



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

**TEMA:**

**Investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT)**

**AUTOR:**

**Morán Parrales, Romina Gema**

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

**TUTOR:**

**Ing. Vásquez Gavilánez, José Ernesto, M.Sc**

**Guayaquil, Ecuador**

**10 de septiembre del 2019**



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

**CERTIFICACIÓN:**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Morán Parrales, Romina Gema**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

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

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

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

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

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

**Guayaquil, 10 de septiembre del 2019**



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

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Morán Parrales, Romina Gema**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación: **Investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT)**, previo a la obtención del título de **Ingeniería 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, 10 de septiembre del 2019**

### **LA AUTORA:**

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

**Morán Parrales, Romina Gema**



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

### **AUTORIZACIÓN**

**Yo, Morán Parrales, Romina Gema**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, 10 de septiembre del 2019**

**LA AUTORA:**

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

**Morán Parrales, Romina Gema**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Moran Romina\_TESIS\_MICROBIOLOGIA.docx (D55141686)  
**Submitted:** 8/30/2019 4:52:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 5 %

### Sources included in the report:

<https://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/articulos/tratamiento-de-lodos-generalidades-y-aplicacionessludge-treatment-generalities-and>  
<https://www.grin.com/document/231357>  
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1835/62839B932.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>  
[http://pural.es/?page\\_id=995](http://pural.es/?page_id=995)  
[http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento\\_anaerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_anaerobio_de_aguas_residuales.pdf)  
<http://www.emapag-ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2015/02/descripciongeneralproyecto1.pdf>  
[b72f568e-7c4f-41d2-bc6d-ea362257f87e](http://www.emapag-ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2015/02/descripciongeneralproyecto1.pdf)

### Instances where selected sources appear:

15

## **AGRADECIMIENTO**

Para quien tiene principios, tiene valores y para quien tiene fe no existe la suerte, existe Dios, mi gratitud por el regalo de la vida, virtud y dones otorgados como soporte y fortaleza, fuente de motivación y guía que me han permitido superar obstáculos académicos y personales, en este ciclo de mi vida.

A mis padres Rommel Morán Zavala y Haydeé PARRALES Gutiérrez, cuya confianza, ejemplo de valores, esfuerzos y apoyo absoluto a mis iniciativas y deseos de superación, que hacen como una constante de su plan de vida, que ha permitido cristalizar esta etapa. A los cómplices de mis sueños, mis hermanos Rommel, Jorge y Sofía por alentarme con sus palabras y acciones de apoyo incondicional, para que juntos podamos cumplir el legado de servicio a los demás.

A los grandes amigos/as y compañeros formados en la UCSG, a mi segunda familia de la Facultad de Ingeniería, a mis catedráticos, en especial mi tutor el Ing. José Vásquez y a la Ing. Clara Glas, quienes con su orientación hicieron que pueda crecer día a día en mi formación profesional, gracias por su paciencia y dedicación.

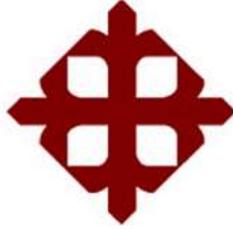
A aquellas personas invisibles que están permanentemente impulsando, procesando cambios y que han fortalecido con su confianza y credibilidad en los caminos espinosos, que han fortalecido mi espíritu, mi gratitud imperecedera.

**ROMINA GEMA MORÁN PARRALES**

## **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico A Dios, Alfa y Omega de la creación que ha iluminado y permitido cristalizar el presente trabajo, a mis progenitores que con amor lo pueden todo, a mis hermanos con los que convivo y no hay secretos a esa maravillosa familia, por ser una constante en mi vida, mi reconocimiento imperecedero, a sabiendas que no fallare como profesional, como un aporte invaluable para la sociedad Ecuatoriana.

**ROMINA GEMA MORÁN PARRALES**



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

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

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

TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

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

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

DIRECTOR DE CARRERA

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

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

COORDINADOR DEL ÁREA

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

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

OPONENTE

# ÍNDICE

## Contenido

AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
ÍNDICE .....	IX
INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	2
1. GENERALIDADES .....	3
<b>1.1 Antecedentes .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Objetivo general .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos: .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Alcance .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Metodología.....</b>	<b>6</b>
CAPITULO 2 .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	7
<b>2.1 Agua residual doméstica (ARD).....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Características Bacteriológicas .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Tratamiento de Aguas Residuales.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (TPMQ) .....</b>	<b>15</b>
2.4.1 Coagulación.....	16
2.4.2 Floculación .....	16
<b>2.5 Tratamiento de Lodos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.1 Biodigestor anaerobio.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.1.1 Aspectos operativos y de mantenimiento de un biodigestor anaerobio .</b>	<b>22</b>

<b>PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR</b> .....	22
<b>PARAMETROS DE OPERACIÓN</b> .....	24
<b>2.6 Proceso de la digestión anaeróbica</b> .....	<b>28</b>
<b>2.6.1.2 Cooperación de Microorganismos de Proceso de Fermentación de Metano</b> .....	31
<b>2.7 Fundamentación Técnica-Legal</b> .....	<b>32</b>
<b>3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1 Instalación de la planta piloto</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2 Dosificación de cloruro férrico y polímero aniónico</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3 Recolección de los lodos residuales</b> .....	<b>38</b>
<b>3.4 Digestor Anaeróbico</b> .....	<b>38</b>
<b>3.5 Muestras enviadas al laboratorio</b> .....	<b>38</b>
3.6 Medición del Ph y la temperatura .....	38
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>40</b>
<b>4. Análisis de Resultados</b> .....	<b>40</b>
<b>4.1 Coliformes Totales</b> .....	<b>40</b>
<b>4.2 Coliformes Fecales y Escherichia Coli</b> .....	<b>41</b>
<b>4.4 Hongos y Levaduras</b> .....	<b>43</b>
<b>CAPITULO 5</b> .....	<b>44</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>44</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....	<b>44</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍAS</b> .....	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>49</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Composición de las aguas residuales domésticas ( ARD) .....	7
<b>Tabla 2</b> Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas en lodos .....	13
<b>Tabla 3</b> Tratamiento convencional de aguas residuales .....	14
<b>Tabla 4</b> Clasificación de los lodos según la etapa del tratamiento de agua residual.....	15
<b>Tabla 5</b> Métodos para el tratamiento de lodos .....	17
<b>Tabla 6</b> Características de la PTAR .....	21
<b>Tabla 7</b> Cooperación microbiana en la degradación de la materia orgánica.....	31
<b>Tabla 8</b> Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en los lodos .....	33
<b>Tabla 9</b> Aprovechamiento de biosólidos.....	33
<b>Tabla 10</b> Parámetros de higienización de biosólidos .....	34

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Hongos presentes en lodos residuales .....	9
<b>Ilustración 2</b> Bacterias presentes en lodos residuales .....	10
<b>Ilustración 3</b> Proceso Operón .....	12
<b>Ilustración 4</b> Esquema del proceso de depuración de aguas.....	15
<b>Ilustración 5</b> Esquema del mecanismo de coagulación .....	16
<b>Ilustración 6</b> Esquema del mecanismo de floculación.....	17
<b>Ilustración 7</b> Proceso de Digestor anaeróbico convencional .....	19
<b>Ilustración 8</b> Construcción del digestor anaerobio "Las Esclusas" .....	21
<b>Ilustración 9</b> Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia .....	24
<b>Ilustración 10</b> Ubicación de la planta piloto.....	36
<b>Ilustración 11</b> Funcionamiento de la planta piloto .....	37
<b>Ilustración 12</b> Valores de Coliformes Totales .....	40
<b>Ilustración 13</b> Comparación de los valores de Coliformes Fecales y E. Coli según la normativa para la disposición de lodos. ....	41
<b>Ilustración 14</b> Valor de Hongos y Levaduras en lodo tratado .....	43
<b>Ilustración 15</b> Instalación de la planta piloto en la UCSG. ....	49
<b>Ilustración 16</b> Dosificación del cloruro férrico.....	49
<b>Ilustración 17</b> Muestra de polímero aniónico .....	50
<b>Ilustración 18</b> Recolección de lodos residuales obtenidos de la planta piloto.....	50
<b>Ilustración 19</b> Lodo crudo ingresado en el biodigestor de alta tasa .....	51
<b>Ilustración 20</b> Puesta en marcha del biodigestor de alta tasa .....	51
<b>Ilustración 21</b> Informe de resultados del lodo tratado .....	52

## RESUMEN

El presente trabajo dará continuidad a la investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas tipo CEPT, con el objetivo principal de establecer parámetros de control en la operatividad y mantenimiento de la planta de tratamiento para que los microorganismos puedan alcanzar su máximo rendimiento dando como resultado una remoción de contaminantes aceptable del sistema que se usa de referencia para proyectar los resultados de la eficiencia en la PTAR de Las Esclusas.

Para medir la eficiencia de remoción de los contaminantes, se tomó en cuenta estudios previos de (Morales, 2016) donde se encuentran valores promedios de Coliformes Totales en lodos crudos que fueron comparados con los valores del lodo tratado por el biodigestor anaerobio, dando como resultado una eficiencia del 99,9%.

Estos lodos tratados deben cumplir con la norma mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para coliformes fecales y la norma peruana NOM-015-2017-VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO para la E. Coli donde se especifican los límites máximos permisibles para su correcto aprovechamiento y disposición final.

Por último, la presencia de los indicadores ya mencionados incluyendo hongos y levaduras confirma la formación de un ecosistema dentro del proceso de digestión anaerobia lo que garantiza la descomposición de materia orgánica y remoción de coliformes en el biodigestor de alta tasa debido a la inhibición del Operón Lac .

Palabras Claves: CEPT, biodigestor de alta tasa, digestión anaerobia, eficiencia, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Escherichia Coli, Hongos, Levaduras y operón Lac.

## **ABSTRACT**

The present work will receive continuity to the investigation of microbiology in anaerobic sludges from a high-rate biodigester of a CEPT-type domestic wastewater pilot treatment plant, with the main objective of establishing control parameters in the operation and maintenance of the treatment plant so that microorganisms can reach their maximum performance resulting in a removal of acceptable contaminants from the system that is used as a reference to project the efficiency results in the PTAR of Las Esclusas.

To measure the efficiency of removal of pollutants, they will consider previous studies of (Morales, 2016) where average values of Total Coliforms are found in raw sludges that were compared with the values of the sludge treated by the anaerobic biodigester, resulting in a 99.9% efficiency.

These treated sludges must comply with the Mexican norm NOM-004-SEMARNAT-2002 for fecal coliforms and the Peruvian norm NOM-015-2017-HOUSING, CONSTRUCTION AND SANITATION for E. Coli where the maximum permissible limits for proper use are specified and final disposition.

Finally, the presence of indicators and modifications including fungi and yeasts confirm the formation of an ecosystem within the anaerobic digestion process, which guarantees the decomposition of organic matter and removal of coliforms in the high-rate biodigester due to operator inhibition Lac.

Keywords: CEPT, high-rate biodigester, anaerobic digestion, efficiency, Total Coliforms, Fecal Coliforms, Escherichia Coli, Fungi, Yeasts and Lac operon.

## INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX se han realizado tratamientos a las aguas residuales para lograr remover los contaminantes presentes con la finalidad de evitar daños al medio ambiente, en particular a los cuerpos de agua dulce. El aumento de urbanización e industrialización exige la prevención de contaminación de recursos hídricos vitales y limitados al proporcionar un tratamiento adecuado para los residuos líquidos emanados de fuentes domésticas e industriales que contiene residuos contaminantes principalmente la materia orgánica disuelta y sólidos suspendidos.

En la actualidad existe menor impacto económico debido a las alternativas y avances tecnológicos que permiten procesos más simples y eficaces; tales como el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT) que tiene como objetivo aumentar la tasa de sedimentación y la eficiencia de remoción de los contaminantes, es decir, da como resultado lodo crudo o no tratado.

Por medio de procesos biológicos se realiza la estabilización de tales desechos, durante este proceso los lodos son tratados usualmente por medio de la digestión aeróbica y anaeróbica que permiten generar residuos/lodos estables y no peligrosos para su correcta disposición o aprovechamiento. Donde la digestión anaeróbica es un proceso que también ocurre ampliamente en la naturaleza, puede definirse como el proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos como Metano, Dióxido de carbono, Hidrógeno, Sulfuro de dihidrógeno, entre otros gases que son la transformación del lodo a un estado estable.

Para culminar, cabe especificar que mediante la realización de pruebas de laboratorio se ejecutó la investigación microbiológica y sus características bacteriológicas por medio de indicadores que se determinaron con el estudio de la respectiva muestra de lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo Tratamiento Primario Químicamente Mejorado.

