



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

## **TESIS**

**“Efecto de la concentración del biocida Stabrex ST70 en la actividad  
metanogénica de lodos anaeróbicos de reactor UASB de Cervecería  
Motupe”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Aguinaga Gallardo Catherine Stephanie**

**Bach. Pérez Dávila Sara Milagros Del Pilar**

**ASESORA:**

**Dra. Ing. Tarcila Amelia Cabrera Salazar**

**LAMBAYEQUE - PERÚ**

**2020**



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

## **TESIS**

**“Efecto de la concentración del biocida Stabrex ST70 en la  
actividad metanogénica de lodos anaeróbicos de reactor UASB de  
Cervecería Motupe”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICA**

Aprobada ante el siguiente jurado:

---

Ing. Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya

Presidente

---

Ing. Dr. Cesar Alberto García Espinoza

Secretario

---

Ing. M. Sc. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno

Vocal

---

Ing. Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar

Asesora

LAMBAYEQUE -PERÚ  
2020

## **DEDICATORIA**

A Dios por todo, por este grandioso aprendizaje que es mi vida.

A mis padres Juanita Gallardo y Leandro Aguinaga por su amor y paciencia.

A mi hermana Andrea que está a mi lado incondicionalmente.

A todos los que confiaron en mí y me apoyaron en este proyecto.

**Catherine**

En primer lugar quiero darle gracias a Dios por la vida, por mi familia por llenarme de bendiciones y acompañarme siempre.

A mis padres Zarela Dávila y José Manuel y a mi hermana Flavia Pérez por ser mis pilares, mi fuerza y mi motivación para salir adelante, además de darme siempre su apoyo incondicional y a mis demás familiares y amigos por su confianza puesta en mí.

**Sara**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y a la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias pilar fundamental de nuestro desarrollo personal y profesional.

A la Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar, por su asesoramiento con sugerencias y consejos brindados en el transcurso de la investigación.

Al Ing. Santamaría y Sr. Bances por facilitarnos el laboratorio y proporcionarnos el tiempo para trabajar y poder desarrollar dicha investigación.

A todos los docentes quienes nos transmitieron sus conocimientos a lo largo de nuestra formación académica.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>II. ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA .....</b>	<b>11</b>
2.1. Antecedentes.....	11
2.2. Base teórica.....	12
2.2.1. Tipo y características de lodos según la etapa de tratamiento donde se generan. ....	12
2.2.2. Tipos de digestión .....	16
2.2.3. Parámetros del proceso de digestión anaerobia .....	18
2.2.4. Reactor UASB .....	23
2.2.5. Técnica AME .....	26
2.2.6. Determinación de la actividad metanogénica específica .....	27
2.2.7. Biocida Stabrex ST70 .....	30
<b>III. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1. Descripción del ámbito de estudio.....	32
3.2. Recolección de datos .....	33
3.3. Diseño experimental .....	33
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>40</b>
4.1. Resultados.....	40
4.2. Discusión .....	47
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones .....	49
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO 1.</b>	<b>Caracterización del lodo anaeróbico.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO 2.</b>	<b>Preparación de solución.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO 3.</b>	<b>Cálculos Estadísticos .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO 4.</b>	<b>Análisis de actividad metanogénica .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO 5.</b>	<b>Caracterización de lodo anaeróbico.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 6.</b>	<b>Volúmenes acumulados de ensayos .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 7.</b>	<b>Cálculo de actividad metanogénica .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO 8.</b>	<b>Ficha de observación AD HOC “Registro de volumen producido”. ....</b>	<b>73</b>

## RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo determinar el efecto de la concentración del biocida Stabrex ST70 en la actividad metanogénica de lodos anaeróbicos de reactor UASB de Cervecería Motupe.

Para evaluar la actividad metanogénica de las bacterias anaeróbicas se utilizó lodo anaeróbico de Cervecería Motupe, obteniéndose como parte de su caracterización 124 g/L de sólidos totales y 104 g/L de sólidos volátiles; utilizando como sustratos sacarosa, bicarbonato de sodio, fosfato monoácido de potasio, fosfato diácido de potasio y cloruro de amonio sin biocida, como muestra en blanco. Posteriormente se preparó una solución patrón de 6700 ppm Stabrex ST70; de la cual, se extrajo 0.27, 2.69, 5.10 ml de solución patrón al frasco fermentador para obtener 1, 10 y 19 ppm. Cada ensayo se trabajó en un intervalo de 60 horas a una agitación continua de 300 rpm a una temperatura de 40°C, registrándose cada hora el volumen producido de biogás.

Inicialmente se obtuvo un actividad metanogénica promedio de 0.53 gDQO/gSSV.d en dos días y medio. Para determinar la influencia de la concentración en la actividad metanogénica, se realizaron tres repeticiones por tratamiento, obteniéndose 0.51, 0.43, 0.21 gDQO/gSSV.d a 1, 10 y 19 ppm de biocida Stabrex ST70 respectivamente; concluyendo que la actividad metanogénica disminuye a mayor concentración de biocida Stabrex ST70.

Palabra clave: AME (Actividad Metanogénica), lodo anaeróbico, biocida Stabrex ST70.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to determine the effect of the Stabrex ST70 biocide concentration on the methanogenic activity of anaerobic sludges from the UASB reactor of Cervecería Motupe.

To evaluate the methanogenic activity of anaerobic bacteria, anaerobic sludge from Cervecería Motupe was used, obtaining as part of its characterization 124 g / L of total solids and 104 g / L of volatile solids; using as sucrose substrates, sodium bicarbonate, potassium monoacid phosphate, potassium diacid phosphate and ammonium chloride without biocide, as shown in white. Subsequently, a standard solution of 6700 ppm Stabrex ST70 was prepared; from which, 0.27, 2.69, 5.10 ml of standard solution was extracted to the fermentor bottle to obtain 1, 10 and 19 ppm. Each test was worked over a 60-hour interval at a continuous stirring of 300 rpm at a temperature of 35 ° C, with the volume of biogas produced being recorded every hour.

Initially, an average methanogenic activity of 0.53 g COD / gSSV.d was obtained in two and a half days. To determine the influence of the concentration on methanogenic activity, three repetitions were performed per treatment, obtaining 0.51, 0.43, 0.21 g COD / gSSV.d at 1, 10 and 19 ppm of Stabrex ST70 biocide respectively; concluding that methanogenic activity decreases at a higher concentration of Stabrex ST70 biocide.

Keywords: AME (Methanogenic Activity), anaerobic sludge, Stabrex ST70 biocide.



## **I. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, en el proceso de tratamiento de aguas residuales en cervecerías, se viene utilizando un tratamiento anaeróbico de reactor UASB o RAFA (reactor anaeróbico de flujo ascendente), en donde utilizan lodo anaeróbico granulado; cuando se produce alguna alteración en su alimentación, ya sea pH, temperatura, DQO, AGV, y concentración de insumos químicos, se presenta casos de pérdida de biomasa, percibiéndose en los domos del reactor, esto implicaría una deficiencia de remoción que puede interferir el cumplimiento legal de su instrumento de gestión ambiental. Muchos elementos y compuestos estimulan el crecimiento bacteriano dentro de cierto rango de concentración, pero todos los compuestos, hasta los sustratos metanogénicos se transforman en inhibidores por encima de ciertas concentraciones. Existe presencia de estas sustancias en las aguas residuales, principalmente en el caso de industrias con uso intensivo de productos químicos en el proceso productivo como en la industria cervecera.

La literatura técnica ha presentado datos orientativos respecto a las concentraciones inhibitoras para diversos elementos y compuestos como el amoníaco, sulfuro y taninos (Tejerina, 2007), donde se observa clara disminución de la actividad metanogénica a 0.0525 gDQO/gSSV.d en diferentes concentraciones de los compuestos mencionados. Y compuestos como la amoxicilina que estimulan la AME del lodo llegando a 0.48 gDQO/gSSV.d (Torres y Chaparro, 2015).

Es por eso que esta investigación se centra en el uso de productos químicos, específicamente un biocida, para lo cual se aplica la prueba de actividad metanogénica evaluando el efecto a diferentes concentraciones del producto químico al lodo anaeróbico en el cual se plantea que a mayor concentración de biocida menor será la actividad metanogénica.

Para evitar potenciales daños a la flora microbiana actuante en el proceso de tratamiento, como la toxicidad microbiana irreversible, de acuerdo a la naturaleza y concentración del agente tóxico involucrado; es imperativa la implementación de un programa intenso de educación respecto a la descarga de sustancias químicas (especialmente aquellas con acción desinfectante) y al uso del tanque de emergencia de regulación de la carga tóxica, para garantizar la presencia de sustancias perjudiciales dentro de los niveles de tolerancia de los microorganismos involucrados en el sistema de tratamiento de efluentes.

Por lo tanto se plantea el objetivo general de determinar el efecto de la concentración del biocida Stabrex ST70 en la actividad metanogénica de lodo aneróbico de reactor UASB de Cervecería Motupe. Para lo cual se considera los siguientes objetivos específicos de caracterizar cuantitativamente el lodo anaeróbico, determinar la actividad metanogénica de las bacterias anaeróbicas en el lodo anaeróbico de reactor UASB de Cervecería Motupe y evaluar el efecto del biocida Stabrex ST70.

