembre de 2021	76%	24%
	6	Nublado		martes, 05 de octubre de 2021	57%	43%
20			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 05 de octubre de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		miércoles, 06 de octubre de 2021	64%	36%
	7	Soleado		martes, 12 de octubre de 2021	68%	32%
	8	Soleado		miércoles, 13 de octubre de 2021	76%	24%
21			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 13 de octubre de 2021</b>	<b>100%</b>	
	7	Templado		miércoles, 20 de octubre de 2021	70%	30%
	20			miércoles, 10 de noviembre de 2021	86%	14%
	26			martes, 16 de noviembre de 2021	68%	32%
23			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 16 de noviembre de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		miércoles, 17 de noviembre de 2021	98%	2%
	7	Templado		martes, 23 de noviembre de 2021	88%	12%
	10	Templado		viernes, 26 de noviembre de 2021	71%	29%
<b>Tercer Escenario</b>						
24			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 30 de noviembre de 2021</b>	<b>100%</b>	

	1			miércoles, 01 de diciembre de 2021	73%	27%
	8			miércoles, 08 de diciembre de 2021	54%	46%
25			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 08 de diciembre de 2021</b>	<b>100%</b>	
	1	Soleado		jueves, 09 de diciembre de 2021	61%	39%
	7	Nublado		miércoles, 15 de diciembre de 2021	50%	50%
	35			miércoles, 12 de enero de 2022	-	-
26			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 12 de enero de 2022</b>	100%	0%
	1	Nublado		jueves, 13 de enero de 2022	65%	35%
	7	Nublado		miércoles, 19 de enero de 2022	59%	41%
27			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 19 de enero de 2022</b>	<b>100%</b>	
	1	Nublado		jueves, 20 de enero de 2022	86%	14%
	7	Soleado		miércoles, 26 de enero de 2022	69%	31%
	20	-		martes, 08 de febrero de 2022	63%	37%
28			<b>Día de descarga</b>	<b>martes, 08 de febrero de 2022</b>	<b>100%</b>	
	8	Nublado		miércoles, 16 de febrero de 2022	50%	50%
29			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 16 de febrero de 2022</b>	<b>100%</b>	
	1	Nublado		jueves, 17 de febrero de 2022	60%	40%
	7	Soleado		miércoles, 23 de febrero de 2022	26%	74%
	14	Nublado		miércoles, 2 de marzo de 2022	34%	66%
30			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 2 de marzo de 2022</b>	<b>100%</b>	

	1	Lluvioso		jueves, 3 de marzo de 2022	59%	41%
	7	Soleado		miércoles, 9 de marzo de 2022	21%	79%
	14	Soleado		miércoles, 16 de marzo de 2022	31%	69%
			<b>Día de descarga</b>	<b>miércoles, 16 de marzo de 2022</b>	<b>100%</b>	
31	1	Soleado		jueves, 17 de marzo de 2022	63%	37%
	7	Soleado		miércoles, 23 de marzo de 2022	56%	44%
	19	Soleado		lunes, 4 de abril de 2022	8%	92%
	43	Lluvioso		jueves, 28 de abril de 2022	89%	11%
				<b>Día de descarga</b>	<b>jueves, 28 de abril de 2022</b>	<b>100%</b>
32	6	Nublado		miércoles, 4 de mayo de 2022	87%	13%
	13	Nublado		miércoles, 11 de mayo de 2022	82%	18%
	20	Nublado		miércoles, 18 de mayo de 2022	86%	14%
	27	Nublado		miércoles, 25 de mayo de 2022	78%	22%
	42	Nublado		jueves, 9 de junio de 2022	78%	22%

