

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE FOSA SÉPTICA
CON RETIRO AUTÓNOMO DE LODOS**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil.

MARCELO JAVIER LAGOS ALBORNOZ

Concepción, Septiembre 2019.

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	9
1.1	Justificación.....	10
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivo General:	10
1.2.2	Objetivos Específicos:	10
2	MARCO TEÓRICO.....	11
2.1	Descripción funcionamiento Fosa Septica	11
2.2	Aguas Residuales.....	11
2.2.1	Aguas Residuales Domesticas:.....	12
2.2.2	Aguas Residuales Industriales:.....	12
2.2.3	Aguas Residuales de la Agricultura y Ganadería.	12
2.2.4	Aguas Residuales Pluviales.....	12
2.3	Lodo.....	13
2.4	Tratamientos involucrados en el Sedimentador	13
2.4.1	Operaciones físicas unitarias	13
2.4.2	Sedimentación:	14
2.4.3	Operaciones biológicas unitarias	14
2.4.4	Digestión Anaerobia	14
a)	Etapas de la digestión anaeróbica.....	15
b)	Factores que inciden en la digestión anaeróbica	18
c)	Tipos de tecnologías utilizadas en la Digestión Anaeróbica.....	22
d)	Ventajas y Desventajas de la Digestión Anaeróbica	25
2.5	Teorema de Torricelli	26
3	METODOLOGÍA	28
3.1	Situación previa, problemática a estudiar	28

3.2	Composición de Aguas Residuales a tratar	29
3.3	Diseño sedimentador.....	31
3.3.1	Caudal de entrada de aguas residuales al sedimentador	31
3.3.2	Calculo de volumen requerido en sedimentador	33
3.3.3	Diseño de Sedimentador en software AutoCAD.....	33
3.4	Puesta en Marcha	35
3.5	Volumen de lodo presente en sedimentador	37
3.6	Sistema de Extracción de lodos.....	37
3.7	Caudal de extraccion de lodos.....	38
3.8	Calidad de Lodos extraídos	39
3.9	Prueba solidos totales, volatiles y minerales.....	39
3.9.1	Instrumentos necesarios para determinar fracciones de sólidos.....	39
3.9.2	Método utilizado para evaluar Solidos Totales	42
3.9.3	Método usado para evaluar Solidos Volátiles y Minerales.....	43
4	RESULTADOS Y ANALISIS	44
4.1	Caracterización visual de funcionamiento	44
4.2	Relacion entre caudal de extraccion y volumen de acumulacion de lodos.....	45
4.3	Medición de Solidos Totales, volatiles y minerales	45
5	CONCLUSIONES	51
6	BIBLIOGRAFÍA	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de la Digestión Anaeróbica.....	17
Figura 2: Aplicación del Teorema de Torricelli para el caso a evaluar.....	26
Figura 3: Vista satelital ubicación fosa séptica.....	28
Figura 4: Vista aérea de la distribución de cotas en el terreno.....	29
Figura 5: Vista en planta de la distribución de cotas en el terreno.....	29
Figura 6: Contribución de los componentes que entran al Sedimentador.....	30
Figura 7: Representación gráfica de estructura soportante del sedimentador, con sus respectivas dimensiones.....	34
Figura 8: Modelo final a evaluar de fosa séptica.....	35
Figura 9: Conexiones hidráulicas utilizadas en el sistema.....	36
Figura 10: Sistema de drenes extractores de lodo, utilizados en el fondo del tanque sedimentador.....	37
Figura 11: Fosa séptica en etapa de operación.....	38
Figura 12: Tanque séptico en operación y en etapa de extracción.....	38
Figura 13: Equipo utilizado para el filtrado de las muestras.....	40
Figura 14: Balanza de precisión usada para el pesaje de las muestras.....	40
Figura 15: Equipo instalado para filtración de muestras.....	41
Figura 16: Equipo usado para el secado de muestras.....	41
Figura 17: Capsulas utilizadas en proceso de secado e incineración.....	42

“Diseño y Evaluación de Sedimentador con Retiro Autónomo de Lodos”

Marcelo Javier Lagos Albornoz

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

mlagosa@alumnos.ubiobio.cl

Dr. Pedro Eulogio Cisterna Osorio

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

En el presente informe se llevará a cabo una investigación de campo, donde se evaluará la factibilidad constructiva y posterior funcionamiento de un sedimentador con un sistema de evacuación autónoma de lodos. Para llevar a cabo su construcción se presentará un diseño determinado a partir de estimaciones sobre la producción de residuos en el caso estudiado, lo cual posteriormente será representado a través de láminas generadas por el software AutoCAD y se mostrarán imágenes sobre su instalación in situ. Finalmente se realizará un control periódico de su funcionamiento, que contará con inspecciones en el proceso de eliminación de lodos, además de una medición del manto de lodos acumulados en función del tiempo, para posteriormente caracterizar la distinta fracción de sólidos presentes en el material vaciado.

Palabras Claves: Sedimentador, autonomía, diseño, construcción, control, extracción, lodo, concentración, sólidos.

“Design and Evaluation a Septic Tank with autonomous withdrawal of Sludge”

Marcelo Javier Lagos Albornoz

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

mlagosa@alumnos.ubiobio.cl

Dr. Pedro Eulogio Cisterna Osorio

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío-Bío

pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

In this report a field investigation will be carried out, where the construction feasibility and subsequent operation of a septic tank with an autonomous sludge evacuation system will be evaluated. To carry out its construction, a specific design will be presented based on certain waste production in the case studied, will be presented through sheets generated by AutoCAD software and then images about its installation on the site will be displayed. Finally, a periodic check of its operation is executed, which will have inspections in the sludge disposal process, in addition to a measurement of the accumulated sludge mantle as a function of time, to later characterize the diverse fraction of solids present in the emptied material.

Keywords: Septic Tank, autonomy, design, building, control, extraction, sludge, concentration, solid.

1. INTRODUCCIÓN

Desde que el ser humano se establece como sedentario (allá por el año 4000 A.C) el tratamiento de aguas residuales va tomando un peso mayor a lo largo del tiempo, esto producido por los olores generados y más adelante visto también como un tema de salud pública. Algunos de los métodos usados fueron la famosa letrina, o ya bastante tiempo después el uso de redes de alcantarillado creado por los romanos, desembocando a lo que vemos hoy en día en las grandes civilizaciones que son las plantas de lodos activos.

En Chile considerando su geografía y políticas centralistas, además de la existencia de una población dispersa, con áreas de baja densidad de población, se facilita la existencia de lugares donde la red de saneamiento no llega y probablemente nunca llegara. En consecuencia, considerar una solución para el tratamiento de aguas residuales como una planta de lodos activos para estas zonas sería totalmente inviable, teniendo en cuenta que sus costos de construcción y mantención son muy altos, además de que su funcionamiento no llegaría a un punto óptimo considerando una baja carga de entrada.

¿Entonces qué pasa en los sectores rurales? Lo más común es ver el tratamiento de estas aguas a través de métodos de tratamiento primario como lo son las fosas sépticas, las cuales funcionan de forma independiente. En este recipiente hermético actúan dos procesos fundamentales que son la sedimentación combinado de la digestión anaeróbica sobre el agua residual, para luego llevar este flujo hacia un tratamiento secundario. Las deficiencias de esto son, por ejemplo, los costos asociados a la limpieza de una fosa séptica (que se debe realizar cada 6 meses aproximadamente) la cual implica la necesaria visita de un camión especializado, que extrae los lodos que van quedando en el fondo para luego trasladar estos mismos a vertederos, desperdiciando valioso material.

El estudio que se presenta a lo largo de este documento pretende establecer un nuevo método de evacuación de estos lodos acumulados, el cual funciona en base a una diferencia de presiones de agua, por lo tanto pretende ser totalmente autosustentable lo cual podría permitir en un futuro que la limpieza de una fosa séptica pueda ser realizada por los mismos residentes, y así permitir no solo un ahorro de recursos para las personas que viven en zonas externas a la civilización, sino que también pensar en que estos residuos extraídos puedan ser utilizados a futuro como abono dentro de los mismos lugares donde se ubiquen o para la producción de energía.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El tema va enfocado en generar un beneficio social hacia la comunidad, especialmente para personas que habiten en sectores rurales o simplemente que requieran contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para lo anterior se desarrollará un dimensionamiento y posterior evaluación de una fosa séptica, la cual tiene como finalidad generar un mecanismo de limpieza automatizado de lodos (en base a una diferencia de presiones), ya que actualmente esto es por medio de contratación de empresas especializadas, lo cual implica un costo no menor a los habitantes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

- Evaluar funcionamiento de una fosa séptica con retiro autónomo de lodos, la cual basa su sistema de vaciado por medio de diferencia de presiones.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Evaluar comportamiento del manto de lodos dentro de la fosa séptica.
- Evaluar factibilidad en la extracción de lodos desde el tanque séptico.
- Describir calidad de lodos extraídos a través de su mineralización.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAMIENTO FOSA SEPTICA

Una fosa séptica hace referencia a un tratamiento primario de aguas residuales. Consiste en una cámara hermética que tiene como función de almacenar y en este mismo espacio se genera el tratamiento de las aguas residuales, por lo tanto, nos ayudara a depurar en parte los efluentes y a minimizar el riesgo de exposición directa con las personas y el medio ambiente. Se utiliza principalmente en sectores rurales, donde no hay existencia de conexiones a alcantarillados que deriven a plantas de tratamiento para la población en general.

Dentro de esta cámara se genera un proceso físico-biológico, donde encontramos dos procesos fundamentales, el primero es la sedimentación que debido a la gravedad favorece la acumulación de residuos en el fondo del sedimentador y el segundo hace referencia a la digestión anaerobia la cual genera descomposición debido a la falta de oxígeno, procesos que serán descritos más adelante.

En resumen, las principales funciones que aporta una fosa séptica son:

- Remover solidos de un agua residual.
- Descomponer estos solidos dentro del tanque sedimentador.
- En algunos casos retener aquellos solidos que no se descomponen.

2.2 AGUAS RESIDUALES

Se denominan aguas residuales a todas esas aguas que por acción del ser humano se han visto afectadas de forma negativa, por lo tanto, al ser vertidas al exterior tal como han sido recogidas podrían provocar graves consecuencias para el medio ambiente. Lo anterior lo podemos explicar debido a que aparte de tener el componente principal (agua), las aguas residuales contienen un sinnúmero de contaminantes como por ejemplo elementos químicos de uso doméstico, elementos sólidos, metales pesados o materia orgánica proveniente de orinas o fecas.

Cabe destacar que para clasificar las aguas residuales hay distintas formas de realizarlo, pudiendo ser según sus características químicas, bacteriológicas, cantidad de sólidos en suspensión, o según su procedencia siendo esta la más común.

A continuación, se llevará a cabo la clasificación de aguas residuales según los 3 grupos más importantes para el desarrollo del estudio:

2.2.1 *Aguas Residuales Domesticas:*

Es el agua residual con el que estamos más familiarizado, ya que es el que generamos en el hogar y en hace referencia al global producido en el sector urbano. Este se caracteriza por ser rico en materia orgánica, solidos sedimentables y presencia de bacterias.

Es importante también decir que dentro de un hogar podemos encontrar una subdivisión de las aguas residuales generadas, las cuales son conocidas como aguas grises y aguas negras. Las aguas grises hacen referencia a aquellas que presentan en general una menor cantidad de material contaminante y bacteriológico (debido a esto toman un enfoque principal en el ámbito medio ambiental, ya que son de fácil reutilización para regadío, por ejemplo), al contrario de las llamadas negras que están sujetas a una alta presencia de bacterias en especial la denominada *Escherichia coli*. Por ende, clasificamos como aguas grises a aquellas provenientes del lavamanos, ducha o cocina y como aguas negras a las provenientes del inodoro.

2.2.2 *Aguas Residuales Industriales:*

Tal como hace referencia su nombre esta agua residual se genera a partir de las actividades industriales, donde se incluye las aguas de desecho de las fábricas, aguas usadas para la generación de energía o actividades ligadas a la industria manufacturera. Se caracterizan por un alto contenido de metales pesados.

2.2.3 *Aguas Residuales de la Agricultura y Ganadería.*

Debemos recalcar que en la actividad agrícola la producción de aguas residuales es menor, ya que el principal uso del agua está relacionado con el regadío, sin embargo, existen excepciones que van ligadas al tratamiento de los productos agrícolas previo a su comercialización.

A diferencia de lo ligado a la agricultura, la actividad ganadera genera grandes cantidades de aguas residuales, la cual está compuesta principalmente por orinas y fecas de los animales, además de aguas provenientes de limpieza de patios de extracción de leche, por ejemplo. Es importante mencionar que en los purines es común la presencia de químicos usados en la crianza de los animales.

2.2.4 *Aguas Residuales Pluviales*

Este tipo de agua residual se genera por efecto de la lluvia, debido a que esta arrastra ya sea contaminantes presentes en la atmosfera o a nivel de suelo debido al escurrimiento.

2.3 LODO

Cuando hablamos de sistemas de tratamiento de aguas residuales es necesario comprender que es un lodo, ya que este es un producto derivado del tratamiento primario de aguas residuales.

Un lodo se define como una masa semilíquida, formada a través del proceso de sedimentación generado por la fosa séptica. En su composición encontramos aproximadamente un 12% de material sólido y el resto se refiere a agua, donde la fracción sólida se caracteriza por estar formada por materia orgánica y suelo.