## II. ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA

### 2.1. Antecedentes

**Tejerina M., (2007)** realizó un trabajo de: “Efectos del amoníaco, sulfuro y taninos sobre la actividad de un lodo anaerobico”. En él se analizan los efectos individuales de amoníaco, sulfuro y taninos sobre lodo cloacal anaeróbico con miras a su aplicación para el tratamiento de efluentes de curtiembre, determinando la Actividad Metanogénica Específica (AME) de los lodos y el IC50 de cada tóxico utilizado. Los ensayos de AME se realizaron de acuerdo a DET (1994). La AME del lodo cloacal de los ensayos Control fueron de 0.0525 y 0.0827 g DQO-CH<sub>4</sub>/g SSV.d a 20°C y 30°C. Se han determinado los IC50 de amoníaco, sulfuro y taninos para lodo cloacal floculento, siendo sus valores de: 1132 mg N-NH<sub>3</sub>/L, 154 mg S/L y 163 mg tanino/L para 20°C y 1107 mg N-NH<sub>3</sub>/L, 269 mg S/L y 306 mg tanino/L para 30°C.

**Torres Y. y Chaparro T., (2015)** realizó un estudio de: “Actividad metanogénica específica de una solución acuosa de amoxicilina”. El propósito de este trabajo consistió en determinar la actividad metanogénica específica (AME) del lodo anaerobio procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre (Bogotá – Colombia), utilizando como sustrato amoxicilina en concentraciones de 5, 60 y 120 mg/L. El ensayo tuvo una duración de 480 horas bajo agitación intermitente. Los resultados mostraron que los valores de AME para 5, 60 y 120 mg/L de amoxicilina fueron de 0.163 gDQO/gSSV.d, 0.218 gDQO/gSSV.d y 0.485 gDQO/gSSV.d respectivamente y en el etanol fue de 0.614 gDQO/gSSV.d . Se observó adicionalmente un buen ajuste del modelo modificado de Gompertz a los resultados experimentales en las condiciones estudiadas.

**Manobanda S. y Heras V., (2015)** cuantifica la producción de biogás utilizando lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, mediante la adecuación de 6 reactores pilotos anaerobios de flujo discontinuo, se pretende realizar monitoreo de generación de gas utilizando la técnica AME y evaluar todos los resultados obtenidos del sistema anaerobio., se cuantificó de forma efectiva el gas generado en los 6 reactores discontinuos anaerobios teniendo resultados de la técnica AME en el REACTOR 1= 0.061Kg DQO/Kg SVT, REACTOR 3= 0.352Kg DQO/Kg SVT, REACTOR 5= 0.134Kg DQO/Kg SVT, REACTOR 2= 0.121Kg DQO/Kg SVT, REACTOR 4= 0.261Kg DQO/Kg

SVT, REACTOR 6= 0.639Kg DQO/Kg SVT, estos datos se encuentran en los 55 días de estudio, también incluye el tiempo de retención de estabilización del pH, el volumen de metano y la temperatura de cada reactor para su favorable comparación. Al no tener datos estándares de comparación de la técnica AME a nivel nacional y mundial, en nuestro estudio experimental hemos demostrado que la AME ideal se encuentra entre los rangos 0.06 a 0.2 (g DQO/ g SSV), si este AME sobrepasa este rango la generación de Biogás es pobre y la acidez del lodo es alta.

**Corsio R. (2006)** explicó que mediante la digestión aerobia de los lodos flotantes, de la laguna de oxidación de aguas residuales de la ciudad de Chepen es posible producir biogás, utilizando para ello un bioreactor en donde se adicionan los factores ambientales que permitan el desarrollo y actividad de los microorganismos. A 45 días de digestión se logró producir 12.08 litros de biogás que se encontraba comprimido en el bioreactor a una presión de 7.2 bares. Así mismo, se extrajeron muestras para determinar la concentración de metano. La concentración promedio fue de 84.01% de metano en el biogás producido.

## ***2.2.Base teórica***

### ***2.2.1. Tipo y características de lodos según la etapa de tratamiento donde se generan.***

Los lodos se definen como una mezcla que contiene una fase sólida suspendida en un medio líquido, dependiendo de las operaciones y procesos de tratamiento, la fase sólida será el 12-25% del peso total. Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales son producto de la concentración de sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios), o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de la remoción de sólidos disueltos de las aguas residuales. En algunas ocasiones estos lodos son vertidos en el medio ambiente sin algún tratamiento previo. Sin embargo, a pesar de que esta práctica no siempre es ambiental ni económicamente viable, muy a menudo se realiza, tal es el caso de los lodos primarios.

Los distintos tipos de lodos según (Lenntech, 1998) se clasifican en:

#### **LODO CRUDO**

Es un lodo que no ha sido estabilizado, produce acidificación y produce olores.

## LODO PRIMARIO

Se produce de tratamientos primarios de aguas residuales, después del proceso de cribado y desarenado. Contiene gran cantidad considerable de materia orgánica, así como restos de vegetales y frutas. Este lodo se caracteriza por poseer un porcentaje de humedad que varía entre 93% y 97%. Este tipo de lodo posee gran cantidad de materia orgánica, residuos vegetales de frutas y de papel.

## LODO ACTIVO

Este lodo tiene la cualidad de interactuar con diversos tipos de bacterias, el oxígeno desempeña un papel indispensable en las funciones metabólicas de los microorganismos (vivir, crecer y multiplicarse). Estos lodos contienen materia orgánica tanto viva como muerta, este tipo de lodos poseen minerales.

## LODO SECUNDARIO

Estos lodos son escorias del proceso de tratamiento secundario, posee materiales inertes y microorganismos. Además se caracterizan por tener químicos, esto se debe a que en el tanque de aeración se adicionan químicos utilizados para remover el fosforo (Valdez, 2003).

## LODO TERCIARIO

La remoción del fosforo en los lodos activados, hace que el lodo químico se una con el biológico, en cambio la remoción del elemento nitrógeno por desnitrificación genera un lodo biológico que es muy parecido al lodo activado (Valdez, 2003).

## LODO ANAERÓBICO

El lodo granular anaerobio es, al contrario de las aglomeraciones de lodo, muy estable en ausencia de material transportador inerte. El lodo en los reactores UASB forma una unidad sólida regular (gránulo). El lodo de un reactor tiene la peculiar calidad de formar espontáneamente gránulos bajo circunstancias normales. Esta peculiar calidad es en parte causada por las dinámicas del flujo en el reactor pero también por el hecho de que algunas bacterias se necesitan una a otra para sobrevivir (sintropía) y porque trabajan juntas para formar una unidad (el gránulo). Ellas forman una especie de micro-ecosistema donde algunas bacterias son mutuamente dependientes. El lodo granular esta hecho por todas las bacterias que son necesarias para la completa

biodegradación de los materiales orgánicos presentes en las aguas residuales. En el lodo granular las mutuas interacciones entre las distintas bacterias juegan un rol muy importante para la biodegradación. Eso porque hay una gran variedad de substrato proporcionado por las aguas residuales y posibilidad limitadas de las especies bacterianas. Del 20 hasta el 50% de la población microbiológica anaerobia en el lodo granular son bacterias metanogénicas.

Methanosaeta juega un rol importante en la formación de lodo granular. Debido a su estructura filamentosa Methanosaeta, es responsable por la formación de gránulos. La función de Methanosaeta es la de atacar la superficie por las demás bacterias. En la figura 01 se puede apreciar Methanosaeta. Por el estrangulamiento de estos filamentos empiezan a formarse aglomeraciones (II). La formación de gránulos es el resultado de un estrangulamiento todavía más fuerte (III). Y en fin otras bacterias se van a juntar a esas y el granulo adulto está formado (IV). Además de esta “Espaguetti teoría” hay algunas otras teorías, pero esta parece la más convencidora entre todas.

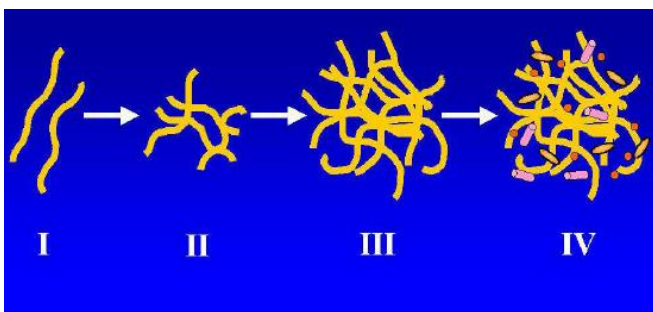


Figura 01. Teoría espaguetti.

En la figura 02 se muestra un gránulo de lodo. La capa exterior (1) consta de bacterias que rompen los polímeros complejos, este es el primer paso en las reacciones de biodegradación anaerobia. Los monómeros formados están ahora listos para la segunda capa. Esta capa de bacterias convertirá estos monómeros en el producto final del efluente. El centro del gránulo (3) consta de material inorgánico y bacterias muertas.

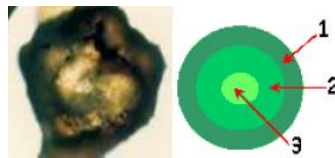


Figura 02. Lodo granular

Debido a la biodegradación de los polímeros se formarán pequeños fragmentos. Cuando estas moléculas padecen actividad bacteriana se formarán distintos ácidos grasos volátiles. El más importante entre estos ácidos grasos volátiles es el propionato (3 C) y el butirato (4 C). La biodegradación de estos ácidos la mayoría de las veces no es tan sencilla. En ausencia de metabolismo fermentativo o de un electrón inorgánico receptor, la oxidación de propionato o butirato formará algunos equivalentes de la reducción. Estos pueden ser utilizados y trabajar negativamente por la reacción de biodegradación original. Las bacterias sintrópicas tienen una solución a este problema. Viviendo a estrecho contacto con las bacterias que consuman los equivalentes de la reacción que se produce, el potencial de hidrógeno será mantenido a un nivel bastante bajo como para crear un ambiente soportable. Archaea (bacterias metanogénicas) por ejemplo puede producir metano utilizando reducción-equivalente. Esto es lo que se muestra en la figura 03.

