



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERIA CIVIL**

**TEMA:**

**Evaluación de la eficiencia de estabilización de los lodos obtenidos a partir de la operación del sistema de Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT), mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica**

**AUTOR:**

**Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Vásconez Gavilánes, José Ernesto, M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**21 de marzo del 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

### **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### **TUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Vásconez Gavilánes, José Ernesto, M.Sc.**

### **DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc.**

**Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de la eficiencia de estabilización de los lodos obtenidos a partir de la operación del sistema de Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT), mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2019**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_

**Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

### **AUTORIZACIÓN**

**Yo, Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación de la eficiencia de estabilización de los lodos obtenidos a partir de la operación del sistema de Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT), mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 21 días del mes de marzo del año 2019**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme salud y guiarme a lo largo del camino de mi carrera universitaria, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad. A mis padres Jaime Núñez y Galuth Gaviláñez quienes con su amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mis hermanos: Katherine, Eleana, George por estar conmigo siempre apoyándome en los momentos más difíciles.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a toda la Facultad de Ingeniería, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias por su paciencia, dedicación y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. José Vásconez y a la Ing. Clara Glas por su dirección, consejos y apoyo incondicional durante el desarrollo de mi tesis.

**JAIME RODRIGO NÚÑEZ GAVILÁÑEZ**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado se lo dedico principalmente a Dios por bendecirme y darme las fuerzas necesarias para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer. A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado de forma incondicional, llenándome de valiosos consejos que me sirvieron a lo largo de mi etapa universitaria, para así de esta manera poder concluir tan anhelada meta.

A los grandes amigos que hice a lo largo de mi carrera por todo el apoyo mostrado durante este trayecto.

A la directora de carrera Ing. Stefany Alcívar por brindarme su amistad y enseñarme a luchar siempre hasta el final.

Al movimiento político estudiantil Fuerza Civil Independiente por demostrarme que en la política no hay grupo que sea más fuerte que un grupo de buenos amigos.

**JAIME RODRIGO NÚÑEZ GAVILÁNEZ**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. José Ernesto Vásconez Gavilanes, M.Sc.**

TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M.Sc.**

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Mélida Alexandra Camacho Monar, M.Sc.**

DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Clara Catalina Glas Cevallos, M.Sc.**

OPONENTE

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
ÍNDICE.....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE ILUSTRACIONES .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO 1 .....	3
1. GENERALIDADES .....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos: .....	4
1.3 Alcance .....	4
1.4 Metodología .....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Fundamentación bibliográfica .....	6
2.2 Fundamentación teórica. ....	13



2.2.1	Aguas residuales .....	13
2.2.2	Características físicas, químicas y biológicas de aguas residuales 13	
2.2.3	Tratamiento primario químicamente mejorado .....	15
2.2.4	Coagulación .....	15
2.2.5	Floculación .....	16
2.2.6	Tratamiento de lodos.....	17
2.2.7	Espesadores .....	19
2.2.8	Reactores Anaerobios.....	19
2.2.9	Tipo de Digestores Anaeróbicos .....	20
2.2.10	Edad del lodo .....	21
2.2.11	Influencia de la Temperatura .....	21
2.2.12	Influencia del pH .....	22
2.2.13	Compuestos inhibidores.....	23
2.2.14	Deshidratación y secado de lodos .....	24
2.2.15	Disposición final del lodo residual después del proceso de digestión anaeróbica.....	25
2.3	Fundamentación Técnica-Legal.....	26
CAPÍTULO 3.....		30
3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.2	Instalación de la planta piloto.....	30
3.3	Ubicación de la planta piloto .....	30
3.3	Propiedades del agua residual de ingreso .....	31
3.4	Dosificación del cloruro férrico .....	31

3.5	Funcionamiento de la planta piloto .....	31
3.6	Recolección de los lodos residuales.....	31
3.7	Digestor anaeróbico .....	32
3.8	Muestras enviadas al laboratorio .....	32
3.9	Medición de la temperatura .....	32
CAPÍTULO 4.....		33
4.	Análisis de resultados .....	33
4.1	Interpretación.....	33
4.2	Análisis de DBO.....	33
4.3	Análisis de DQO .....	34
4.4	Análisis de la Temperatura .....	35
CAPÍTULO 5.....		36
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
5.1	Conclusiones .....	36
5.2	Recomendaciones .....	36
REFERENCIAS .....		38
ANEXOS .....		40

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades físicas presente en las aguas residuales .....	14
<b>Tabla 2</b> Propiedades químicas presente en las aguas residuales .....	14
<b>Tabla 3</b> Propiedades biológicas presente en las aguas residuales .....	15

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Procesos Unitarios en el tratamiento de lodos.....	7
<b>Ilustración 2</b> Proceso de Coagulación.....	16
<b>Ilustración 3</b> Digestor Anaerobico, proceso convencional de fase unica y de baja carga. ....	20
<b>Ilustración 4</b> Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia.....	21
<b>Ilustración 5</b> Efecto del pH sobre la digestión anaeróbica.....	23
<b>Ilustración 6</b> Ubicación de la planta piloto .....	30
<b>Ilustración 7</b> tabla de resultados de las dos muestras.....	33
<b>Ilustración 8</b> Grafica de resultados de las dos muestras .....	34
<b>Ilustración 9</b> Grafica de resultados de DQO.....	34
<b>Ilustración 10</b> Resultados de la temperatura.....	35
<b>Ilustración 11</b> Caja de revisión, aguas residuales .....	40
<b>Ilustración 12</b> Prueba de jarras para determinar dosificación.....	40
<b>Ilustración 13</b> Planta piloto instalada.....	41
<b>Ilustración 14</b> Funcionamiento de la planta piloto .....	41
<b>Ilustración 15</b> Lodos residuales obtenidos del tratamiento CEPT .....	42
<b>Ilustración 16</b> Recolección de lodos residuales.....	42
<b>Ilustración 17</b> Recolección de lodos residuales.....	43
<b>Ilustración 18</b> Lodo extraído puesto en el digestor.....	43

<b>Ilustración 19</b> Digestor anaeróbico completamente cerrado .....	44
<b>Ilustración 20</b> Temperatura del lodo crudo .....	44
<b>Ilustración 21</b> Temperatura del lodo después de 28 días dentro del digestor .....	45
<b>Ilustración 22</b> Informe de resultados del lodo crudo .....	46
<b>Ilustración 23</b> Informe de resultados del lodo crudo .....	47
<b>Ilustración 24</b> Informe de resultados del lodo tratado.....	48
<b>Ilustración 25</b> Informe de resultados del lodo tratado.....	49

## RESUMEN

A lo largo de la historia, las investigaciones científicas han trascendido durante distintas épocas, lo que ha ayudado a compatibilizar las indagaciones para la resolución de conflictos económicos, políticos y sociales.

El progreso de la creación de los bioquímicos, maquinarias y tecnología son un papel fundamental para la metodología de la degradación a causa de la ausencia de oxígeno, como se lo denomina digestión anaeróbica. Este proceso trae consigo beneficios significativos para el bienestar del medio ambiente; es decir, favorece la mineralización parcial de la materia orgánica y control de malos olores en el área afectada. Es una etapa determinante ya que suele ser una opción rentable para la prestación de tales desechos industriales benignos y al mismo tiempo, una gama de materiales orgánicos sintéticos de origen industrial también es susceptible a la digestión. Prescriptiblemente los elementos presentes en dicho proceso son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ). Este tratamiento ha crecido exponencialmente es por ello que se ha establecido un análisis para su utilización en el ámbito laboral y social.

**Palabras claves: bioquímicos, tecnología, medio ambiente, materia orgánica, desechos, metano.**

## **ABSTRACT**

Throughout history, scientific research has transcended during different eras, which has helped to reconcile the inquiries for the resolution of conflicts, economic, political or social. The progress of the creation of biochemists, machineries and technology is a fundamental role for the methodology of degradation due to the absence of oxygen, as it is called anaerobic digestion. This process brings with it significant benefits for the welfare of the environment; In other words, it favors partial mineralization of organic matter and control and reduction of bad smells in the affected area. It is a decisive stage because it is usually a profitable option for the provision of such benign industrial waste at the same time, a range of synthetic organic materials of industrial origin are also susceptible to digestion. This treatment has grown exponentially that is why an analysis has been established for its use in the work and social field.

**Key words: biochemicals, technology, environment, organic matter, waste, methane.**

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la depuración de aguas residuales y el lodo residual de los diversos tipos de tratamiento es un gran reto para los individuos de una sociedad.

Los lodos derivados de los procesos de tratamiento de aguas, resultan de difícil manejo y disposición final debido a las características nocivas que poseen.

Los lodos se producen en toda la fase de depuración de las aguas residuales. Estas fases son la primaria, secundaria y terciaria. En términos generales es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos.

Existe varios tipos de tratamiento de lodos entre los más comunes están la digestión, que son de dos tipos: anaeróbica y aeróbica.

La digestión anaeróbica de lodos es un mecanismo donde, en ausencia de oxígeno los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el lodo con la finalidad de estabilizarlo y hacerlo apto para otros usos y evitar daños al ambiente.

La limpieza y sustracción de estos elementos son muy demandados por esa razón se busca reutilizar para otras finalidades los elementos resultantes de la digestión de los lodos.

Para finalizar, cabe recalcar que mediante la utilización de recursos técnicos se ejecutará la investigación de la eficiencia del tratamiento de lodos vía anaeróbica para este tipo de residuos provenientes de una planta de tratamiento primario químicamente asistido.



# **CAPÍTULO 1**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

La remoción de materia orgánica constituye uno de los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, utilizándose en la mayoría de los casos procesos biológicos. El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano, que consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa.

La Digestión Anaerobia es el sistema fermentativo que acontece en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales.