Para llevar a cabo su proceso de estabilización encontramos procesos como lechos de secado o humedales de flujo vertical, los cuales a través de fenómenos aeróbicos o anaeróbicos logran la disminución de patógenos presentes en el lodo, disminución de materia orgánica y también de volumen a lo largo del tiempo.

2.4 TRATAMIENTOS INVOLUCRADOS EN EL SEDIMENTADOR

2.4.1 Operaciones físicas unitarias

Dentro del tratamiento de aguas residuales hay distintas etapas relacionado con si es un proceso, físico, biológico o químico, lo cual depende del tipo de elemento que queramos eliminar.

Los procesos físicos dentro de la ingeniería sanitaria hacen referencia a fenómenos en que las variaciones en las características y propiedades del agua, se realizan netamente mediante fuerzas físicas, a lo cual le llamamos operaciones físicas unitarias. Estos procesos es posible observarlos en la naturaleza, por ende, fueron los primeros métodos utilizados por el hombre, sentando las bases de lo que es el tratamiento de aguas residuales en la actualidad.

Algunas de las operaciones físicas unitarias más comunes son las siguientes:

- Medición de caudales
- Desbaste
- Dilaceración
- Homogenización de caudales
- Mezclado
- Sedimentación
- Flotación
- Filtración
- Transferencia de gases
- Volatilización y arrastre de gases

Para términos prácticos del presente informe se describirán solamente el proceso ligado al funcionamiento del sedimentador a analizar.

2.4.2 Sedimentación:

La sedimentación se define como un proceso de división generado por la gravedad, por lo tanto, sucede que, si tenemos una muestra de agua con presencia de sólidos suspendidos en un recipiente, debido al mayor peso específico de estas partículas sobre el agua, se produce una tendencia de que estos sedimentos se dirijan hacia el fondo de dicho recipiente, acumulándose en este lugar.

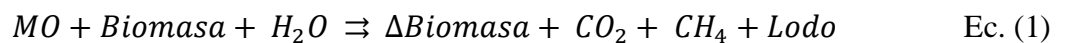
2.4.3 Operaciones biológicas unitarias

El tratamiento biológico pretende lograr la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables, además de la estabilización de la materia orgánica. Para llegar a este objetivo existen dos caminos que se definen como procesos aeróbicos y anaeróbicos, donde la materia orgánica es metabolizada por distintos tipos de bacterias.

En resumen, un tratamiento biológico tiene como función primordial disminuir desde un agua residual la carga orgánica, así como a su vez la posible remoción de parásitos y microorganismos. En esta investigación nos limitaremos a describir el proceso involucrado dentro del sedimentador, el cual debido a que es un proceso que no requiere la presencia de oxígeno, queda definido como digestión anaeróbica.

2.4.4 Digestión Anaerobia

La digestión anaeróbica es caracterizada por la siguiente ecuación 1:



Donde:

MO: materia orgánica

H₂O: agua

CO₂: dióxido de carbono

CH₄: metano

Lodo: sustrato no biodegradado, nutrientes y H₂O

La biodegradación de la materia orgánica se produce sin la presencia de oxígeno, donde la materia orgánica es degradada mediante microorganismos, el oxígeno necesario para su desarrollo se produce del mismo alimento. El proceso se desarrolla en un reactor completamente cerrado, donde los lodos son introducidos de forma continua o intermitente, permaneciendo en el reactor por un tiempo considerable. La materia orgánica que ingresa se convierte principalmente en metano y en dióxido de carbono como se puede apreciar en la ecuación 1, siendo estos los que representan un 99% del gas total producido y también se obtiene un subproducto, el lodo estabilizado.

Los digestores anaeróbicos contribuyen de manera significativa a la sustentabilidad ambiental a través de la estabilización de residuos orgánicos y remoción de patógenos, lo que trae como resultado la conservación de la buena calidad de las cuencas hidrográficas por la no disposición incontrolada de residuos frescos (De Baere, 2000).

a) Etapas de la digestión anaeróbica

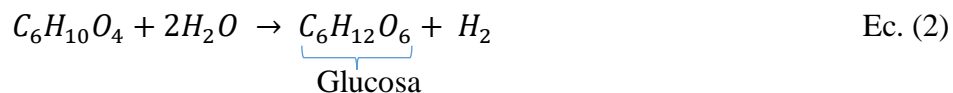
La digestión anaeróbica se caracteriza por la existencia de varias fases consecutivas, las cuales se diferencian en el proceso en el que el sustrato (el alimento de los microorganismos) se va degradando, produciéndose en cadena los diferentes tipos de bacterias (Avedaño, 2010).

En el proceso de degradación anaeróbica, los microorganismos trabajan en serie o en serie-paralelo degradando la MO en sucesivas etapas.

La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son: (a) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; (b) bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógenos (sintróficas); (c) bacterias sulfato reductoras (sintróficas facultativas) consumidoras de hidrogeno; (d) bacterias homocetogénicas; (e) bacterias metanogénicas; (f) bacterias desnitrificantes.

En general los microorganismos no son capaces de utilizar esos polímeros debido al gran tamaño de las moléculas, que no pueden penetrar la pared celular de los microbios, es por ello que se diferencian cuatro etapas principales (Kothari et al, 2014). Las cuales se explican a continuación.

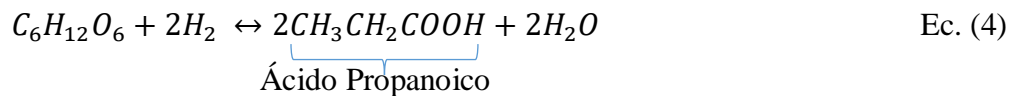
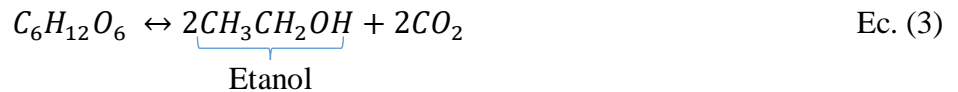
- *Hidrolisis o licuefacción*: en esta etapa los compuestos orgánicos complejos se disocian en monómeros más sencillos, tales como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos volátiles de bajo peso y alcoholes, con ayuda de enzimas extracelulares como celulasa, amilasa y otras enzimas proteolíticas. Así, se permite que las bacterias puedan asimilar la MO como fuente de nutrientes (Avedaño, 2010). La reacción de la hidrolisis puede ser escrita como la ecuación 2.



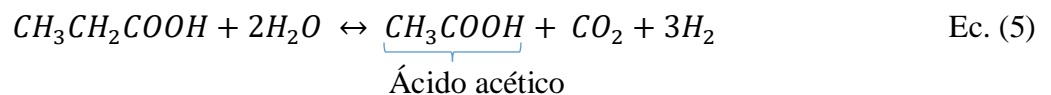
- *Acidogénesis*: en esta etapa los compuestos orgánicos solubles que provienen de la fase de hidrolisis son degradados por bacterias acidogénicas siendo convertidas en ácidos

orgánicos tales como acético, ácido propiónico, ácido butírico y ácido valérico junto con dióxido de carbono, agua e hidrogeno.

Estas bacterias son de rápido crecimiento con un tiempo de duplicación sobre los 30 minutos (Kothari et al, 2014). La acumulación de ácidos grasos volátiles se puede escribir como la ecuación 3 y ecuación 4.

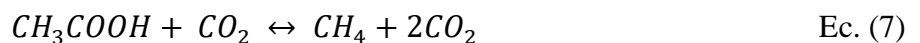


- *Acetogénesis*: también conocida como acidogénesis intermediaria en la cual los productos de la fase anterior, a excepción del ácido acético, sirven como sustrato para las bacterias que intervienen durante la fase, formándose ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono (Avedaño, 2010). El crecimiento de estos procariontas es lento con un tiempo de duplicación de 1.5 – 4 días. La reacción acetogénesis puede ser escrita como la ecuación 5



- *Metanogénesis*: en esta etapa metabólica el CH₄ es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H₂ y CO₂, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos simples tales como ácido acético, etanol y metanol. Conversión de acetato, dióxido de carbono e hidrogeno a gas metano (Reith et al, 2003) El rol de las bacterias metenogénicas se define por el tipo de sustrato disponible.

Las bacterias metanogénicas son de lento crecimiento, pues su tiempo de duplicación es de 2 – 4 días. Medigan et al (2009), encontraron estequiométricamente que alrededor del 70% del metano se produce a través de la vía del acetato. Las reacciones de metanogénesis pueden escribirse como la ecuación 6, ecuación 7, ecuación 8 y/o ecuación 9.



La formación de biogás y del lodo se rige por la especificidad de los microorganismos y las regulaciones metabólicas que dependen de los parámetros del proceso. Por lo tanto, la vigilancia del crecimiento de las células hacia el sustrato y el producto, particularmente en su concentración, necesitan estudios cuidadosos.

En la mayoría de los procesos, las altas concentraciones de sustrato y/o producto a menudo conducen a efectos inhibidores. La digestión anaeróbica generalmente experimenta inhibición del crecimiento de las células del sustrato y del ácido. La inhibición puede clasificarse en tres secciones: (a) inhibición del sustrato; (b) inhibición del producto; (c) inhibición tanto del sustrato como del producto. A medida que aumenta la formación de ácido, el ácido inhibe el crecimiento de acidógenos, acetógenos y metanógenos

Para que proceda una digestión estable es de vital importancia que las diferentes conversiones biológicas permanezcan acopladas durante el proceso, y así prevenir la acumulación de compuestos intermedios. Por ejemplo, si se aculan los AGV el pH tiende a disminuir por lo que la metanogénesis, en tal condición no puede ocurrir (Mendoza, 2015).

Las cuatro etapas descritas se pueden representar según la figura 3.

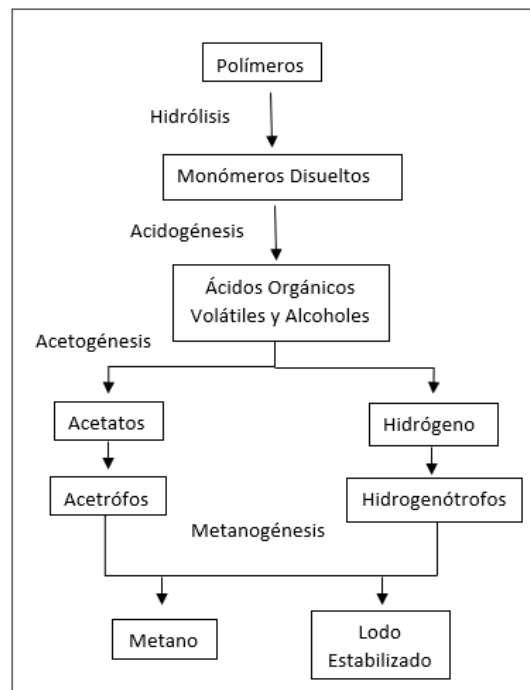


Figura 1. Etapas de la Digestión Anaeróbica.

En general, la velocidad del proceso está delimitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. Para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que

permitan una elevación de concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Para residuos en los que la materia orgánica este en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas, para aumentar la velocidad, una de las estrategias es el pretratamiento para disminuir el tamaño de partículas o ayudar a la solubilización (maceración, ultrasonidos, tratamiento térmico, alta presión, o combinación de altas presiones y temperatura) (IDEA, 2007).

b) Factores que inciden en la digestión anaeróbica

Existen un numero de parámetros que influyen el proceso de digestión anaeróbica, como son: temperatura, tipo de sustrato, nivel de pH, tiempo de retención, relación C/N, etc. La máxima producción se obtiene cuando estos parámetros se mantienen en los rangos óptimos (Khotari et al, 2014).

La DA es un proceso bioquímico complejo por lo tanto hay que tener un equilibrio entre los factores que interfieren en su funcionamiento para tener una realización tanto en el proceso químico de la matriz líquida como del proceso bioquímico intracelulares de los organismos presenten en la digestión. El tratamiento de la digestión anaeróbica acelera la descomposición natural de la MO si la temperatura, el pH y el contenido de humedad están cercanos al óptimo. Estos factores y otros son explicados a continuación.

- Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes ya que influye directamente a la degradación de la materia orgánica a una mayor temperatura mayor será la actividad de éstas y, por lo tanto, menor será el tiempo necesario que deba permanecer el sustrato en el digestor y a una menor temperatura el tiempo que el sustrato permanece en el digestor tenderá a aumentar.

Podrá operarse en los rangos psicrófilico (temperatura ambiente entre 10 – 20 °C), mesófilico (temperaturas en torno a los 30 – 40 °C) o termófilico (temperaturas en torno a los 50 - 60 °C). Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termófilico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos.

Se ha encontrado que los digestores termófilicos tienen tiempos de retención inferiores, el cual es debido a la alta actividad catalítica de los microorganismos termófilicos. Otro aspecto que es de gran importancia es que a altas temperaturas que opera este sistema se obtiene un sólido estabilizado sin patógenos (Kothari et al, 2014). Por lo tanto, mediante procesos termófilicos se

puede obtener un sustrato de alta calidad y libre de patógenos que sirva como acondicionador de suelos.

El proceso de digestión anaeróbica puede llevarse a cabo en un intervalo de temperaturas que abarca desde los 0° hasta los 70°C aunque, en general, a temperaturas bajas ($\leq 15^{\circ}\text{C}$) el proceso de fermentación se ralentiza (Avedaño, 2010).