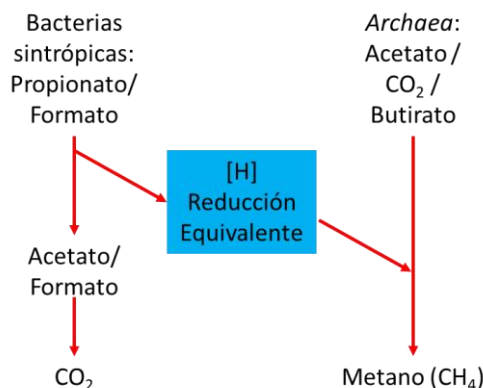


Figura 03. Interacción entre bacterias

El contenido de lodo en un reactor UASB (21-46%) es normalmente más alto que en otros reactores (10-20%). Si miramos a la composición de este contenido, podremos apreciar que la mayor parte de ese viene del FeS. La formación de H<sub>2</sub>S es solo parcial debido a la concentración de FeS en el lodo. El contenido de FeS también es responsable por el color negro del lodo granular. Además del FeS, el lodo granular consta de proteínas carbonatos de calcio, fosfatos de calcio y silicatos.

### **2.2.2. Tipos de digestión**

#### **DIGESTION AEROBIA**

Es un proceso que ocurre en presencia de oxígeno, las bacterias se alimentan de materia orgánica y transforman la materia orgánica en dióxido de carbono. En ausencia de materia orgánica las bacterias mueren o son utilizadas como alimento para otros microorganismos. Los microorganismos presentes empiezan a alimentarse de la materia orgánica que se encuentra en los lodos, cuando la materia orgánica disminuye ellos empiezan a consumir su protoplasma para generar la energía necesaria para sus reacciones metabólicas; oxidando su tejido celular a dióxido de carbono, amoníaco y agua. Conforme avanza el proceso de digestión, el amoníaco se oxida a nitrato (Miranda, 2005).

#### **DIGESTION ANAEROBIA**

La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento biológico en el que los compuestos orgánicos son transformados de manera anaerobia en el gas metano, y eso gracias a complejas interacciones entre algunos grupos de los micro-organismos involucrados. Estas interacciones tienen lugar en los gránulos de lodo anaerobio que están normalmente presentes o son seleccionados en un Reflujo de la Cama de Lodo Anaerobio, sistema - (UASB).

- En la primera fase los polímeros orgánicos (por ejemplo polisacáridos y proteínas) se hidrolizan en moléculas más simples y solubles (amino ácidos, largas cadenas de ácidos grasos y azúcar) por medio de enzimas celulares adicionales.
- Acidogénesis: los productos de la hidrólisis son catabolizados por medio de micro-organismos de fermentación para producir principalmente ácidos grasos volátiles (AGV), aldeídos, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno.

En la próxima fase, llamada acetogénesis, la mayoría de los productos de fermentación, con la excepción de  $H_2$ ,  $CO_2$ , formiato y acetato, tiene que ser ulteriormente degradados por los acetógenos para producir acetato y  $H_2$  y en el caso de un porcentaje elevado de ácidos grasos también un porcentaje adicional de  $CO_2$ . Los acetógenos crecen en estrecha relación con las bacterias metanogénicas, porque



necesitan las bacterias metanogénicas para mantener la concentración de hidrógeno suficientemente baja.

- El paso final en la digestión anaerobia es llevado por las bacterias metanogénicas y es la formación de gas metano del acetato y de los óxidos de carbono e hidrógeno. La metanogénesis es el último paso en el proceso anaerobio.

Debido a la baja solubilidad del metano en agua, eso se escapa como gas metano.

La formación del biogas es importante también para que se mezclen la cama de lodo y las aguas residuales.

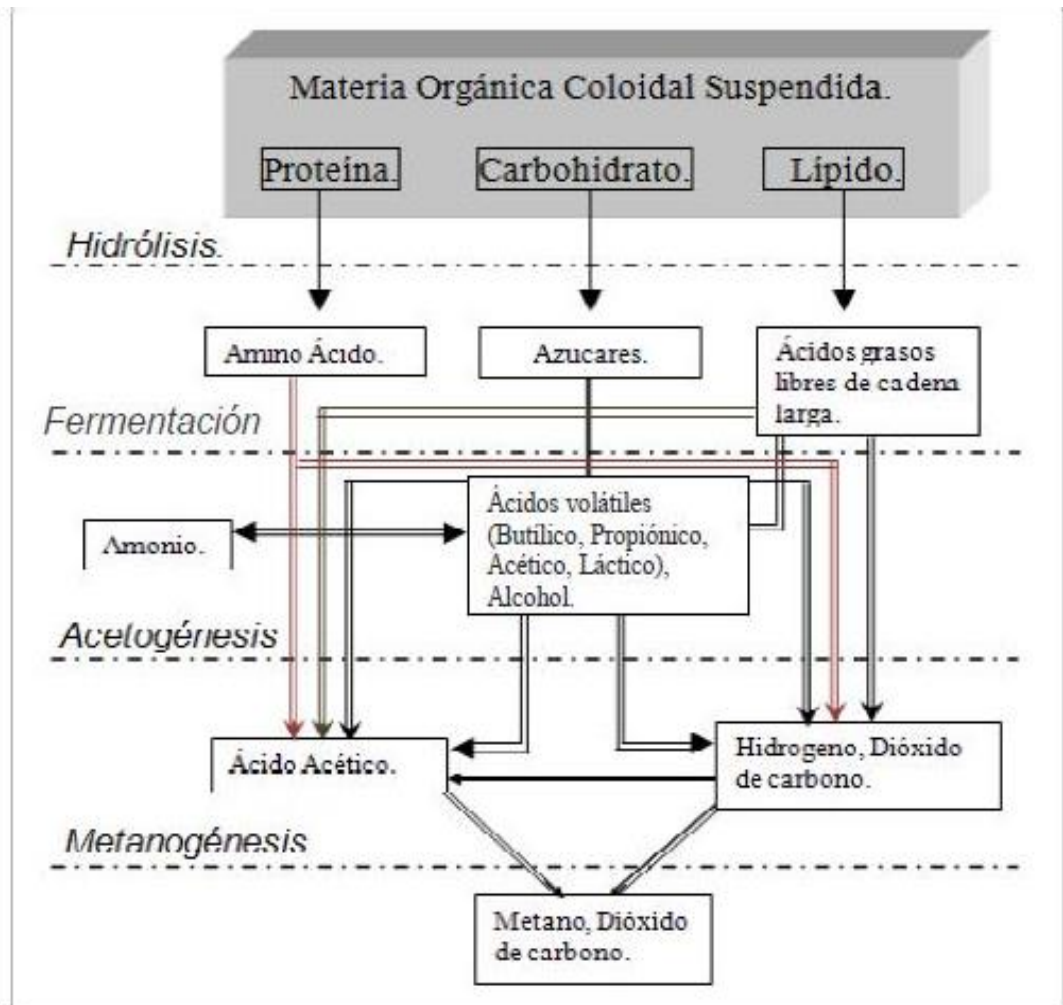


Figura 04 .Representación de la degradación anaeróbica de materia orgánica , por Demes 2003.

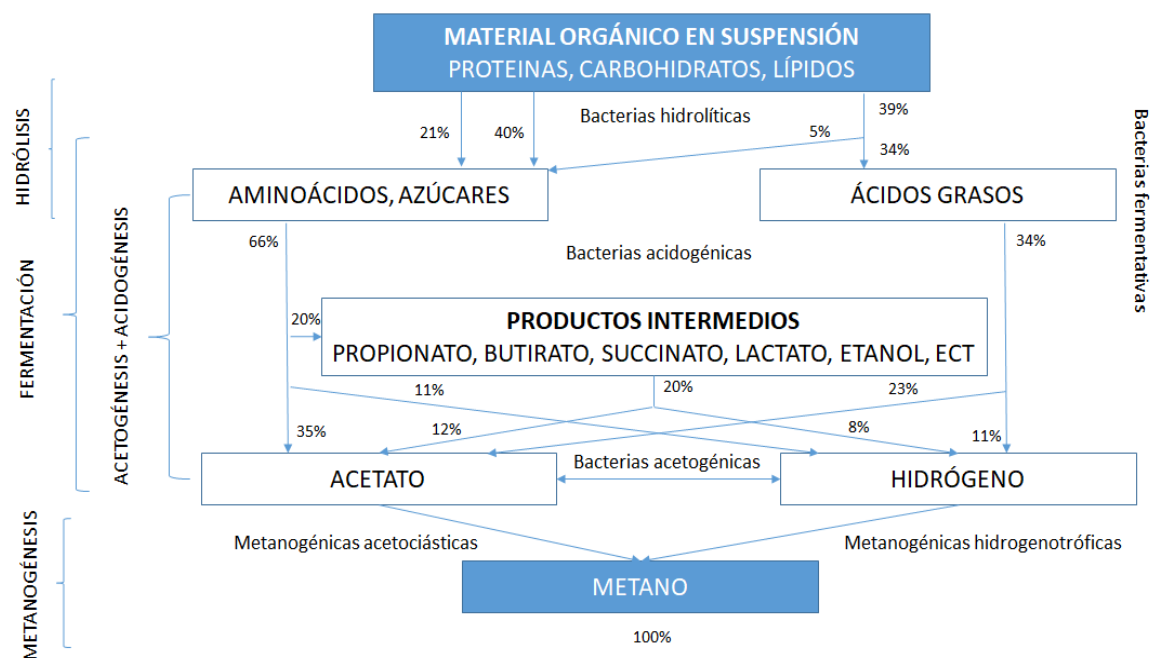


Figura 05. Secuencia metabólica y grupos microbianos que intervienen en la digestión anaeróbica. Adaptado de Van Haandel y Lettinga, 1994.