5.2.4 Tabla Carga Hidráulica y Tasa de carga de sólidos

Primer Escenario:	Con Vegetación y Válvula abierta							
Fecha	Volumen (Litros)	Días entre descargas	Tiempo entre descargas (semanas)	Caudal (l/semana)	Caudal (m3/semana)	Carga Hidráulica (m3/m2 *semana)	Tasa de carga de sólidos (kg/m2 *semana)	Tasa de carga de sólidos (kg/m2 *año)
19/2/21	3000		1,00	3000	3,00	0,31	0,33	17,14
3/3/21	5000	12	1,71	2917	2,92	0,30	0,46	24,09
10/3/21	3500	7	1,00	3500	3,50	0,36	0,51	26,46
19/3/21	4000	9	1,29	3111	3,11	0,32	9,20	479,61
30/3/21	3500	11	1,57	2227	2,23	0,23	0,32	16,93
8/4/21	4000	8	1,14	3500	3,50	0,36	1,26	65,82
21/4/21	3500	13	1,86	1885	1,88	0,19	0,36	18,81
4/5/21	3500	13	1,86	1885	1,88	0,19	0,37	19,51
26/5/21	2800	21	3,00	933	0,93	0,10	0,50	26,18
4/6/21	4200	10	1,43	2940	2,94	0,30	0,33	17,19
14/6/21	3500	10	1,43	2450	2,45	0,25	6,14	320,30
7/7/21	5250	23	3,29	1598	1,60	0,16	0,18	9,58
22/7/21	2000	15	2,14	933	0,93	0,10	0,10	5,44
<b>Promedio</b>						0,24	1,54	80,54
<b>Mediana</b>						0,25	0,37	19,51
<b>Desviación estándar</b>						0,09	2,80	146,15
Segundo Escenario:	Con Vegetación y Válvula cerrada							
Fecha	Volumen (Litros)	Días entre descargas	Tiempo entre descargas (semanas)	Caudal (l/semana)	Caudal (m3/semana)	Carga Hidráulica (m3/m2 *semana)	Tasa de carga de sólidos (kg/m2 *semana)	Tasa de carga de sólidos (kg/m2 *año)



10/8/21	2000		1,00	2000	2,00	0,20	0,31	16,37	
17/8/21	1300	7	1,00	1300	1,30	0,13	0,50	26,29	
24/8/21	1300	7	1,00	1300	1,30	0,13	1,78	92,95	
31/8/21	1300	7	1,00	1300	1,30	0,13	0,66	34,30	
14/9/21	1400	14	2,00	700	0,70	0,07	1,04	54,01	
28/9/21	1400	14	2,00	700	0,70	0,07	0,19	10,00	
31/10/03	1400	6	0,86	1633	1,63	0,17	0,30	15,80	
13/10/21	1230	7	1,00	1230	1,23	0,13	0,35	18,49	
9/11/21	1000	27	3,86	259	0,26	0,03	0,16	8,49	
16/11/21	1400	7	1,00	1400	1,40	0,14	1,52	79,50	
						<b>Promedio</b>	0,12	0,68	35,62
						<b>Mediana</b>	0,13	0,43	22,39
						<b>Desviación estándar</b>	0,05	0,57	29,98

<b>Tercer Escenario:</b>		<b>Sin Vegetación y Válvula cerrada</b>						
<b>Fecha</b>	<b>Volumen (Litros)</b>	<b>Días entre descargas</b>	<b>Tiempo entre descargas (semanas)</b>	<b>Caudal (l/semana)</b>	<b>Caudal (m3/semana)</b>	<b>Carga Hidráulica (m3/m2 *semana)</b>	<b>Tasa de carga de sólidos (kg/m2 *semana)</b>	<b>Tasa de carga de sólidos (kg/m2 *año)</b>
30/11/21	1795	14	2,00	898	0,90	0,09	0,23	12,08
8/12/21	1000	8	1,14	875	0,88	0,09	0,06	3,35
12/1/22	1000	34	4,86	206	0,21	0,02	0,04	2,30
19/1/22	800	7	1,00	800	0,80	0,08	1,27	66,44
7/2/22	1200	19	2,71	442	0,44	0,05	0,03	1,80
16/2/22	1000	8	1,14	875	0,88	0,09	0,08	4,00
2/3/22	1000	14	2,00	500	0,50	0,05	0,18	9,42
16/3/22	1000	14	2,00	500	0,50	0,05	0,08	4,25
25/4/22	1000	43	6,14	163	0,16	0,02	0,73	37,93