Por lo tanto, es necesario aumentar la temperatura cuando se trabaja a bajas temperaturas para que las reacciones bioquímicas que se producen en el reactor tengan un mejor funcionamiento, y así tener un mejor aprovechamiento de la digestión anaeróbica.

- Tiempo de Retención

El tiempo de retención marca la duración del proceso de la digestión anaeróbica, la fracción de materia orgánica que se degrada aumenta conforme lo hace el tiempo que permanece en el interior del digestor.

El tiempo de retención es definido como el tiempo requerido para completar la degradación de la materia orgánica o como el tiempo promedio en que ésta permanece en el digestor. Y se obtiene por la ecuación 10.

$$TR = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

TR: Tiempo de retención (días)

V: volumen del reactor (m^3)

Q: Caudal diario ($\text{m}^3/\text{días}$)

Para un régimen estacionario, el tiempo de retención será el que transcurre entre la carga de materia orgánica al sistema y su descarga.

El tiempo de retención varía de acuerdo al cambio de otros parámetros, como temperatura y composición del sustrato, para lograr completar todas las reacciones de la DA prueba de ello es que a temperatura mesofílica se requiere de 10 – 40 días para la digestión, mientras que en un proceso termofílico tiende a ser menos, puesto que la biodegradación es más rápida, el rango esta entre 14 días. El tiempo de retención es directamente proporcional a la tasa de degradación; si esta es baja, el TR aumenta (Kothari et al, 2014)

- Relación Carbono a Nitrógeno C/N

Los microbios siempre consumen estos elementos en determinada proporción, medido por la relación C/N que contiene la materia orgánica. Existen muchos criterios en lo referente a esta relación, pero se reconoce en general como aceptable una relación C:N de 20-30:1.

Los desechos humanos y de animales son ricos en nitrógeno, con una relación C/N inferior a 25:1, durante la fermentación tienen una mejor velocidad de biodegradación, en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación C/N superior a 30:1, pero con una generación más lenta en el proceso de digestión.

La relación de nutrientes en los materiales de desechos es de gran importancia para el proceso de biodegradación microbiana. La relación C:N en los desechos pueden variar en un amplio rango considerable entre 6 (por ejemplo, suspensiones de animales) y más de 500 (por ejemplo, virutas de madera). Para una degradación óptima, se recomienda una relación C:N:P de 100:5:1 (Steffen, R. et al, 1998).

En caso de una alta proporción C/N la metanogénesis consume rápidamente el nitrógeno, resultando en un bajo rendimiento de formación de biogás. Por otro lado, un bajo valor causa la acumulación de amoníaco y aumenta el pH hasta alcanzar valores de 8.5, el cual es tóxico para las bacterias metanogénicas (Mendoza, 2015).

Para obtener una mejor relación C:N es necesario mezclar varias materias primas, a continuación en la tabla 1 se da una lista de materias con sus respectivas relaciones, que se pueden utilizar que están disponibles en el sector rural.

Tabla 1. Relación C/N de las Materias Primas Empleadas Corrientemente (aproximación)

Materia Prima	Contenido de carbono de las materias primas por peso (%)	Contenido de nitrógeno de las materias primas por peso (%)	Relación carbono a nitrógeno (C/N)
Paja seca de trigo	46	0.53	87:1
Tallo de maíz	40	0.75	53:1
Pasto	14	0.54	27:1
Estiércol fresco de vaca	7.3	0.29	25:1
Estiércol fresco de cerdo	7.8	0.60	13:1
Excretas frescas humanas	2.5	0.85	3:1

Tabla 1: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos en el sector rural. (1996)

- pH

El valor del pH es una medición de la concentración de ácido en sistemas acuosos, El pH óptimo es de 6.6-7.4 cercanos a la neutralidad. Resultado de los múltiples equilibrios de ácidos y bases débiles, de la alcalinidad y acidez mineral y del equilibrio con el CO₂ (g).

Los organismos que están presentes en cada etapa son diferentes, pero deben coexistir dentro del mismo reactor y deben tener sus condiciones ambientales para su desarrollo. Las bacterias anaeróbicas, especialmente las metanogénicas, las cuales son sensibles a la concentración ácida en el digestor y su crecimiento puede ser inhibido por esta condición, aumentando la proporción de dióxido de carbono

Las causas por las cuales puede descender el pH son, entre otras:

- Aumento repentino de la carga orgánica.
- Presencia de elementos tóxicos en la materia orgánica.
- Cambio súbito de la temperatura.

En algunos casos el pH puede corregirse con adiciones de sustancias alcalinas como agua con cal. La alcalinidad representa la capacidad buffer (capacidad amortiguadora) del sistema para evitar la bajada del pH por acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV).

En residuos sólidos orgánicos proviene fundamentalmente del amoníaco (NH₃) producto de la hidrólisis de proteínas. Se almacena principalmente como bicarbonato (HCO₃⁻).

Solo la alcalinidad debida al bicarbonato actúa dentro del rango de pH óptimo.

- Velocidad de carga orgánica

Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. El incremento en la velocidad de la carga orgánica (OLR sigla en inglés) implica una reducción en la producción de gas por unidad de materia orgánica introducida, debiendo encontrar un valor óptimo técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar. Puede ser descrito mediante la ecuación 11 y ecuación 12

$$OLR = \frac{Q \cdot S}{V} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$OLR = \frac{s}{TR} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde

OLR: velocidad de carga orgánica (kg/m³*día)

V: volumen del reactor (m³)

Q: caudal diario (m³/día)

S: concentración de SV ($\text{mg/L} \approx \text{kg/m}^3$)

TR: tiempo de retención (día)

- Porcentaje de sólidos

Toda materia orgánica está compuesta por agua y una fracción sólida (sólidos totales).

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla es también, un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo satisfactoriamente. Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre un 1 y 10% de sólidos totales es óptima para la digestión (Soria M, et al, 2001). Estos lodos contienen una gran cantidad de materia orgánica biodegradable.

- Agitación

La agitación, sirve para reducir el tiempo de digestión, además sirve para mantener los microorganismos y la materia prima o sustrato que deben estar en contacto de manera continua, el alimento suministrado esta siempre a disposición de los microorganismos, se mantiene a niveles mínimos la concentración de productos finales, así como también los posibles inhibidores del metabolismo bacteriano.

Otro aspecto por lo que es beneficioso hacer agitación del lodo es para evita la formación de la capa de espuma o conseguir la rotura de esta, la capa de espuma se forma en la parte superior del reactor, se ha demostrado que con una agitación de 60 r.p.m o menor no cambia la eficiencia de la digestión.

c) Tipos de tecnologías utilizadas en la Digestión Anaeróbica

Una amplia variedad de sistemas ha sido desarrollada para el tratamiento de diversos tipos de residuos orgánicos en condiciones anaeróbicas. Esos sistemas pueden ser categorizados de acuerdo a las variaciones en los procesos y/o modo de operación como se describe a continuación:

- Sólidos totales
- Procesos en vía húmeda: la materia de entrada es suspendida por una gran cantidad de agua, hasta lograr una concentración de 10 – 15 % de ST.
- Proceso en vía seca: la materia empleada contiene de 20 – 40 % de ST.

Aunque ambas aplicaciones han seguido aumentando la capacidad total, la digestión en vía seca ha sido dominante desde principio de los noventa. Se observó un aumento de los sistemas húmedos entre el 2000 y 2005 cuando se pusieron en funcionamiento varias plantas húmedas a gran escala, mientras que se están instalando más plantas secas de fermentación desde 2005 (De Baere et al, 2008).

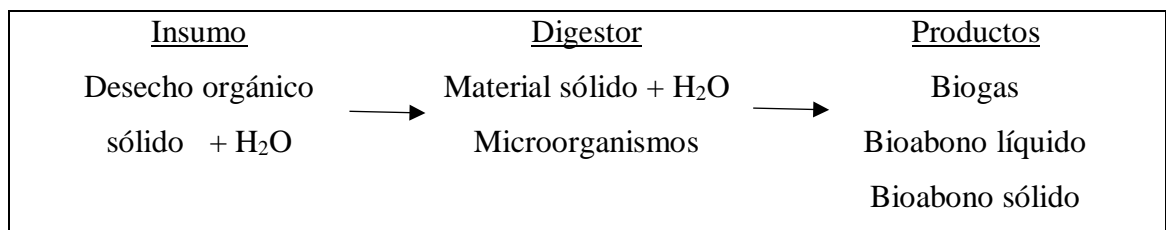
- Alimentación al digestor

Proceso discontinuo (régimen estacionario): también conocida como operación “Batch”, todo adentro todo fuera. Los digestores se cargan con material en un solo lote, cuando el rendimiento de la digestión decae, después de un periodo de fermentación, se vacían los digestores por completo y se alimenta con una nueva carga.

Este sistema es aplicable en situaciones particulares como por ejemplo para la obtención de fertilizantes orgánicos, en este caso, la carga se hace al tener disponibles los desechos y se descarga una o dos veces al año, en la época de siembra

El material se caracteriza, por una alta concentración de sólidos, la cual debe ser adecuadamente inoculado, sobre todo cuando se fermentan materiales vegetales.

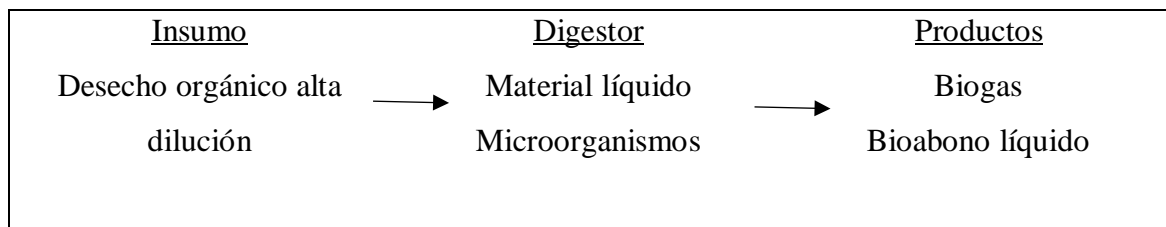
Esquema del proceso (Jacome, 1990)



Proceso continuo: el sustrato es continuamente alimentado al reactor, al mismo tiempo el efluente es descargado.

Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas negras; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, estos generalmente son de tipo industrial (Soria et al. 2000).

Esquema del proceso (Jacome, 1990):



Proceso semicontinuo: la primera carga que se introduce consta de gran cantidad de materiales; cuando va disminuyendo gradualmente el rendimiento se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad. Esta operación reúne las ventajas y

desventajas del Batch, pero para el caso del bioabono, por la adición continua de materia rica en nutrientes incrementa aún más su calidad.

Este es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino. (Mandujano, M. 1981).

- Digestores tipo hindú: en general son verticales y enterrados, semejando un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constantes. La carga diaria además de producir agitación provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos
- Digestores tipo chino: son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados. Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, una vez cargado así, se va alimentando diariamente con los desechos que se encuentran disponibles provenientes de las letrinas y de los desechos de animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.

Los abonos líquidos provienen de digestores continuos de alta tasa de carga, con bajo contenido de sólidos totales, (inferior al 12%), el inconveniente de este abono es su comercialización por el estado físico de su presentación. Los abonos sólidos provienen de digestores batch o semicontinuos, estos producen residuos sólidos de buen poder fertilizante y luego de secados se pueden comercializar sin problemas (Guevara, 1996)

Pasos implicados:

- Sistema de una etapa: todas las fases de la digestión ocurren en un reactor. Su estructura es simple, de fácil operación y bajo costo, se usa mucho en las zonas rurales.
- Sistema de etapas múltiples: consiste en varios reactores, a menudo la etapa de formación de AGV de la digestión es separada de la etapa de formación de metano. Los digestores de etapas múltiples se caracterizan por un largo periodo de retención, buena descomposición de la materia, pero con una alta inversión.

En los digestores hay varios procesos que ocurren continua y consecutivamente. Estos procesos requieren diferentes condiciones óptimas especialmente con respecto a la acidez. Esta separación se lleva a cabo mediante la instalación de dos reactores diferentes con bacteria diferentes y que funciones en diferentes conducciones. De esta forma, ambos procesos pueden optimizarse (De Baere & et al, 2008).

Conforme al material alimentado

- Co-Digestión: el MO es mezclado con otro sustrato biodegradable, con el objetivo de aprovechar la complementariedad de las composiciones permitiendo mayores eficiencias del proceso. Este proceso, pueden enumerarse las siguientes: mejora el proceso de digestión por mantener la relación C/N, disminuye los contenidos de residuos estacionales, genera una mayor producción de biogás, constituye una vía eficaz para conseguir materias primas o ingresos por concepto de gestión de residuos.

d) Ventajas y Desventajas de la Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es uno de los procesos de estabilización de lodos más utilizado, por lo mismo hay que tener en cuenta cuales son las ventajas y desventajas que existen para poder escoger con más certeza si este es el proceso que se adecua a las necesidades que se plantea en cada proyecto. Las ventajas y desventajas se señalan a continuación:

Ventajas:

- Eliminación de SV (40 - 60%).
- Reduce la masa del lodo (destrucción de 25 – 45% de sólidos). Esto reduce los costos de disposición final.
- Lodo final rico en nutrientes.
- Producción de biogas (55 – 70% gas metano).
- Potencial de recuperar el metano.
- Se eliminan malos olores (70 – 95%).
- Reducción logarítmica de patógenos (coliformes) de 0.5 a 4.
- Degrada compuestos tóxicos y contaminantes orgánicos.
- Costo de operación bajos.
- Simplicidad de operación y mantenimiento.
- Método rentable para grandes volúmenes.