El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO<sub>2</sub>, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

Como antecedente se cita que, en un trabajo de titulación en la Facultad de Ingeniería de la UCSG, se investigó el rendimiento del sistema CEPT para tratamiento de aguas residuales.

En el presente trabajo se dará continuidad al proceso, mediante el tratamiento del lodo obtenido por la utilización de la digestión anaeróbica.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar la estabilización de los lodos provenientes de la planta piloto de tratamiento primario químicamente mejorado, a través de un digestor anaerobio, con la finalidad de medir la eficiencia del tratamiento.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Seleccionar un digestor anaerobio que cumpla con las características necesarias para la estabilización de lodos provenientes de la UCSG.
- Operar la planta piloto de tratamiento primario químicamente mejorado para lograr obtener los lodos residuales necesarios para el análisis.
- Realizar una caracterización física, química de la calidad de lodo crudo y tratado en un digestor anaeróbico.
- Evaluar la eficiencia del digestor una vez implementado el CEPT.

## **1.3 Alcance**

Efectuar a escala piloto un digestor anaeróbico para estabilizar los lodos provenientes de la operación de una planta CEPT, para establecer eficiencias en remoción de materia orgánica.

## **1.4 Metodología**

Realizar revisión bibliográfica de las características de la digestión anaeróbica de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Seleccionar el digestor anaeróbico. Operar la planta piloto para la obtención del lodo, tomar muestras de lodo, para establecer los niveles de materia orgánica. Analizar los resultados obtenidos de los muestreos y análisis para determinar los grados de eficiencia de estabilización de materia orgánica. Redactar el documento de trabajo de titulación, con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

En Primer lugar, para el desarrollo del presente capítulo, se tiene la fundamentación técnica, la misma que consiste disponer de documentación sobre investigaciones previas realizadas a nivel mundial de la temática planteada. Luego se tiene la fundamentación teórica, que consiste en definiciones y conceptos en los cuales se va a basar la presente investigación y por último esta la fundamentación legal, que contempla las normas aplicables a la temática en cuestión.

La digestión anaeróbica genera la factibilidad de reducir a gran medida la mezcla de bioquímicos acumulados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a que la materia orgánica se descompone por la actividad de microorganismos en ausencia de oxígeno, produciendo de forma secundaria biogás. El biogás está compuesto por una cantidad considerable de metano entre un 50% a un 70% por lo que puede tener un gran aprovechamiento energético, por su lado el producto de la digestión anaeróbica de lodos es una combinación de varios productos minerales de complicada degradación.

Para la desagregación de aquellos elementos, se deben examinar varias variables que afectan de manera directa e indirecta sobre donde se va a actuar, como, por ejemplo:

- ▶ Los costos de operación varían entre un 30% a un 60%.
- ▶ Temperatura; cuando es mayor a 20 grados centígrados tiene una eficiencia de un 55% de depuración en DQO (demanda química de oxígeno), 65% en DBO (demanda biológica de oxígeno) y un 67 % o 81% de SS (sólidos suspendidos).

## 2.1 Fundamentación bibliográfica

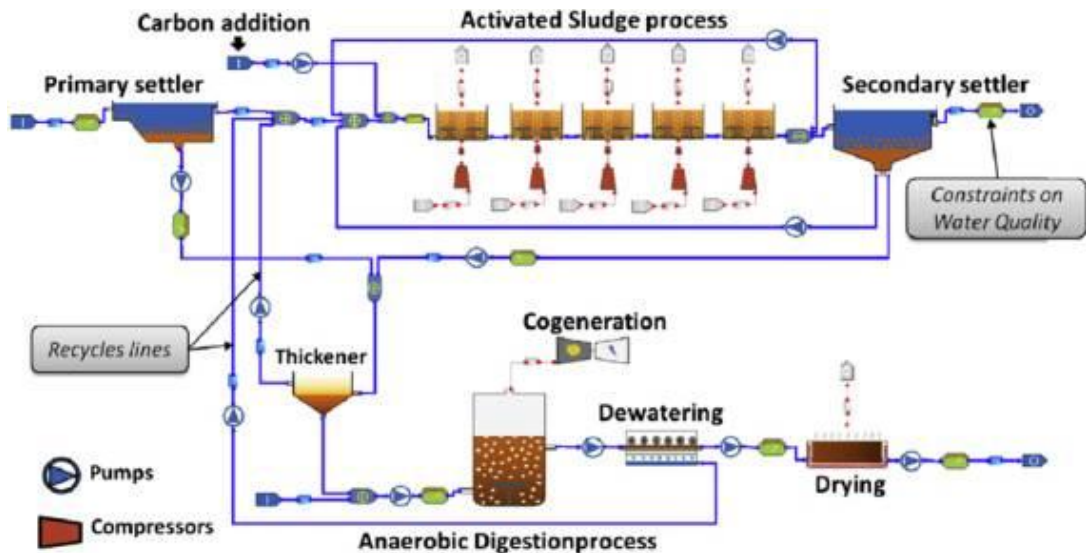
En esta sección se van analizar diversos documentos que contienen información sobre la temática en análisis.

Se debe de tener claro en que consiste el tratamiento (Fei, 2013) de lodos, en primer lugar, se define a un lodo como el residuo semisólido, con un contenido de agua mayor al 90%, de diversos procesos de tratamiento de aguas residuales. De acuerdo a la *Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales* se establece que todo material sólido y semisólido removido del agua residual es considerada como un lodo. “De las plantas de tratamiento de aguas residuales, los sedimentadores primarios y secundarios de los respectivos tratamientos constituyen la mayoría de los lodos” (Comisión Nacional del Agua, 2007). La comisión del agua también detalla (2007), que los lodos se producen en cada proceso unitario del tratamiento, es así que existen:

- ▶ Lodos Primarios
- ▶ Lodos Biológicos
- ▶ Lodos Químicos

La generación de lodos proveniente de la depuración de agua residuales, requiere un tratamiento diferenciado. Existen diversos procesos, dentro de los se citan:

- ▶ Concentración
- ▶ Estabilización
- ▶ Deshidratación
- ▶ Desinfección
- ▶ Disposición.



**Ilustración 1** Procesos Unitarios en el tratamiento de lodos

**Fuente:** (Rucandio, 2011)

El flujograma del proceso se puede visualizar en la Imagen 1, donde una planta de tratamiento de lodos activados, se encuentra el sistema de tratamiento de lodos. En el espesador se reciben los lodos del sedimentador primario y del clarificador, posteriormente pasan al reactor anaerobio donde se produce el proceso de estabilización el cual involucra reacciones químicas que tienen como productos Metano, Dióxido de Carbono entre otros compuestos. El Biogás generado sirve para producir electricidad e invertirla en el proceso. Finalmente pasa por el proceso de deshidratación, secado y disposición final.

Dentro de los procesos planteados en el listado anterior, se puede establecer que el propósito fundamental del tratamiento es la estabilización de lodo. En un estudio realizado por el Doctor Fabián Yáñez acerca de la digestión anaeróbica se menciona que el principal propósito es la transformación del lodo a un estado estable.” Esto significa que este sujeto a descomposición biológica posterior, que no cree situaciones peligrosas o molestias en su disposición final y que facilite los siguientes procesos, es decir que pueda ser deshidratado y secado rápidamente” (Yáñez, 2010).

Dentro del estudio del doctor Fabián Yáñez se establecen los principales factores que afectan al proceso.

Para ello, se debe entender que en el proceso de tratamiento de lodos vía anaeróbica se producen dos etapas relevantes.

La *primera etapa* se conoce como **fermentación ácida**, en la que actúan microorganismos saprofiticos que degradan las moléculas complejas tales como proteínas, carbohidratos y las convierten en productos intermedios, ya sea cadenas de peptidos para las proteínas o cadenas de azúcares para los carbohidratos. Como subproducto del proceso se forman ácidos orgánicos, por tales motivos se conoce como fermentación ácida.

La *segunda etapa* se conoce como **metanogénesis**. Otro tipo de microorganismo, usa los productos intermedios de la fermentación ácida para producir metano y dióxido de carbono. También se producen otros gases en cantidades reducidas.

Existen diversos factores que pueden afectar al proceso, se puede dividir en factores básicos y factores ambientales.

Dentro de los *factores básicos* que se encuentran las variables tales como la presencia de microorganismos y la disponibilidad de alimento (sustrato). Por ejemplo, las bacterias formadoras de metano son estrictamente anaeróbicas, pequeñas cantidades de oxígeno afectan su reproducción y por ende la eficiencia del tratamiento. Considerando que la tasa de reproducción oscila entre 2 a 10 días, depende en gran medida de la temperatura donde se este desarrollando el proceso. Se considera una temperatura ideal de 35 grados centígrados. Estas bacterias son sensibles a cambios bruscos de pH, se considera un ambiente óptimo un valor de pH neutro. El sustrato, es fundamental para la reproducción de las bacterias, básicamente son materiales complejos orgánicos. Para medir la carga orgánica se deben de conocer la concentración de sólidos volátiles como porcentaje de los sólidos totales, en función de aquello se comienza controlar la operatividad del sistema. Se puede concluir que tiene que existir un equilibrio entre microorganismos y sustrato para garantizar eficiencias altas de estabilización de lodos.

El objetivo general del presente trabajo de titulación está el diseño y construcción de un reactor piloto para la estabilización de lodos provenientes de una planata de tratamiento preliminar químicamente asistida.

Para el diseño se toma en consideración la carga orgánica, la reducción de sólidos volátiles, el periodo de retención óptimo, la edad del lodo. Existen también factores que afectan el diseño tales como: cantidad de sólidos removidos, el sistema de digestión que puede ser de baja carga o alta o de digestión por etapas, calefacción, preacondicionamiento, colección de biogás, control de nata entre otros factores. Por último está el dimensionamiento de los reactores y los accesorios a utilizar que dependen directamente de los parámetros antes mencionados así como de los factores. Ya en la fase de operación es importante controlar las características físico - químicas del afluente, para medir la eficiencia del tratamiento y el grado de estabilización.