## CAPITULO 1

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

El Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (TPQM) no es una nueva tecnología, su primer reporte se remonta al de 1740 en Francia. El uso de la tecnología TPQM fue abandonado posteriormente tras el desarrollo de los reactores biológicos. Sin embargo, en los últimos veinte años su interés ha aumentado progresivamente debido al desarrollo de mejores coagulantes y potenciadores de floculación, normas más estrictas, así como la necesidad para disminuir costos de energía, especialmente en países en desarrollo. El TPQM puede ser implementado en un tanque de sedimentación primaria especialmente diseñado para CEPT por sus siglas en inglés Chemical Enhanced Primary Treatment (De Feo, De Gisi, & Galasso, 2008).

Como antecedente se cita que, en un trabajo de titulación en la Facultad de Ingeniería de la UCSG; Yáñez Veloz, (2018), realizó la investigación: *Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment), para aguas residuales*. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

El Tratamiento Primario Químicamente Mejorado permite resultados óptimos con inversiones muy bajas de productos químicos. Con la aplicación del Tratamiento Primario Químicamente Mejorado el nivel de remoción depende de la dosificación del agente coagulante con el floculante.

El Cloruro Férrico en conjunto con el Polímero Aniónico permiten una eliminación óptima de DBO, DQO y SST. Para el DBO depende de su dosificación. Para la DQO tiene un efecto de rentabilización.

Posteriormente Núñez Gaviláñez, (2019), realizó un seguimiento dando paso a la

investigación: *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.* La investigación concluyó los ítems que se mencionan a continuación:

El Tratamiento Primario Químicamente Mejorado permite resultados óptimos con inversiones muy bajas de productos químicos que 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.

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.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar el tipo de microorganismos existentes en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo CEPT, de modo que sirva para establecer parámetros de control en la operatividad y mantenimiento de la planta de tratamiento para generar eficiencia aceptable del sistema.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Evaluar el resultado de los indicadores microbiológicos en lodos provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo CEPT, en condiciones de operación normal.
- Comprender la importancia que tienen los microorganismos en los procesos biológicos de tratamiento de lodos provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo CEPT.
- Determinar los parámetros de operación necesarios en el biodigestor de alta tasa para garantizar el comportamiento óptimo de los microorganismos presentes en el tratamiento de lodos por el método de digestión anaerobia de alta tasa en la planta piloto para proyectar los resultados en la PTAR de las Esclusas.

### **1.3 Alcance**

Efectuar pruebas para identificar los tipos de microorganismos que realizan la digestión anaeróbica provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta CEPT a escala piloto que está instalada en la Facultad de Ingeniería de la UCSG, para poder proyectar los parámetros de control que permitan el correcto manejo operativo y el mantenimiento necesario para alcanzar una eficiencia aceptable del PTAR Las Esclusas ubicado al Sur de la ciudad de Guayaquil.

### **1.4 Metodología**

Se instaló la planta piloto de aguas residuales domesticas tipo CEPT con el objetivo de facilitar la recolección del lodo crudo y posteriormente realizar el tratamiento en el biodigestor de alta tasa, lo que permitió obtener las muestras de lodo tratado, que será evaluado mediante la determinación cuantitativa de indicadores de contaminación fecal por lo que se indagó el valor de los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos de lodos tratados en la normativa de países que tengan similitud geográfica con Ecuador.

Por otra parte, se empleó el método inductivo, el cual permitió analizar los resultados obtenidos de los muestreos para determinar los grados de eficiencia para la estabilización de materia orgánica (eliminación de coliformes) según el tipo de microbiología provenientes del biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo CEPT. En el desarrollo de la investigación se encuentra las referencias bibliográficas que respaldan las conclusiones obtenidas en el análisis de resultados.

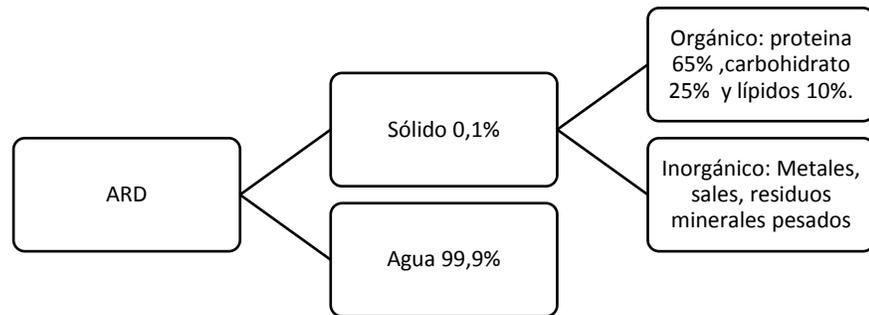
## CAPITULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Agua residual doméstica (ARD)

Las Aguas residuales pueden ser del tipo doméstico, industrial y urbano; en este documento nos referiremos a las aguas residuales domesticas (ARD) que es el material procedente de la zona de vivienda, las aguas negras que son generados por el metabolismo humano y las aguas grises que derivan de actividades domésticas.

La composición de la ARD es la siguiente:



**Tabla 1** Composición de las aguas residuales domésticas ( ARD)

**Fuente:** (Mara, 2013)

#### 2.2 Características Bacteriológicas

Para determinar e indicar la calidad de las ARD se toman en cuenta las características físicas, químicas y bacteriológicas; en este documento se hará énfasis en esta última ya que la existencia de los agentes patógenos es uno de los parámetros que hace indispensable el tratamiento de las ARD.

Las aguas residuales dependiendo de su composición y concentración pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos que son capaces de afectar la salud pública, descomponer y estabilizar materia orgánica o desempeñar una función útil. Además, la temperatura y pH influyen en la producción de las bacterias, puesto que cada organismo

de acuerdo a su clasificación requiere unos valores determinados de estos factores para desarrollarse.

Sin embargo, debemos entender que muchos microorganismos no encajaban en la clasificación de reino animal y reino vegetal, por lo que, en 1866 Haeckel propuso que se reconociera un tercer reino: el **PROTISTA**.

Este reino incluía *protozoarios*, *algas*, *hongos* y *bacterias* (los virus eran desconocidos en 1866).

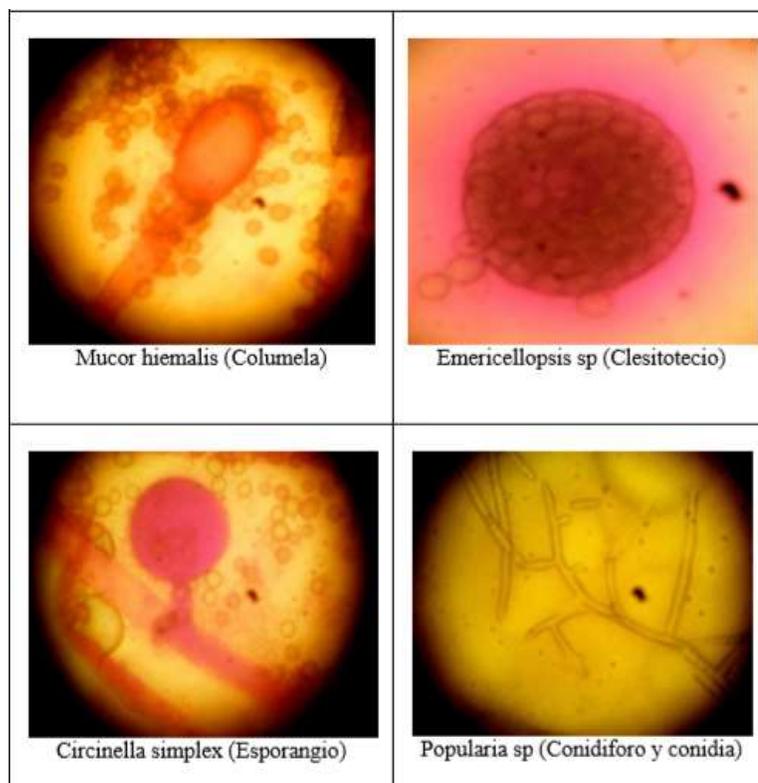
Con los avances en el conocimiento de la ultraestructura celular, los *protistas* que son organismos pequeños visibles con microscopio que en general tienen una estructura propia, se subdividen en dos categorías:

*Superiores (eucariotas)*, son organismos unicelulares o multicelulares con núcleo verdadero conocido por su estructura celular más organizada, a este grupo pertenecen:

- *Protozoarios*: son en orden de magnitud más grandes que las bacterias y son útiles en los procesos de tratamiento biológico.
- *Algas*: Son un grupo de microorganismos fotosintéticos semejantes a plantas. Causan problemas en el suministro de agua porque confieren sabores y olores desagradables y tapan los filtros. Las algas son benéficas en las lagunas de estabilización, pues suministran oxígeno para el tratamiento de aguas residuales.
- *Hongos*: Son protistas no fotosintéticos, unicelulares o multicelulares capaces de sobrevivir en condiciones de pH bajo. Los hongos son útiles en el tratamiento biológico de ciertos residuos industriales y en la transformación de desechos orgánicos sólidos en abono. En biología los hongos se conocen como fungi, uno de los reinos de la naturaleza donde podemos distinguir tres grandes grupos: los mohos, las levaduras y las setas. En esta investigación se da énfasis a las levaduras, ya que estos organismos pueden sobrevivir sin oxígeno, pero cuando hay

oxígeno lo respiran de manera anaerobia de otras sustancias, nunca toman el oxígeno libre por consecuencia realizan el proceso de fermentación, el cual es menos efectiva que la respiración ya que se aprovecha menos energía de las moléculas. Todas las posibles sustancias que se usan para la oxidación de la glucosa tienen menos potencial (Varela, 2017).

De lo antes mencionado, se obtuvieron una variedad de gráficos en los que se muestra algunos tipos de hongos que se encuentran presente en lodos residuales y se indican en la Ilustración 1



**Ilustración 1** Hongos presentes en lodos residuales

**Fuente:** (Lituma Vintimilla, 2010)

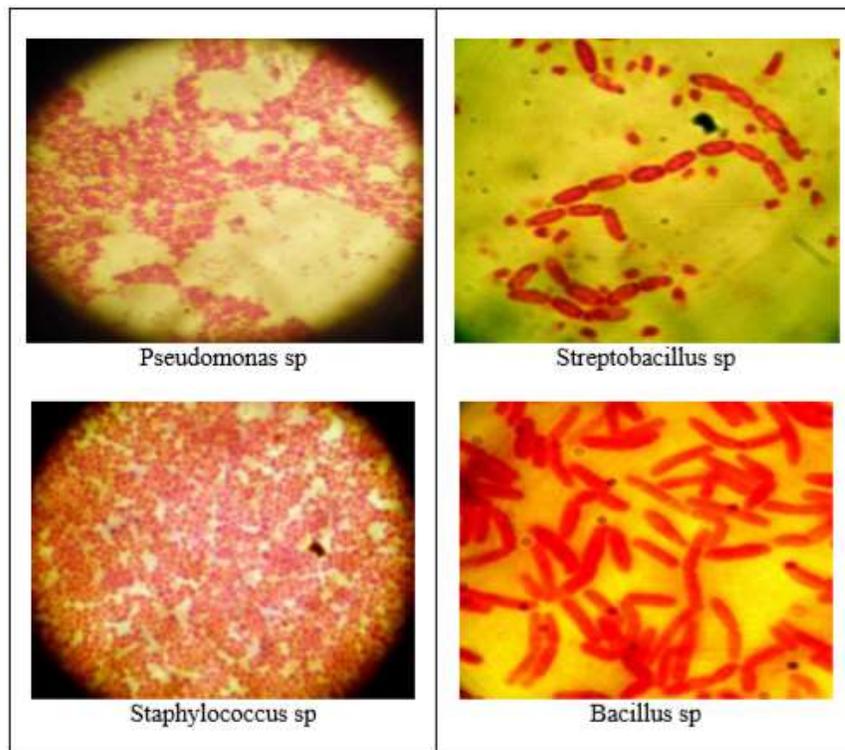
**Inferiores (procariotas)**, que carecen del núcleo, tales como:

- **Algas azules:** Son los organismos más viejos y simples que se hallan en la tierra; y a pesar de que su proceso de fotosíntesis es idéntico al de las algas

normales eucariotas (toman agua, CO<sub>2</sub> y con la ayuda de la luz solar la transforman en carbohidratos), poseen muchas características similares a las bacterias.