En las fases de hidrólisis y acidogénesis se produce más energía y los organismos responsables crecen con mayor velocidad, por lo que la recuperación de las poblaciones frente a alguna alteración del medio es rápida. En fases de acetogénesis y metanogénesis los rendimientos de energía son tan bajos que la actividad de las bacterias asociadas es extremadamente lenta y cualquier alteración tarda mucho tiempo en corregirse (Barrera, 1993).

Las bacterias producen metano a partir de  $H_2$  y de acetato, las primeras crecen más rápido por lo que las bacterias metanogénicas acetoclasticas generalmente limitan la tasa de transformación de material orgánico complejo presente en el agua residual a biogás (Van Haandel y Lettinga, 1994), además de ser las responsables de cerca del 60 – 70% de toda la producción de metano (Chernicharo, 1997)

### 2.2.3. *Parámetros del proceso de digestión anaerobia*

Debido a su baja producción de lodo, un tratamiento anaerobio de las aguas residuales tiene una menor capacidad de adaptarse a cambios de circunstancias y choques que un tratamiento aerobio de las aguas residuales.

Esa es la razón por la que las circunstancias del proceso del tratamiento anaerobio tienen que estar bien definidas y cuidadas para garantizar una buena eficiencia.

Los parámetros del proceso más importantes, que determinan la velocidad de la biodegradación anaerobia son:

- Alimentación;
- pH;
- Temperatura;
- Biodegradabilidad del sustrato;
- Alcalinidad;
- Contenido de sal;
- Nutrientes;
- Compuestos tóxicos o inhibidores.

#### a. Alimentación (cantidad y composición)

Cada planta de tratamiento de las aguas residuales está desarrollada para tratar una cierta cantidad de materia orgánica (carga designada). Esta cantidad, la mayoría de las veces, se expresa en Kg DBO o DQO por día o como IE (Inhabitant Equivalent/ Equivalente por Habitante) donde 1 IE está por 54 g DBO.

Es muy importante respetar la carga máxima y no exceder. Es sobre esta carga máxima que la capacidad del reactor ha sido diseñada.

Es importante también ecualizar la carga lo máximo posible para tener un efluente de buena calidad. Picos de cargas han siempre de ser evitados.

Importa también la calidad de las aguas residuales.

- Un cultivo de bacterias se formará a partir de la composición de las aguas residuales. Grandes cambios en calidad o cantidad no pueden ser tratados muy bien;
- No compuestos tóxicos;

· FOG/ GAL (Fat, Oil, Grease/Grasa, Aceite, Lubricante) es solo parcialmente biodegradable y puede disturbar los demás procesos de biodegradación y la sedimentación de los gránulos de lodo. Por esto el GAL tiene que ser eliminado lo mejor posible en el pre-tratamiento.

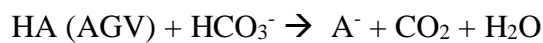
#### b. pH

Para las bacterias metanogénicas el pH tiene que estar entre 6,5 y 7,5. Las bacterias acidificantes siguen funcionando a pH más bajos (hasta 4 – 5). Es muy importante que ambas reacciones (acidificación/metanización) sean emparejadas muy bien porque al no ser así el reactor anaerobio acidificará y la metanización será inhibida.

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones de pH, especialmente en los intervalos de pH más bajos ( $\text{pH} < 6,5$ ).

#### c. Alcalinidad (capacidad tampón)

Más importante que el pH absoluto es la capacidad de acidificación de las aguas residuales. La capacidad de acidificación es importante para absorber el pH de los ácidos grasos volátiles (AGV) que se forman durante la degradación anaerobia.



Un reciclo parcial del efluente anaerobio al afluente antes del reactor aerobio proporcionará una recuperación de la capacidad de acidificación por medio de los bicarbonatos (formados por la producción de  $\text{CO}_2$ ) como descrito en la figura 06.

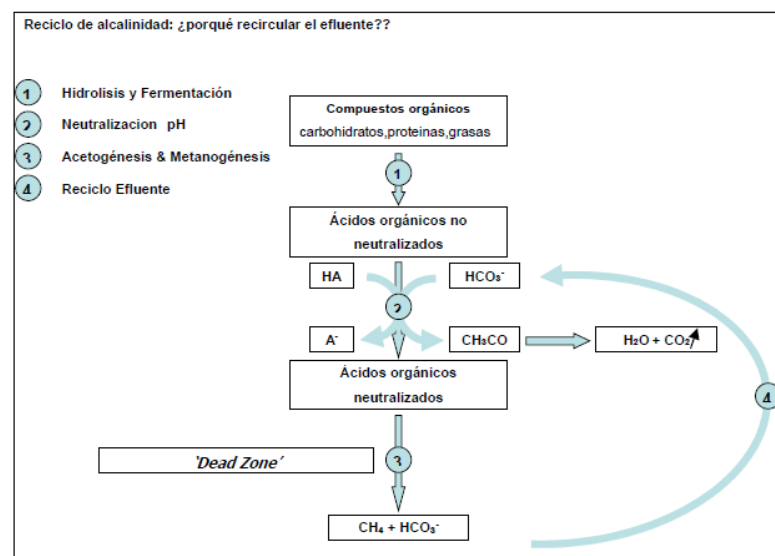


Figura 06. Recuperación de la capacidad de acidificación por el reciclo del efluente.

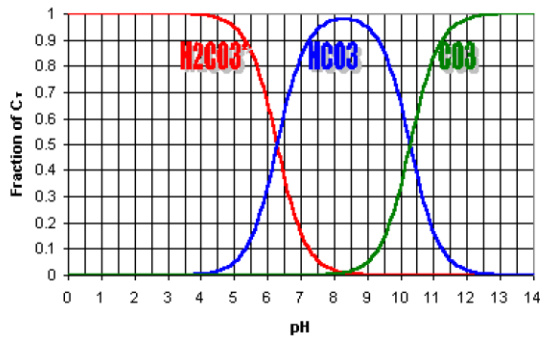


Figura 07. Concentraciones de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> en relación con el pH

#### d. Biodegradabilidad de aguas residuales

La información sobre la biodegradabilidad de las aguas residuales puede ser expresada de maneras distintas:

La proporción DBO/DQO nos proporciona la primera indicación: más alta la proporción mejor es la biodegradabilidad de las aguas residuales.

Cuando las aguas residuales tienen una proporción de más del 50-60 %, significa que son fácilmente biodegradables.

· La cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV) en relación con la DQO también es una buena indicación. Cuando las aguas residuales ya contienen muchos AGV después del tanque de acidificación significa que son fácilmente biodegradables. Un alto nivel de concentración de AGV nos proporciona la idea de cuantas cadenas de ácidos grasos puedan ser convertidas en AGV más cortas.

Los AGV más frecuentes son: el ácido acético, el ácido propiónico el ácido butírico. Sus respectivas DQO pueden ser calculadas así:



MM (CH<sub>3</sub>COOH) = 60 g/mol

MM (O<sub>2</sub>) = 32 g/mol

DQO (CH<sub>3</sub>COOH) =  $2 \times 32/60 = 1,07 \text{ g DQO}$



MM (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH) = 74 g/mol

MM (O<sub>2</sub>) = 32 g/mol

$$\text{DQO (CH}_3\text{CH}_2\text{COOH)} = 3,5 \times 32/74 = 1,51 \text{ g DQO}$$



$$\text{DQO (CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH)} = 5 \times 32/88 = 1,82 \text{ g DQO}$$

#### e. Temperatura

La metanogénesis es una reacción fuertemente dependiente de la temperatura con un grado óptimo alrededor de 37°C. Y como por muchas bioconversiones, también la metanogénesis sigue la comparación de Arrhenius: cuando la temperatura supera los 10 ° C, dobla la velocidad de reacción. En otras palabras a una temperatura de 25 °C, la velocidad de reacción es solo la mitad de una a 35°C.

Una vez que la temperatura llega sobre los 40 °C, la capacidad metanogénica del lodo cae muy rápidamente.

#### f. Nutrientes

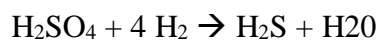
Para el crecimiento del lodo son necesarios los nutrientes como nitrógeno, fósforo y otros micro-nutrientes, aunque en cantidades más bajas que en un proceso de tratamiento aerobio porque el crecimiento específico del lodo (kg SD/kg DQO) es más bajo.

Como regla de manual una proporción DQO/N de 400/5 es generalmente considerada como la cantidad de nitrógeno que es necesaria por una digestión anaerobia estable. Como las aguas residuales contienen mucho N, es necesario controlar muy bien el pH en el reactor para prevenir la inhibición de NH<sub>3</sub>.