En el proyecto “Estudio y Propuesta de mejora del proceso de depuración de la EDAR de Zhongyuan en China” se implementa un tratamiento físico químico para mejorar la calidad del agua en la descarga hacia el efluente. La calidad del lodo que decanta por efecto de la coagulación y floculación presenta buenas características para su posterior estabilización, sin embargo, esto va a depender intrínsecamente de la calidad de los reactivos que se estén utilizando. El investigador Zhang Peng Fei menciona:

El tratamiento químicamente mejorado debe ser usado con reactivos de alta eficiencia para alcanzar los niveles de remoción para evitar el uso de un tratamiento secundario.

(Fei, 2013).

Se puede observar, haciendo un análisis de la cita, que la eficiencia del tratamiento depende de la calidad del coagulante que se vaya a utilizar, es decir para una mejor calidad del lodo y del agua que se quiere depurar se deben implementar químicos de alto rendimiento.

Zhang (2013), analiza en particular la implementación de tratamiento químico avanzado en los sistemas de depuración, hace un análisis de los beneficios que ofrece. Su uso data desde los años 70, sin embargo, por la baja calidad

de los coagulantes - floculantes, se vio mermado y reemplazado por el tratamiento biológico en la fase secundaria. Sin embargo, con el avance de la tecnología se desarrollaron nuevos reactivos que mejoran la eficiencia del tratamiento, a este proceso se lo denominó tratamiento primario químicamente asistido. Las ventajas que ofrece son diversas, por ejemplo, el bajo costo de inversión, ya que el proceso consume poca energía porque no necesita aireación, como es el caso del tratamiento biológico. Además, su operación es más sencilla, y en la actualidad se lo está utilizando como coadyuvante del tratamiento biológico, ya que mejora la calidad del lodo.

En la tesis doctoral de la Ingeniera González titulada “*Generación, caracterización y tratamiento de lodos en <sup>1</sup>EDAR*” se analiza los lodos generados de todas las EDARs en dos provincias las cuales son Sevilla y Huelva. Uno de los objetivos principales del estudio de la Doctora menciona que:

A partir del levantamiento de información, los resultados permiten pronosticar la tasa de generación de lodos de Comunidad de Andalucía, esto permite elaborar planes de gestión orientados al manejo adecuado de los lodos, el cual es uno de los objetivos principales del estudio.

(González, 2015).

Dentro de sus principales resultados, se destaca las agrupaciones de EDARS que realizó. Diferenció grupos por composición de lodo, por eficiencia de tratamiento. Esto le permitió visualizar los principales problemas de las Estaciones depuradoras . En la siguiente cita textual se puede ver lo mencionado con anterioridad

A través de un análisis químico que consideraba diversas variables en función de la composición físico-química de los lodos, se encontro resultados interesantes. Se agruparon plantas de tratamiento de agua residuales con características similares de lodos, también se agruparon las plantas que tenían un tratamiento ineficiente, es decir

---

<sup>1</sup> EDAR.- Estación depuradora de Aguas Residuales



no cumplen con las eficiencias de remoción. Por último también se diferenciaron las plantas que tienen un deficiente sistema de estabilización y deshidratación

(González, 2015).

De la misma forma la Dra. González analiza los tratamientos que son más frecuentemente usados, destacando que, si se realizan modificaciones a estos tratamientos convencionales, dependiendo de la caracterización de lodo, se pueden obtener mejores resultados. “Con la finalidad de mejorar la gestión de los lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se hace referencia a dos tecnologías comúnmente usadas, las cuales son la digestión anaerobia y el compostaje” (González, 2015).

González (2015) resalta los beneficios de la digestión anaeróbica y metodología comúnmente usada para tratar plantas con capacidad mayor a 50.000 habitantes. Entre sus bondades está la generación de biogás y la calidad de lodo estabilizado, sin embargo, todo esto depende de la caracterización del residuo. Por tales motivos una de las principales observaciones es la ineficiencia del tratamiento debido a bajos niveles de estabilización. Esto es debido a la escasa biodegradabilidad del residuo como tal. Este argumento se puede ver en la siguiente cita textual:

Dentro de las tecnologías mundialmente aceptadas se encuentra la digestión anaerobia para gestionar los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales con poblaciones de diseño mayor a cincuenta mil habitantes (50.000). Dentro de los beneficios que ofrece se encuentra la recuperación de biogás para posteriormente producir energía, pero esta fase se ve limitada en especial por las características de biodegradabilidad de los residuos que forman el lodo

(González, 2015).

En base a estas limitaciones González (2015) propuso mejorar el grado de biodegradabilidad y de generación del metano implementando un pretratamiento con ultrasonidos de lodos a escala de laboratorio. En base a esto determinó como variable de operación el tiempo de exposición del lodo al ultrasonido, esto con la finalidad de determinar el tiempo óptimo. Los

resultados mostraron un incremento al 81% de la tasa de biodegradabilidad en comparación a un 60% sin el pre tratamiento.

Hasta el momento se tiene claro el proceso de tratamiento de lodos convencional, sin embargo, analizando el trabajo del Ingeniero Juan Limón titulado *“Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?”* se puede resaltar los beneficios que se pueden obtener a través de un tratamiento eficiente de los lodos. Los cual Limón (2013) está su uso como fuente de energía y para aprovechamiento en la agricultura.

Un aspecto fundamental del estudio es acerca de los problemas más frecuentes al momento de la estabilización. Menciona cuatro métodos para estabilizar lodos, de los cuales encontramos la digestión aerobia, digestión anaeróbica, compostaje y la adición de cal. En la siguiente cita textual se menciona algunos problemas que puede traer la digestión anaerobia, la cual es el objeto principal de este análisis bibliográfico.

El proceso de digestión anaerobia es el que presenta mayores ventajas, pero para ser eficiente requiere altos costes de inversión que involucran una lista de equipos adjuntos a los digestores, además si se quiere que el proceso sea termófilo, hay que calentar los lodos, lo cual involucra aún mayores costos.

(Limón, 2013).

Un aspecto a resaltar de la cita, es el hecho que se necesita que los lodos sean calentados. Esto es debido a que se debe de recrear las condiciones óptimas para que las bacterias se reproduzcan y degraden la materia organica. Otro proceso alternativo de estabilización es la adición de cal, en la cual el autor menciona “Este tipo de procedimiento presenta la desventaja de la sensibilidad del pH, ya que cambios bruscos en este pueden volver a desestabilizar los lodos lo que se traduce en nuevos microorganismos presentes.” (Limón, 2013).

## 2.2 Fundamentación teórica.

### 2.2.1 Aguas residuales

Las aguas de residuales se las puede definir como el resultado del aprovechamiento de los recursos hidrológicos en los procesos antropológicos del consumo, estas suelen ser clasificadas según su procedencia aguas residuales domésticas, comerciales e industriales. Las aguas residuales domésticas y comerciales, transportan partículas y sustancias de origen orgánico, principalmente, a estas se les denomina aguas residuales o servidas, y en ellas se encuentra toda clase de materiales que tienen acceso por los desagües a las cloacas.

La composición de las aguas residuales en industrias, es función de los procesos de transformación, la materia prima que se procesa, los compuestos que se adicionan y el mantenimiento y operación de la industria

### 2.2.2 Características físicas, químicas y biológicas de aguas residuales

Los componentes de las aguas residuales dependen en gran medida de la procedencia con la que esta es creada, Las Tablas 2.1, 2.2 y 2.3 resume los factores más importantes físicos, químicos y biológicos que se encuentran normalmente en las aguas residuales.

Propiedades Físicas	Procedencias
Color	Aguas residuales domésticas e industriales de gradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.

Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
-------------	---

**Tabla 1** Propiedades físicas presente en las aguas residuales

**Fuente:** (Metcalf & Eddy, 1997).

Constituyentes Químicos	Procedencia
Carbohidratos (Orgánicos)	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasa (Orgánicos)	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas (Orgánicos)	Residuos agrícolas
Fenoles (Orgánicos)	Vertidos Industriales
Proteínas(Orgánicos)	Aguas residuales, domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios (Orgánicos)	Aguas residuales, domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos (Orgánicos)	Aguas residuales, domésticas, industriales y comerciales.
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales, domésticas, industriales y comerciales.
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas de aguas de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, aguas de suministro, infiltración de agua subterránea.
Metales Pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y agua residuales domésticas.
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales y agua de escorrentía.

**Tabla 2** Propiedades químicas presente en las aguas residuales

**Fuente:** (Metcalf & Eddy, 1997).

<b>Materia Biológica presente</b>	<b>Procedencia</b>
Sólidos en suspensión	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales.
Materia orgánica Biodegradable.	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales.
Patógenos	Aguas residuales domésticas y comerciales.
Nutrientes	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.