<b>Promedio</b>	0,06	0,30	15,73
<b>Mediana</b>	0,05	0,08	4,25
<b>Desviación estándar</b>	0,03	0,42	22,12

**5.2.5 Tabla Parámetros físico – químicos (DBO5, DQO, SV y ST)**

<b>Primer Escenario:</b>	<b>Con Vegetación y Válvula abierta</b>											
	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>			<b>DQO (mg/l)</b>			<b>ST (mg/l)</b>			<b>SV (mg/l)</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>
19/2/21	259,0	166,0	35,91%	573,6	250,2	56,38%	1075	724	32,65%	600	408	32,00%
3/3/21	299,0	221,0	26,09%	889,2	799,4	10,10%	1554	1436	7,59%			
10/3/21				412,3	284,3	31,04%	1422,5	1240	12,83%	607	460	24,28%
19/3/21				6355,6	1315,8	79,30%	29003	2160	92,55%	28033	1593	94,32%
30/3/21				1548,0	736,0	52,45%	1430	1058	26,01%	762	620	18,64%
8/4/21				3772,0	1688,8	55,23%	3538	1962	44,54%	2140	1088	49,16%
21/4/21				1748,0	1127,0	35,53%	1878	1580	15,87%	1070	816	23,74%
4/5/21				2145,0	1084,0	49,46%	1948	1726	11,40%	868	746	14,06%
26/5/21				5512,0	1648,0	70,10%	5278	2172	58,85%	3840	1804	53,02%
4/6/21				975,0	315,0	67,69%	1100	836	24,00%	662	446	32,63%
14/6/21				10200,0	2965,0	70,93%	24596	4508	81,67%	9056	2136	76,41%
7/7/21				1057,2	533,0	49,58%						
22/7/21				192,6	169,2	12,15%	1096	424	61,31%	632	184	70,89%
<b>Segundo Escenario:</b>	<b>Con Vegetación y Válvula cerrada</b>											
	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>			<b>DQO (mg/l)</b>			<b>ST (mg/l)</b>			<b>SV (mg/l)</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>
10/8/21				1408,4	644,0	54,27%				832	600	27,88%

17/8/21				3797,2	439,8	88,42%	3804	1044	72,56%	2248	464	79,36%
24/8/21				12842,0	330,8	97,42%	13452	948	92,95%	6660	320	95,20%
31/8/21				6512,8	283,2	95,65%	4964	1348	72,84%	3292	480	85,42%
14/9/21				20000	298,4	98,51%	14516	1604	88,95%	11524	640	94,45%
28/9/21				3978,4	305	92,33%	2688	1108	58,78%	1936	596	69,21%
0/1/00				873,6	162,2	81,43%	1820	708	61,10%	972	208	78,60%
13/10/21				3756	322,2	91,42%	2828	760	73,13%	1968	188	90,45%
9/11/21	2311,0	115,0	95,02%	7940	288,2	96,37%	6164	1016	83,52%	4096	492	87,99%
16/11/21	2732,0	94,0	96,56%	14428	233,8	98,38%	10684	532	95,02%	8952	256	97,14%
<b>Tercer Escenario:</b>	<b>Sin Vegetación y Válvula cerrada</b>											
	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>			<b>DQO (mg/l)</b>			<b>ST (mg/l)</b>			<b>SV (mg/l)</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>% Remoción</b>
30/11/21'	1363,0	426,0	68,75%	3358	1070,6	68,12%	2532	840	66,82%	1776	484	72,75%
8/12/21	267	118	55,81%	900,0	274,2	69,53%	720	632	12,22%	512	248	51,56%
12/1/22	392	46	88,27%	876,0	121	86,19%	2100	500	76,19%	660	160	75,76%
19/1/22	3464	78	97,75%	19963,3	178	99,11%	15624	500	96,80%	10900	228	97,91%
7/2/22	145	48	66,90%	706,0	116,8	83,46%	764	628	17,80%	412	324	21,36%
16/2/22	263	87	66,92%	660,0	104,8	84,12%	860	352	59,07%	532	288	45,86%
2/3/22	466	112	75,97%	4412,0	235	94,67%	3544	988	72,12%	2592	568	78,09%
16/3/22	532	87	83,65%	1742,0	203,8	88,30%	1600	666	58,38%	964	368	61,83%
25/4/22	10360	68	99,34%	54528,0	149,0	99,73%	43836	2514	94,26%	38116	1784	95,32%