Una proporción DQO/P de 400/1 es el mínimo necesitado por un tratamiento anaerobio. A altos niveles de concentración es posible que precipitaciones indeseadas como Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> , NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub> pueden ocurrir. Cuando la cantidad de precipitaciones es más alta de la producción de lodo anaerobio, es posible que ocurran problemas con la composición del lodo.

Por el crecimiento del lodo, las bacterias anaerobias, necesitan también una pequeña cantidad de sulfuro como H<sub>2</sub>S no disociado. Concentraciones demasiado altas (100-150 ppm de H<sub>2</sub>S no disociado) por el otro lado pueden ser tóxicas. A altas concentraciones de H<sub>2</sub>S, una parte importante de H<sub>2</sub>S migrará a la fase del gas. Eso no es deseable ya que el H<sub>2</sub>S es corrosivo y tiene un mal olor.

Los sulfatos son reducidos bajo condiciones anaerobias a  $\text{H}_2\text{S}$  por las bacterias reductoras de sulfato. Con ésta,  $\text{H}_2$  es consumido. De esta manera, el  $\text{H}_2$  no está más disponible por la conversión de  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$ .



Como dicho antes el  $\text{H}_2\text{S}$  es tóxico, corrosivo y responsable de los malos olores.

Esta es la razón por la que el sulfato es tolerado de manera limitada: la proporción DQO/ $\text{SO}_4$  tiene que ser mayor que 10.

Los minerales como Ca, Mg, Na y K son necesarios para el crecimiento de las bacterias metanogénicas. Ca y Mg también tienen una parte importante en la formación de lodo granular. Cuando el agua es demasiado blanda, casi no se forman gránulos. De todas formas si el agua es demasiado dura, es posible la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  o  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  con un efecto negativo sobre el lodo.

Esporas como Fe, Co, Ni, Mo, Se y W son mencionadas muy a menudo como estimuladoras de crecimiento de lodo para las bacterias del metano.

#### 2.2.4. *Reactor UASB*

El reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge/ Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) es el sistema anaerobio más utilizado máximamente por su simplicidad, robustez y rendimiento. Innumerables referencias han probado la gran aplicabilidad del sistema de tratamiento anaerobio.

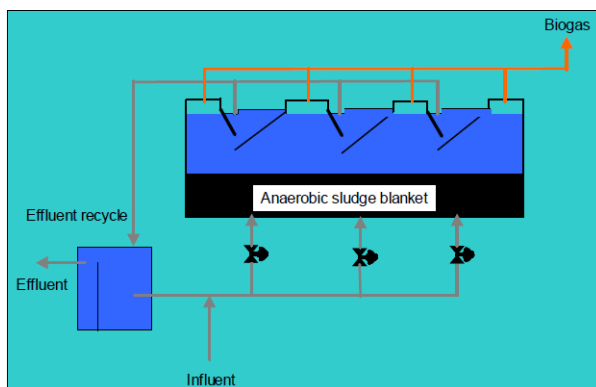


Figura 08. Reactor UASB

El sistema anaerobio es un único, compacto reactor UASB y es especialmente apto por el (pre)tratamiento de aguas residuales de carga fácilmente biodegradable (como son las aguas residuales de las cervecerías).

El sistema está construido de forma rectangular y tiene un volumen y un nivel constante.

Un pre-requisito por un sistema UASB, es la presencia de lodo granular pesado que pueda mantener la velocidad de reflujo de las aguas residuales y su permanencia en el reactor. El tiempo de permanencia del lodo es más alto que el de las aguas residuales (en oposición con otros reactores de mezcla completa donde el lodo sale del reactor junto con el efluente hacia un reactor de sedimentación).

El reactor tiene tres zonas de lodo:

1. La cama de lodo en el fondo del reactor (altura: 1-2 m), que consiste en lodo granular pesado (SD 3-6 %)
2. La capa de lodo en la cumbre de esa contiene una parte más pequeña de lodo (1-2 % SD)
3. Una zona de separación entre lodo/efluente/el biogás.

La capa de lodo (en la cumbre de la cama de lodo) contiene aglomeraciones de lodo (= una proporción más ligera), que fluye, junto con el biogás y el efluente hacia la cumbre del reactor.

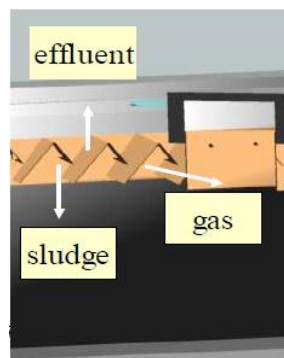


Figura 09. Separador trifásico

El agua residual entra en el reactor por el fondo por medio de un sistema de insuflación. No tiene ningún aparato de mezcla. La mezcla que tiene que proporcionar un buen contacto entre la biomasa y el agua residual es obtenida por medio de la producción de biogás y la turbulencia es debida a la velocidad de reflujo de las aguas residuales en el reactor. En la cama de lodo, que contiene la mayor parte del lodo, ocurre la mayoría de la biodegradación (conversión a  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ). El sistema de separación trifásico separa las 3 fases: agua/lodo/biogás. El lodo se ajusta y permanece en el reactor, el biogás



es llevado a los canales del biogás, que le llevan al tratamiento de biogás, y el efluente sale del reactor por medio de los canales/ las presas.

Para optimizar la capacidad de mantener el lodo en el reactor, muy a menudo se montan separadores a chapas paralelas sobre los separadores trifásicos.

Los procesos anaerobios de segunda y tercera generación requieren de biomasa con alta actividad metanogénica y que se mantenga en el reactor, ya sea por adherencia a un soporte como en el caso de los filtros anaerobios o los reactores de lecho fluidizado, o por formación de gránulos como ocurre en los reactores UASB de alta tasa. En la Tabla 01 se consigna un resumen de las principales características de los lodos granulares presentes en reactores UASB de alta carga.

**Tabla 01**

*Propiedades de lodo granular*

Característica	Intervalo
	1028 a 1082
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
Relación SSV/SST	0.45 a 0.90
Velocidad media de sedimentación (m/h)	53 a 100
Diámetro medio de gránulos (mm)	0.8 a 2.2
Actividad metanogénica (GDQO-CH <sub>4</sub> /Gssv*d)	0.2 a 1.9

*Nota.* Hulshoff- Poi. (1989)

**Tabla 02**

*Diferentes fuentes de inóculos para reactores anaerobios*

Tipo de inóculo	Actividad metanogénica específica gCH <sub>4</sub> -DQO/g SSV.d	Concentración típica de SSV en el lodo g/l
Lodo granular	0.5 - 1.5	70 - 120
Biopelícula	0.4 - 1.2	ND
Lodos domésticos digeridos	0.02 - 0.2	15 - 40
Estiércil digerido	0.02 - 0.08	20 - 80
Lodo de fosa séptico	0.01 - 0.07	10 - 50
Laguna anaerobia	0.03	30
Estiércil fresco	0.001 - 0.002	30 - 140
Sedimento laguna	0.002 - 0.005	20 - 50

*Nota.* Fiekl (1987).

### 2.2.5. Técnica AME

Los principales pioneros en implementar la técnica AME fueron Valcke y Verstraete (1983), De Zeeuw (1984) y Dolfing-Bloemen (1985) y sale como una herramienta de evaluación y caracterización del proceso anaerobio (Chernicharo, 2007), nos permite cuantificar la máxima producción de metano generada por acción de microorganismos presentes en el lodo. También se usa para el monitoreo de la calidad del lodo en reactores anaerobios, observando así, el consumo de los sustratos que se suministran para la alimentación de los microorganismos y como una forma de evaluar el comportamiento de lodos contaminados, para así poder determinar la carga máxima orgánica que se puede aplicar en un sistema. En la cuantificación de metano interviene la acción de microorganismos metanogénicos que convierten el  $H_2$  y el acetato como sustrato en gas metano. Dicha técnica es utilizada también para determinar la capacidad de asimilación que tienen las bacterias metanogénicas en la producción de biogás, de esta manera se puede determinar el potencial de la biomasa para transformar el sustrato administrado en gas metano y  $CO_2$ . De acuerdo con la bibliografía, esta técnica nos brinda otras posibilidades como: evaluar el comportamiento del lodo induciéndolo con compuestos potencialmente inhibidores (sustratos), el grado de degradabilidad de los sustratos a diferentes dosis, monitorear los cambios del lodo dentro del reactor, determinar la carga máxima orgánica y el tipo de lodo. Dentro del estudio se realizará el método volumétrico para observar la generación de metano dentro de un tiempo determinado y realizar la cuantificación del mismo, aprovechando así los lodos para una generación productiva para el país y observar a futuro la proporcionalidad del metano de acuerdo con el lodo utilizado (Lozada, 2012).

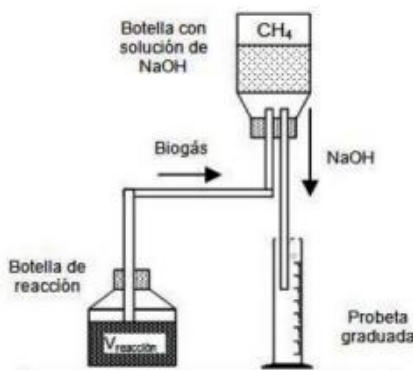


Figura 10. Esquema del montaje experimental del método volumétrico. Adaptado de Field 1987.

### ***2.2.6. Determinación de la actividad metanogénica específica***

La actividad específica de lodo anaeróbico, expresada en KgDQO-CH<sub>4</sub>.Kg SSV-1 d-1 es un parámetro importante ya que permite la cuantificación del potencial de carga orgánica de una cantidad de lodo definida, la evaluación comparativa de calidad y la detección de agentes que interfieren sobre la calidad de lodo.