Desventajas:

- Los cambios bruscos de temperatura pueden ocasionar un desequilibrio en la población microbiana y afectar el proceso.
- Sobrenadante con alto nivel de nitrógeno, DBO y DQO.
- Problemas de seguridad (gas inflamable)

- Tiene una lenta tasa de degradación biológica por lo que el tratamiento puede tardar más que la digestión aeróbica.
- Malos olores durante el proceso.

2.5 TEOREMA DE TORRICELLI

Uno de los fines principales del presente informe se enfoca en evaluar el funcionamiento de una fosa séptica que ha incorporado un sistema de extracción de lodos autónoma, pero para que este sistema funcione sin tener que requerir una bomba (que implicaría un gasto extra, referido a lo que es funcionamiento y mantención de esta misma) es necesario recurrir a lo que nos plantea el teorema de Torricelli.

El teorema de Torricelli es una aplicación del principio de Bernoulli, el cual es utilizado para determinar las características de un flujo que escurre desde un recipiente a través de un orificio, debido a la acción de la gravedad.

Su uso más habitual está ligado a determinar el caudal (a partir de la velocidad del flujo) de salida en las condiciones planteadas con anterioridad. La representación matemática que usaremos, se determina a través de un balance de energía establecido por Bernoulli, de la siguiente forma:

$$\frac{1}{2}\rho v^2_1 + \rho gh_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v^2_2 + \rho gh_2 + P_2 \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde ρ es la densidad del fluido, v_1 y v_2 son las velocidades del flujo en ambos puntos, g es la aceleración de la gravedad, h_1 y h_2 es altura de los puntos a evaluar respecto al fondo del recipiente, por ultimo P_1 y P_2 es la presión en el sitio 1 y 2. Los parámetros anteriores representados de forma gráfica para el caso de la fosa séptica a evaluar, se vería de la siguiente forma:

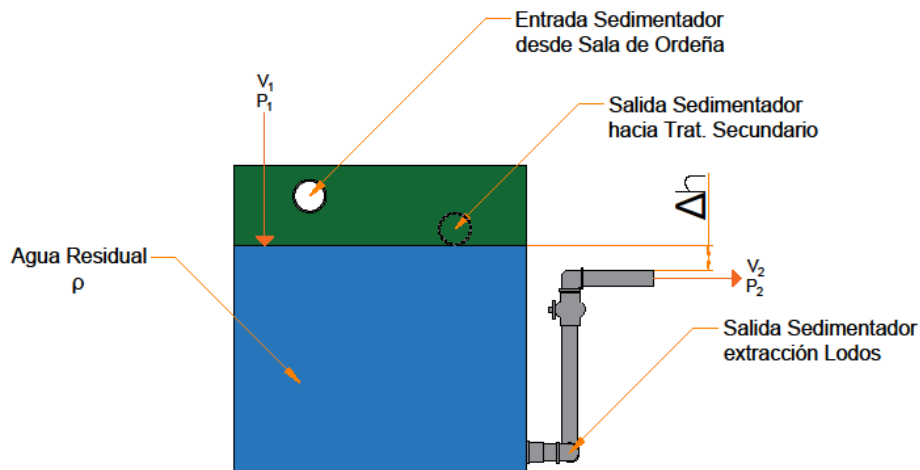


Figura 2: Aplicación del Teorema de Torricelli para el caso a evaluar (Fuente Propia).

Por equivalencia de $P_1 = P_2 = P_{atm}$ podemos descartar este parámetro y además para términos prácticos consideramos que el fluido parte desde el reposo, por lo tanto $v_1 = 0$. Por ende, reduciendo el balance de energía:

$$\rho g h_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad \text{Ec. (14)}$$

Factorizando la ecuación anterior podemos llegar a lo que nos plantea Torricelli.

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad \text{Ec. (15)}$$

En esta se ve representada la velocidad del flujo en el punto de salida, de la cual se puede concluir que existe una relación directamente proporcional entre la diferencia de altura del líquido dentro del estanque y el punto de salida de este mismo, respecto a la velocidad de salida. A mayor diferencia de altura mayor velocidad de flujo.

3 METODOLOGÍA

3.1 SITUACIÓN PREVIA, PROBLEMÁTICA A ESTUDIAR

Para el desarrollo del presente proyecto se debía encontrar personas o industrias interesadas en mejorar o implementar un tratamiento de aguas residuales. Es por esto que nos enteramos que en Rihue, un pequeño poblado en las cercanías de Los Ángeles, Región del Biobío, Chile, una pequeña lechería fue suspendida por el vertido de material contaminante en un canal de regadío.

En consecuencia, de lo anterior, la familia postulo a un proyecto CORFO el cual fue adjudicado posteriormente, y que consiste en la asignación de recursos para el desarrollo de un proyecto innovador de tratamiento de aguas residuales.



Figura 3: En la fotografía (extraída desde google earth), podemos apreciar a la izquierda una imagen general de donde encontramos San Gabriel de Rihue, respecto a Los Ángeles. Posteriormente a la derecha se puede apreciar con exactitud la ubicación donde fue instalada la Fosa Séptica.

En base a lo anterior se realizó una visita al terreno para evidenciar las condiciones planteadas, en donde nos encontramos que se requería un tratamiento de aguas residuales para un sector de esta vivienda, usada como sala de ordeña y espera de animales.

Luego se realizó un estudio topográfico en el lugar que nos evidencio que la mejor decisión correspondía a instalar el sedimentador a un costado de la sala de ordeña, ya que en este punto podíamos apreciar una diferencia de cota superior a los 20 cm., por lo tanto, esta diferencia de cotas facilitaría el escurrimiento desde el lugar de captación, hacia el sedimentador y posteriormente hacia el humedal, a donde son derivadas las aguas posteriormente a ser tratadas. Vale la pena mencionar que el sector es usado como potrero donde es común encontrar suelo de tipo orgánico.



Figura 4: Vista satelital de la distribución de cotas en el terreno. (Fuente, Google Earth).



Figura 5: Vista en planta de la distribución de cotas en el terreno. (Fuente propia).

3.2 COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES A TRATAR

Tal como se especificó en el punto anterior los residuos a tratar provienen de una lechería, por ende, el principal componente de estas aguas residuales serán purines de animal (orina y estiércol),

además de aguas proveniente del lavado de los patios de alimentación y sala de ordeña, sin embargo, debemos considerar también el escurrimiento que se genera por efecto de las lluvias.

Según el INIE (Instituto de investigación Agropecuarias) en una recopilación de datos realizada el 2006, señala que la composición de agua residuales, cuando las actividades se refieren a la crianza de vacas lecheras, se determina de la siguiente forma:

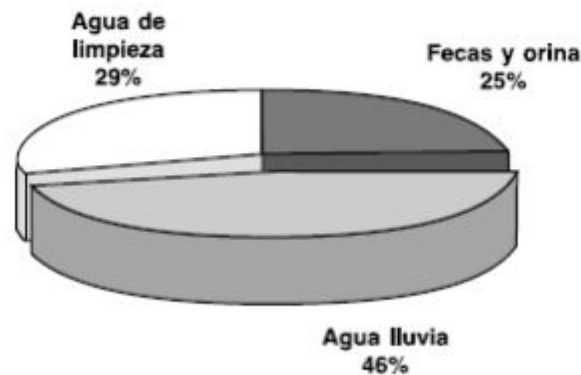


Figura 6: Contribución de los componentes que entran al Sedimentador. (Fuente Instituto de Investigaciones Agropecuarias 2006)

Considerando que la mayor cantidad de material sólido que entra a la cámara se refiere al estiércol, y teniendo en cuenta que este es el material que extraeremos en mayor cantidad posteriormente a ser sometido al proceso de sedimentación y digestión anaeróbica, es interesante revisar su composición química, para evaluar los posteriores usos posibles.

Diversos estudios realizados con anterioridad (incluidos algunos del INIE) plantean que los principales componentes químicos del estiércol de vacas productoras de leches son los siguientes:

- Nitrógeno (N)
- Fosforo (P)
- Potasio (K)
- Calcio (Ca)

Los cuales están distribuidos en los siguientes porcentajes según la especie a evaluar:

Fuente	Peso corporal (kg)	Producción total de estiércol (kg/día)	Materia seca (%)	Porcentaje de la materia seca					
				Ceniza	Fibra cruda	N	P	K	Ca
Vaca carne	520	29	12	15	37	2,0	0,4	1,2	1,1
Novillos de carne	450	36	12	13	20	3,2	0,9	2,6	0,8
Vaca lechera	640	50	14	18	26	2,5	0,6	2,4	1,5
Ponedora en jaula	2	0,10	26	30	13	4,8	1,8	1,8	5,5
Broiler	1	0,06	25	22	17	4,4	1,7	1,9	1,9
Pavo	7	0,30	25	19	—	5,4	1,2	1,9	2,8
Cerdo	90	7	9	20	15	5,2	1,5	3,2	2,0
Oveja	40	2	26	15	—	4,4	0,6	3,0	1,7

Tabla 2: Producción aproximada y composición de estiércol en diferentes especies animales.

(J.P. Fontenot. *Journal of Animal Science*. Vol 57. Suppl.2,1983)

De acuerdo a la información anterior, una vaca de 640 kg de peso corporal producirá 170g de nitrógeno, 40g de fósforo, 160g de potasio y 100g de calcio, diariamente. Lo cual ira variando según la calidad de alimentación, los antecedentes entregados corresponden a un sistema de alimentación basado en el consumo de heno de alfalfa, ensilaje de maíz y concentrado en cantidades variables según producción.

Lo anterior es importante para comprender los usos futuros del material a extraer, ya que, por ejemplo, debido a los nutrientes presentes puede ser derivado como material fertilizante u otra opción es utilizarlo como fuente de energía a través de la generación de metano.

3.3 DISEÑO SEDIMENTADOR

3.3.1 Caudal de entrada de aguas residuales al sedimentador

Punto importante para el diseño del tanque sedimentador pasa por el caudal de aguas residuales que ingresa, ya que el volumen de la cámara estará directamente ligado a la totalidad de estos residuos.

Para lo anterior recurrimos a información que nos proporciona el INIE, el cual a través de un estudio realizado en el año 2006 entrega parámetros de producción de purines, según la zona de evaluación, que corresponde a lo siguiente:

Región	Producción estimada de residuos, a nivel regional, de bovinos de leche		
	Nº de animales (anual)	Producción anual de residuos sólidos (guanos) (m ³ /año)	Producción anual de residuos líquidos (orina) (m ³ /año)
Tarapacá	---	---	---
Antofagasta	---	---	---
Atacama	2.193	31.688	19.405
Coquimbo	6.118	76.972	47.136
Valparaíso	31.857	407.747	249.697
Metropolitana	38.459	481.955	295.141
O'Higgins	16.058	226.966	138.990
Maule	45.358	559.867	342.853
Bío-Bío	73.260	899.789	551.014
Araucanía	126.225	1.659.850	1.016.462
Los Lagos	47.082	558.030	341.727
TOTAL PAIS	386.610	4.902.864	3.002.425

Tabla 3: Producción de purines anuales. (Fuente Instituto de Investigaciones Agropecuarias 2006)

De lo anterior se realizó una extrapolación de los datos, para determinar lo que produce solo un animal, con la intención de tener un valor promedio de producción de purines. Lo cual se llevó a cabo de la siguiente forma considerando los parámetros correspondientes a la zona de estudio:

$$\text{Purines Sólidos por animal} = \frac{\text{Residuos sólidos}}{\text{Nº Animales}} = 0,034 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right) = 34 \left(\frac{\text{l}}{\text{dia}} \right)$$

$$\text{Purines Líquidos por animal} = \frac{\text{Residuos líquidos}}{\text{Nº Animales}} = 0,021 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right) = 21 \left(\frac{\text{l}}{\text{dia}} \right)$$

$$\text{Purines tot por animal} = \frac{\text{Res sólidos} + \text{Res líquidos}}{\text{Nº Animales}} = 0,055 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right) = 55 \left(\frac{\text{l}}{\text{dia}} \right)$$

Considerando que según este mismo informe del INIE especifica que en promedio los purines son solamente un 25% del compuesto final de aguas residuales, siendo lo demás agua proveniente en un 29% de aguas de limpieza y en un 46% de aguas lluvias, por ende, podemos llevar a cabo un cálculo aproximado del caudal de entrada correspondiente a las aguas de limpieza con el aporte de las aguas lluvias de la siguiente forma:

$$\text{Aguas Residuales limpieza patios y agua lluvia} = \frac{0,055}{25} * 75 = 0,165 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right)$$

3.3.2 *Calculo de volumen requerido en sedimentador*

En la literatura se puede encontrar que, para llevar a cabo el dimensionamiento óptimo de un sedimentador prismático rectangular, de cámara única, se puede hacer uso de la siguiente ecuación:

$$V = N(CT + 100Lf) \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

- V=Volumen Útil
- N=Número de Contribuyentes (En el caso de estudio correspondiente a la cantidad de animales.)
- C=Contribución de residuos líquidos (l/ persona x día)
- T=Periodo de Retención en días
- Lf=Contribución de lodos frescos (l/ persona x día)

Para términos prácticos consideramos los siguientes parámetros para el diseño:

- N= 6 (animales)
- C= 186 (l/día)
- T= 0,5 (días)
- Lf= 34 (l/día)

Es importante tomar en cuenta que el lugar no es usado las 24 horas, debido a que corresponde a el sector usado para extracción de leche y sala de espera de animales, por ende, para los cálculos se consideró un uso de 1 hora diaria.