**Tabla 3** Propiedades biológicas presente en las aguas residuales

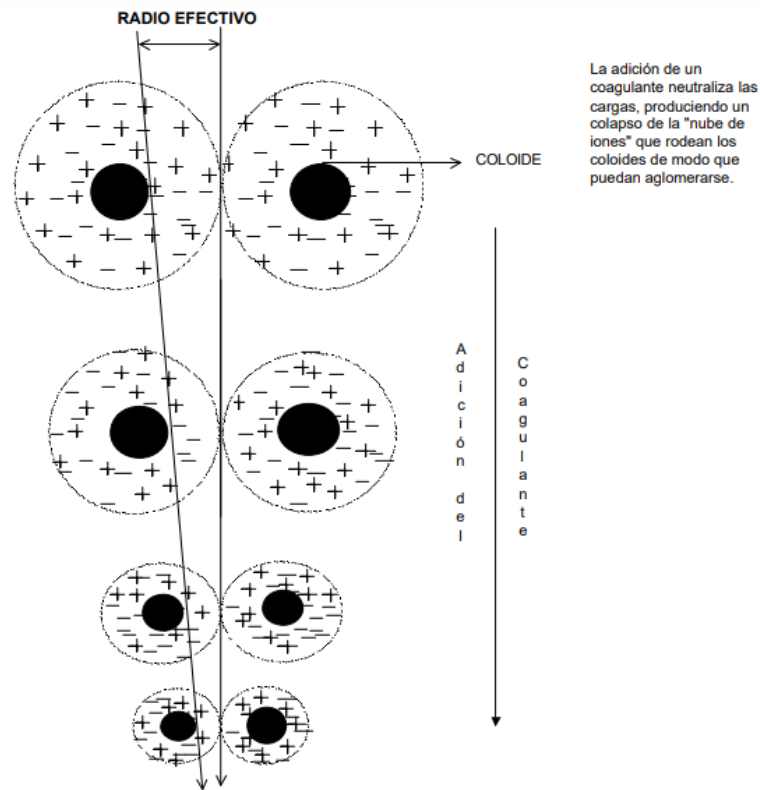
**Fuente:** (Metcalf & Eddy, 1997).

### **2.2.3 Tratamiento primario químicamente mejorado**

Se define un tratamiento primario químicamente mejorado con sus siglas en Ingles (CEPT), chemical enhance primary treatment, como una potenciación en el tratamiento físico químico convencional. Esto quiere decir que se está utilizando coagulante-floculantes de mayor calidad, lo cual garantizan mayores eficiencias de remoción de contaminantes. Por sus bajos costos de inversión, se considera como un proceso simplificado y de fácil funcionamiento.

### **2.2.4 Coagulación**

Se define este proceso como un desequilibrio químico de las partículas que se encuentran repelidas entre sí por fuerzas actuantes. En otras palabras, la fuerza de repulsión se anula por el efecto del coagulante químico, que con la energía del mezclado produce la aglomeración de las partículas para posteriormente convertirse en flóculos. En la ilustración 2 se puede visualizar el proceso a detalle.



**Ilustración 2** Proceso de Coagulación

**Fuente:** [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

### 2.2.5 Floculación

La floculación se define como el proceso de agitación controlada de la masa coagulada. Para entender este concepto hay que partir de la definición anterior donde se analizó la coagulación per se. La finalidad es lograr que las partículas se aglomeren y decanten, sin embargo, algunas no son lo suficientemente grandes para hacerle por lo cual es necesario la acción de un floculante, el cual es un químico que hace algo análogo a una red química para enlazar los micro flóculos y convertirlos en flóculos para hacer que se sedimenten. Para lograr esto se debe de controlar el proceso de mezclado, ya que agitaciones rápidas pueden romper los flóculos y es difícil que puedan volver a formarse. Para controlar este proceso en laboratorio se encuentra el ensayo conocido como prueba de jarras.

### 2.2.6 Tratamiento de lodos

En general el tratamiento consiste en la estabilización del lodo a través de la biodegradación de la materia orgánica presente en él.

La **digestión aeróbica** de lodos es usada generalmente para eliminar excesos de lodos activados formados en procesos unitarios precedentes.

Generalmente un digestor aeróbico emplea un reactor de mezcla completa con un tiempo de retención largo que permite la conversión del carbón orgánico en CO<sub>2</sub>.

Cuando los sólidos a ser destruidos son bacterias, la reducción ocurre principalmente debido a respiración endógena.

El efluente de estos tanques contiene menos materia orgánica que el afluente, más CO<sub>2</sub> y gas metano.

La comunidad microbiana es relativamente simple, consistiendo principalmente de **bacterias**, entre las que se dan interacciones.

También se han observado hongos y protozoos, pero su importancia es pequeña.

La **digestión anaeróbica** es usualmente llevada a cabo en un reactor de mezcla completa con el fin de **estabilizar materia orgánica insoluble**.

El reactor comúnmente tiene un tiempo de residencia de varios días, recibiendo el ingreso de un caudal de sólidos suspendidos orgánicos, y produce un efluente que contiene menor concentración de materia orgánica que el afluente, además de anhídrido carbónico y metano.

La comunidad microbiana es relativamente simple, consiste en mayor proporción de bacterias.

Dentro del proceso de digestión anaeróbica, los compuestos orgánicos biodegradables son hidrolizados y degradados, para dar lugar a compuestos simples tales como **ácidos orgánicos, anhídrido carbónico e hidrógeno** y finalmente estos son degradados a **gas metano**.

Dos amplias clases de bacterias están involucradas en el proceso de transformación y viven en una relación equilibrada, pero frágil.

El **primer grupo** llamado **bacteria no-metanogénica** convierte el desecho crudo en ácidos orgánicos, anhídrido carbónico y gas hidrógeno.

El **segundo grupo**, compuesto por la **bacteria de metano** o **metanogénica**, lleva a cabo la producción de gas metano.

Elas son muy específicas en cuanto a sustrato (**Interacción Comensal**).

Estos organismos son muy susceptibles a **cambios** de **pH**, de tal forma que si las **bacterias no metanogénicas** producen ácidos orgánicos más rápidamente de lo que pueden ser removidos, el pH baja, inhibiendo a las bacterias del metano y transformando el **comensalismo** en **amensalismo**.

El delicado balance, entre estos dos tipos de bacterias, es el principal problema en la operación de una planta de estabilización de lodos anaeróbica.

Dentro de las **bacterias no metanogénicas** las especies predominantes son **gram-negativas**, que no forman esporas, tienen forma de bastones, pueden producir **ácidos acéticos y butíricos**, así como anhídrido carbónico y gas hidrógeno.

Otros microorganismos también se han identificado, los mismos que pueden degradar carbohidratos, lípidos y proteínas.

Las **bacterias de metano** aisladas de varios ambientes tienden a ser coccus, sarcinas y bacillos en cadenas.

Todas estas bacterias tienen una propiedad en común y es que crecen solamente en un número limitado de sustratos (metanol, ácido fórmico, ácido acético, anhídrido carbónico e hidrógeno) y de ellos producen **gas metano**.

Los organismos productores de metano oxidan hidrógeno gas con la subsecuente reducción del CO<sub>2</sub> a **metano**.



Las **bacterias no metanogénicas** también dependen de las **metanogénicas** ya que son inhibidas por la producción de gas hidrógeno, es decir, dependen del segundo microorganismo para mantener la concentración de hidrógeno baja.

Generalmente el sistema se encuentra anexo a una planta de tratamiento de aguas residuales. Sus procesos unitarios básicos son:

- ▶ Espesado
- ▶ Digestión anaerobia
- ▶ Deshidratación
- ▶ Secado
- ▶ Disposición final.

Dentro del proceso se puede aprovechar el biogás generado y la torta usarla con fines de compostaje.

### **2.2.7 Espesadores**

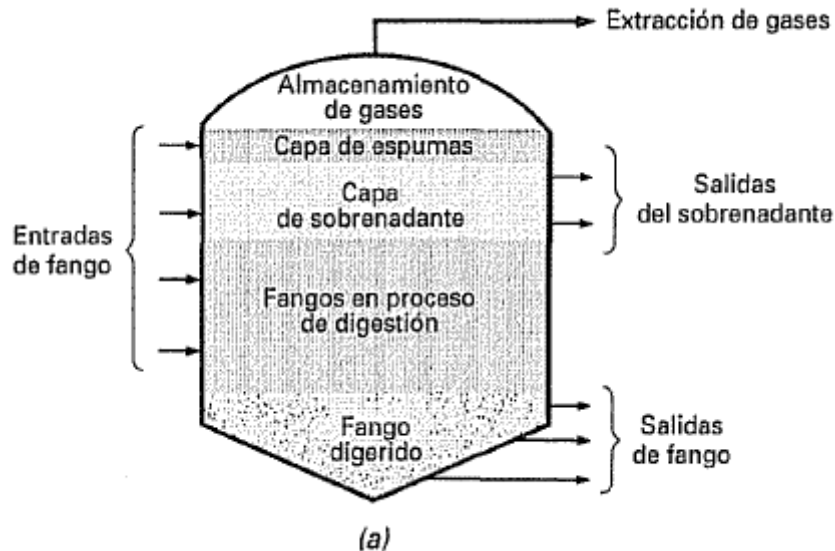
Los espesadores son un mecanismo que se utiliza para la concentración de fangos y reducción de volumen a estabilizar o transportar, van instalados sobre cuba metálica o de hormigón, llevan pasarela de hormigón o metálica en los mecanismos sobre cuba de hormigón.

Los lodos que llegan al espesador se encuentran con un cilindro metálico que rompe la velocidad de las aguas y elimina las posibles turbulencias, las aguas son obligadas a descender para posteriormente desplazarse hacia el exterior del tanque donde desaguan a un canal periférico. Los lodos y la materia orgánica se depositan en el fondo de forma cónica que es barrido por el mecanismo instalado de tal forma que son transportados hacia el centro del tanque donde hay un pozo que los recoge para ser evacuados del mismo.

### **2.2.8 Reactores Anaerobios**

Un reactor anaerobio es un contenedor diseñado para una carga de sólidos provenientes de los sistemas de depuración. Con estos parámetros se dimensiona el espacio que se necesita para garantizar las condiciones

anaerobias. En ausencia de oxígeno, la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono, metano y otros compuestos. El proceso se da en un digestor cerrado para evitar oscilaciones bruscas de temperatura, ya que esto afecta de forma directa al proceso. De acuerdo a las especificaciones de los diseños, el tiempo de retención oscila entre 15 a 40 días generalmente. Al final del proceso se tiene un lodo estabilizado.