- **Bacterias:** Forman el grupo de microorganismos más importante, y son indispensables para el ciclo de nutrientes de los ecosistemas. Las bacterias patógenas (causantes de enfermedades) han sido objeto de la mayor atención por parte de los investigadores. Muchas bacterias tienen importancia en los siguientes procesos:
  - Tratamiento de agua y de aguas residuales.
  - Autopurificación natural de corrientes y lagos.
  - Descomposición de los materiales en rellenos sanitarios, suelos y montículos de abono.

A continuación, el tipo de bacterias comúnmente presente en lodos residuales:



**Ilustración 2** Bacterias presentes en lodos residuales

**Fuente:**(Lituma Vintimilla, 2010)

Por otro lado, están las bacterias coliformes que se utilizan como indicadores de calidad del agua; estas viven en los intestinos de animales de sangre caliente y constituyen en su mayoría el 50 por ciento de las heces.

El grupo de *coliformes totales* se definen como bacterias que fermentan la lactosa a una temperatura de 35 o 37 °C, con producción de ácido, gas y aldehído dentro de 24 a 48 horas.

Las bacterias *coliformes fecales* son un subgrupo de las bacterias de coliformes totales y tienen las mismas propiedades, excepto que toleran y crecen a una temperatura mayor a 44-44,5°C y producen indol a partir del triptófano; pueden crecer con o sin oxígeno. Los coliformes fecales por sí solos generalmente no son patógenos; son organismos indicadores, lo que significa que pueden indicar la presencia de otras bacterias patógenas y los patógenos están típicamente presentes en cantidades tan pequeñas que no es práctico monitorearlo.

Dentro de los organismos patógenos se encuentra la *Escherichia Coli* que es un ejemplo de bacteria presente en aguas residuales, es un habitante normal del intestino, sirve de indicativo de contaminación fecal. Una definición de la bacteria coliforme medida es imposible de darle debido a las variaciones del medio, métodos y temperatura de incubación usada en varias áreas.

- Medios como: glucosa, lactosa o una mezcla de lactosa y manitol
- Temperaturas de incubación tales como: 43.5; 44; 44.5; 45 ó 46° C.
- Sustancias añadidas tales como: sales biliares, lauril, glicerol.

La E. Coli es el tipo de coliforme más frecuentemente encontrado en el cuerpo humano, raramente es encontrado fuera del intestino humano, excepto cuando está asociado con contaminación fecal, esta sobrevive menor tiempo en agua que otros miembros del grupo coliforme, indicando contaminación reciente y no se reproduce fuera del intestino humano. A su vez las E. coli al ser un subgrupo de las coliformes fecales presentan una estructura similar, por lo tanto, el proceso de inhibición para coliformes es el siguiente:

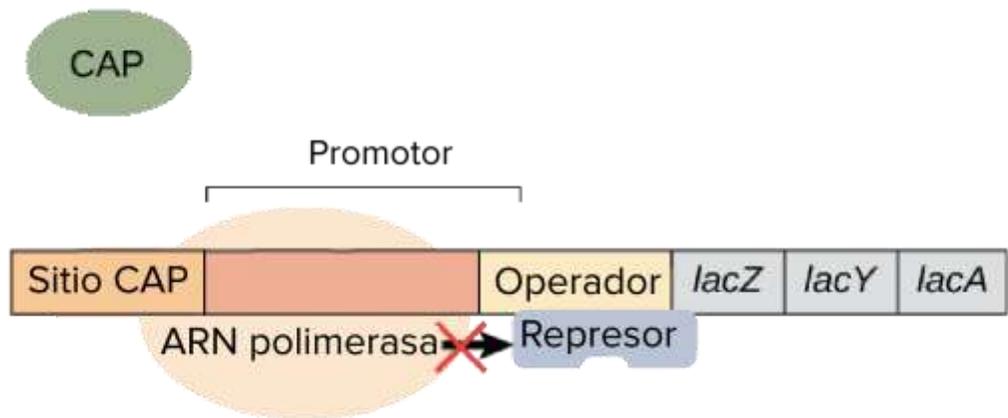
Una vez generadas las bacterias mesófilas empiezan actuar en el sustrato de las aguas residuales domésticas, las cuales están compuesta por: carbohidratos, lípidos y proteínas.

En los carbohidratos encontramos moléculas complejas (oligosacáridos), lactosa, la cual va a ser descompuestas por las bacterias ya antes mencionadas.

Las bacterias mesófilas por medio de la enzima fermentativa, beta-galactosidasa, añade una molécula de agua a la lactosa rompiendo el enlace glucosídico para generar moléculas simples, glucosa y galactosa.

Una vez que la lactosa se ha descompuesto, inhibe el Operón Lac, ya que, en ausencia de lactosa, el gen regulador va a transcribirse y generar una proteína represora denominada CAP. A su vez la CAP se une a uno de los elementos de control, al operador, generando un represor Lac, el cual bloquea la transcripción del operón, debido a que oculta el Operador que se encuentra contiguo al promotor. Por su parte la ARN pol no podrá acceder al promotor, bloqueando la codificación de síntesis de transcripción de proteína de los genes estructurales pertenecientes a la E. coli, que es parte del subgrupo de los coliformes fecales, debido a la degradación de la lactosa.

### Glucosa presente, lactosa ausente:



**Ilustración 3** Proceso Operón

**Fuente:** (Valdivia, s. f.)

Este indicador (E. Coli) es usualmente interpretado para indicar contaminación fecal

presente, la cual será en un nivel potencialmente peligroso, ya que existen cepas patógenas que causan infecciones presentando síntomas de dolor abdominal, vomito, e incluso diarrea.

Estas pruebas están diseñadas para dar información adicional a las pruebas de coliformes, pero no están dadas para reemplazar a la prueba de coliformes totales.

Por último, se encuentran los virus, que no son células, por tanto, no se incluyen en los grupos precedentes, los virus son más pequeños que las bacterias por lo que pueden causar enfermedades en plantas y animales, así como en los humanos ya que crecen sólo en huéspedes (normalmente en tejidos del intestino).

Cabe recalcar que los microorganismos antes mencionados se encuentran tanto en las aguas residuales como en los lodos, los parásitos que se encuentran presentes incluyen huevos de especies de áscaris, nematodos y cisticercos, uno solo de estos embriones puede causar una infección por ello debe pasar por un tratamiento, que en nuestro caso será de digestión anaerobia con un biodigestor anaerobio de alta tasa. A continuación, se muestra en la tabla los niveles de indicadores de presencia de las bacterias patógenas y los virus en lodos residuales.

Lodos Sin tratar	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>Streptococci</i> Fecal	Especies de <i>Salmonella</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Virus entericos
Primario	$10^6 - 10^8$	$10^6 - 10^7$	$\sim 10^6$	$4 \times 10^2$	$3 \times 10^3$	0.002-0.004 MPN
Secundario	$10^7 - 10^8$	$10^7 - 10^9$	$\sim 10^6$	$9 \times 10^2$	$1 \times 10^4$	0.015-0.026 MPN
Mezcla	$10^7 - 10^9$	$10^5 - 10^6$	$\sim 10^6$	$\sim 5 \times 10^2$	$\sim 10^3 - 10^5$	-

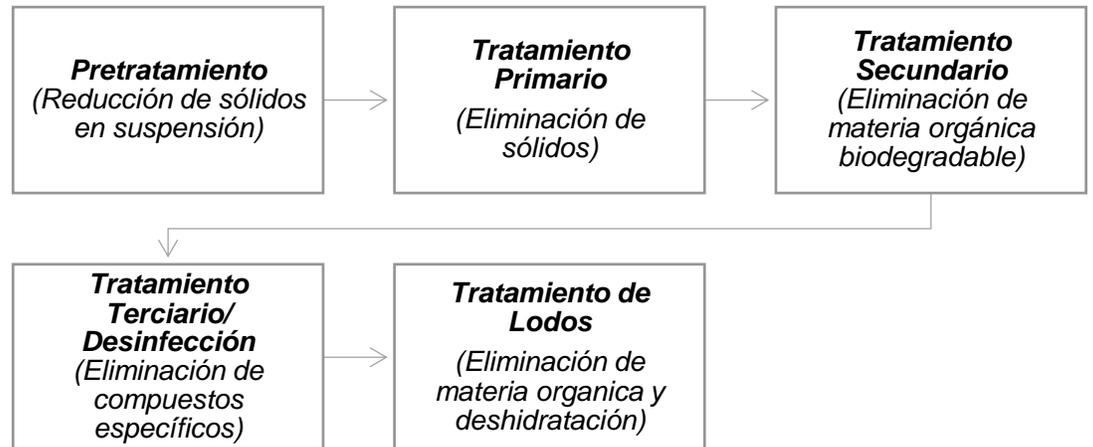
Las unidades son número de organismos por gramo de peso seco

**Tabla 2** Niveles de indicadores de presencia de bacterias patógenas en lodos

**Fuente:** (Morales, 2016)

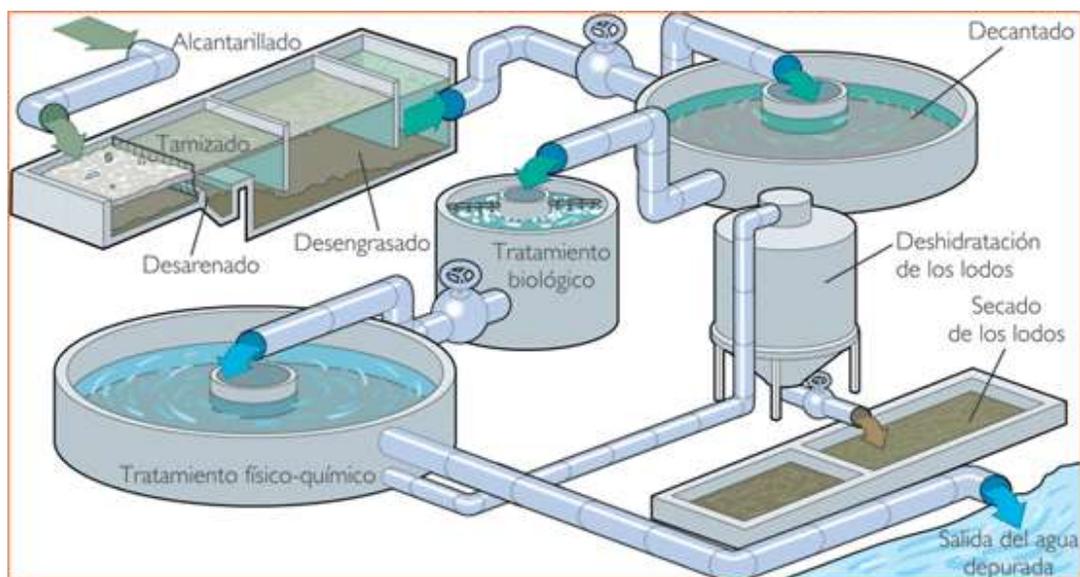
## 2.3 Tratamiento de Aguas Residuales

De forma general el agua residual es tratada de la siguiente manera:



**Tabla 3** Tratamiento convencional de aguas residuales

**Fuente:** (Kulkarni et al., 2018)



#### Ilustración 4 Esquema del proceso de depuración de aguas

**Fuente:** (Mila Martin., 2011)

El agua residual tiene dos componentes, un efluente líquido y un remanente sólido también conocido como lodo residual, según la NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM 004-SEMARNAT-2002, son sólidos con una cantidad variable de humedad, provenientes de las plantas potabilizadoras y de tratamientos de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización. Moeller et al. (2000), señalan que su composición depende de las características del agua residual y del proceso de tratamiento utilizado en la planta que lo depura (Vera-Reza, Ortiz, & Peña-Camacho, 2019), a continuación la clasificación de los lodos según la etapa del tratamiento del agua residual:

LODOS CRUDOS	LODOS PRIMARIOS	LODOS BIOLÓGICOS	LODOS QUÍMICOS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cuando el fango no ha sido tratado, ni estabilizado y puede ser extraído de manera directa de los tanques de sedimentación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se genera a partir de decantación primaria por sedimentación que es la separación por gravedad de sólidos en suspensión.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se produce en la estación de depuración de aguas residuales y son separadas por decantación secundaria.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se generan cuando hay tratamientos químicos o físico-químicos, se produce por la adición de sales de hierro, aluminio o cal.</li></ul>

**Tabla 4** Clasificación de los lodos según la etapa del tratamiento de agua residual

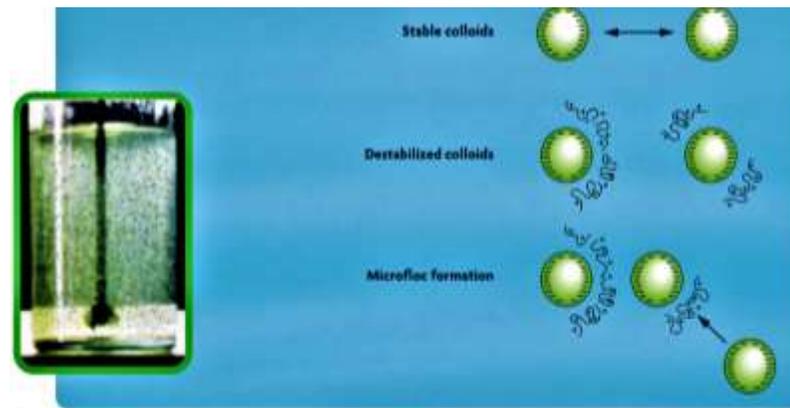
**Fuente:**(Villarreal & Gregorio, 2018)

#### 2.4 Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (TPMQ)

Adriana Palomino afirmó que “ El TPMQ o también conocido como tratamiento primario avanzado es un sistema que busca aumentar la tasa de sedimentación gravitacional y la eficiencia de remoción de contaminantes en el tratamiento primario de aguas residuales, mediante la adición de pequeñas dosis de sustancias químicas, generalmente sales metálicas como coagulante y/o polímeros en forma de polielectrolitos orgánicos (Palomino Escobar, 2016).