Con la ecuación ya planteada y los parámetros establecidos se procederá a determinar el volumen:

$$V = 6 (\text{animales}) * \left(186 \left(\frac{l}{\text{día}} \right) * \frac{1}{24 (\text{hrs})} * 0,5(\text{días}) + 100 * 34 \left(\frac{l}{\text{día}} \right) * \frac{1}{24 (\text{hrs})} \right)$$

$$V = 870 (\text{litros})$$

Teniendo en cuenta que tenemos una altura útil¹ de 0,7 (m) debido a limitaciones que se presentan por la disponibilidad de material, las dimensiones de su base quedan definidas como 1,4 (m) de largo y 0,9(m) de ancho.

3.3.3 *Diseño de Sedimentador en software AutoCAD*

La estructura soportante del sedimentador se desarrolló considerando el uso de perfiles metálicos con características adecuadas para soportar los esfuerzos mecánicos que será sometido el recipiente, además se usó un sistema de uniones soldadas, para finalmente proteger la estructura con revestimiento anticorrosiva para evitar su deterioro por exposición a la intemperie.

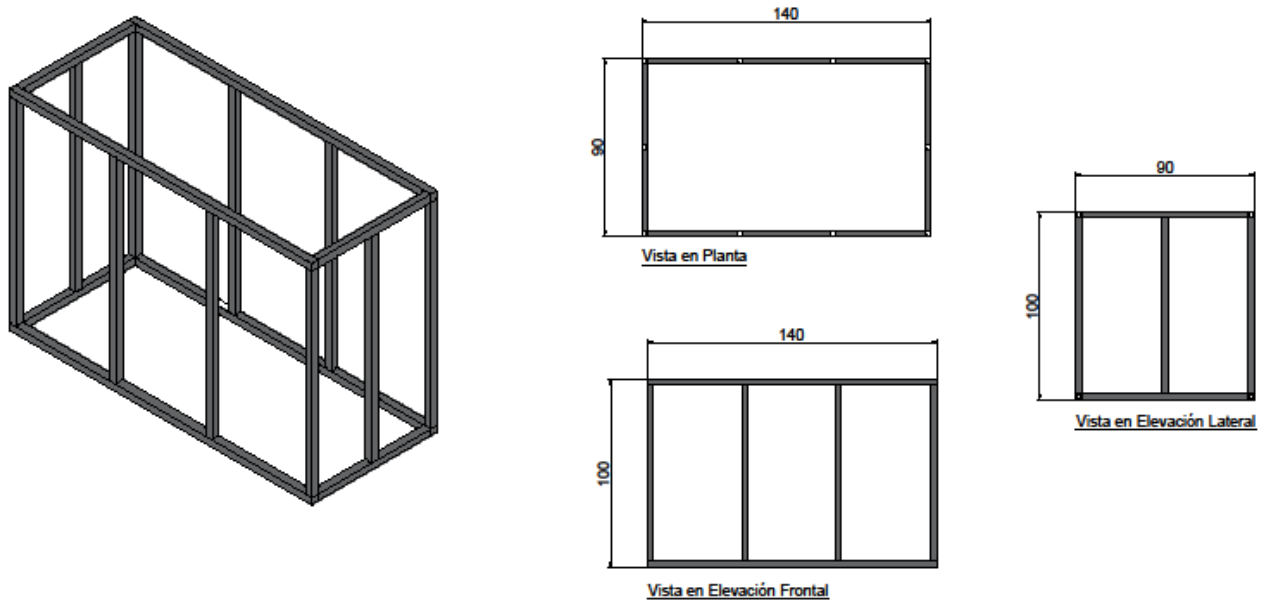


Figura 7: Representación gráfica de estructura soportante del sedimentador, con sus respectivas dimensiones.

(Elaboración Propia)

Luego, con la finalidad de darle las características de recipiente impermeable a nuestra jaula, esta estructura fue recubierta por una tela de PVC de procedencia alemana, de alta resistencia mecánica (característica importante considerando que al estar enterrada la cámara, estará sometida a punzonamiento ejercido por puntas presentes en el suelo), además de tener un tratamiento para los rayos UV y ser sellada con sistemas electrónicos de alta frecuencia. Como representación gráfica previa, desarrollamos por software AutoCAD el modelo, que queda representado de la siguiente forma:

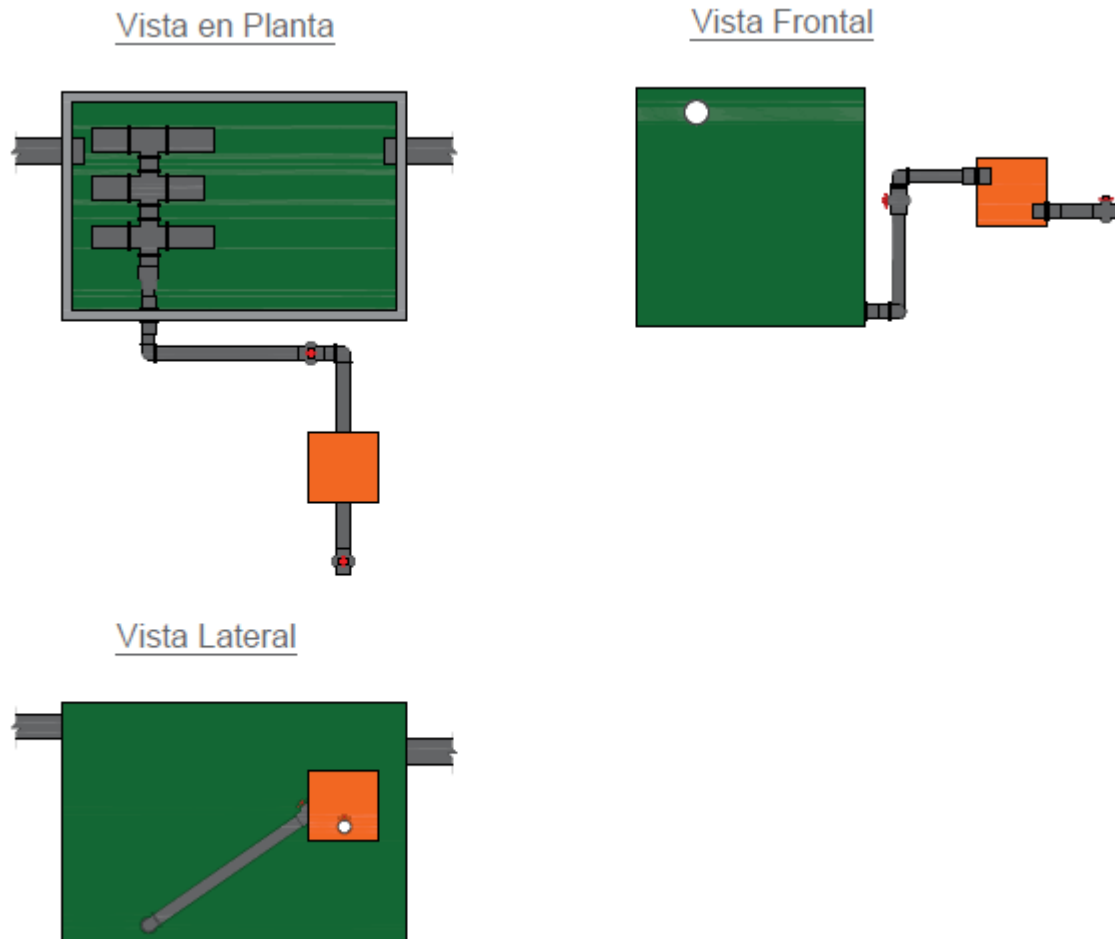


Figura 8: Desarrollo final del proyecto, donde se pueden apreciar los distintos elementos del sedimentador, tela de PVC sobre las paredes, tuberías de entrada y salida del sistema, drenes de extracción de lodos y llave de regulación de extracción de lodos. (Elaboración propia).

Es necesario entender que, al estar hablando de un modelo de prueba, pionero en esta tecnología, la elección de los drenes ubicados en el fondo de la fosa séptica no está sentado sobre bases previamente especificadas. Por lo tanto, la preferencia por este tipo de distribución mostrada en la figura 8, tiene como intención cubrir la mayor cantidad de superficie posible, evitando la acumulación descontrolada de lodos solo en algunos puntos.

3.4 PUESTA EN MARCHA

Para llevar a cabo la instalación del sedimentador es importante considerar los siguientes pasos.

- a. Como primer paso se debe llevar a cabo una evaluación de las cotas del terreno, con el fin de determinar un lugar donde su diferencia de altura favorezca el traslado de los residuos líquidos.

- b. Realizar una excavación de tipo zanja, con la intención de canalizar las aguas desde el punto de recepción hasta la fosa séptica, y posteriormente de esta misma forma trasladar las aguas desde el tratamiento primario hacia el secundario.
- c. Con la canalización ya realizada, concretar las conexiones a través de tuberías de PVC. La elección del tipo de PVC, dependerá principalmente de los residuos a tratar, en este caso considerando que la existencia de compuestos corrosivos es nula, se usó en tramos PVC sanitario.



Figura 9: En la izquierda podemos apreciar la conexión entre el tratamiento primario (al fondo de la imagen) y el tratamiento secundario, en cambio a la derecha vemos la conexión desde donde se recopilan las aguas desembocando en el tanque séptico. (Fuente Propia).

- d. Punto importante es revisar las conexiones hacia y desde la cámara de tratamiento, ya que un mal sellado de estas pasadas de tubería podrían provocar filtraciones de material contaminante hacia el suelo y posteriormente la napa freática.
- e. Para finalizar la instalación y dejar el sedimentador en funcionamiento, se recomienda llenar de agua la cámara hermética, y si es posible depositar en bajas cantidades abono vegetal, con la finalidad de ayudar al proceso de digestión anaerobia.

3.5 VOLUMEN DE LODO PRESENTE EN SEDIMENTADOR

Definir la cantidad de lodo almacenado en el sedimentador es de vital importancia, debido a que permite poder determinar cómo va variando a través del tiempo la acumulación de estos, en qué lugar se concentra la mayor cantidad de lodos y además nos abre la ventana a evaluar la degradación de la materia presente en el tanque.

Para determinarlo se utilizó el método de la toalla, que se basa en envolver un tubo con una toalla blanca y luego introducir esta dentro del sedimentador, posterior a esto observamos como varia el color según la altura del tubo, donde la parte más oscura será la referida a el contenido de lodo.

3.6 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE LODOS

Sin duda uno de los enfoques principales de esta investigación, hace foco en la extracción de lodos desde el sedimentador, pero para que esto suceda de partida debemos remontarnos a algunos fenómenos descritos con anterioridad, como lo son la sedimentación y la digestión anaerobia.

¿Qué sucede con estos?, la sedimentación logra concentrar nuestro material solido presente en el agua residual, en el fondo de la cámara, y a su vez la digestión anaerobia va descomponiendo esta concentración. Esta acumulación en el fondo es el material que se quiere lograr extraer, donde entra en juego lo que plantea el teorema de **Torricelli descrito en el punto.**



Figura 10: Sistema de drenes extractores de lodo, utilizados en el fondo del tanque sedimentador (Fuente Propia).

Pero para conducir esto a algo tangible, se tuvo que llevar a cabo un sistema que funciona de la siguiente manera. Se recolectan los lodos a través de un sistema de drenes, los cuales luego canalizan esto hacia el exterior de la fosa séptica, regulando esta salida por una válvula bola.



Figura 11: En la figura encontramos el sedimentador en fase de puesta en marcha, se puede apreciar la salida lateral, utilizada para la extracción de lodos. (Fuente propia).



Figura 12: En la figura encontramos el sedimentador en funcionamiento, y se puede apreciar material ya extraído en la parte inferior (Fuente Propia).

3.7 CAUDAL DE EXTRACCION DE LODOS

Para determinar el caudal de extracción se utilizará un método volumétrico, el cual consiste en determinar cuánto tiempo demora el flujo a evaluar (en este caso referido a la salida de lodos en un

costado del sedimentador) en llenar un recipiente de volumen conocido. Lo anterior tiene como finalidad verificar la factibilidad de retirar los lodos desde la fosa séptica con el sistema empleado, referido principalmente a tiempo necesario.

3.8 CALIDAD DE LODOS EXTRAIDOS

Para interpretar la calidad de los lodos extraídos nos basaremos en una evaluación de sólidos volátiles y minerales, respecto a muestras evacuadas por el sistema de drenes.

Llevaremos a cabo una cuantificación de las distintas fracciones de sólidos presentes en la muestra, donde mediremos:

- Sólidos Totales (ST): Es la suma de todos los tipos de sólidos (suspendidos y disueltos, por ejemplo) en una muestra de líquido. Son aquellos que quedan como residuo, luego de evaporar una muestra de peso conocido, a una temperatura entre 103-105°.
- Sólidos Volátiles (SV): Hace referencia a aquellos residuos que pueden volatilizarse o eliminarse en un horno mufla a una temperatura de 550°C, se refiere a la fracción de materia orgánica contenida en el lodo.
- Sólidos Minerales (SM): Es aquella fracción que no se volatiliza o elimina en un horno mufla a una temperatura de 550°C.

Para términos prácticos analizaremos la fracción de sólidos totales como si fuesen solo sólidos suspendidos, esto porque el tipo de material a analizar es bajo en contenido de sales, por lo tanto, no debiésemos tener presencia de sólidos disueltos.