**5.2.6 Tabla de SV y ST de los lodos depositados en la superficie del humedal**

<b>Primer Escenario:</b>		<b>Con Vegetación y Válvula abierta</b>	
<b>Fecha</b>		<b>Entrada</b>	
<b>Fecha de descarga</b>	<b>Fecha Muestra</b>	<b>ST (mg/g)</b>	<b>SV (mg/g)</b>
19/02/2021	22/02/2021		185
	26/02/2021		249
03/03/2021	04/03/2021		133
	09/03/2021		154
10/03/2021	11/03/2021		138
	18/03/2021		165
19/03/2021	30/01/2021		380
30/03/2021	31/03/2021		130
	08/04/2021		562
08/04/2021	09/04/2021		163
	15/04/2021		369
	21/04/2021		301
21/04/2021	22/04/2021		210
	04/05/2021		209
04/05/2021	05/05/2021		162
	14/05/2021		234
	19/05/2021		179
	25/05/2021		223
26/05/2021	26/05/2021		145
	04/06/2021		216
04/06/2021	07/06/2021		195
	14/06/2021		170
14/06/2021	15/06/2021		78
	02/07/2021		211
	07/07/2021		225
07/07/2021	08/07/2021		158
	22/07/2021		166
22/07/2021	23/07/2021		179
<b>Segundo Escenario:</b>		<b>Con Vegetación y Válvula cerrada</b>	
10/08/2021	12/08/2021	278	193
	17/08/2021	270	171
17/08/2021	18/08/2021	211	111
	24/08/2021	529	247
24/08/2021	25/08/2021	402	248
	31/08/2021	524	371
31/08/2021	01/09/2021	222	115
	07/09/2021	481	282

14/09/2021	15/09/2021	91	74
	21/09/2021	340	251
28/09/2021			
	05/10/2021	266	204
5/10/2021	06/10/2021	286	220
	12/10/2021	464	334
13/10/2021	13/20/2021	178	129
	20/10/2021	342	197
9/11/2021	10/11/2021	287	194
	16/11/2021	399	157
16/11/2021	17/11/2021	124	107
	23/11/2021	244	202
<b>Tercer Escenario:</b>	<b>Sin Vegetación y Válvula cerrada</b>		
30/11/2021	1/12/2021	257	138
	7/12/2021	331	167
8/12/2021	9/12/2021	339	131
	15/12/2021	416	230
12/1/2022	13/1/2022	337	214
	19/1/2022	415	301
19/1/2022	20/1/2022	157	109
	26/1/2022	778	527
	7/2/2022	898	455
7/2/2022	8/2/2022	413	275
	16/2/2022	420	279
	17/2/2022	396	249
16/02/2022	23/2/2022	494	319
	2/3/2022	524	338
	3/3/2022	331	205
02/03/2022	9/3/2022	964	633
	16/3/2022	800	522
16/03/2022	17/3/2022	323	200
	23/3/2022	410	250
	6/4/2022	912	579
25/04/2022	26/4/2022	83	72
	4/5/2022	125	107
	6/9/2022	262	201