### 2.4.1 Coagulación

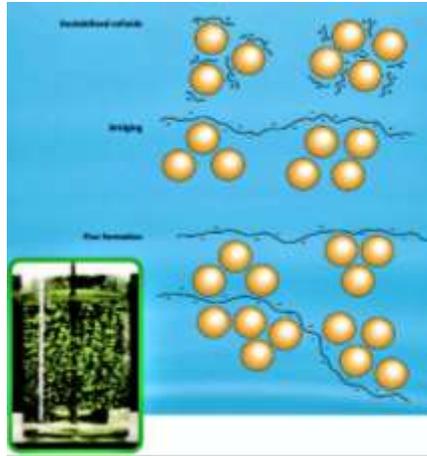
Se agregan al agua sustancias químicas coagulantes con cargas opuestas a las de los sólidos suspendidos para neutralizar las cargas negativas en sólidos no separables (como la arcilla y la producción de color-sustancias orgánicas). Una vez que la carga se neutraliza, las pequeñas partículas suspendidas son capaces de pegarse entre sí. Estas partículas ligeramente más grandes se llaman microflocs y no son visibles a simple vista.



**Ilustración 5** Esquema del mecanismo de coagulación  
**Fuente:** SNF FLOERGER (n.y.)

### 2.4.2 Floculación

La floculación es la separación de una solución, comúnmente la eliminación de sedimentos de un fluido. El término se deriva de floc, que significa material coloidal aglutinado; y cuando una solución ha sido floculada, el sedimento se ha formado en agregados coloidales más grandes, haciéndolos más fáciles de ver y eliminar. Este proceso ocurre naturalmente, o también puede ser forzado usando floculantes y / o procesos físicos.



**Ilustración 6** Esquema del mecanismo de floculación  
**Fuente:** SNF FLOERGER (n.y.)

## 2.5 Tratamiento de Lodos

Existe una variedad de tratamientos para estos lodos hasta lograr su estabilización. Los métodos de tratamiento más usados son:



**Tabla 5** Métodos para el tratamiento de lodos

**Fuente:** (Vásconez G.,M.Sc., 2003)

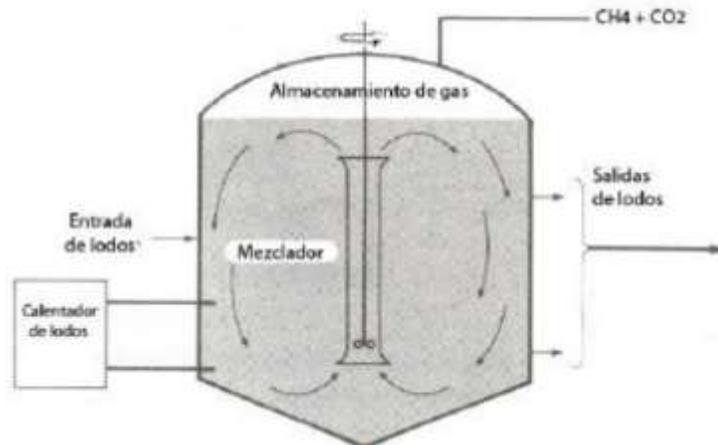
La forma más general de tratar lodos residuales es por medio de la digestión anaeróbica y lechos de secado ya que son económicamente accesible comparado con los otros métodos (tabla 5). Este último es más económico debido a su bajo costo de instalación y mantenimiento, sin embargo, requiere de áreas extensas para deshidratar el lodo además de tener baja eficiencia en remoción de contaminantes biológicos. Por otro lado, el proceso de digestión anaerobia logra una alta remoción de cargas orgánicas caracterizándose por ser una gestión continua, sostenible y eficiente de los residuos donde la producción de

biogás, sirve como biocombustible a partir del cual se obtiene energía eléctrica y térmica contribuyendo así a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero al evitar la emisión de metano a la atmósfera, por los procesos de degradación natural. Además, una vez tratado este lodo se puede utilizar para la mejora de la calidad de los suelos, relleno o reutilizar el lodo tratado en aplicaciones como agricultura, puesto que contienen una cantidad importante de nutrientes y micronutrientes necesarios para los cultivos agrícolas («DIGESTIÓN ANAEROBIA | Pural», s. f.).

Según el Yáñez, (2010) la digestión anaeróbica tiene como propósito principal la transformación del lodo a un estado estable.” Esto significa que esta 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, Ph. D., 2010).

### **2.5.1 Biodigestor anaerobio**

En la Ilustración 7 se muestra un esquema de un *biodigestor anaerobio* convencional que son recipientes herméticos que tienen como objetivo mantener el lodo en ausencia de oxígeno para lograr que se conserven las condiciones adecuadas que permitan el crecimiento de los microorganismos formadores de metano. Un desafío importante para usar la digestión anaerobia para tratar el lodo es la tasa de crecimiento más lenta de los organismos anaerobios. Las tasas de crecimiento lento de los microorganismos generalmente se compensan con modificaciones del proceso, como el aumento de la temperatura de digestión (típicamente 35 ° C) y el alargamiento de los tiempos de retención (típicamente entre 10 y 30 días) de microorganismos.



**Ilustración 7** Proceso de Digestor anaeróbico convencional

**Fuente:** («Complete Guide anaerobic digester», 2017)

En un digestor anaeróbico típico, el tiempo de retención de sólidos (TRS) y el tiempo de retención hidráulica (TRH) son los mismos. El TRH se define como el tiempo promedio que el líquido pasa en el digestor, mientras que el TRS se refiere al tiempo promedio que los microorganismos son retenidos en el reactor. El TRS debe ser lo suficientemente largo como para permitir el tiempo adecuado para que los organismos críticos crezcan y maduren para la digestión completa de la materia orgánica compleja. En tiempos de retención cortos, las bacterias metanogénicas se retirarán del digestor más rápido de lo que pueden reproducirse. Los tiempos de detención inferiores a 10 días darán como resultado un lavado significativo de bacterias metanogénicas. En un digestor convencional, el TRS es controlado por el volumen del digestor. Para aumentar el tiempo que los microorganismos tienen para digerir el material orgánico (TRS), el volumen de un digestor convencional debe incrementarse, lo que resulta en mayores costos de capital y operación.

Según (Núñez Gavilánez, 2019) 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 ni mezcla de su contenido y su tiempo de retención esta entre 30 a 60 días.

Por otro lado, el sistema tratado en este documento hace referencia a digestores de alta carga, estos pasan por un proceso de calentamiento y de mezclado completo. El tiempo de retención es menor a 15 días generalmente.

El lodo crudo que ingresará a este biodigestor de alta carga deberá pasar por el proceso de espesamiento que es utilizado en los centros de tratamiento de aguas residuales para aumentar la concentración de sólidos y disminuir el agua libre teniendo así un volumen de lodos manejable. Este paso minimiza la carga en los procesos posteriores, como la deshidratación de lodos y la digestión.

“Este tipo de digestor anaerobio de alta carga está siendo implementado por primera vez en Ecuador en el proyecto *LAS ESCLUSAS*, para su disposición final o la reutilización provechosa de los biosólidos que se generan en el proceso del tratamiento de aguas residuales, se prevé el desarrollo de los procesos de espesamiento, digestión anaerobia y deshidratación primaria de lodos antes de ser entregados al relleno sanitario. El digestor anaerobio se encargará de estabilizar los lodos primarios del proceso de espesamiento. El proyecto incluye un sistema de gestión de biogás, el gas metano producido en el proceso de digestión anaeróbica se utilizará como combustible para generar electricidad que se utilizará in-situ. Los nuevos motores de cogeneración se instalarán con todo el equipo auxiliar requerido de gas metano” (EMAPAG-EP, s. f.).

En este documento se busca determinar los parámetros de operación necesarios en el biodigestor para garantizar el comportamiento óptimo de los microorganismos presentes en el tratamiento de lodos por el método de digestión anaerobia de alta tasa en la planta piloto para proyectar los resultados de su eficiencia en la PTAR de las Esclusas.

A continuación, en la tabla 6, se encuentran caracterizados cada uno de los procesos de tratamiento del agua y lodos residual.



**Ilustración 8** Construcción del digester anaerobio "Las Esclusas"

**Fuente:** (Soria, 2019)

Nombre	Descripción Cuantitativa
Pre-tratamiento	1.- Cámara Aireada: Una cámara mezcladora con aireación a través de difusores de burbuja gruesa. 2.- Cámara Cribadora: Cuatro canales de rejillas, rejillas gruesas (8 mm) y finas (6 mm). 3.- Desarenador tipo Vórtice: Tres unidades diseñados para un caudal pico de 3.07 m <sup>3</sup> /seg.
Tratamiento Primario	1.- Mezcla rápida, dos unidades, tiempo de retención 40 segundos, entre 300 y 500 seg <sup>-1</sup> . 2.- Tanques de Pre-aireación y floculación, dos unidades tiempo de retención de 17 minutos. Los mezcladores serán mecánicos. 3.- Clarificadores Primarios.- Tres unidades 52,5 m de diámetros, 5 m de profundidad.
Digestores de Lodos	1.- Espesadores por Gravedad.- Dos unidades 13 m de diámetro. 2.- Rejillas Finas de Filtración de Lodos.- Dos unidades con ranuras de 2mm. 3.- Digestores.- Dos tanques en servicio con tiempo de retención de 15 días. Volumen de cada unidad 5000m <sup>3</sup> . 4.- Deshidratación de Sólidos.- Dos prensas de banda en servicio de 3 m de ancho. Los sólidos se deshidratarán 35 horas a la semana, durante 5 días. 5.- Biofiltros para Control de Olores.- Una unidad de 4.400 m <sup>2</sup> .
Desinfección	Hipoclorito de sodio in situ, con tiempo de retención 43 minutos a 3.7m <sup>3</sup> /s.
Emisario	Diámetro 2400 mm, 15 difusores con sección vertical de 900 mm, con difusores laterales tipo "Tideflex" de 600 mm.

**Tabla 6** Características de la PTAR

**Fuente:** (EMAPAG-EP, s. f.)

### **2.5.1.1 Aspectos operativos y de mantenimiento de un biodigestor anaerobio**

En primer lugar, la ignorancia o el miedo desconocido al manejo del digestor anaeróbico debe eliminarse para que el funcionamiento de este sistema sea exitoso. Si bien las reacciones bioquímicas dentro del digestor son complejas, concurrentes y, si no están reguladas, se vuelven contraproducentes, lo que resulta en un agrietamiento o apagado del digestor.

Para poder controlar las actividad microbiológica y las condiciones ambientales, se dará un procedimiento detallado enfocado a los principios subyacentes que afectan directamente al rendimiento del biodigestor anaerobio (Jain R&D, 2013).