Para llevar a cabo una cuantificación de las distintas fracciones podemos basarnos en el siguiente balance de masas:

$$\text{Sólidos Totales (ST)} = \text{Sólidos Volátiles (SV)} + \text{Sólidos Minerales (SM)} \quad \text{Ec. (17)}$$

3.9 PRUEBA SÓLIDOS TOTALES, VOLÁTILES Y MINERALES

3.9.1 Instrumentos necesarios para determinar fracciones de sólidos.

El material necesario para realizar la medición de los 3 tipos de sólidos son los siguientes:

- Probeta, de preferencia superior a los 50ml.
- Capsulas de vidrio, para llevar a cabo el secado de las muestras.
- Filtros de fibra de vidrio, de 1,2 µm de tamaño de poro.
- Matraz Kitasato.
- Bomba de vacío.
- Balanza de precisión, de 1mg de poder resolutivo.
- Equipo de Filtración.

- Horno de desecación ventilada.
- Mufla para ignición.



Figura 13: Equipo utilizado para el filtrado de la muestra, a la izquierda podemos ver un embudo Buchner y a la derecha encontramos los filtros de fibra de vidrio. (Elaboración propia).

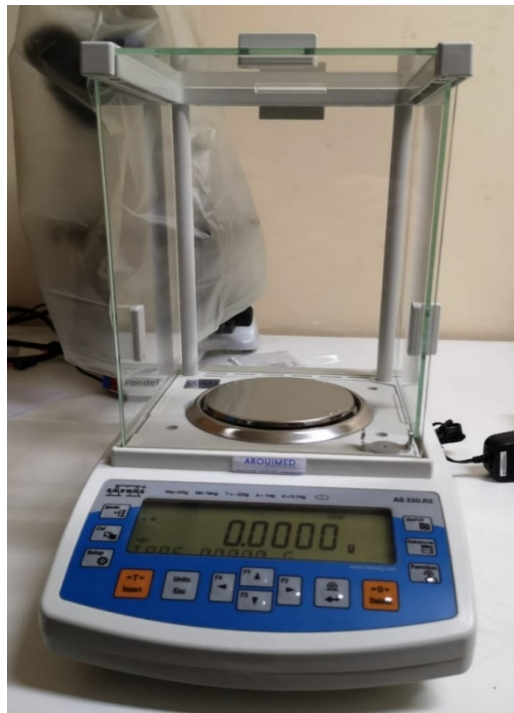


Figura 14: Balanza de precisión usada para el pesaje de las muestras. (Elaboración propia).

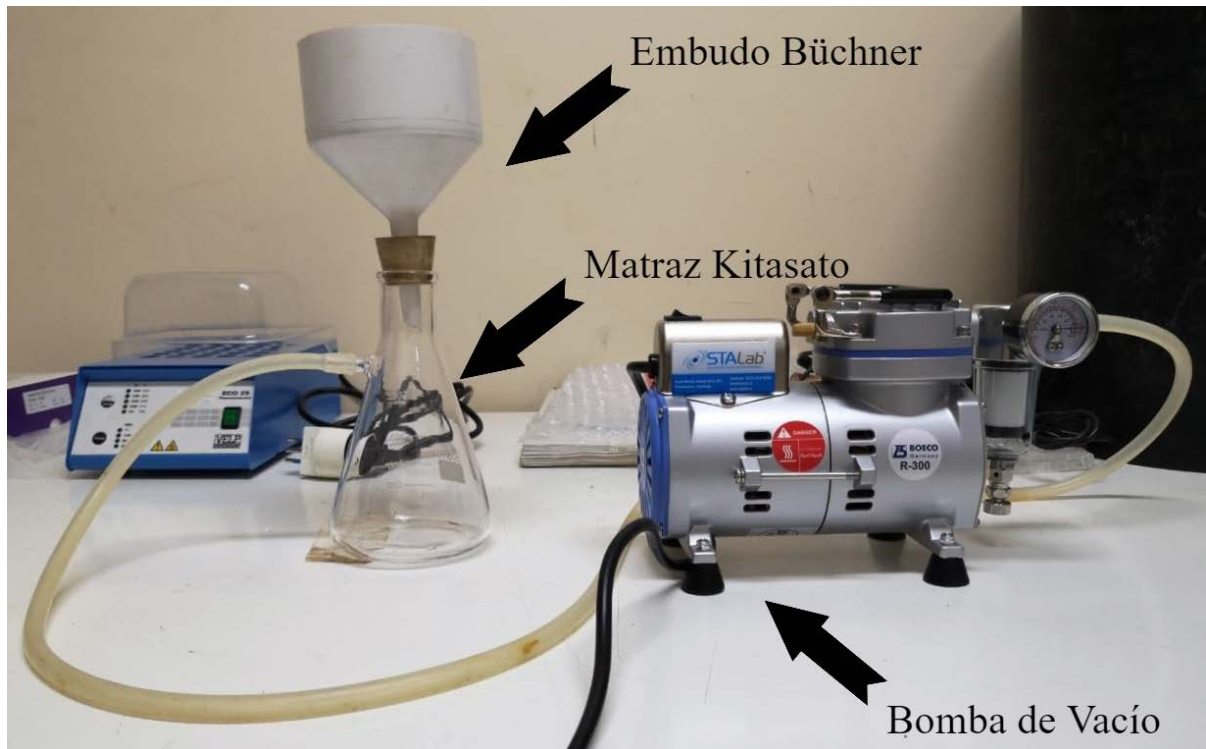


Figura 15: Equipo instalado para llevar a cabo el filtrado de las muestras, en la figura se puede identificar los nombres de cada instrumento. (Elaboración propia)



Figura 16: Equipo usado para el secado de muestras, a la derecha el horno mufla para ignición y a la izquierda un horno desecador con sistema de ventilación. (Elaboración propia)



Figura 17: A la izquierda capsulas usadas para secado de muestras en horno a 105°C, a la derecha un crisol utilizado en la volatilización del material. (Elaboración propia).

3.9.2 Método utilizado para evaluar Sólidos Totales

El procedimiento a seguir para determinar la porción de sólidos totales son los siguientes:

1. Medir el peso de la capsula que usaremos para secar la muestra.
2. Llevar un filtro de fibra de vidrio dentro de la misma capsula hacia el horno, por aproximadamente una hora, hasta que llegue a un peso constante, evitando que la humedad presente en esta pueda alterar las muestras. Posteriormente registrar su peso (A de la Ec. 18).
3. En una probeta depositar 20 mL del agua residual extraída, esto puede depender de la concentración de residuos que contenga la muestra, ya que mientras mayor sea la presencia de sólidos, menor debe ser el fluido a filtrar.
4. Considerando que el equipo está instalado como se puede apreciar en la figura 15, se debe proseguir con ubicar el filtro en la parte superior del embudo Büchner.
5. Se debe verter el agua residual sobre el filtro, asegurándose que la bomba este bien conectada al matraz Kitasato, por ende, con el vacío ejercido por esta, se realizara la total filtración de la muestra. El proceso termina cuando el filtro comienza a secarse, lo cual se puede apreciar por la variación del brillo del sedimento.
6. A continuación, procedemos a retirar el filtro desde el embudo Büchner, para luego ubicarlo en una capsula que debe ser secada al horno por aproximadamente 2 horas a una temperatura entre los 100° a 105° Celsius.
7. Finalmente retirar la capsula del horno y determinar su peso (B de la Ec. 18).

La determinación de los sólidos totales se lleva a cabo de la siguiente forma:

$$\text{Sólidos Totales} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B)*1000}{mL \text{ muestra}} \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde los parámetros corresponden a:

$$A = \text{Peso Cápsula} + \text{Filtro Seco (105°C)} (mg) \quad \text{Ec. (19)}$$

$$B = \text{Peso Cápsula} + \text{Filtro Seco (105°C)} + \text{Residuo Seco (105°C)} (mg) \quad \text{Ec. (20)}$$

3.9.3 Método usado para evaluar Sólidos Volátiles y Minerales

1. Medir el peso de un crisol, en la cual se depositará la muestra para proceder a la incineración.
2. Tomar el papel filtro usado en la determinación de sólidos totales, luego de ser secado a 105°C con el residuo sólido y depositar en el crisol, determinar su peso (C en la Ec 21).
3. Dicha capsula debe ser llevada a la mufla (a una temperatura de 550°C), esto con la intención de incinerar todas las partículas correspondientes a sólidos volátiles, por consiguiente, por diferencia de pesos se puede encontrar la fracción de sólidos minerales. Al retirar el crisol desde la mufla se debe medir el peso, hasta que este sea constante. (E en la Ec 21)

La determinación de los sólidos volátiles se lleva a cabo de la siguiente forma:

$$\text{Sólidos Volátiles} \left(\frac{grs}{lt} \right) = \frac{(C-E)*1000}{mL \text{ muestra}} \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde los parámetros corresponden a:

$$C = \text{Peso Crisol} + \text{Filtro (105°C)} + \text{Residuo Seco (105°C)} (mg) \quad \text{Ec. (22)}$$

$$E = \text{Peso Crisol} + \text{Filtro (505°C)} + \text{Residuo Seco (505°C)} (mg) \quad \text{Ec. (23)}$$

Finalmente, habiendo determinado la fracción de sólidos volátiles, podemos proceder a definir la porción de sólidos minerales de la siguiente forma:

$$\text{Sólidos Minerales (SM)} = \text{Sólidos Totales (ST)} - \text{Sólidos Volátiles (SV)} \quad \text{Ec. (24)}$$

4 RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 CARACTERIZACIÓN VISUAL DE FUNCIONAMIENTO

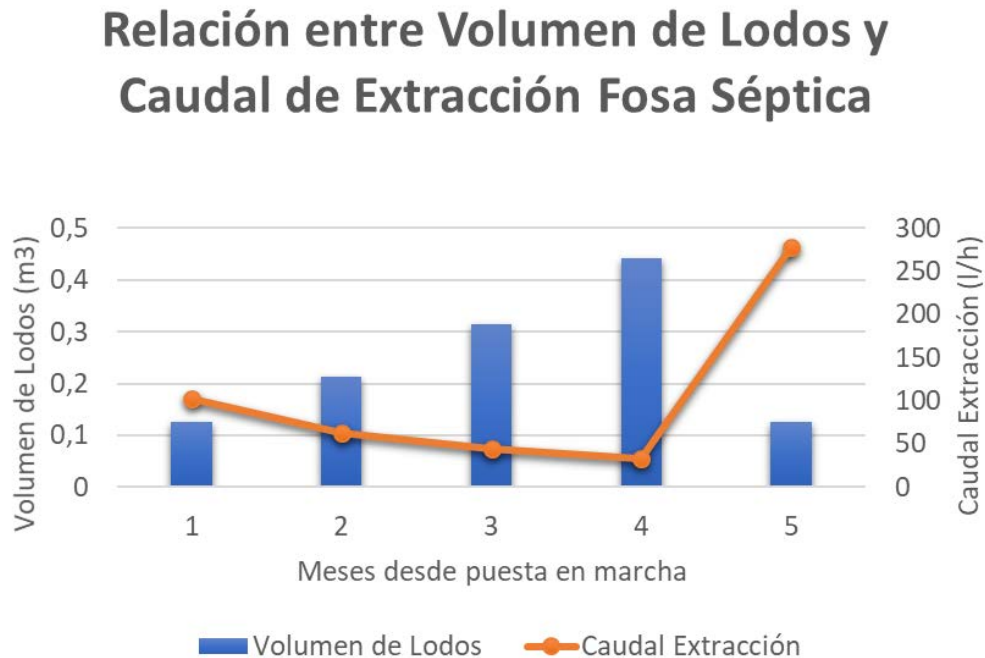
Habiendo llevado a cabo previamente la instalación del dispositivo, se procederá a evaluar de forma visual su funcionamiento.

En la fase inicial del proyecto, que corresponde a los 3 primeros meses de operación y coincide con la época otoñal de la zona, podemos notar un funcionamiento bajo los márgenes establecidos, se mantiene una cota estable dentro del sedimentador la cual coincide con la salida de la cámara hacia el tratamiento secundario y notamos una tendencia del lodo a mantenerse en un nivel estable realizando extracciones periódicas. Respecto al sistema de extracción podemos notar que se cumple el propósito dado, generando que al poco tiempo de abrir la válvula de tipo bola se comience a expulsar material, donde podemos notar un fluido principalmente compuesto por agua pero que visualmente da la impresión de contener alto contenido de sólidos suspendidos y con un fuerte olor, esto debido al proceso de sedimentación que ocurre dentro de la cámara.

En la segunda fase, correspondiente a los siguientes 3 meses de operación y que coincide con la época invernal, se aprecia un funcionamiento no esperado del sedimentador. Los motivos de esto son más bien externos, ya que debido a la alta cantidad de agua caída se produjo escurrimiento de barro y excremento animal hacia el tratamiento secundario (humedal de flujo horizontal), por ende, tendió a detener el flujo de agua, ocasionando que el nivel de residuos dentro del sedimentador aumentara en exceso. En relación al sistema de extracción se presentaron dos problemas, el primero corresponde a que, debido a la cantidad de agua caída, el nivel de agua en el exterior del sedimentador aumento en demasía, provocando que la tubería de extracción quedara bajo el agua inhabilitando el sistema, lo anterior fue solucionado mediante el uso de bombas con la intención de extraer el fluido presente. El segundo problema ocasionado se genera en el interior del sedimentador y va relacionado con que debido a la falta de flujo de agua residual se originó una excesiva acumulación de lodos en el fondo de la fosa séptica, por ende, los drenes se saturaron y disminuyo notablemente el flujo de extracción.