*Ilustración 3* Digestor Anaerobico, proceso convencional de fase unica y de baja carga.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1997)

### 2.2.9 Tipo de Digestores Anaeróbicos

Los digestores anaeróbicos lo podemos clasificar en dos grupos:

- Digestores de baja carga
- Digestores de alta carga

Dentro de las especificaciones convencionales de digestores de baja carga, los lodos no pasan por un proceso de calentamiento y su tiempo de retención oscilan entre 30 a 60 días.

Por otro lado, los digestores de alta carga pasan por un proceso de calentamiento y de mezclado. El tiempo de retención es menor a 15 días generalmente.

### 2.2.10 Edad del lodo

La edad del lodo representa el tiempo medio que una partícula en suspensión permanece en el sistema de tratamiento de lodos.

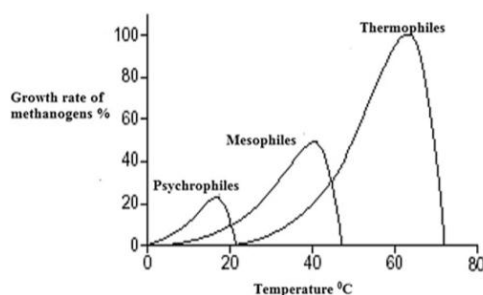
Se le conoce también como tiempo medio de residencia celular y también como tiempo medio de detención celular.

La edad del lodo es numéricamente igual a la relación entre la masa de sólidos volátiles en suspensión, en el digestor y la masa de sólidos volátiles purgada (descartada) por día.

### 2.2.11 Influencia de la Temperatura

La temperatura es una de las condiciones ambientales más importantes que afectan la velocidad de reacción en la digestión de lodos. Los procesos anaeróbicos como otros procesos biológicos dependen fuertemente de la temperatura. El control de la temperatura es bastante crítico en este caso. El proceso anaeróbico tiene tres rangos de temperatura de funcionamiento conocidos, que son:

- ▶ Psicrófilos (5 - 15 °C)
- ▶ Mesófilos (30 - 40 °C)
- ▶ Termófilos (50 - 55 °C)



**Ilustración 4** Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia

**Fuente:** Texto Tecnología Anaeróbica en la industria del Papel

Esta grafica muestra el efecto de la temperatura sobre la actividad anaeróbica. Como regla general, por cada aumento de 10 °C en la temperatura, la velocidad de reacción se duplica. Los problemas recurrentes comunes asociados con los digestores anaeróbicos son el mantenimiento de la temperatura óptima del digestor y la pérdida de capacidad de calentamiento. En general, hay dos rangos de temperatura que proporcionan condiciones óptimas para la biodegradación anaeróbica: los rangos mesofílico y termofílico (Verma 2002). La temperatura mesofílica está en el rango de 30 a 35 °C, generalmente alrededor de 35 °C, mientras que la temperatura termofílica varía de 50 a 60 °C, generalmente alrededor de 55 °C (Gerardi 2003).

Así, a temperaturas entre 40 y 50 °C, las bacterias productoras de metano pueden inhibirse, lo que resulta en una disminución en la producción de biogás. La mayoría de los digestores anaeróbicos a escala industrial que operan hasta la fecha han adoptado el rango mesofílico. Se encuentra que la estabilización de los desechos es más rápida en el rango de temperatura más alto y, por lo tanto, los digestores termofílicos son más pequeños en tamaño que los que operan en el rango mesofílico.

#### **2.2.12 Influencia del pH**

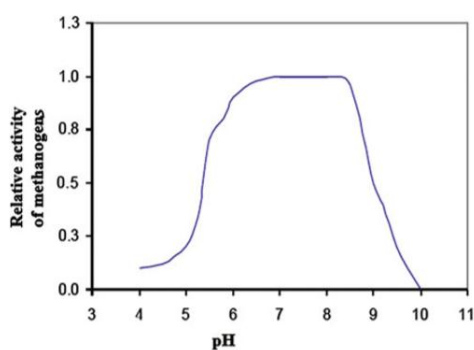
Existen dos grupos de bacterias en términos de pH óptimo, los cuales son, acidógenos y metanógenos. El mejor rango de pH para los acidógenos es 5.5 – 6.5 y para los metanógenos es 7.8 – 8.2. El pH operativo para los cultivos combinados es de 6.8 a 7.4, siendo el pH neutro el óptimo. Dado que la metanogénesis se considera como un paso limitante de la velocidad, es necesario mantener el pH del reactor cerca del neutral. El bajo pH reduce la actividad de los metanógenos causando la acumulación de ácidos grasos volátiles e hidrógeno. A una presión parcial más alta del hidrógeno, las bacterias que degradan el ácido propiónico se inhibirán severamente, lo que causará una acumulación excesiva de ácidos grasos volátiles de mayor peso molecular, como los ácidos propiónico y butírico, y el pH descenderá más. (Pratima Bajpai, n.d.)

Se requiere el trabajo conjunto de varios grupos de microorganismos para la digestión anaeróbica de sustratos orgánicos complejos de los cuales los

metanógenos son los más sensibles a un pH bajo. Por debajo de pH 6.5, el crecimiento de las bacterias de metano se ralentiza y por debajo de pH 6.0, el sistema tiene serios problemas. A medida que el pH aumenta más allá de 7.5, los microbios pueden crecer, pero el grado de metabolismo parece reducirse. Podría deberse a la razón de que los nutrientes clave o metales traza se precipitan a medida que aumenta el pH limitando el metabolismo. (Pratima Bajpai, n.d.)

Los cambios en las condiciones operativas del digestor o la introducción de sustancias tóxicas pueden provocar un desequilibrio en el proceso y también la acumulación de ácidos grasos volátiles. A menos que el sistema contenga suficiente alcalinidad, el pH caerá por debajo de los niveles óptimos y el digestor se volverá "ácido". Dependiendo de la magnitud del pH y la duración de la caída, la producción de biogás se reducirá a un nivel donde puede detenerse por completo. Por otro lado, en un sistema bien operado, se espera un ligero aumento del pH efluente del digestor, porque los organismos producen alcalinidad ya que consumen materia orgánica rica en proteínas. (Pratima Bajpai, n.d.)

Para garantizar la salud de los metanógenos y, por lo tanto, la producción continua de metano, el pH debe medirse a lo largo de todo el proceso (Biarnes 2013).



**Ilustración 5** Efecto del pH sobre la digestión anaeróbica

**Fuente:** Texto Tecnología Anaeróbica en la industria del Papel

### 2.2.13 Compuestos inhibidores

Las bacterias metanogénicas en los sistemas anaeróbicos son en su mayoría sensibles a la presencia de compuestos tóxicos, que es la principal

limitación del tratamiento anaeróbico. Estas sustancias inhibidoras pueden ser la causa del trastorno o la falla del reactor anaeróbico (Chen et al. 2008). Estos incluyen comúnmente amonio, sulfuro, iones de metales ligeros, iones de metales pesados y algunos compuestos orgánicos. Específicamente, las sustancias tóxicas pueden incluir lo siguiente (Gerardi 2003).

- ▶ Compuestos inorgánicos de azufre (sulfato, sulfito y sulfuro)
- ▶ Oxidantes incluido el peróxido de hidrógeno
- ▶ Sustancias orgánicas de bajo peso molecular
- ▶ Metales pesados
- ▶ Hidrógeno molecular
- ▶ Componentes de la madera, incluidos los ácidos de la resina
- ▶ Aditivos orgánicos como el DTPA

#### **2.2.14 Deshidratación y secado de lodos**

Esta es la forma de tratamiento de lodos más sencillo. El lodo tiene bastante contenido líquido. Se utiliza normalmente los filtros prensa para deshidratar a los lodos, también es frecuente la utilización de lechos de secado, en cuyo fondo se coloca un sistema de drenaje que recolecta los fluidos y los conduce hacia el punto de descarga o infiltración. (Ayala & Gonzales, 2008)

Los lodos digeridos secos constituyen un buen abono o mejorador de suelos, aunque se debe advertir que los huevos de nematodos, que pueden estar contenidos en los lodos, requieren de un periodo de varios meses para su inactivación y por lo tanto la pérdida de capacidad de infectar a otras personas. Por este motivo se deben almacenar los lodos por un periodo de por lo menos seis meses para que su uso en la agricultura no signifique riesgo para la salud de los agricultores o los consumidores de los productos. (Ayala & Gonzales, 2008)

## **2.2.15 Disposición final del lodo residual después del proceso de digestión anaeróbica**

### **I) Relleno sanitario**

Se opta por esta alternativa ya que el volumen de desechos aumento significativamente en los últimos 20 años, donde el suelo era el resultado final, es por ello que se intentó reducir esto en métodos más factibles como la incineración o usándolos en la agricultura como abono o relleno, aunque es una opción no es la más adecuada.

### **II) Incineración**

Los desechos orgánicos e inorgánicos intervienen en un proceso de cocción y ebullición a un nivel de 800 grados centígrados, paso posterior se obtienen elementos como: dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O), ceniza estable. Dando como resultado la eliminación en un 90%.

### **III) Fertilización del suelo**

Esta opción es la más demanda y de menor costo operacional, estratégica, administrativa y financiera. El reciclaje de los elementos, sirven de consumo agrícola puesto que aporta nutrientes al suelo, sirve como fertilización, para obtener un cultivo auto susceptible.

#### **Valoración crítica de digestión anaeróbica.**

La propuesta de la indagación desarrollada que se ha llevado a cabo ha permitido expandir nuevas ideas y metodologías para el bienestar, social, económico y del medio ambiente. Las actividades proyectadas deben efectuarse efectivamente por esa razón a base de los análisis verificados, se va a desarrollar la depuración de aguas residuales y lodos de distintas zonas afectadas por esta situación.