### **PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR**

- **SUSTRATO:** La elección de un sustrato depende de la disponibilidad, su costo, facilidad de manejo, seguridad para los operadores, almacenamiento y requisitos de alimentación.
- **INÓCULO:** La siembra del digestor calentado a 35 ° C con lodo residual puede ser útil ya que contiene un consorcio de microbios para realizar actividades desde la hidrólisis, la acidogénesis y la acetogénesis hasta la metanogénesis. Alternativamente, se puede usar un inóculo que comprende lodo secundario: lodo primario. Mientras que el lodo secundario está altamente concentrado con anaerobios facultativos, el lodo primario contiene anaerobios facultativos y anaerobios formadores de metano. Por lo tanto, es obvio que el digestor anaeróbico no se puede sembrar con éxito solo con lodo secundario. Una vez que un digestor anaeróbico ha comenzado a funcionar de manera eficiente, puede alimentarse solo con lodo secundario. Durante el arranque o cuando la eficiencia del digestor se deteriora, se agrega diariamente la cantidad requerida de lodo crudo, hasta que se obtiene un arranque exitoso y se mejora la eficiencia.
- **CARGA:** Durante el arranque, la carga al digestor debe continuar lentamente. Mientras lo hace, es esencial un cuidadoso monitoreo y control del pH, así como

de la alcalinidad, hasta que el digestor alcance el pH en un rango de 6.8-7.2. Para este propósito, se podrían agregar diferentes álcalis para mantener el pH deseado, la alcalinidad y la capacidad de amortiguación para neutralizar los ácidos dentro del digestor.

- CONSEJOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL PH Y LA ALCALINIDAD:  
Cuando el pH del digestor es 7.2 o inferior, se favorece el  $\text{NH}_4^+$  y cuando el pH del digestor es superior a 7,2, se favorece el  $\text{NH}_3$ . La concentración de nitrógeno amoniacal por encima de 1500-3000 mg / litro no solo es inhibitoria; además crea un problema adicional de generación de espuma y espuma.
- ESTABILIDAD DEL DIGESTOR: Se requiere aproximadamente un mes para lograr un digestor en estado estacionario. Una vez que el digestor se estabilice, controla la relación de alcalinidad.
- ALIMENTACIÓN DE FANGOS: También conocida como la tasa de carga orgánica (TCO) se expresa en términos de sólidos volátiles (SV). Típicamente, es 0.5–0.6 kg SV/ m<sup>3</sup> / día y la carga recomendada es 3.2–7.2 kg SV / m<sup>3</sup> / día. El espesamiento del lodo es un factor operacional importante que afecta el rendimiento del digestor. El lodo crudo o lodo de alimentación, que tiene 3–6% de sólidos, reduce la destrucción de sólidos volátiles, así como la producción de metano. El lodo digerido y el sobrenadante se extraen del digestor de forma rutinaria para usarse como estiércol orgánico líquido.
- PROBLEMAS OPERATIVOS COMUNES: Bombeo excesivo de lodo crudo y la extracción excesiva del lodo digerido. Para evitar / minimizar estos problemas, se deben considerar dos tiempos de retención significativos:

1. El tiempo de retención sólido (TRS)

2. El tiempo de retención hidráulica (TRH)

La TRT suele ser mayor de 12 semanas. Los valores altos de SRT son ventajosos ya que maximizan la capacidad de eliminación de lodo, reducen el volumen de digestor requerido y proporcionan capacidad de

amortiguación para cargas de choque y compuestos tóxicos en aguas residuales y lodos. La aclimatación biológica a compuestos tóxicos permite una reducción significativa de DBO / DQO minimiza las fluctuaciones en respuesta a los tóxicos y maximiza la producción de biogás.

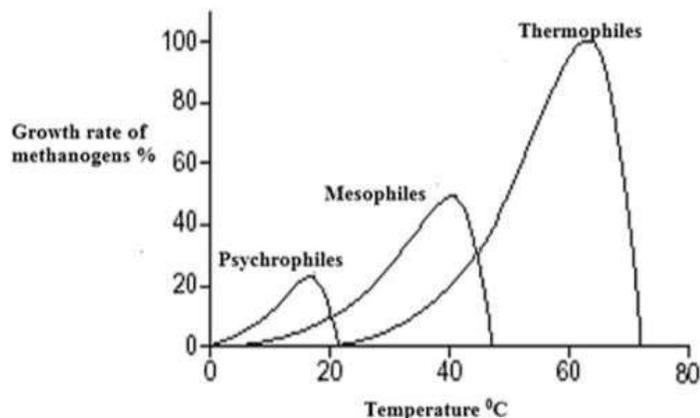
#### PARAMETROS DE OPERACIÓN

A continuación, nombraremos los factores de diseño técnico necesarios para que el sistema de tratamiento anaeróbico sea eficiente. Existen diversos factores que pueden afectar al proceso, se puede dividir en factores básicos y factores ambientales.

Dentro de la configuración del proceso del biodigestor anaerobio se encuentran factores ambientales como la temperatura y el PH, estos serán detallados a continuación:

➤ **TEMPERATURA:** Es una de las condiciones más importantes que afectan la velocidad de reacción en la digestión de lodos. El control de la temperatura es bastante crítico ya que de ello depende el desarrollo óptimo de estos microorganismos teniendo como resultado una remoción de contaminantes eficiente en la PTQM. 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 9** Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia

**Fuente:** Texto Tecnología Anaeróbica

De forma recurrente existen problemas de mantenimiento de la temperatura óptima / uniforme del digester y, en segundo lugar, una mezcla inadecuada crea bolsas localizadas de variación en la temperatura. En caso de que el digester se ejecute usando anaerobios termofílicos, afectan negativamente al rendimiento del digester debido al bajo crecimiento bacteriano, y alta tasa de mortalidad endógena de otras bacterias y, en consecuencia, falta de microbios.

- **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 (Pratima Bajpai, n.d.).

Tomando como ejemplo a las bacterias formadoras de metano se destaca que son estrictamente anaeróbicas, es decir pequeñas cantidades de oxígeno afectan su multiplicación y por ende reduce la eficiencia del tratamiento. La temperatura idónea es de 35 °C y es un factor base ya que depende de este la capacidad de reproducción, normalmente tiene un intervalo de multiplicación que varía de 2 a 22 días. Estos organismos 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.

Dentro de los *factores básicos* que se encuentran las variables tales como la presencia de microorganismos y la disponibilidad de alimento (sustrato), los procesos que nombraremos a continuación engloban estos factores que permiten manejar el proceso y controlar las reacciones que se producen al interior del reactor.

- SISTEMA DE LOTE: Consiste en agregar residuos/lodos al digestor desde el principio y sellarlo todo el tiempo que dure el proceso. Típicamente, la producción de biogás forma un patrón de distribución normal, por lo tanto, el operador puede determinar cuándo se ha completado el proceso de digestión; sin embargo, sufre graves problemas de olor durante el vaciado.
  
- CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO: Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, es decir, el oxígeno para ellas constituye un elemento tóxico. No obstante, dado que en general todos los procesos se realizan en un solo reactor y las poblaciones bacterianas encargadas de las distintas etapas cohabitan, en caso de producirse ingreso de oxígeno al reactor, éste puede ser consumido por las bacterias hidrolíticas y acidogénicas ya que éstas son anaerobias facultativas (pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno).
  
- CONTENIDO DE SÓLIDOS: Por lo general, los digestores están diseñados para funcionar ya sea con alto contenido sólido [sólidos suspendidos totales (SST) mayor que 20%] o bajo contenido sólido (donde SST es inferior al 15%). Para digestores con alto contenido de sólidos, el requerimiento de tierra es menor debido a la densidad lodos y volúmenes netos menores. También requiere más aporte de energía para procesar la materia prima. Por el contrario, los digestores con bajo contenido de sólidos transportan desechos utilizando las bombas que requieren un aporte de energía significativamente menor, alcanzan circulación completa de desechos y su contacto íntimo con población bacteriana, proporcionando una mayor eficiencia de salida. Sin embargo, requieren un área de tierra mayor que la requerida por digestores sólidos debido al aumento en los volúmenes.
  
- COMPLEJIDAD: Un digestor de una sola etapa (una fase) es uno en el que todas las reacciones bioquímicas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) ocurren dentro del ambiente del biodigestor que ha sido sellado. Si bien ofrece el beneficio de un menor costo de construcción, ordena menos

control sobre las reacciones que ocurren dentro del biodigestor. Dado que los microbios involucrados en estas reacciones son diferentes, su pH óptimo es ácido o alcalino y sus necesidades fisiológicas para un mejor rendimiento difieren significativamente, los digestores de una etapa invariablemente se desempeñan debajo nivel óptimo, lo que resulta en menos producción de biogás o menos % de metano en el mismo.

- NUTRIENTES: Existen diferencias significativas en el requisito de nutrientes entre microorganismos aerobios y anaerobios, una carencia en un nutriente puede provocar una disminución en la actividad microbiana y, por ende, en la velocidad de producción de metano. Los nutrientes críticos son debido a los sistemas enzimáticos únicos necesarios por bacterias formadoras de metano. En la conversión de acetato a metano se requiere, cobalto (Co), hierro (Fe), níquel (Ni), azufre (S), selenio (Se), y molibdeno (Mo). Los micronutrientes adicionales son bario (Ba), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na). Los requerimientos de macronutrientes para procesos anaeróbicos son mucho más bajos que los requisitos para procesos aeróbicos debido al menor rendimiento celular ya que solo del 4 al 10% del La DQO eliminada es biomasa convertida.

El nitrógeno y el fósforo están disponibles para procesos anaerobios, procesos como nitrógeno amónico ( $\text{NH}_4^+$ ) y orto fosfato ( $\text{HPO}_4^-$ ), su cantidad necesaria para satisfacer un digestor aceptable puede determinar el rendimiento, considerando un residuo adecuado de concentraciones de nutrientes solubles en el efluente del digestor. Generalmente se recomiendan valores residuales de 5 mg / litro de  $\text{NH}_4^+$  y 1–2 mg / litro de  $\text{HPO}_4^-$ . La ausencia de nutrientes residuales significa que se deben agregar nutrientes.

- CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA (COV): Este parámetro muestra la cantidad de materia orgánica que puede tratar el reactor por unidad de volumen. Considerando que la carga orgánica es el producto del caudal por la concentración de la materia orgánica expresada en DQO (Elba Vivanco, 2016).

- VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA (VCO): Indica la cantidad de materia orgánica con que se alimenta el reactor, por unidad de tiempo (día) y por unidad de volumen del reactor. Considerando que el parámetro Sólidos Volátiles (SV) equivale a la materia orgánica contenida en un sustrato (Elba Vivanco, 2016).
- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICO (TRH): Este parámetro muestra el tiempo promedio que los sustratos permanecen en el reactor, cuando se tienen procesos de flujo continuo. En general el sustrato está en condiciones de humedad que permite asumir aditividad de los volúmenes (Elba Vivanco, 2016).
- GRADO DE MEZCLA DEL REACTOR: La actividad biológica depende fuertemente del contacto que tengan los microorganismos con la materia orgánica contenida en el sustrato. Por esta razón, debe asegurarse una mezcla suficiente del sustrato recién ingresado con el sustrato ya parcialmente digerido, que contiene la población bacteriana. Para asegurar una mezcla suficiente y evitar la separación de las poblaciones bacterianas, la práctica común es utilizar agitadores de rotación lenta y mezclas discontinuas a intervalos de tiempo. También puede realizarse una agitación local que provoque la mezcla lenta del sustrato en el reactor a través de la generación de corrientes de flujo (uso de agitadores). En general la mezcla no es intensiva, pero si lo suficiente para asegurar la mezcla completa (Elba Vivanco, 2016).

## 2.6 Proceso de la digestión anaeróbica

El Dr. Fabián Yáñez describe el proceso de digestión por medio de dos etapas:

La *primera etapa* denominada como **fermentación ácida (licuefacción)**, en la que actúan microorganismos saprofíticos facultativos productores de ácido que degradan las moléculas complejas tales como proteínas, carbohidratos y las convierten en productos más simples (monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos).

La *segunda etapa* es **metanogénesis** que hace referencia a la fermentación del metano donde los microorganismos responsables son denominados formadores de metano ya que usa los productos intermedios de la fermentación ácida para producir metano y dióxido de

carbono entre otros gases, pero en cantidades reducidas.

*El artículo académico (Ali Shah, Mahmood, Maroof Shah, Pervez, & Ahmad Asad, 2014) publicado por The Scientific World Journal explica las Etapas de la degradación anaeróbica de los residuos orgánicos.*

La microbiología de la transformación anaeróbica de desechos orgánicos es un proceso que involucra muchas especies bacterianas diferentes, como las bacterias hidrolíticas, formadoras de ácido, acetogénicas y metanogénicas que producen CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> como los principales productos del proceso de digestión. Una característica específica de la digestión de metano es su eliminación gradual. Cada uno de ellos explica la degradación de un tipo diferente de compuestos.