La actividad específica (T=30 °C) del lodo digerido varía de 0,08 KgDQO-CH<sub>4</sub>.Kg SSV-1 d-1 para lodos concentrados (5% SSV) hasta 0,2 KgDQO-CH<sub>4</sub>.Kg SSV-1 d-1 para lodos de baja concentración (1,5% SSV).

En la literatura técnica se informa sobre actividades específicas (T=30°C) de lodo granulado (desarrollado a partir de lodo digerido) del orden de 1,0-1,4 KgDQO-CH<sub>4</sub>.Kg SSV-1 d-1 para aguas residuales del procesamiento de papa, 1,3 KgDQO-CH<sub>4</sub> Kg SSV-1 d-1 para aguas residuales de la fabricación de azúcar de remolacha y 2,2 KgDQO-CH<sub>4</sub> Kg SSV-1 d-1 para mezcla de ácidos grasos volátiles.

Hay que añadir que la actividad específica del lodo anaeróbico es altamente dependiente de la temperatura. Muchos elementos y compuestos estimulan el crecimiento bacteriano dentro de cierto rango de concentración, pero todos los compuestos, hasta los sustratos metanogénicos se transforman en inhibidores por encima de ciertas concentraciones. La literatura técnica ha presentado datos orientativos respecto a las concentraciones inhibitoras para diversos elementos y compuestos.

Debe dedicarse especial atención a la presencia de estas sustancias en las aguas residuales, principalmente en el caso de industrias con uso intensivo de productos químicos en el proceso productivo industrial, para evitar potenciales daños a la flora microbiana actuante en el proceso de tratamiento, incluyendo toxicidad microbiana irreversible, de acuerdo a la naturaleza y concentración del agente tóxico involucrado, en estos casos es imperativa la implementación de un programa intenso de educación respecto a la descarga de sustancias químicas (especialmente aquellas con acción desinfectante) y al uso del tanque de emergencia de regulación de la carga tóxica, para garantizar la presencia de sustancias perjudiciales dentro de los niveles de tolerancia de los microorganismos involucrados en el Sistema de Tratamiento de Efluentes.

### **CONVERSIÓN TEÓRICA DE LA DQO EN METANO**



1 mol de CH<sub>4</sub> = 2 moles de O<sub>2</sub>

22,4 L CH<sub>4</sub> = 64 g de Oxígeno = 64 g de DQO (CNTP: 0°C e 1 atm)

**CNTP (20°C, 1 atm)**

**1 g de DQO removido**

**0,35 L de CH<sub>4</sub>**

Asumiendo un contenido de 25% de CO<sub>2</sub> en el biogas:

**20°C, 1 atm: 1g DQO removido**

**0,44 L de Biogas**

Este método consiste en que cuantifica el volumen de metano producido mediante el uso de sustancias base como es el NaOH o el KOH que son capaces de reaccionar con el CO<sub>2</sub> que se encuentra en el biogás. El pH de estas bases debe ser superior de 12 para asegurar el secuestro de CO<sub>2</sub> producido (Mario y Matinez, 2012). Para el cálculo de la actividad metanogénica máxima específica se lo realiza mediante la utilización de la velocidad máxima de generación del metano ( $d\text{CH}_4/dt$ ) expresada en ml CH<sub>4</sub>/días, dicho dato lo tenemos que transformar a condiciones de presión de la zona en nuestro caso en el cantón Cuenca y a la temperatura que se genera dentro del reactor ya que es un sistema anaerobio. La fórmula para el cálculo del AME es la siguiente:

$$AME \left( \frac{gDQO}{gSV} \right) = \frac{\frac{dVCH_4}{dt}}{X_o VR f1}$$

Fuente: (Field, 1988)

$\left( \frac{gDQO}{gSV} \right)$  =gramos de DQO removida por gramos de SV de los lodos

AcmCH<sub>4</sub>= Actividad Metanogénica (g DQOCH<sub>4</sub> g SSV-1·d-1)

VCH<sub>4</sub>= Producción acumulada de volumen de metano (ml)

t=Tiempo (día)

X<sub>0</sub>= Concentración inicial del inóculo (g SV/L)

VR: Volumen útil del reactor (L)

f<sub>1</sub>: Factor de conversión (64 g DQO/ 16 g CH<sub>4</sub>)

Esta fórmula se desglosa de la siguiente manera

Donde:

$$\frac{dMCH_4}{dt} = \left( \frac{dCH_4}{dt} \right) \frac{PM}{RT}$$

dCH<sub>4</sub>/dt = Velocidad máxima de generación del metano  
(Pendiente=ml/día)

P= Presión de la zona (Cuenca 564 mmHg)

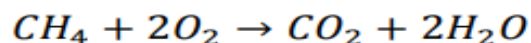
M= Peso molecular del metano (16 g CH<sub>4</sub>/mol)

R= Constante de la ley de gases (62,36 mmHg \* L/ mol \* °K)

T = Temperatura de cada reactor (T= 273 + Temperatura promedio del reactor °K)

Así obtenemos la velocidad de producción de Metano en peso (gCH<sub>4</sub>/día). Fuente: (Arcayo Palacios, y otros, 2013)

La reacción del Metano con respecto al Oxígeno es la siguiente:



Con esta reacción procederemos a ver la DQO (f<sub>1</sub>= conversión) consumida:

$$\frac{dDQO}{dt} = \left( \frac{g CH_4}{día} \right) \left( \frac{64 g O_2}{16 g CH_4} \right)$$

El AME queda finalmente así:

$$AME \left( \frac{gDQO}{gSV \text{ día}} \right) = \frac{\frac{dDQO}{dt}}{g \text{ SV}}$$

$$SV(g) = \frac{X_0 \frac{mg}{litro} VR}{1000mg}$$

### 2.2.7. *Biocida Stabrex ST70*

La tecnología antimicrobiana STABREX es el primer líquido antimicrobiano estable a base de bromo líquido del mundo, lo cual facilita su aplicación y es más seguro de manipular que el cloro u otros productos con base de bromo. Los microorganismos incontrolados pueden crear una película biológica que inhibe el rendimiento de torres de enfriamiento, condensadores e intercambiadores de calor. STABREX, antimicrobiano de bromo estabilizado, se inventó para controlar estas películas biológicas. Muchos métodos de tratamiento para el control del ensuciamiento microbiano actuales utilizan cloro y bromo sólido, que son muy volátiles, reactivos y peligrosos de utilizar. El programa STABREX gestiona el difícil problema de las bioincrustaciones industriales de una forma más eficaz y sensible desde el punto de vista medioambiental.

#### CARACTERÍSTICAS

Compatibilidad: menos agresivo que otros biocidas oxidantes para los inhibidores de la corrosión y las incrustaciones utilizados en el tratamiento del agua industrial

Baja volatilidad: resultados a índices más bajos de alimentación halógena, reducción de los malos olores, una mejor prevención del ensuciamiento del filtro de la torre y reducción de las emisiones al aire

Eliminación de película biológica: penetra y elimina las películas biológicas, lo que ayuda a mantener limpios los sistemas de transferencia de calor.

Líquido: alimentación y control fáciles y seguros

Eficacia: mejor rendimiento a un pH elevado, más persistente que el cloro

Cumplimiento con la normativa ambiental: menor reacción con contaminantes orgánicos, lo que ayuda a cumplir las restricciones de vertidos de AOX y THM, mayor Cantidad Autorizada que la lejía

Estabilidad: la actividad del producto no disminuye durante el almacenamiento, lo que da como resultado un control más rentable; se necesitan menos horas para lograr un mismo resultado.

### **III. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### ***3.1.Descripción del ámbito de estudio***

##### ***3.1.1. Tipo de estudio***

El estudio es de tipo experimental la investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque.

##### ***3.1.2. Población y Muestra***

###### ***Población***

Lodos anaeróbicos de reactor UASB de Cervecería Motupe

###### ***Muestra***

Para cada prueba se procesó 250 ml de lodo anaeróbico.

###### ***Variables***

###### ***Variable Independiente***

- Concentraciones de BIOCIDA Stabrex ST70 a 19 ppm, 10 ppm y 1 ppm.

###### ***Variable Dependiente***

- Actividad Metanogénica Específica de lodo anaeróbico a 0.51 gDQO/gSSV\*d, 0.43 gDQO/gSSV\*d y 0.21 gDQO/gSSV\*d.



**Tabla 03***Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Indice</b>
Vi			
Biocida Stabrex ST70	Concentración	mg/L	(1-10-19)
Vd			
Actividad Metanogénica de lodo anaeróbico	Concentración	gDQO/gSSV*d	( 0.51 -0.43 -0.21 )

---

*Nota.* Elaborado por los autores.

### **3.2. Recolección de datos**

#### **3.2.1. Técnica**

Observación estructurada participante.

#### **3.2.2. Instrumentos**

Ficha de observación AD HOC “Registro de volumen producido”. (Anexo 8).

### **3.3. Diseño experimental**

El diseño para la contratación de hipótesis es el diseño con estímulo creciente porque se utilizará 4 muestra idénticas, a tres se aplicará el biocida STABREX ST70 a diferentes concentraciones crecientes y la cuarta muestra es el testigo que no se aplicará el estímulo. Se hará uso de análisis de varianza de un solo factor.