La fertilización de los suelos se ha ido degradando a medida de los años, aparte no tienen un cuidado adecuado u mantenimiento constante es por ello que después del proceso de digestión anaeróbica pueden traer consigo grandes beneficios para la reutilización de estos elementos y recuperación del suelo a gran medida.

Los reactores cumplen un papel fundamental ya que es por el medio del cual se puede llevar a cabo dicha acción, como recomendación se menciona que los materiales y materias primas que se usan en el proceso estén en constante evolución ya que la tecnología cambia y mejora de manera transversal, de igual manera pueden existir beneficios magníficos para este proyecto.

### **2.3 Fundamentación Técnica-Legal**

Se va analizar la normativa emitida por el ex Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), *“Normas de estudio y diseño sanitario para poblaciones mayores a 1000 habitantes”*. La cual fue ratificada por Senagua y usada como normativa local para estudios y diseños en el país.

Para el desarrollo de esta sección se va a citar todo lo relevante de la normativa en relación al tratamiento de lodos y en particular al proceso de estabilización mediante digestión anaerobia. Dentro de los primeros capítulos se habla de aspectos generales y definiciones, en los cuales se estipulan criterios para ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales. “Tener área suficiente para la implantación de la planta de tratamiento y estructuras complementarias, y preferiblemente para permitir ampliaciones futuras. La casa del operador y la zona prevista para la disposición de lodos pueden encontrarse en terrenos diferentes pero cercanos al de la planta.” (Senagua, 1992).

De la misma forma la normativa Senagua (1992) habla sobre el plan de manejo ambiental que se debe de realizar para la etapa de construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo para la etapa de construcción se debe de controlar las emisiones de gases, polvo particulado y ruido. En la etapa de operación se debe de controlar las



descargas de lodos hacia los cuerpos receptores en el caso de que no sean tratados. Se hace énfasis en el plan de mitigación de impactos.

En el apartado 5.7 la norma detalla el proceso para dar tratamiento a los lodos producidos de una planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea convencional, lodos activados o lagunas de oxidación. En primer lugar se debe de hacer un inventario de la cantidad de lodos producidos bajo distintos escenarios siguiendo las siguientes directrices como lo recomienda Senagua (2015):

- El Levantamiento se realizará para caudales medios y concentraciones promedio de sólidos correspondientes al mes más caliente.
- Se debe de calcular el porcentaje de sólidos volátiles, que forman parte de los sólidos totales. De la misma forma se deben de seguir las eficiencias de remoción citadas en el apartado 5.4.3.3
- Para tratamiento biológico como variable de operación se debe tener en cuenta las poblaciones de microorganismos sintetizadas por la degradación de la materia orgánica.
- En los procesos de lodos activados con descarga de lodos directamente desde el tanque de aeración, se determinará el volumen de lodo producido a partir del parámetro de la edad de lodos. En este caso la concentración del lodo de exceso es la misma que la del tanque de aeración.

En términos generales, “los lodos provenientes de la planta de tratamientos de aguas residuales necesitan ser estabilizados a través de procesos que sean de bajo coste” (Senagua, 1992). Dentro de los procesos se restringe el uso de tecnologías tales como filtros al vacío, centrífugas, secadores, filtros prensas, incineradores, etc. Haciendo un pequeño análisis debido a la fecha que fue emitida la norma, estas tecnologías son restrictivas. Sin embargo en la actualidad se está implementando estos mecanismos, por lo cual se concluye que se debe de hacer reformas a la norma de Senagua.

Continuando con el análisis, la norma para procesos de estabilización menciona lo siguiente” Para la estabilización de lodos biológicos se evitará la

digestión aeróbica debido a los altos costos iniciales y de operación. Se preferirá la digestión anaeróbica” (Senagua, 1992). Se considera las siguientes alternativas:

- Digestión anaeróbica en dos etapas con recuperación de gas.
- Sistemas de digestión anaeróbica abiertos (sin recuperación de gas), como:
  - Digestores convencionales abiertos y –
  - Lagunas de lodos

De la misma forma la norma hace referencia a los métodos de procesamiento de lodos estabilizados de los cuales presentan las siguientes alternativas:

- Lechos de secado y transporte del lodo seco.
- Almacenamiento en lagunas y disposición en el terreno del lodo sin deshidratar.

En general la normativa presenta los parámetros de diseño para los digestores y los tiempos de retención de acuerdo al método de tratamiento que se requiera emplear. Uno de los parámetros fundamentales que se utiliza el contenido de sólidos volátiles medido en kilogramos. Este factor como se vio en la revisión bibliográfica representa el contenido de materia biodegradable presente en los lodos, es decir en otras palabras el sustrato. La norma en función de esta variable junto con otros parámetros y el tipo de digestión anaeróbica que se quiera realizar plantea tablas con tiempos de retención en función de la temperatura.

Por ejemplo para el caso en los cuales se desee recuperar el Biogás, la norma plantea los siguientes criterios

El volumen del reactor de la primera etapa se determinará adoptando una carga entre 1,6 kg SSV/(m<sup>3</sup> .d) y 8 kg SSV/(m<sup>3</sup> .d), las mismas que corresponden a valores de tasas altas. Para las condiciones de la costa y el oriente se usarán cargas más altas y para instalaciones en la sierra se usarán cargas más bajas.

(Senagua, 1992)

Se puede concluir que hoy en día las reformas que se han hecho al TULSMA, restringen las descargas de efluentes provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales. De la misma forma el Código Orgánico Ambiental estipula sanciones para quienes incumplan con la ley ambiental. Es decir un manejo inadecuado de los lodos, va a repercutir en grandes impactos ambientales que involucran multas hasta de 200 veces un salario básico unificado.

## CAPÍTULO 3

### 3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Guayaquil dentro de las instalaciones de la universidad católica de Santiago de Guayaquil, con el objetivo de evaluar la eficiencia de la estabilización de lodos mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica y de fomentar la reutilización de desechos y sacar valor agregado de ellos, el beneficio será para los habitantes de la misma.

#### 3.2 Instalación de la planta piloto

Se procedió a la instalación de la planta piloto para poderla reactivar y así comenzar con el tratamiento primario químicamente mejorado de las aguas servidas donde por su gran recorrido en la PTAR de CEPT en todo el mundo se seleccionó usar cloruro férrico en combinación con el polímero aniónico ya que ambos forman un mecanismo homogéneo en coagulación y floculación.

#### 3.3 Ubicación de la planta piloto

La planta piloto se encuentra ubicada dentro de la universidad atrás de la facultad de ingeniería a lado de la facultad de arquitectura.



*Ilustración 6 Ubicación de la planta piloto*

Fuente: Google Earth

### **3.3 Propiedades del agua residual de ingreso**

En comparación con las aguas residuales de otras ciudades el agua residual de Guayaquil se encuentra en el rango débil, ya que contiene el mismo tipo de contaminantes.

El agua residual para la planta piloto proviene de una caja de alcantarilla de aguas servidas que está conectada a los baños de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

### **3.4 Dosificación del cloruro férrico**

La dosificación exacta del cloruro férrico es de vital importancia para realizar el tratamiento del agua residual mediante este método, por lo que basados en las dosificaciones usadas en la investigación realizada por el estudiante Miguel Ángel Yáñez Veloz en el trabajo de titulación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica, se decide tomar la dosificación de 50 mg/l de concentración del cloruro férrico, el cual se lo logra obtener mezclando 800 mg/l de agua destilada con 200 mg/l de cloruro férrico.

### **3.5 Funcionamiento de la planta piloto**

El funcionamiento de la planta piloto consiste en extraer el agua residual por medio de una bomba que tiene de potencia 1 hp y conducirla por una tubería de ½" hasta el primer tanque que es el de mezcla rápida donde después por gravedad pasa al siguiente tanque que es el de coagulación y floculación para al final pasar al último tanque que es el clarificador, de esta manera se cumple el proceso del tratamiento de agua residual mediante CEPT.

### **3.6 Recolección de los lodos residuales**

Para la recolección de lodos se sustrajo el mismo del fondo del tanque ya que está claro que los lodos al sedimentarse se quedan en la parte inferior totalmente asentados, este lodo es bastante líquido por lo que para poder espesarlo se usa una tela especial que trabaja como filtro haciendo que toda el agua salga, logrando un espesamiento adecuado para luego ser introducido en el digestor anaeróbico. Se realizaron varias corridas del proceso de la planta piloto, tres por día durante un mes aproximadamente hasta conseguir la cantidad de lodo necesario para poder llenar casi en su

totalidad el digester anaeróbico el cual tenía un volumen de 0,00763 metros cúbicos, y también coger la muestra de lodo crudo.

### **3.7 Digester anaeróbico**

El digester anaeróbico que fue seleccionado es de baja tasa, ya que no tiene sistema de mezcla, y cumple con todas las características básicas, es decir que es totalmente hermético e impermeable, además se seleccionó la forma cilíndrica para el reactor con un diámetro de 18 centímetros por 30 centímetros de altura.

El tratamiento del lodo dentro del digester, por ser de tasa baja, tuvo un tiempo de residencia de 30 días, logrando bajar en más de un 90% todas las características contaminantes para ser reutilizado en otras funciones productivas y así medir la eficiencia de este método tan novedoso.

### **3.8 Muestras enviadas al laboratorio**

La muestra de lodo crudo y lodo tratado fueron enviadas al laboratorio Grupo Químico Marcos los días 6 de febrero y 19 de febrero del presente año respectivamente, luego de 10 días de haber recibido las muestras el laboratorio entrego los resultados.

### **3.9 Medición de la temperatura**

Para medir la temperatura se usaron termómetros digitales, este parámetro fue medido en campo una vez tomada la muestra de lodo crudo antes de enviarla al laboratorio, de igual manera la temperatura del lodo tratado fue tomada apenas se terminaron los 30 días dentro del digester.