### *Hidrólisis*

Durante la hidrólisis de los compuestos orgánicos polimerizados o complejos, en su mayoría insolubles, como carbohidratos, proteínas, y grasas se descomponen en monómeros y dímeros solubles. Esta etapa de la metanogénesis pasa a través de enzimas extracelulares del grupo de hidrolasas (amilasas, proteasas y lipasas) producidas por cepas apropiadas de bacterias hidrolíticas. Durante la digestión de desechos sólidos, solo el 50% de los compuestos orgánicos sufren biodegradación. La hidrólisis es llevada a cabo por bacterias del grupo de anaerobios relativos de géneros como Streptococcus y Enterobacterium.

### *Acidogénesis*

Durante esta etapa, las bacterias acidificantes convierten las sustancias químicas solubles en agua, incluidos los productos de hidrólisis, en ácidos orgánicos de cadena corta (fórmico, acético, propiónico, butírico y pentanoico), alcoholes (metanol, etanol), aldehídos, dióxido de carbono y hidrógeno. De la descomposición de las proteínas, surgen aminoácidos y péptidos, que pueden ser una fuente de energía para los microorganismos anaeróbicos. La acidogénesis puede ser bidireccional debido a los efectos de varias poblaciones de microorganismos. Este proceso se puede dividir en dos tipos: hidrogenación y deshidrogenación. La ruta básica de las transformaciones pasa a través de acetatos, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, mientras que otros productos de la acidogénesis desempeñan un

papel insignificante. Como resultado de estas transformaciones, los metanógenos pueden usar directamente los nuevos productos como sustratos y fuente de energía. La acumulación de electrones por compuestos como el lactato, etanol, propionato, butirato y ácidos grasos volátiles más altos es la respuesta bacteriana a un aumento en la concentración de hidrógeno en la solución. Los nuevos productos no pueden ser utilizados directamente por bacterias metanogénicas y deben convertirse por bacterias obligatorias que producen hidrógeno en el proceso llamado acetogénesis. Entre los productos de acidogénesis, amoníaco y sulfuro de hidrógeno que dan un intenso olor desagradable a esta fase del proceso. Las bacterias de fase ácida que pertenecen a los anaerobios facultativos usan oxígeno introducido accidentalmente en el proceso, lo que crea condiciones favorables para el desarrollo de anaerobios obligatorios de los siguientes géneros: Pseudomonas, Bacillus, Clostridium, Micrococcus o Flavobacterium.

### *Acetogénesis*

En este proceso, las bacterias acetato, incluidas las de los géneros Syntrophomonas y Syntrophobacter, convierten los productos de la fase ácida en acetatos e hidrógeno que pueden ser utilizados por las bacterias metanogénicas. Como resultado de la acetogénesis, se libera hidrógeno, que presenta efectos tóxicos sobre los microorganismos que llevan a cabo este proceso. Por lo tanto, es necesaria una simbiosis para las bacterias acetogénicas con bacterias metotróficas autótrofas que utilizan hidrógeno, en lo sucesivo denominada sintrofia . La acetogénesis es una fase que representa la eficiencia de la producción de biogás, ya que aproximadamente el 70% del metano surge en el proceso de reducción de acetatos. En consecuencia, los acetatos son un producto intermedio clave del proceso de digestión con metano. En la fase de acetogénesis, aproximadamente el 25% de los acetatos se forman y aproximadamente el 11% de hidrógeno se produce en el proceso de degradación de residuos.

### *Metanogénesis*

Esta fase consiste en la producción de metano por bacterias metanogénicas. El metano en esta fase del proceso se produce a partir de sustratos que son productos de fases previas, es decir, ácido acético, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y formato y metanol, metilamina o sulfuro de dimetilo.

A pesar del hecho de que solo unas pocas bacterias son capaces de producir metano a partir del ácido acético, una gran mayoría de los CH<sub>4</sub> que surgen en el proceso de digestión del metano resultan de las conversiones de ácido acético por las bacterias heterótrofas del metano. Solo el 30% del metano producido en este proceso proviene de la reducción de CO<sub>2</sub> llevada a cabo por las bacterias metotrópicas autótrofas. Durante este proceso. El H<sub>2</sub> se consume, lo que crea buenas condiciones para el desarrollo de bacterias ácidas que dan lugar a ácidos orgánicos de cadena corta en la fase de acidificación y, en consecuencia, a una producción demasiado baja de H<sub>2</sub> en la fase acetogénica. Una consecuencia de tales conversiones puede ser un gas rico en CO<sub>2</sub>, porque solo su parte insignificante se convertirá en metano.

#### 2.6.1.2 Cooperación de Microorganismos de Proceso de Fermentación de Metano

Las conversiones de compuestos orgánicos complejos a CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> son posibles gracias a la cooperación de cuatro grupos diferentes de microorganismos y se presentan en la Tabla 7. Estos microorganismos se pueden contar entre las bacterias de fermentación primaria, las bacterias de fermentación secundarias (bacterias sintróficas y acetogénicas), y dos Tipos de metanógenos pertenecientes al dominio Archaea.

<i>Microorganismos</i>	<i>Producto</i>	<i>Tipo de reacción</i>
Bacterias Fermentativas	CO <sub>2</sub>	Fermentación
Bacterias Sintróficas	H <sub>2</sub>	Ácidogenesis
Bacterias Acetogénicas	CH <sub>3</sub> COOH	Acetogenesis
Bacterias Metogénicas	CH <sub>4</sub>	Metanogenesis

**Tabla 7** Cooperación microbiana en la degradación de la materia orgánica.

**Fuente:** (Ali Shah et al., 2014)

Estos microorganismos se encuentran en el medio natural y cumplen varias funciones durante el proceso de degradación anaeróbica de los desechos. La sintrofia es una forma de simbiosis de dos grupos de bacterias metabólicamente diferentes, que permite la degradación de diversos sustratos.

## 2.7 Fundamentación Técnica-Legal

Para crear nuevas normativas en otros países, se ha utilizado de referencia los estudios americanos dados por US EPA, denominado Guide to the Part 503 Rule. Sin embargo, debido a las diferencias culturales, los niveles tecnológicos, entre otros factores influyentes entre Ecuador y Estados Unidos se determina que no se pueden usar como referencia las normativas dadas por US EPA.

Por ello para realizar el análisis de los microorganismos los resultados de las mediciones de Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Escherichia Coli, Hongos y Levaduras son comparados con la normativa de países como México, Chile, Colombia y Perú que tienen características culturales y geográficas similares a la nuestra.

Dentro de la norma Mexicana, Chilena y Colombiana se establecen las mismas especificaciones y límites máximos en cuanto a los indicadores bacteriológicos, en este documento nos regiremos con la norma Mexicana ya que su unidad de medida es de uso universal.

### NORMAS PARA LA GESTIÓN DE LOS LODOS

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL. - LODOS Y BIOSÓLIDOS.-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

#### Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos de	Parásitos
	Coliformes fecales (NMP/g en base seca)	Salmonella spp (NMP/g en base seca)	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 <sup>(a)</sup>
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

<sup>(a)</sup> Huevos de helmintos viables. NMP Número más probable.

**Tabla 8** Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en los lodos

**Fuente:** (Diario Oficial de la Federación, 2013)

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla 9 y su contenido de humedad hasta el 85%.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"><li>• Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación</li><li>• Los establecidos para las clases B y C</li></ul>
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"><li>• Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación</li><li>• Los establecidos para la clase C</li></ul>
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none"><li>• Usos forestales</li><li>• Mejoramiento de suelos</li><li>• Usos agrícolas</li></ul>

**Tabla 9** Aprovechamiento de biosólidos

**Fuente:** (Diario Oficial de la Federación, 2013)

Además, se toma las especificaciones de la norma Peruana que es la única que hace referencia a la E. Coli como indicador de contaminación fecal y parámetro de higienización del biosólido.

*NORMA LEGAL PERUANA ARTICULO 14; PARAMETROS DE HIGIENIZACION, PROTECCIÓN AMBIENTAL.*

Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/ 1g ST o <i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP / 10g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección B del Anexo N° II.
Indicador de Huevos de Helmintos	Huevos viables de Helmintos < 1 / 4g ST o Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

**Tabla 10** Parámetros de higienización de biosólidos  
**Fuente:** (El Peruano, 2017)

Según el DECRETO SUPREMO N° 015-2017-VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO: “El biosólido de **Clase A** destinado para su reaprovechamiento como acondicionador de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos. De manera enunciativa y no limitativa, puede ser reaprovechado en las siguientes actividades:

- Acondicionamiento de suelos para agricultura, pastos y forrajes, excepto la aplicación directa a los cultivos de vegetales y frutas rastreras de consumo crudo.
- Mejoramiento de suelos y áreas verdes urbanas con acceso restringido a la población en un periodo no menor a siete (7) días.
- Aplicación en las áreas destinadas para el biosólido de Clase B.
- Comercialización a empresas productoras de insumos de usos agrícolas, que se encarguen de producir compost, humus u otros productos con fines de acondicionamiento del suelo. Comercialización a empresas del sector privado que tengan como objeto social la producción, comercialización y/o disposición final de biosólidos.
- Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.

El biosólido de Clase B está destinado para su reaprovechamiento en suelos que excluyen el riesgo de contacto con la población y actividades ganaderas. Este biosólido puede ser reaprovechado únicamente en las siguientes actividades:

- Fines agrícolas y/o forestales para plantas de tallo alto y que son procesados para su comercialización (cultivo de café y cultivos para la producción de fibra y madera).
- Recuperación de áreas degradadas ubicadas a por lo menos 100 metros de distancia de pueblos y viviendas.
- Reforestación de suelos con acceso restringido a la población y/o animales por un periodo mínimo de treinta (30) días calendario a partir de la aplicación del biosólido.
- Material de cobertura final para rellenos sanitarios, rellenos de seguridad o canchas de relaves con fines de reforestación o siembra de otros cultivos.
- Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos. “ (El Peruano, 2017)

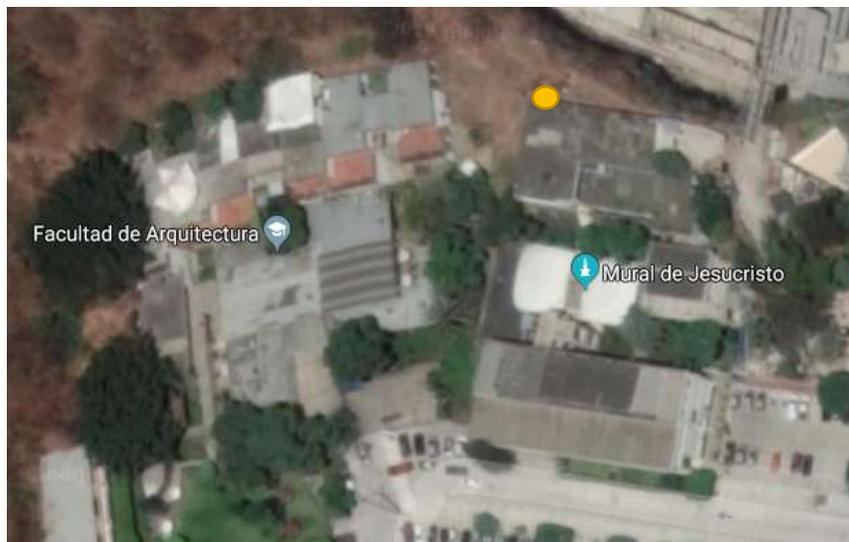
## CAPITULO 3

### 3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

La parte práctica de este trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil con el objetivo de evaluar la microbiología en los lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo CEPT, de modo que sirva para mantener los parámetros requeridos en la operación y manteniendo del biodigestor generando como resultado una eficiencia aceptable del sistema.

#### 3.1 Instalación de la planta piloto

Se realizó la instalación de la planta piloto tomando como referencia la tesis del estudiante Jaime Núñez, esta se encuentra dentro de las instalaciones de la UCSG a lado de la facultad de arquitectura atrás de la facultad de Ingeniería.