4.2 RELACION ENTRE CAUDAL DE EXTRACCION Y VOLUMEN DE ACUMULACION DE LODOS

Luego de llevar a cabo la determinación del volumen de lodos dentro del tanque séptico, además de una evaluación del caudal de extracción existente, se llevó a cabo la siguiente grafica que relaciona ambos parámetros:



Grafica 1: Relación entre volumen de lodos y caudal de extracción. (Elaboración Propia)

Podemos notar una clara tendencia a la disminución de caudal de extracción entre las mediciones correspondientes al mes 1 y posteriormente al mes 4 de funcionamiento de la fosa séptica. Esto se explica debido a que, a medida que aumenta el volumen de lodos dentro de la cámara, también aumenta la concentración de sólidos totales presentes en el lodo extraído, debido al proceso de sedimentación existente. Ahora, esto implica posteriormente un aumento en el factor de fricción generado por este flujo, por ende, como nos plantea Hazen-Williams, esto implica posteriormente un aumento en la pérdida de carga, afectando finalmente el caudal de extracción en forma negativa.

4.3 MEDICIÓN DE SÓLIDOS TOTALES, VOLÁTILES Y MINERALES

A continuación, se presentará una tabla resumen de los valores de cada fracción de sólidos presentes en los lodos sacados desde el sedimentador, esto con la intención de posteriormente realizar un análisis de las características de nuestro producto extraído y así llevar a cabo una evaluación de sus posibles usos futuros.

Determinación Solidos Totales, Volátiles y Minerales			
Fecha	Solidos Totales (grs/lt)	%SV	%SM
11-abr	11,34	74,47	25,53
	22,62	78,36	21,64
	22,82	77,34	22,66
	4,27	83,98	16,02
10-may	1,48	91,55	8,45
	38,23	71,96	28,04
	4,06	85,98	14,02
01-ago	1,28	69,92	30,08
	4,93	73,60	26,40
	60,67	74,10	25,90
	105,71	56,95	43,05
08-ago	84,67	65,68	34,32
	99,45	56,81	43,19
	16,03	60,84	39,16
	4,20	67,06	32,94
27-ago	1,90	81,32	18,68
	116,15	52,43	47,57
	18,11	69,61	30,39
	1,51	87,09	12,91
04-sept	2,09	83,25	16,75

Tabla 4: Resumen de porciones de solido según tipo (Elaboración Propia).

Primero se realizó una evaluación para determinar cómo varía la cantidad de sólidos totales en una muestra extraída, respecto al tiempo de funcionamiento del sedimentador desde su puesta en marcha:

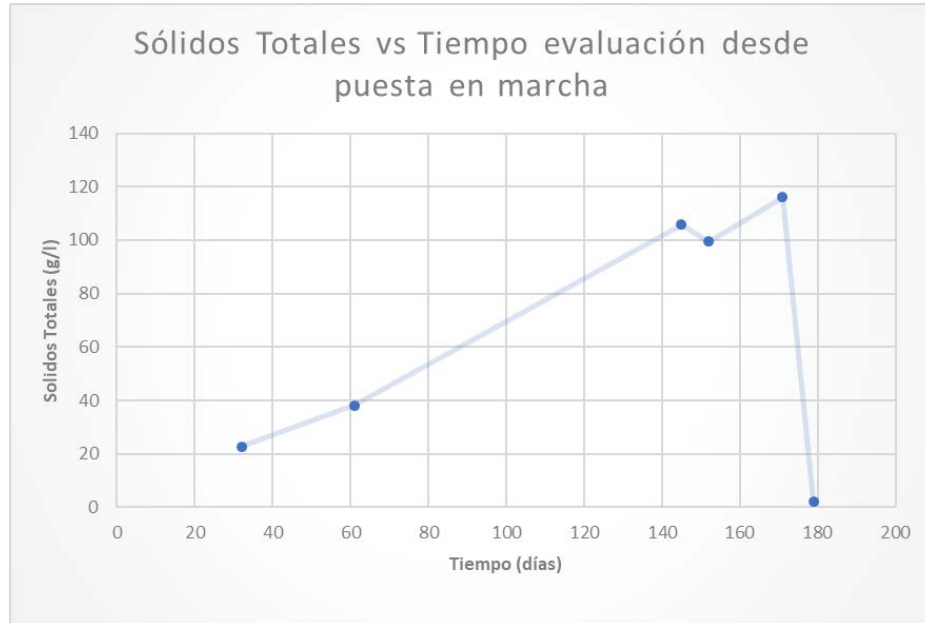
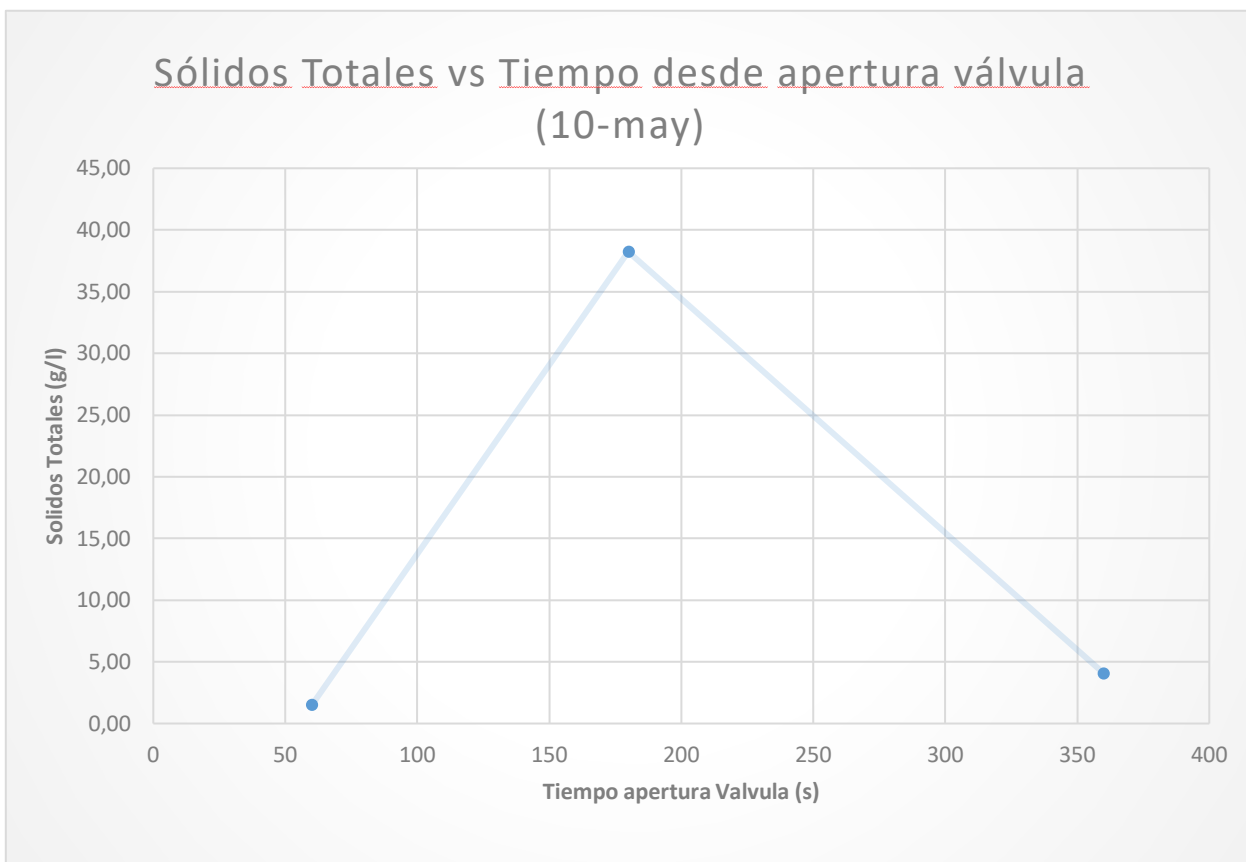
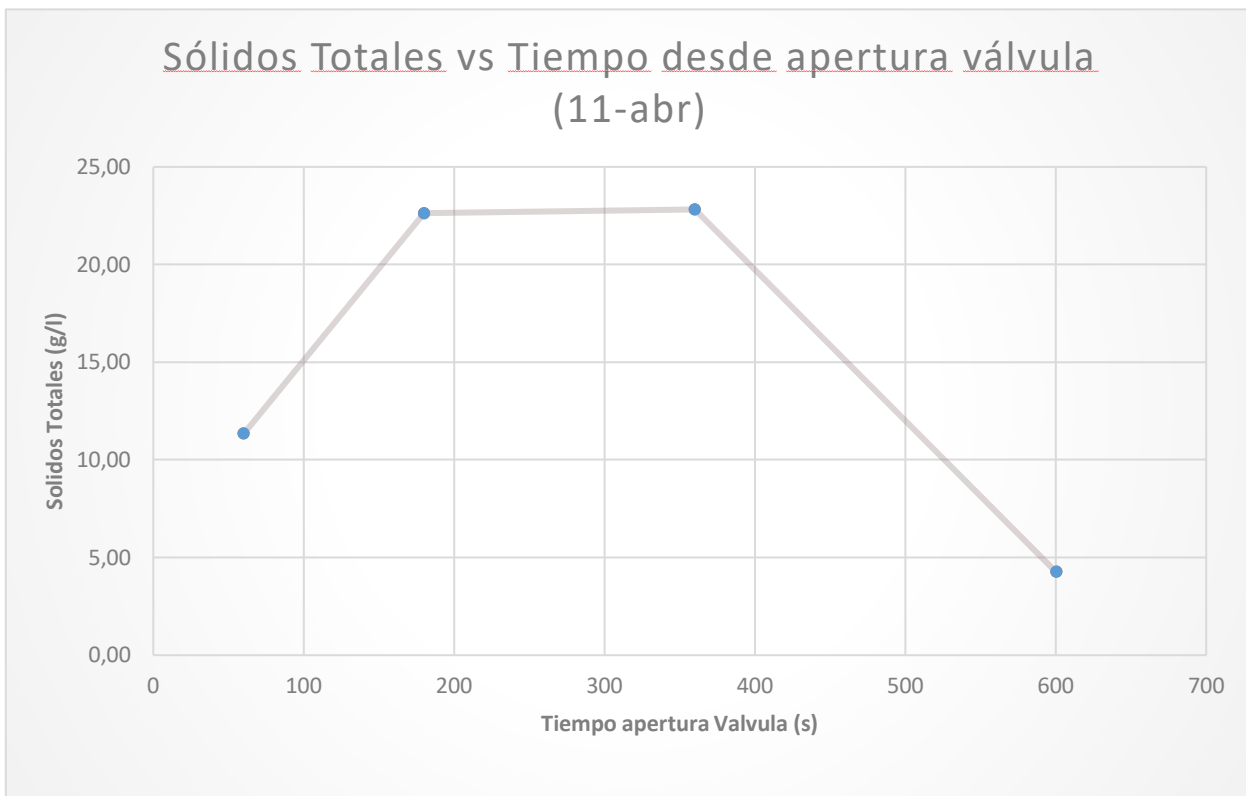
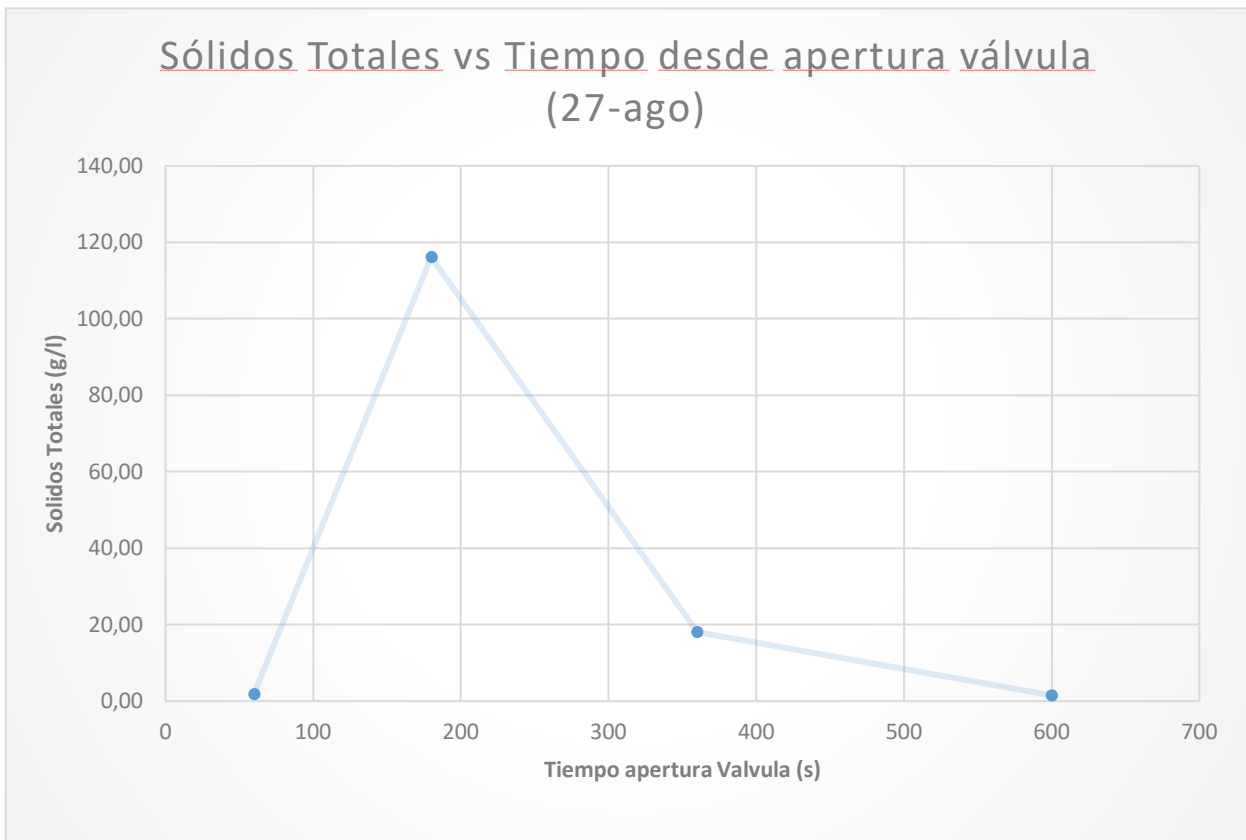
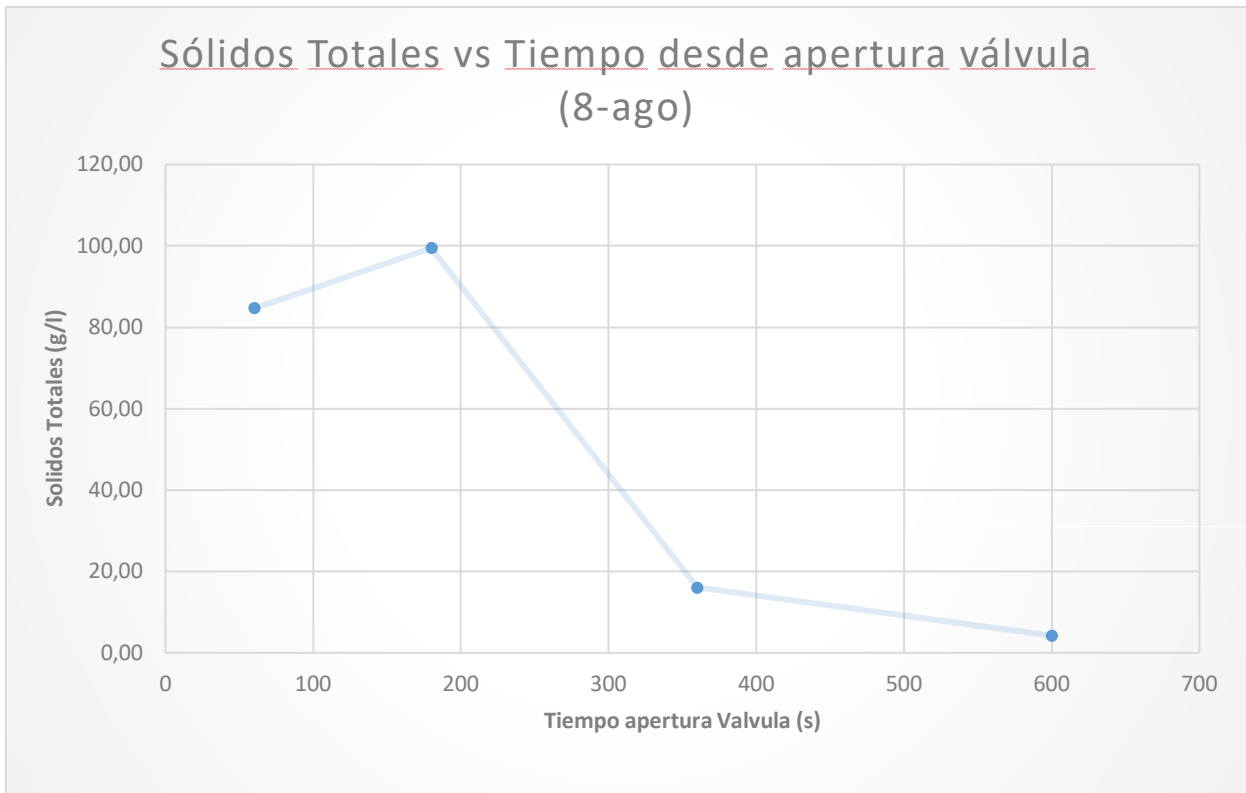