**Tabla 04**  
*Diseño experimental*

	Variable independiente	Variable dependiente
Número de Muestras	Concentración de stabrex (mg/L)	AME (gDQO/gSSV.d)
1	0	0.53
2	0	0.53
3	0	0.53
4	1	0.51
5	1	0.51
6	1	0.51
7	10	0.43
8	10	0.43
9	10	0.43
10	19	0.21
11	19	0.21
12	19	0.20

*Nota.* Elaborado por los autores.

Para determinar las concentraciones antes y después del tratamiento de las muestras de agua seleccionadas se partió de una solución de concentración conocida de 6700 mg Stabrex/L la cual se preparó de 5 ml de stabrex, a partir de ella se extrajeron 0.27, 2.69 y 5.1 ml llegando a una concentración de 1, 10 y 19 mg/l, para un volumen total de 1.8 L.

Estos ensayos se realizaron por triplicado en matraz Erlenmeyer de 2 L con un sustrato homogéneo para todos los ensayos. Registrando el volumen desalojado por un periodo de 60 horas.

Mediante el método gravimetría se caracterizó el lodo aneróbico en solidos totales y volátiles. Se calentó a temperatura de aproximadamente 105 °C en estufa un crisol limpio por una hora, se coloca en desecador y pesa. Se midió en probeta 50 ml de lodo anaeróbico y se introdujo en crisol, se colocó en estufa por 24 horas a 105 °C, luego de esto se puso en desecador y se pesó.

El crisol se llevó a una mufla a 550°C por 4 horas, nuevamente se coloca en desecador y se pesa. Cálculos en Anexo 1.

### **3.3.1. Materiales**

- ✓ Soporte universal.
- ✓ Buretas.
- ✓ Pipeta de 5 ml.
- ✓ Vasos precipitados de 100 ml
- ✓ Fiolas
- ✓ Matraz Erlenmeyer de 2L
- ✓ Probeta de 25, 50, 100 ml
- ✓ Termómetro (rango entre 0 °C a 200 °C).
- ✓ Tubos de ensayo
- ✓ Agarraderas.
- ✓ Recipiente de plástico
- ✓ Manguera de Silicona
- ✓ Corcho de Caucho
- ✓ Balín
- ✓ Botellas de plástico
- ✓ Hojas boom
- ✓ Lapiceros
- ✓ Reloj
- ✓ Bolsas plásticas

### **3.3.2. Reactivos**

- ✓ Agua destilada.
- ✓ Sacarosa P.A. ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )
- ✓ Bicarbonato de Sodio, P.A. ( $NaHCO_3$ )
- ✓ Fosfato de Potasio Monoácido, P.A. ( $K_2HPO_4$ )
- ✓ Fosfato de Potasio Diácido, P.A. ( $KH_2PO_4$ )
- ✓ Cloruro de Amonio, P.A. ( $NH_4Cl$ )
- ✓ Hidróxido de Sodio, P.A. ( $NaOH$ )
- ✓ Biocida ST70

### 3.3.3. Equipos

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Medidor de pH - metro.
- ✓ Agitador térmico
- ✓ Equipo de venoclisis
- ✓ Estufa
- ✓ Mufla

### 3.3.4. Preparación de sustrato de lodo anaeróbico

Para la preparación de sustrato de lodo anaeróbico se pesaran los siguientes insumos:

**Tabla 05**

*Pesos de insumos químicos para sustrato*

INSUMO	GRAMOS
SACAROSA	5.4
BICARBONATO DE SODIO	9
FOSFATO POTASIO MONOACIDO K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5.4
FOSFATO POTASIO DIACIDO KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3.6
CLORURO DE AMONIO	0.9

*Nota.* Elaborado por los autores.

Se midió 250ml de lodo anaeróbico. Se agregó 775 ml de agua destilada y 775 ml de agua potable en un matraz de 2 litros adicionar todos los insumos pesado en la Tabla 05 al agua y agitar hasta disolver. Medimos pH, generalmente esta entre 6.8 y 7.2, de lo contrario corregir con HCl. Para finalizar adicionamos la sustancia toxica (stabrex) al agua.

- Análisis de pH

Procedimiento:

- ✓ En un matraz de 2 L adicionar agua con los nutrientes (ver Tabla 3) , agitar durante 10 minutos.
- ✓ Colocar en el matraz un phmetro.

- ✓ Leer el ph indicado y anotar el resultado.

OBS: generalmente el ph oscila en un valor de 6.8 a 7.2 en el caso contrario corregir con HCL.

- Análisis de temperatura

- ✓ Colocar en el matraz un termómetro después de adicionar el agua y nutrientes.
- ✓ Leer la temperatura y anotar el resultado.

### **3.3.5. Montaje del equipo**

Se utilizan dos equipos de venoclisis con mangueras. Agregar la solución soda caustica al 50% completamente fría en el equipo de inyección de suero fisiológico. Colocar tapón de jebe para tapar fermentador y con orificio para la manguera. Utilizar probeta de 1L, para contabilizar volumen desalojado. Con la ayuda de un soporte universal se coloca el equipo de suero que ahora contiene la solución de soda cáustica al 50% y regular según la altura. Conectar una de las mangueras que contiene el equipo de suero en el agujero que se le hizo al tapón de jefe el cual se usara como tapa del fermentador. Se mantuvo ambas mangueras cerradas. Se abrió la manguera que está conectada a la probeta y de forma inmediata la manguera que está conectada al fermentador.

Se procede a agregar el lodo. Tapar herméticamente el matraz. Se agita a 300 rpm y mantiene a 35°C. Anotar el volumen desalojado cada hora.



Figura 11. Montaje de equipo.

### ***3.3.6. Procedimiento para la caracterización del lodo anaeróbico***

Para identificar el lodo anaeróbico se caracterizó para tener información en el cálculo de la actividad metanogénica.

- Sólidos totales

La determinación de los sólidos totales se realizó en una balanza de precisión, se pesó un crisol vacío que estuvo en estufa a 105°C por 1 hora y puesta en desecador durante media hora. Se introdujo 50 ml de muestra en la estufa a 105°C durante por 24 horas. Después de retirar la muestra del horno, se dejó enfriar en un desecador y se pesó de nuevo. Esta operación se repite hasta obtener un peso constante.

$$\text{Sólidos totales} = \frac{P1 - P0}{\text{Volumen (ml)}} \times 10^6$$

Dónde:

Po: Crisol vacío.

P1: Crisol seco con muestra.

- Sólidos volátiles

La determinación de volátiles se realizó calentando un crisol y la muestra (secada previamente en estufa) a 550°C por 4 horas en una mufla.

Se sacó el crisol de la mufla con ayuda de las pinzas, luego se enfrió en el desecador hasta la temperatura ambiente, luego se volvió a pesar el crisol con la muestra para obtener la cantidad de volátiles.

$$\text{Sólidos volatiles} = \frac{P1 - P2}{\text{Volumen (ml)}} \times 10^6$$

Dónde:

P1: Crisol seco en estufa con muestra.

P2: Crisol seco en mufla con muestra.

### ***3.3.7. Preparación de las soluciones patrón de Stabrex ST70***

Las soluciones se prepararon a partir de una solución patrón de 6700 ppm Stabrex ST70. De la cual, se colocó 0.27, 2.69, 5,10 ml de solución patrón al frasco fermentador para obtener 1, 10 y 19 ppm.

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f$$

Dónde:

C<sub>i</sub>: Concentración inicial

V<sub>i</sub>: Volumen inicial.

C<sub>f</sub>: Concentración final.

V<sub>f</sub>: Volumen final.

### ***3.3.8. Solución de soda cáustica al 50%***

Pesar 500 gramos de soda caustica. En una probeta medir 1 L de agua destilada, y se enciende el agitador térmico. Se colocó un matraz de 2 L sobre el agitador térmico; adicionar un balón para agitar y posteriormente se agrega los 500 gramos de soda caustica. Con mucho cuidado agregar el agua destilada lentamente ya que se desarrolló una reacción exotérmica. Agitar hasta disolver la soda en su totalidad. Se dejó enfriar hasta llegar a temperatura ambiente.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### ***4.1.Resultados***

- **Características del lodo anaeróbico:**

La Tabla 06 muestran los principales parámetros especificados para el lodo anaeróbico obtenido de reactor UASB el cual cumple con las especificaciones de para el tratamiento de aguas y normas de análisis.



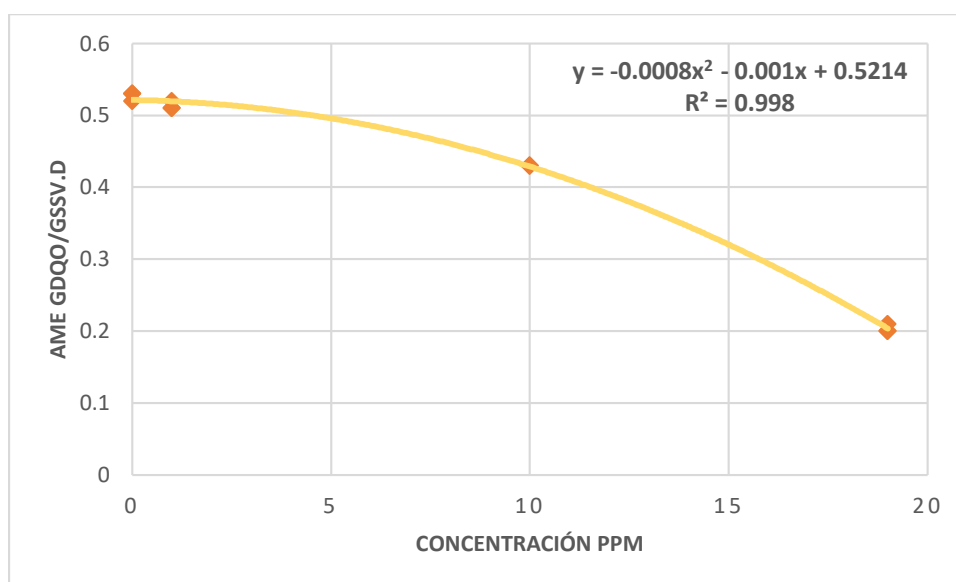
**Tabla 06**  
*Análisis lodo anaeróbico*

Propiedades	Valor	Unidades
Sólidos totales	124220	mg/L
Sólidos volátiles	103892	mg/L
Relación SV/ST	0.84	-

*Nota.* Elaborado por los autores.