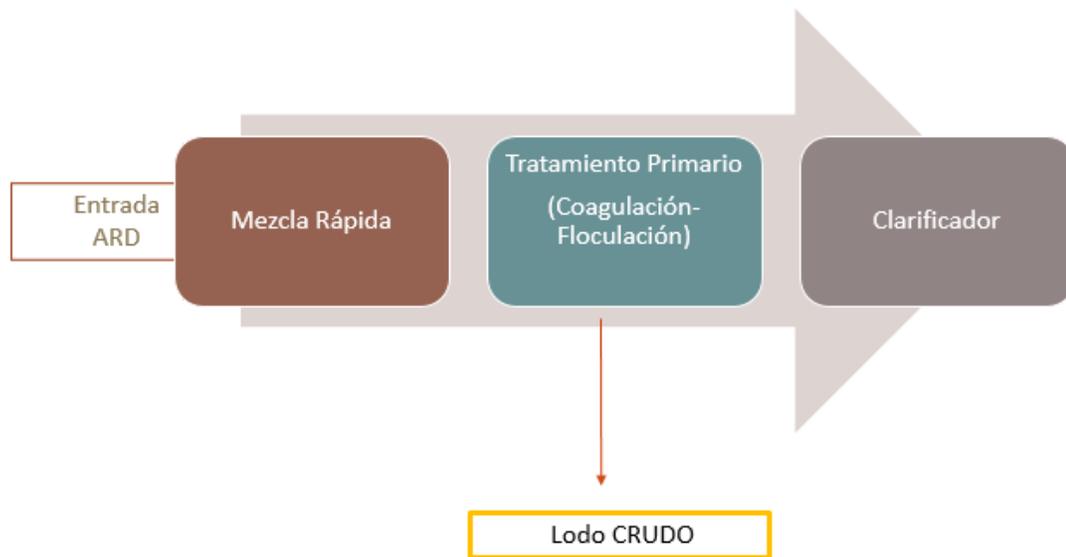


**Ilustración 10** Ubicación de la planta piloto

**Fuente:** Google Earth

La planta piloto usa una bomba de 1hp de potencia para poder extraer el agua residual domestica (ARD) que proviene de una caja de alcantarilla de aguas servidas conectada a

los baños de la Facultad de Ingeniería de la UCSG, esta ARD pasa por medio de una tubería de media pulgada hasta llevarlo al primer tanque que es conocido como mezcla rápida donde se añadirá el cloruro férrico y el polímero aniónico para después pasar al tanque primario conocido como el de coagulación y floculación donde se realizara la sedimentación por gravedad, por último el agua pasara al clarificador cumpliendo así con el tratamiento de agua residual mediante el CEPT. A continuación, se muestra un esquema del funcionamiento de la planta piloto tipo CEPT/TPQM:



**Ilustración 11** Funcionamiento de la planta piloto

**Fuente:** Autor

### **3.2 Dosificación de cloruro férrico y polímero aniónico**

Según el estudiante Jaime Núñez 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. Y la dosificación de polímero aniónico al 1% es de 0,15 mg/l.

### **3.3 Recolección de los lodos residuales**

Debido a la correcta dosificación del cloruro férrico se formaron flóculos que descendieron por gravedad, ya que el peso de las partículas facilitó el proceso de sedimentación. Se procedió a recolectar el lodo del fondo del tanque para posteriormente vaciarlo en una tela tipo filtro importada que tiene como objetivo reducir la cantidad de agua, logrando así un espesamiento óptimo para ser introducido en el digestor anaeróbico de alta tasa.

### **3.4 Digestor Anaeróbico**

El digestor anaeróbico seleccionado es de alta tasa, su material es de PVC lo que le otorga la capacidad de ser hermético e impermeable, tiene una altura y diámetro de 30cm con una capacidad de 20 litros. Cuenta con un sistema de mezcla de 60 vueltas/minuto que permite mayor interacción entre microorganismos/sustrato. El tratamiento del lodo dentro del digestor, por ser de alta tasa, tuvo un tiempo de mezcla de 12 días ya que según Yáñez un digestor de alta tasa puede tener tiempo de retención de 15 días o menos.

### **3.5 Muestras enviadas al laboratorio**

La muestra del lodo tratado fue enviada al laboratorio Grupo Químico Marcos el día 15 de agosto del presente año (2019), luego de 10 días de haber recibido las muestras el laboratorio realizó la entrega de resultados de las pruebas microbiológicas indicando los valores de los siguientes parámetros: Coliformes totales, coliformes fecales, escherichia coli, hongos y levaduras que posteriormente se compararon con la normativa respectiva.

### **3.6 Medición del Ph y la temperatura**

Al realizar la entrega de la muestra el laboratorista procedió a medir el pH y la temperatura (termómetro digital), estos parámetros fueron medidos en el lodo tratado provenientes del biodigestor anaerobia de alta tasa de 12 días con un resultado de 7,5 y 27,8 °C respectivamente.

La metodología empleada, abarca el análisis de la etiología bacteriana de procedencia patógena y no patógena mediante muestras de lodos, y determinación cuantitativa de indicadores de contaminación fecal.

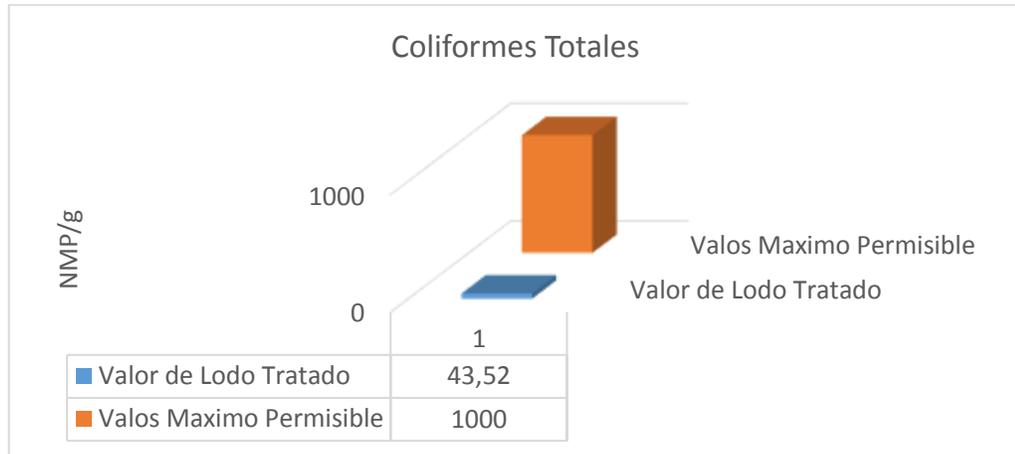
La investigación se reforzó con el método cuantitativo, debido a que es relevante para evaluar el lodo tratado, proveniente del biodigestor de alta tasa, por lo que se indagó el valor de los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos de lodos tratados en la normativa de países como México, Chile, Colombia y Perú que son los que tienen mayores similitudes geográficas y culturales con Ecuador, a partir de estos datos observados, se demostró un alto rendimiento del biodigestor, ya que los resultados de laboratorio de coliformes están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la norma, lo que significa que el biosólido puede tener uso forestal, para mejoramiento de suelo, entre otras aplicaciones urbanas, siempre y cuando no exista contacto directo durante su disposición. Cabe recalcar que los indicadores tratados en estas normativas hacen únicamente referencia a los coliformes fecales, y solamente la norma Peruana utiliza como indicador fecal la E. Coli; por tanto se ha realizado la búsqueda de documentos que tengan como dato los parámetros patógenos del lodo crudo, es ahí donde encontramos un índice de comparación para los coliformes totales. Dentro de esta investigación no se encontraron datos referenciales de, hongos y levaduras.

Por otra parte, se empleó el método inductivo, el cual permitió obtener conclusiones acerca de la eliminación de coliformes en el lodo a partir del Operón Lac, por medio de la degradación de los glúcidos complejos como la lactosa, de tal manera que se bloquea la síntesis de transcripción de proteína de los genes estructurales.

## CAPITULO 4

### 4. Análisis de Resultados

#### 4.1 Coliformes Totales

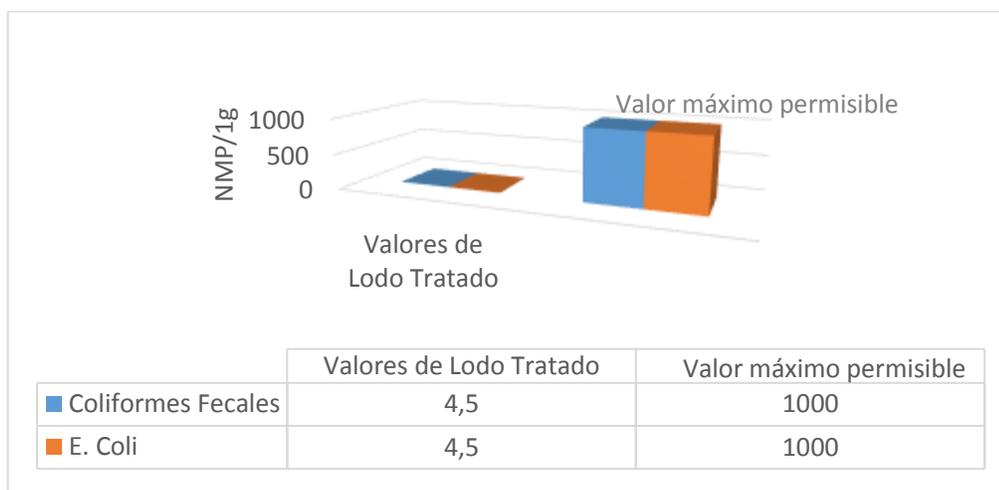


**Ilustración 12** Valores de Coliformes Totales

**Fuente:** Autor

Los coliformes totales representan la totalidad del grupo coliforme es decir aquellos con origen intestinal y de otras fuentes, en este caso se compara el valor de lodos crudos de coliformes totales que esta entre  $10^6$  y  $10^8$  NMP/g según (Morales, 2016), con los valores de lodo tratado de 43,52 NMP/g lo que significa que este tratamiento es efectivo para reducir el índice de coliformes totales. Un ejemplo claro es que si se plantea de entrada  $10^7$  NMP/g de coliformes totales en el lodo crudo y de salida 43,52 NMP/g para el lodo tratado significa que se tiene una eficiencia de remoción del 99,99% de coliformes, por tanto, se puede disponer del biosólido para su reaprovechamiento en agricultura o mejoramiento de suelos, haciendo uso de la respectiva protección ya que al contacto directo pueden ser perjudiciales para la salud, por la presencia de algunas cepas son toxicas de bacterias patógenas como salmonella, huevos de helmitos y la E. Coli.

## 4.2 Coliformes Fecales y Escherichia Coli



**Ilustración 13** Comparación de los valores de Coliformes Fecales y E. Coli según la normativa para la disposición de lodos.

**Fuente:** Autor

Para realizar la disposición del lodo proveniente del biodigestor de alta tasa durante el periodo de 12 días hay que realizar las respectivas comparaciones de los valores de salida del lodo tratado con los valores requerido en la normativa , como resultado se obtuvieron valores de coliformes fecales menores a los máximos permisibles según la norma Mexicana, como se muestra en la Ilustración 13, lo cual significa que está dentro de las especificaciones para darle su correcto aprovechamiento catalogándolo como suelo de clase B, es decir que se puede usar en zonas urbanas, pero sin contacto directo durante su aplicación como lo indica la normativa. A su vez encontramos la norma Peruana que toma en consideración el Indicador de contaminación fecal denominado E. Coli con un valor de 3,5 NMP/1g que se encuentra por debajo del límite especificado por la norma de 1000 NMP/1g, catalogando este biosólido como Clase A destinado para su reaprovechamiento como acondicionador de suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos, sin embargo debido a que estos microorganismos son propensos a desarrollar infecciones, al realizar la disposición final de los lodos o el laboreo posterior de los suelos podría producir una posible contaminación directa del personal implicado

en estos procesos mediante contacto directo a través de la piel o la adquisición por vía oral de alguno de los patógenos presentes en estos lodos, por lo que se recomienda el uso de materiales de protección pertinentes.

Estos resultados determinan que el método de la digestión anaerobia de alta tasa es muy eficiente en cuanto a estos parámetros se refiere, debido a que la *E. coli* al ser un subgrupo de las coliformes fecales presentan una estructura similar, por lo tanto, el proceso de inhibición generado por el biodigestor de alta tasa en estas bacterias es el mismo.