Gráfico 2: Concentración de sólidos totales según tiempo de puesta en marcha de fosa séptica.

El aumento de sólidos totales a través del tiempo en una muestra de lodo extraído está dado por el proceso de la sedimentación, donde la fuerza de gravedad va compactando el manto de lodo.

Posteriormente se grafica como varia la cantidad de solidos totales en el proceso de toma de muestras, respecto al tiempo de apertura de la válvula por extracción:



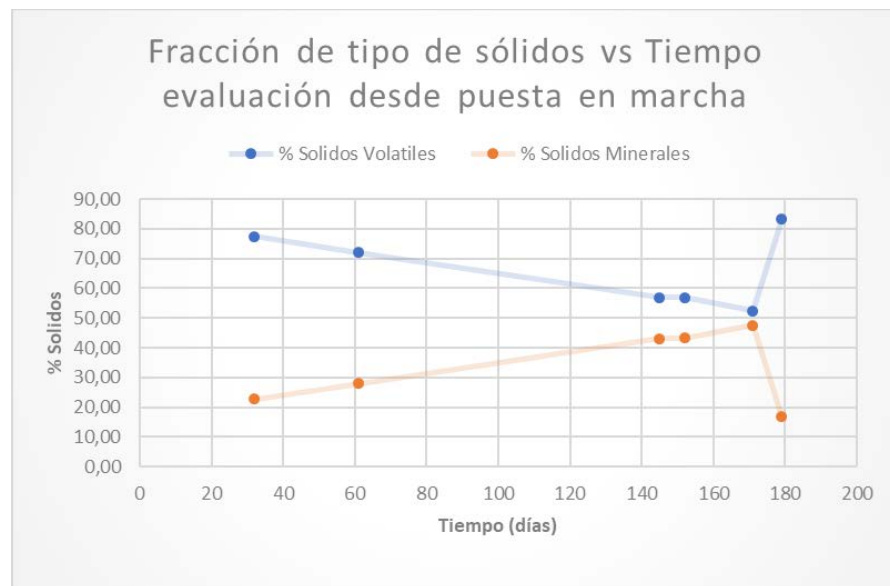


Grafica 3: Variación de concentración de sólidos totales, respecto a tiempo de apertura de la válvula (Elaboración propia)

Se puede apreciar una clara tendencia donde, en el comienzo del proceso de la toma de muestras encontramos que la concentración de sólidos totales tiende a 0, para luego ir en un notorio aumento alcanzando un punto máximo y posteriormente volver a disminuir drásticamente.

Este fenómeno lo acreditamos a que debido a que el peso específico del agua es menor, tiende a mantenerse hasta el nivel de la válvula en el brazo de extracción, esto genera que nuestra primera extracción corresponda a un material con mayor presencia de líquidos. A medida que pasa el tiempo, el flujo va arrastrando el material particulado para ya eliminar un compuesto de mayor presencia de sólidos.

Por último, se llevó a cabo, representaciones graficas de como varia las fracciones de sólidos volátiles y minerales en las muestras a través del tiempo, respecto a su puesta en marcha.



Gráfica 4: Variación de fracción de sólidos, respecto a la puesta en marcha de la fosa séptica.

A medida que avanzan los días se puede apreciar que la cantidad de sólidos volátiles es indirectamente proporcional a la cantidad de sólidos minerales. Este fenómeno es explicado debido a que a lo largo del tiempo se genera el proceso de digestión anaeróbica, por lo tanto, se van descomponiendo la fracción orgánica de los residuos correspondiente a la concentración de sólidos volátiles en nuestra muestra.

Para que un lodo sea considerado como estabilizado tiene que contar con una reducción de un 40% de sólidos volátiles, lo cual debido al material tratado (con principal presencia de material orgánico) se escapa de los márgenes posibles dentro del tiempo de estudio.

5 CONCLUSIONES

- Se demuestra factibilidad a la hora de extracción de lodos, según los caudales evaluados.
- Se logró reducir la fracción de sólidos volátiles (material orgánico) desde un 80% a un 50% aproximadamente, lo cual es una cifra significativa, sin embargo, aún no lo cataloga como un lodo estabilizado según lo que nos plantea la normativa chilena (38% como máximo).
- El caudal de extracción varía significativamente según el volumen de lodo acumulado, teniendo una relación indirectamente proporcional.
- El volumen de lodos acumulados en el fondo de la fosa séptica no debe superar los 0,15 m³ de preferencia, lo que corresponde a una altura equivalente de 10 (cm) en el manto de lodos. Esto con la intención de mejorar el flujo de extracción.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J., Ruiz I. y Soto, M. (2008). Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands. *Ecological Engineering*.
- Carrión G. (2008). Manual técnico de difusión, Sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues en zonas rurales. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, Perú.
- Giosa P. (2001). Cámaras Sépticas. Catedra de acondicionamiento Sanitario, Facultad de Arquitectura, Uruguay.
- Guevara A. (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes.
- Lara L. (2016). Alternativas a la gestión actual de lodos de fosas sépticas en pequeñas poblaciones rurales: el caso de San Agustín (TERUEL). Universidad Miguel Hernández, España.
- Mandujano M., I. (1981). Biogas: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4 ed.). Nueva York, Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Vásquez S. (2014). Caracterización de los lodos provenientes de las fosas sépticas de Zamorano para la selección de alternativas de tratamiento. Tesis profesional, Honduras.
- Vidal G. y Araya F. (2014). Las Aguas servidas y su depuración en zonas rurales: Situación actual y desafíos. Universidad de Concepción, Chile.
- .

Anexo A

A continuación, se presentan los resultados referidos al cálculo de sólidos totales en una muestra de lodo extraído, empleando metodología detallada en el punto 3.11.2.

Prueba de Sólidos Totales							
Fecha	Capsula	Volumen Muestra (mL)	Peso Capsula+ Filtro Seco (105°C) (g)	Peso Capsula + Filtro Seco + Residuo Húmedo (g)	Peso Capsula + Filtro Seco + Residuo Seco (105°C) (g)	Sólidos Totales (g/l)	Humedad (%)
11-abr	LR-1	50	50,45	55,60	51,02	11,34	89,00
	LR-2	20	50,95	53,75	51,40	22,62	83,84
	LR-3	20	47,11	50,99	47,57	22,82	88,23
	LR-4	20	47,09	48,20	47,17	4,27	92,32
10-may	LR-5	20	48,16	48,96	48,19	1,48	96,33
	LR-6	20	51,65	56,03	52,41	38,23	82,53
	LR-7	20	47,74	48,88	47,82	4,06	92,86
01-ago (N/R)*	LM-1	20	50,94	51,53	50,96	1,28	95,64
	LM-2	20	47,06	47,84	47,16	4,93	87,34
	LM-3	15	51,63	56,29	52,54	60,67	80,47
	LM-4	15	47,11	54,26	48,69	105,71	77,83
08-ago	LM-5	15	50,32	57,02	51,59	84,67	81,06
	LM-6	10	50,74	58,09	51,74	99,45	86,46
	LM-7	20	48,13	50,59	48,46	16,03	86,92
	LM-8	20	46,99	47,91	47,07	4,20	90,87

Tabla: Cálculo fracción de sólidos totales.

Anexo B

A continuación, se presentan los resultados referidos al cálculo de mineralización de sólidos en una muestra de lodo extraído, empleando metodología detallada en el punto 3.11.3.

Prueba Mineralización de Sólidos									
Fecha	Capsula	Volumen Muestra (mL)	Peso Crisol + Filtro Seco (105°C) + Residuo Seco (105°C) (g)	Peso Crisol + Filtro Seco (505°C) + Residuo Seco (505°C) (g)	Sólidos Totales (g/l)	Sólidos Volátiles (g/l)	Sólidos Minerales (g/l)	%SV	%SM
11-abr	LR-1	50	37,00	36,58	11,34	8,44	2,89	74,47	25,53
	LR-2	20	39,38	39,03	22,62	17,72	4,90	78,36	21,64
	LR-3	20	20,71	20,35	22,82	17,65	5,17	77,34	22,66
	LR-4	20	20,74	20,66	4,27	3,59	0,68	83,98	16,02
10-may	LR-5	20	39,15	39,12	1,48	1,35	0,13	91,55	8,45
	LR-6	20	25,05	24,49	38,23	27,52	10,72	71,96	28,04
	LR-7	20	24,21	24,14	4,06	3,50	0,57	85,98	14,02
01-ago (N/R)*	LM-1	20	36,44	36,42	1,28	0,89	0,38	69,92	30,08
	LM2	20	39,01	38,94	4,93	3,62	1,30	73,60	26,40
	LM-3	15	21,15	20,47	60,67	44,96	15,71	74,10	25,90
	LM-4	15	22,25	21,35	105,71	60,20	45,51	56,95	43,05
08-ago	LM-5	15	40,40	39,57	84,67	55,61	29,06	65,68	34,32
	LM-6	10	28,47	27,90	99,45	56,50	42,95	56,81	43,19
	LM-7	20	24,45	24,25	16,03	9,75	6,28	60,84	39,16
	LM-8	20	22,50	22,45	4,20	2,82	1,38	67,06	32,94

Tabla: Cálculo fracción de sólidos volátiles y minerales.