## CAPÍTULO 4

### 4. Análisis de resultados

#### 4.1 Interpretación

Aplicando el método de la digestión anaeróbica para tratar lodo residual, se lograron obtener los siguientes resultados, los cuales se muestran en la siguiente gráfica:

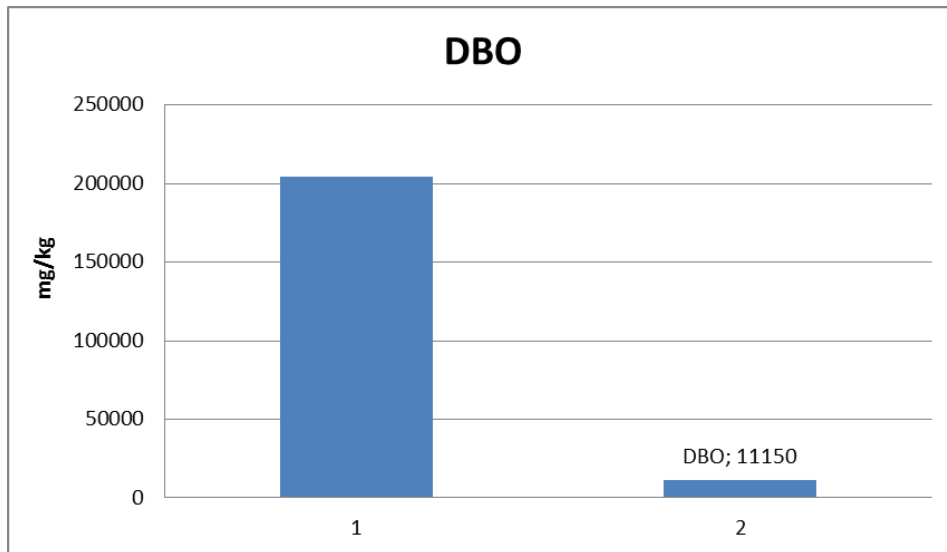
PARAMETROS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	UNIDADES
	LODO CRUDO	LODO TRATADO	
DBO	204700	11150	mg/kg
DQO	301100	25079	mg/kg
TEMPERATURA	29.7	26.9	°C
PH	7.24	7.12	
DENSIDAD	1.03	1.16	g/ml

*Ilustración 7* tabla de resultados de las dos muestras

Fuente: Autor

#### 4.2 Análisis de DBO

El lodo logro tener una remoción del 94% de DBO luego de haber permanecido durante 30 días dentro del digestor anaeróbico, lo cual es una cantidad bastante considerable, reduciendo un alto indice de contaminación del lodo lo cual determina que el método de la digestión anaerobia es muy eficiente.

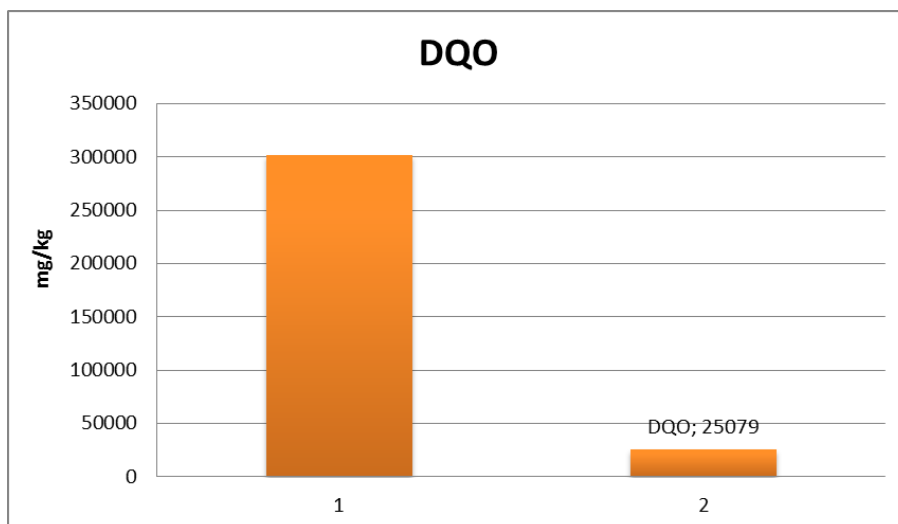


**Ilustración 8** Grafica de resultados de las dos muestras

**Fuente: Autor**

### 4.3 Análisis de DQO

El lodo tuvo un porcentaje de 92% de remoción de DQO, lo que significa que fue estabilizado con éxito. El método de la digestión anaerobia es muy eficiente.



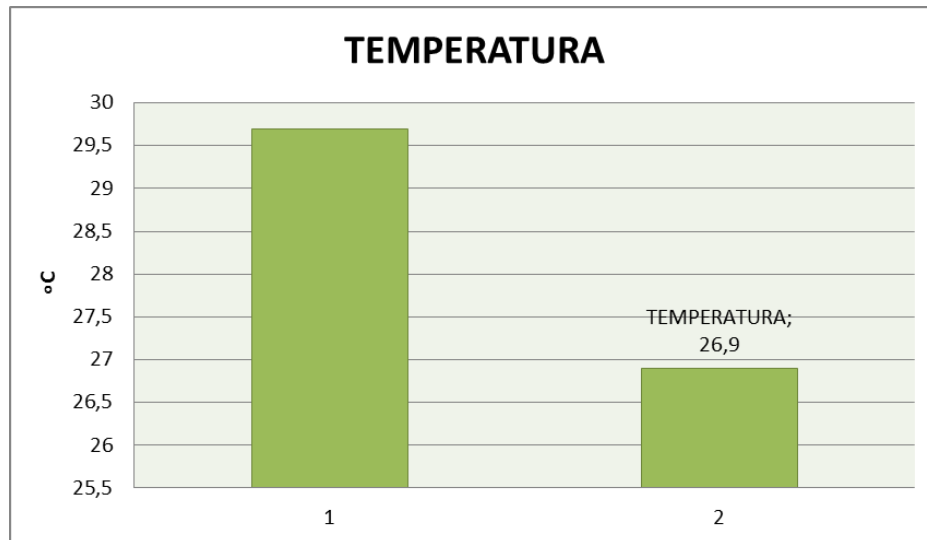
**Ilustración 9** Grafica de resultados de DQO

**Fuente: Autor**



#### 4.4 Análisis de la Temperatura

La temperatura tuvo poca variación se mantuvo en el rango de 25 °C a 35 °C lo que quiere decir que se trabajó con bacterias mesófilas durante el proceso.



*Ilustración 10* Resultados de la temperatura

**Fuente: Autor**

La densidad y el pH se mantienen casi en los mismos valores lo que indica que no tuvieron mucha variación.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- El tratamiento de lodos residuales mediante digestores anaeróbicos es eficiente, ya que estabiliza en gran medida la materia orgánica presente en el lodo proveniente del sistema de tratamiento de aguas residuales CEPT.
- En los digestores de baja carga tales como el que se usó en este experimento el lodo debe estar encerrado durante 30 días como mínimo para obtener resultados.
- El pH, la densidad, la temperatura no tienen mucha variación después del tratamiento
- El cloruro férrico en conjunto con el polímero aniónico trabaja de manera eficaz como coagulante y floculantes ya que facilita la sedimentación del lodo en poco tiempo.
- La temperatura ambiente de la ciudad de Guayaquil es un factor positivo importante, puesto que la eficiencia de la digestión de lodos está en relación directa a la temperatura del proceso de digestión.

#### **5.2 Recomendaciones**

- Implementar el uso del método de digestión anaeróbica para el tratamiento de lodos residuales en el país ya que es muy eficiente.
- Usar la dosificación más eficiente de cloruro férrico para poder obtener la cantidad de lodos necesaria para los digestores anaerobios.
- Realizar prueba de jarras siempre que haya cambios de clima debido a que cuando llueve el agua residual se diluye al mezclarse con la lluvia por lo que necesita otro tipo de dosificación del químico.
- Tener el lodo en el digestor anaeróbico durante un tiempo aproximado de 30 días, cuando no se emplee dispositivos de mezcla del lodo.

- Reutilizar el lodo tratado en aplicaciones como agricultura, puesto que contienen una cantidad importante de nutrientes y micronutrientes necesarios para los cultivos agrícolas.

## REFERENCIAS

- Pratima Bajpai. (n.d.). *Anaerobic Technology in Pulp and Paper Industry*. Kanpur.
- Romero Rojas, J. A. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Retrieved from [https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento\\_de\\_lodos](https://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_lodos)
- Biarnes M (2013) Biomasa a biogás: digestión anaeróbica. E Instruments International, <http://www.e-inst.com/biomass-to-biogas>
- Gerardi MH (2003) *La microbiología de los digestores anaeróbicos*. Wiley, Hoboken, NJ
- Verma S (2002) *Digestión anaerobia de compuestos orgánicos biodegradables en desechos sólidos municipales*. SRA. tesis, Universidad de Columbia, Nueva York, NY
- Comisión Nacional del Agua. (Diciembre de 2007). *Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales*. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 26 de Febrero de 2019
- Fei, Z. P. (2013). *Estudio y propuesta de mejora del proceso de depuración de la EDAR de Zhongyuan*. Tesis, Universidad Politecnica de Valencia, Gandia. Recuperado el 2019, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33704/Memoria.pdf?sequence=1>
- González, I. (2015). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR*. Universidad de Córdoba. Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Recuperado el Febrero de 2019

- Limón, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o recurso?* Guadalajara.
- Metcalf&Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales*. McGraw Hill.
- Rucandio, I. (Agosto de 2011). *Energía y Sostenibilidad*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/08/29/131321>
- S. M. Stronach, T. R. (2004). *Biotechnology Monographs*. Imperial College, London, SW72BU, U.K.: S. Aiba . L. T. Fan . A. Fiechter . K. SchUgerl.
- Senagua. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Guayaquil.
- Suarez, J., & Jacome, A. (2007). *Estabilización de Fangos*. Coruña.
- Yanez, F. (2010). *Digestión Anaerobica*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/05862/05862-16.pdf>