Una vez generadas un ecosistema estable dentro del digestor las bacterias mesófilas empiezan a fermentar los sustratos, es decir el lodo no tratado o materia orgánica compleja compuesta aproximadamente por el 65% de carbohidratos donde encontramos moléculas complejas (oligosacáridos), lactosa, la cual va ser descompuestas por las bacterias ya antes mencionadas. Estas bacterias mesófilas por medio de la enzima fermentativa realiza el proceso de hidrólisis que transforma la lactosa en moléculas simples, glucosa y galactosa, generando la inhibición del Operón Lac, ya que, en ausencia de lactosa, el gen regulador va a transcribirse y generar una proteína represora denominada CAP. A su vez la CAP se une a uno de los elementos de control, al operador, generando un represor Lac, el cual bloquea la transcripción del Operón, debido a que oculta el Operador que se encuentra contiguo al promotor. Por su parte la ARN pol no podrá acceder al promotor, bloqueando la codificación de síntesis de transcripción de proteína de los genes estructurales pertenecientes a los coliformes fecales incluyendo la *E. Coli*, lo que no permitirá el correcto funcionamiento de las bacterias llevándolas a su degradación. Por tanto, si los valores de salida de coliformes fecales (*E. Coli*) no cumplieran los límites permisibles de la normativa, o tuviera una remoción baja significa que los parámetros de control operacional y de mantenimiento (Factores básicos y ambientales) no están siendo monitoreados ya que una el cambio de Ph, temperatura, o la falta de nutrientes necesarios puede generar la reducción del crecimiento de las bacterias mesófilas, por consiguiente, disminuir la velocidad de estabilización de la materia orgánica obteniendo como resultado bajos rendimientos en el biodigestor de alta tasa.

## 4.4 Hongos y Levaduras



**Ilustración 14** Valor de Hongos y Levaduras en lodo tratado

**Fuente:** Autor

La presencia de hongos y levaduras demuestra que se ha formado un ecosistema en el que hay microorganismos desde los más elementales como coliformes hasta los hongos y levaduras que están en una escala superior de la cadena trófica. Los hongos en contraste con la levadura pueden utilizar muchos nutrientes, lo que permite el desarrollo y crecimiento de los mismos, colonizando rápidamente las superficies, lo que inhibe el crecimiento de los patógenos. Es decir, a mayor presencia de estas eucariotas se optimizan los procesos de depuración del lodo dando estabilidad con cargas de entrada elevadas. Por ello se recomiendan usar inóculos en biodigestores ya que disminuyen el tiempo de retención.

En la planta piloto la presencia de hongos y levaduras es bajo, esto se debe a que el metabolismo anaerobio (fermentación) no aprovecha toda la energía de moléculas como el azúcar, es más la levadura excreta como desecho el alcohol etílico por ejemplo ya que la ausencia de oxígeno no permite su máximo aprovechamiento.

## CAPITULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Los microorganismos existentes en estos lodos anaerobios son bacterias mesófilas, esto significa que los parámetros de operatividad ambiental del biodigestor de alta tasa requieren conseguir una temperatura de 35°C y pH neutro debido a que de estos factores depende la capacidad de reproducción de las bacterias, por tanto, influye en la eficiencia para la remoción de contaminantes. Dentro de los parámetros de operación de la planta piloto, se cumplieron los siguientes factores ambientales; el primero es el PH con un valor de 7,53 lo que significa que está dentro del rango requerido que es de 7 a 8 como lo indica Yáñez, y la temperatura que se registró de 27,8°C que permite un ambiente adecuado para los microorganismos mesófilos que lograron una remoción aceptable de coliformes totales y fecales (E. Coli).
- Los resultados de remoción de los indicadores ya mencionados en la planta piloto instalada en la Facultad de Ingeniería tienen una eficiencia aceptable por lo que se proyecta remoción de patógenos altamente satisfactorios en la PTAR de Las Esclusas , debido a que los parámetros de mantenimiento y operación será controlado por personal técnico calificado que tomará en cuenta la carga orgánica volumétrica que considera el parámetro de Solidos Volátiles, el tiempo de retención del sustrato en el reactor y el grado de mezcla del mismo ya que de ello depende la actividad biológica de biodigestor. Además, la PTAR de Las Esclusas cuenta con grados de automatización para el control de cada uno de sus procesos, lo que garantiza que exista un equilibrio entre los microorganismos y sustratos dando como resultado una óptima estabilización de lodos.
- Usando el indicador de coliformes fecales el lodo tratado se clasifica como

suelo de clase B, es decir se puede usar en zonas urbanas, pero sin contacto directo durante su aplicación como lo indica la normativa.

- Empleando el indicador de higienización la E. Coli el lodo tratado se clasifica como suelo de clase A para acondicionar los suelos en agricultura y/o mejoramiento de suelos
- El tratamiento de digestión anaerobia tiene un porcentaje promedio de remoción del 99,99% en coliformes totales.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para obtener un arranque exitoso en el sistema se recomienda usar inóculos para que al inyectar las bacterias eucariotas en el biodigestor se obtengan eficiencias aceptables en menor tiempo.
- Para mayor rendimiento en el proceso mesófilo se deberá trabajar con temperaturas mayores a de 30 °C ya que este factor ambiental influye directamente en la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos.
- El biogás es corrosivo para los metales, en el biodigestor se usan pieza de este tipo por lo que se sugiere realizar un mantenimiento periódico de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍAS

- Ali Shah, F., Mahmood, Q., Maroof Shah, M., Pervez, A., & Ahmad Asad, S. (2014). Microbial Ecology of Anaerobic Digesters: The Key Players of Anaerobiosis. *The Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/183752>
- Complete Guide to Your Septic Tank. (2017, julio 10). Recuperado 5 de junio de 2019, de Septic Services, Inc. website: <https://septic-services-inc.com/2017/07/10/complete-guide-septic-tank/>
- De Feo, G., De Gisi, S., & Galasso, M. (2008). Definition of a practical multi-criteria procedure for selecting the best coagulant in a chemically assisted primary sedimentation process for the treatment of urban wastewater. *Desalination*, 230(1), 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.003>
- Diario Oficial de la Federación. (2013, agosto 15). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL. - LODOS Y BIOSÓLIDOS.-ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL*. Recuperado de <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>
- DIGESTIÓN ANAEROBIA | Pural. (s. f.). Recuperado 5 de junio de 2019, de [http://pural.es/?page\\_id=995](http://pural.es/?page_id=995)
- El Peruano. (2017, junio 22). Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-015-2017-VIVIENDA.pdf>
- Elba Vivanco. (2016). *Tecnologías anaerobias de tratamiento*. Recuperado de [http://www.cytod.org/sites/default/files/tratamiento\\_anaerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.cytod.org/sites/default/files/tratamiento_anaerobio_de_aguas_residuales.pdf)
- EMAPAG-EP. (s. f.). *DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO UNIVERSALIZACIÓN DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “LAS ESCLUSAS” Y SUS COMPONENTES COMPLEMENTARIOS*. Recuperado de <http://www.emapag-ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2015/02/descripciongeneralproyecto1.pdf>

- Jain R&D. (2013). *Operating Procedures for Efficient Anaerobic Digester Operation*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/0e58/60dc093848956116b34d130fef2277b4bd56.pdf>
- Kulkarni, P., Olson, N. D., Paulson, J. N., Pop, M., Maddox, C., Claye, E., ... Sapkota, A. R. (2018). Conventional wastewater treatment and reuse site practices modify bacterial community structure but do not eliminate some opportunistic pathogens in reclaimed water. *Science of The Total Environment*, 639, 1126-1137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.178>
- Lituma Vintimilla, P. C. (2010, octubre 4). *BIODIGESTION ANAEROBIA DE LODOS RESIDUALES, DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA*. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/Digestión%20Anaerobica%20Lodos%20Cuenca.pdf>
- Mara, D. (2013). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Routledge.
- Morales, C. (2016). *CAPITULO IV - LODOS*. Recuperado de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leia/morales\\_r\\_pm/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/capitulo4.pdf)
- Núñez Gavilánez, Jaime Rodrigo. (2019). *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*. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/T-UCSG-PRE-ING-IC-295.pdf>
- Palomino Escobar, A. (2016). *ESTADO DEL ARTE DEL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES MEJORADO QUÍMICAMENTE- TPMQ*. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/Palomino%20Escobar,%20Adriana%20Lucia%20-%202016.pdf>
- Valdivia, B. (s. f.). Pceso Operón. Recuperado 7 de septiembre de 2019, de <https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/291769ed492dafa220ce8a80f614d29eb58927c1.png>

- Varela, I. (2017). *¿Cómo Respiran los Hongos? Tipos, Clasificación y Etapas*. Recuperado de <https://www.lifeder.com/como-respiran-hongos/>
- Vásconez G., M.Sc., J. (2003). *Impactos de los Contaminantes*.
- Vera-Reza, A., Sanchez, Ortiz, L., & Peña-Camacho, J. (2019). *ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOSTAJE*.
- Villarreal, J. L. V., & Gregorio, J. J. P. de. (2018). *Manual de toxicología medioambiental forense*. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces SA.
- Yáñez, Ph. D., F. (2010). *DIGESTION ANAEROBICA DE LODOS*. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/Digestión%20Anaeróbica%20de%20lodos%20Fabián%20Yanez.pdf>
- Yáñez Veloz, M. (2018, septiembre 13). *Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment), para aguas residuales de Guayaquil*. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/T-UCSG-PRE-ING-IC-270.pdf>

## ANEXOS



**Ilustración 15** Instalación de la planta piloto en la UCSG.



**Ilustración 16** Dosificación del cloruro férrico



**Ilustración 17** Muestra de polímero aniónico



**Ilustración 18** Recolección de lodos residuales obtenidos de la planta piloto



**Ilustración 19** Lodo crudo ingresado en el biodigestor de alta tasa



**Ilustración 20** Puesta en marcha del biodigestor de alta tasa



MORAN PARRALES ROMINA GEMA  
Representante Legal: MORAN PARRALES ROMINA GEMA  
Dirección: Bellavista, Tel. 0983363972  
Atención : Ing. Romina Moran

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2019

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 2019/08/15 / 12:30 / Guayaquil - Tesis U.C.S.G  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 2019/08/15 / 14:25  
Punto e Identificación de la Muestra: Lodo tratado  
Matriz de la muestra: Lodos  
Muestreo 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: OBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**MEMORIA FOTOGRÁFICA**



**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 2019/08/15 / 12:30 / Guayaquil - Tesis U.C.S.G  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 2019/08/15 / 14:25  
Punto e Identificación de la Muestra: Lodo tratado  
Matriz de la muestra: Lodos  
Muestreo 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.

**MICROBIOLOGÍA**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Escherichia coli-NMP (1)	450	NMP/100 gramos	---	9222 D	2019/08/15 SP
Coliformes fecales (1)	450	NMP/100 g	---	9222 D	2019/08/15 SP
Coliformes Totales (1)	4352	NMP/100 g	---	9222 D	2019/08/15 SP
Hongos y Levaduras (1)	32	UFC/100 g	---	9610 E	2019/08/15 SP

**SIMBOLOGÍA:**

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

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

L.M.P. Límite 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 Csa. 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.gub.ec

Q.F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de Calidad

**Ilustración 21** Informe de resultados del lodo tratado



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Morán Parrales, Romina Gema**, con C.C: # 1313336669 autora del trabajo de titulación: **Investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT)**, previo a la obtención del título de **Ingeniería 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, **10 de septiembre del 2019**

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

Nombre: **Morán Parrales, Romina Gema**

C.C: **1313336669**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT).		
<b>AUTOR(ES)</b>	Romina Gema, Morán Parrales		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	José Ernesto, Vasconez Gavilánez		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	10 de septiembre del 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	52
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Hidráulica e Ingeniería Ambiental		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	CEPT, biodigestor de alta tasa, digestión anaerobia, eficiencia, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Escherichia Coli, Hongos, Levaduras y Operón Lac.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	<p>El presente trabajo dará continuidad a la investigación de la microbiología en lodos anaerobios provenientes de un biodigestor de alta tasa de una planta de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas tipo CEPT, con el objetivo principal de establecer parámetros de control en la operatividad y mantenimiento de la planta de tratamiento para que los microorganismos puedan alcanzar su máximo rendimiento dando como resultado una remoción de contaminantes aceptable del sistema que se usa de referencia para proyectar los resultados de la eficiencia en la PTAR de Las Esclusas.</p> <p>Para medir la eficiencia de remoción de los contaminantes, se tomó en cuenta estudios previos de (Morales, 2016) donde se encuentran valores promedios de Coliformes Totales en lodos crudos que fueron comparados con los valores del lodo tratado por el biodigestor anaerobio, dando como resultado una eficiencia del 99,9%.</p> <p>Estos lodos tratados deben cumplir con la norma mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para coliformes fecales y la norma peruana NOM-015-2017-VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO para la E. Coli donde se especifican los límites máximos permisibles para su correcto aprovechamiento y disposición final.</p> <p>Por último, la presencia de los indicadores ya mencionados incluyendo hongos y levaduras confirma la formación de un ecosistema dentro del proceso de digestión anaerobia lo que garantiza la descomposición de materia orgánica y remoción de coliformes en el biodigestor de alta tasa debido a la inhibición del Operón Lac.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4-0983363972	E-mail: romimp_25@outlook.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>			