## ANEXOS



**Ilustración 11** Caja de revisión, aguas residuales



**Ilustración 12** Prueba de jarras para determinar dosificación



**Ilustración 13** Planta piloto instalada



**Ilustración 14** Funcionamiento de la planta piloto



**Ilustración 15** Lodos residuales obtenidos del tratamiento CEPT



**Ilustración 16** Recolección de lodos residuales

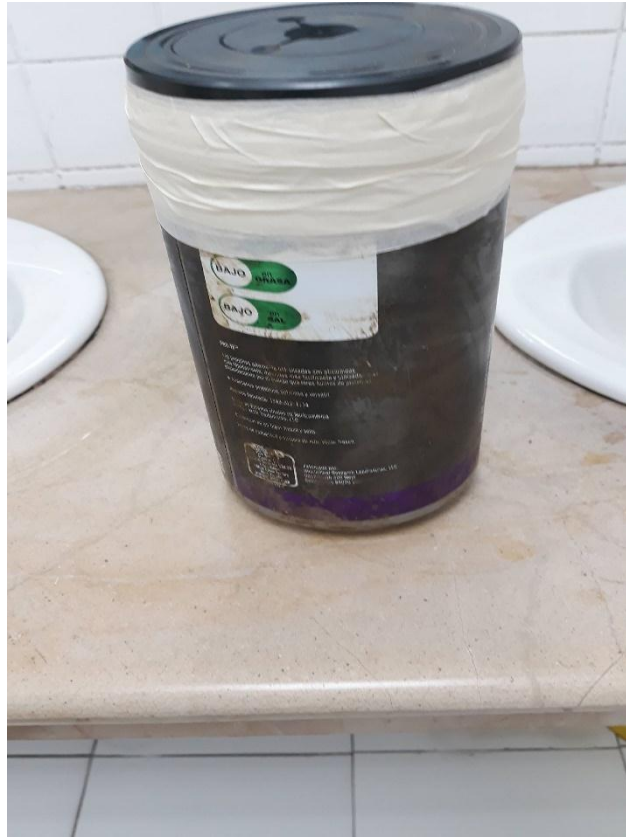




**Ilustración 17** Recolección de lodos residuales



**Ilustración 18** Lodo extraído puesto en el digestor



**Ilustración 19** Digester anaeróbico completamente cerrado



**Ilustración 20** Temperatura del lodo crudo



**Ilustración 21** Temperatura del lodo después de 28 días dentro del digestor



NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
Representante Legal: NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
Dirección: C/da. La Atarazana, Tel. 0994321427  
Atención : Ing. Jaime Nuñez

Guayaquil, 25 DE FEBRERO DEL 2019

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 2019/02/06 / 15:00 / Guayaquil  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 2019/02/06 / 15:43  
Punto e Identificación de la Muestra: Muestra # 1  
Matriz de la muestra: Lodos  
Muestreado Por/Muestreador/Tipo de Muestreo: CLIENTE / CLIENTE / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: ---  
Norma Técnica de muestreo: No Aplica  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**INORGANICOS NO METALES**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Potencial de Hidrogeno (1)	7,24	-	---	EPA 9045D	2019/02/07 JV

**AGREGADOS ORGANICOS**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno-s (1)	204700	mg/Kg	---	5210B	2019/02/22 LS
Demanda Química de Oxígeno-s (1)	301100	mg/kg	---	5220B	2019/02/22 LS

**AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Densidad (1)	1,03	g/ml	---	2520 C	2019/02/19 JV

**SIMBOLOGÍA:**

--- No. Aplica  
<LD Menor al Limite Detectable  
N.E. No Efectuado

U K=2 Incertidumbre  
E.P.A. Environmental Protection Agency  
S.M. Standard Methods

L.M.P. Limite Máximo Permissible  
P.E.E. Procedimiento específico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO, ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)

Q.F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de Calidad

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

**Ilustración 22** Informe de resultados del lodo crudo

NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
 Representante Legal: NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
 Dirección: C/da. La Atarazana, Tel. 0994321427  
 Atención : Ing. Jaime Nuñez

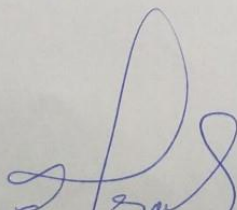
Guayaquil, 25 DE FEBRERO DEL 2019

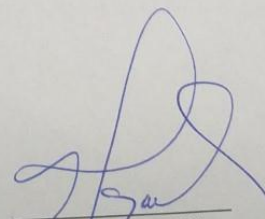
**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:	2019/02/06 / 15:00 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2019/02/06 / 15:43
Punto e Identificación de la Muestra:	Muestra # 1
Matriz de la muestra:	Lodos
Muestreado Por/Muestreador/Tipo de Muestreo:	CLIENTE / CLIENTE / Simple
Duración de Muestreo:	---
Coordenadas Geográficas:	---
Norma Técnica de muestreo:	No Aplica
Muestreo Actividad Acreditada:	Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**MEMORIA FOTOGRAFICA**



  
 Q.F. FERNANDO MARCOS V.  
 Director Técnico

  
 Q.F. LAURA YANQUI M.  
 Coordinadora de calidad

**IMPORTANTE:**  
 Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

**Ilustración 23** Informe de resultados del lodo crudo

NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
Representante Legal: NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
Dirección: Cella, La Atarazana, Tel. 0994321427  
Atención : Ing. Jaime Nuñez

Guayaquil, 7 DE MARZO DEL 2019

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 2019/02/19 / 15:00 / Guayaquil  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 2019/02/19 / 15:25  
Punto e Identificación de la Muestra: Muestra # 2  
Matriz de la muestra: Lodos  
Muestreo Por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: - -  
Norma Técnica de muestreo: No Aplica  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**INORGANICOS NO METALES**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Potencial de Hidrogeno (1)	7,32	-	---	EPA 9045D	2019/02/19 ER

**AGREGADOS ORGANICOS**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxigenos (1)	11150	mg/Kg	---	5210B	2019/02/20 LS
Demanda Química de Oxigenos (1)	25079	mg/kg	---	5220B	2019/02/20 LS

**AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Densidad (1)	1,16	g/ml	---	2520 C	2019/03/01 JV

**SIMBOLOGÍA:**  
--- No. Aplica  
<D Menor al Límite Detectable  
N.E. No Detectado

U K-2 Inexistencia  
E.P.A. Environmental Protection Agency  
S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible  
P.E.E. Procedimiento específico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**  
(1) Procedimiento NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.  
(2) Procedimiento subcontratado NO ACREDITADO, con referencia al estándar Cap. 5 Manual de Calidad de DGM  
(3) Procedimiento acreditado cuyo resultado está HERMANADO ALCANES de acreditación.  
(4) Procedimiento subcontratado ACREDITADO, ver alcance en [www.acreditacion.ecb.es](http://www.acreditacion.ecb.es)

  
Q.F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico

  
Q.F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de Calidad

**IMPORTANTE:**  
Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GAGC.

**Ilustración 24** Informe de resultados del lodo tratado



**NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO**  
 Representante Legal: NUÑEZ GAVILANEZ JAIME RODRIGO  
 Dirección: Cda. La Atarazana, Tel. 0994321427  
 Atención : Ing. Jaime Nuñez

Guayaquil, 7 DE MARZO DEL 2019

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:	2019/02/19 / 15:00 / Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras:	2019/02/19 / 15:25
Punto e Identificación de la Muestra:	Muestra # 2
Matriz de la muestra:	Lodos
Muestreado Por/Muestreador/Tipo de Muestreo:	GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:	- -
Coordenadas Geográficas:	- -
Norma Técnica de muestreo:	No Aplica
Muestreo Actividad Acreditada:	Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBD, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**MEMORIA FOTOGRÁFICA**



**Ilustración 25** Informe de resultados del lodo tratado



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**, con C.C: # **1207544345** autor del trabajo de titulación: **Evaluación de la eficiencia de estabilización de los lodos obtenidos a partir de la operación del sistema de Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT), mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **21 de marzo del 2019**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo**

C.C: 1207544345





**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Evaluación de la eficiencia de estabilización de los lodos obtenidos a partir de la operación del sistema de Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT), mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica		
<b>AUTOR</b>	Jaime Rodrigo, Núñez Gavilánez		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	José Ernesto, Vásconez Gavilánez		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN</b>	21 de marzo del 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	66
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ambiental, Hidráulica y sanitaria		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Bioquímicos, tecnología, medio ambiente, materia orgánica, desechos, metano.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras): A lo largo de la historia, las investigaciones científicas han trascendido durante distintas épocas, lo cual ha ayudado a compatibilizar las indagaciones para la resolución de conflictos económicos, políticos y sociales. El progreso de la creación de los bioquímicos, maquinarias y tecnología son un papel fundamental para la metodología de la degradación a causa de la ausencia de oxígeno, como se lo denomina digestión anaeróbica. Este proceso trae consigo beneficios significativos para el bienestar del			



medio ambiente; es decir, favorece la mineralización parcial de la materia orgánica y control de malos olores en el área afectada. Es una etapa determinante ya que suele ser una opción rentable para la prestación de tales desechos industriales benignos y al mismo tiempo, una gama de materiales orgánicos sintéticos de origen industrial también es susceptible a la digestión. Prescriptiblemente los elementos presentes en dicho proceso son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>). Este tratamiento ha crecido exponencialmente es por ello que se ha establecido un análisis para su utilización en el ámbito laboral y social.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-994321427	<b>E-mail:</b> jaimerodrigong@hotmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>	
	<b>Teléfono: +593-4-2206956</b>	
	<b>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		