- **Actividad metanogénica del lodo anaeróbico**

La figura 12 se evaluó la actividad metanogénica vs Concentración Stabrex, como se puede evidenciar la actividad metanogénica disminuye a medida que se tienen concentraciones altas de biocida, lo cual es coherente puesto que este químico inhibe al lodo anaeróbico en su comportamiento.



*Figura 12.* Concentración vs Actividad metanogénica.

- **Volumen de biogás producido a diferentes concentraciones**

En las figuras 13, 14, 15 y 16 se puede observó que la concentración del stabrex es un factor que influye de manera significativa en la producción de biogás debido a que a mayor es la concentración menor es la producción de biogás. Esto se corrobora con la literatura.

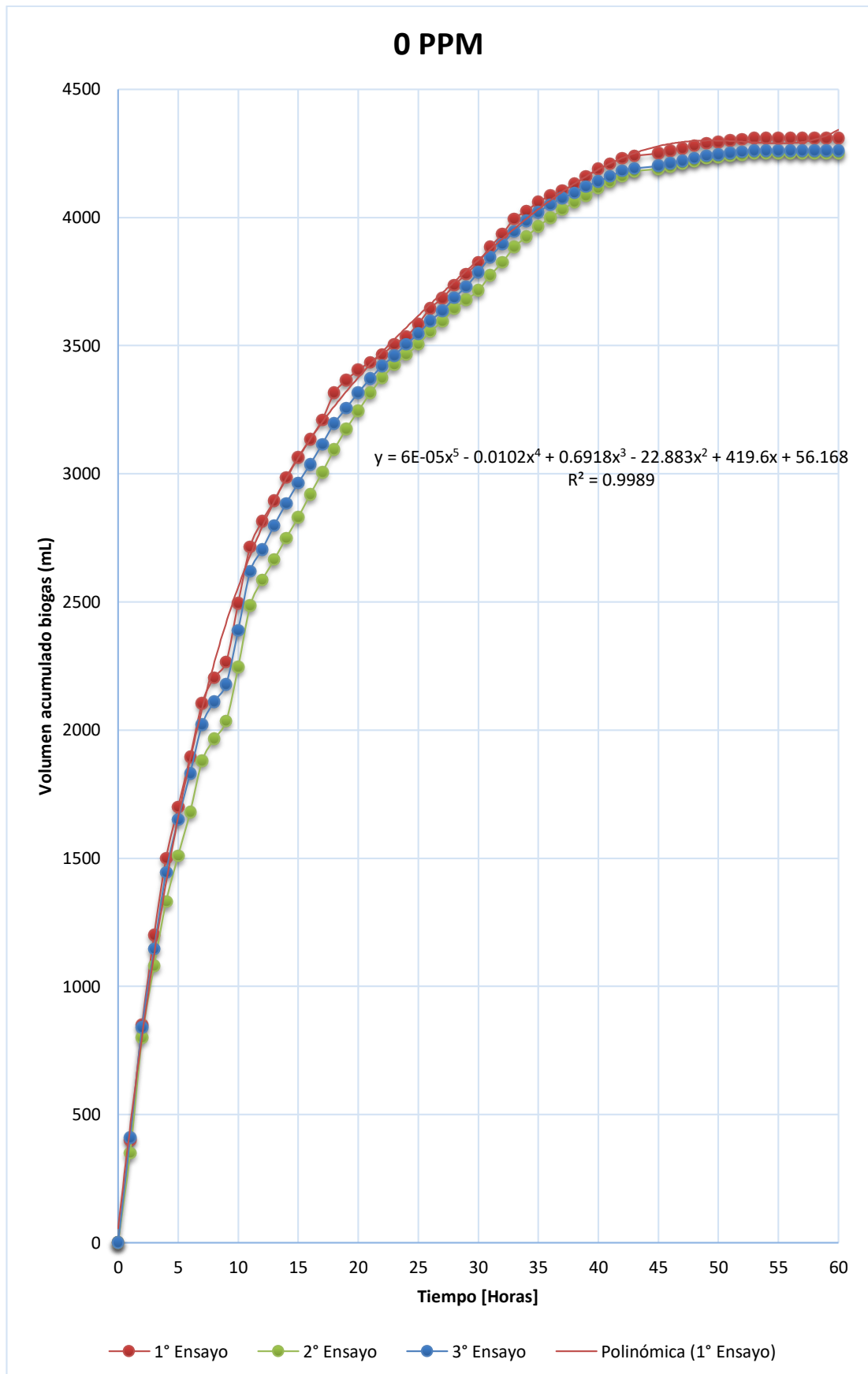


Figura 13. Volumen acumulado de biogás sin Stabrex y Tiempo 60hrs.

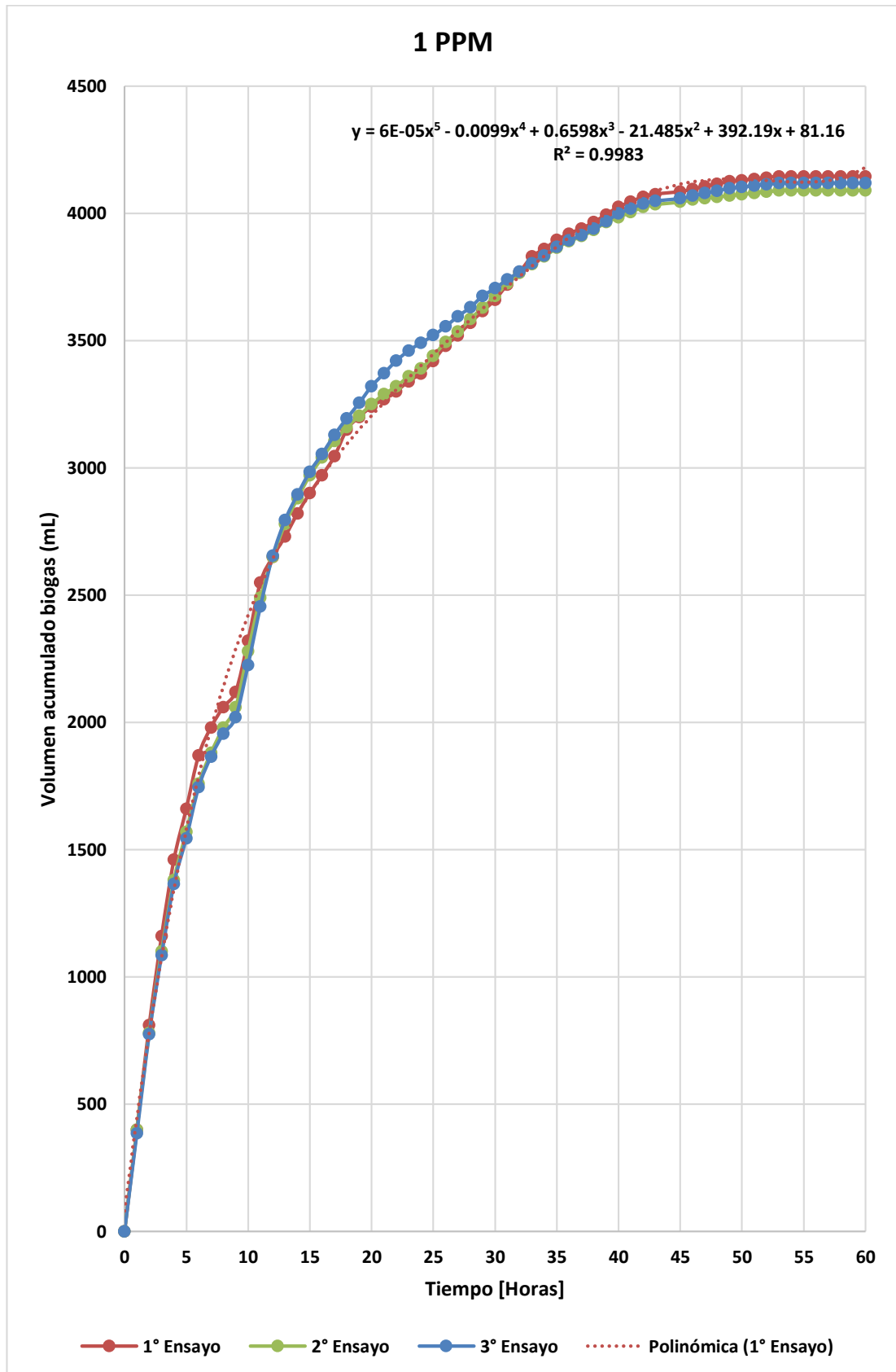


Figura 14. Volumen acumulado de biogás con 1 ppm Stabrex y Tiempo 60hrs.

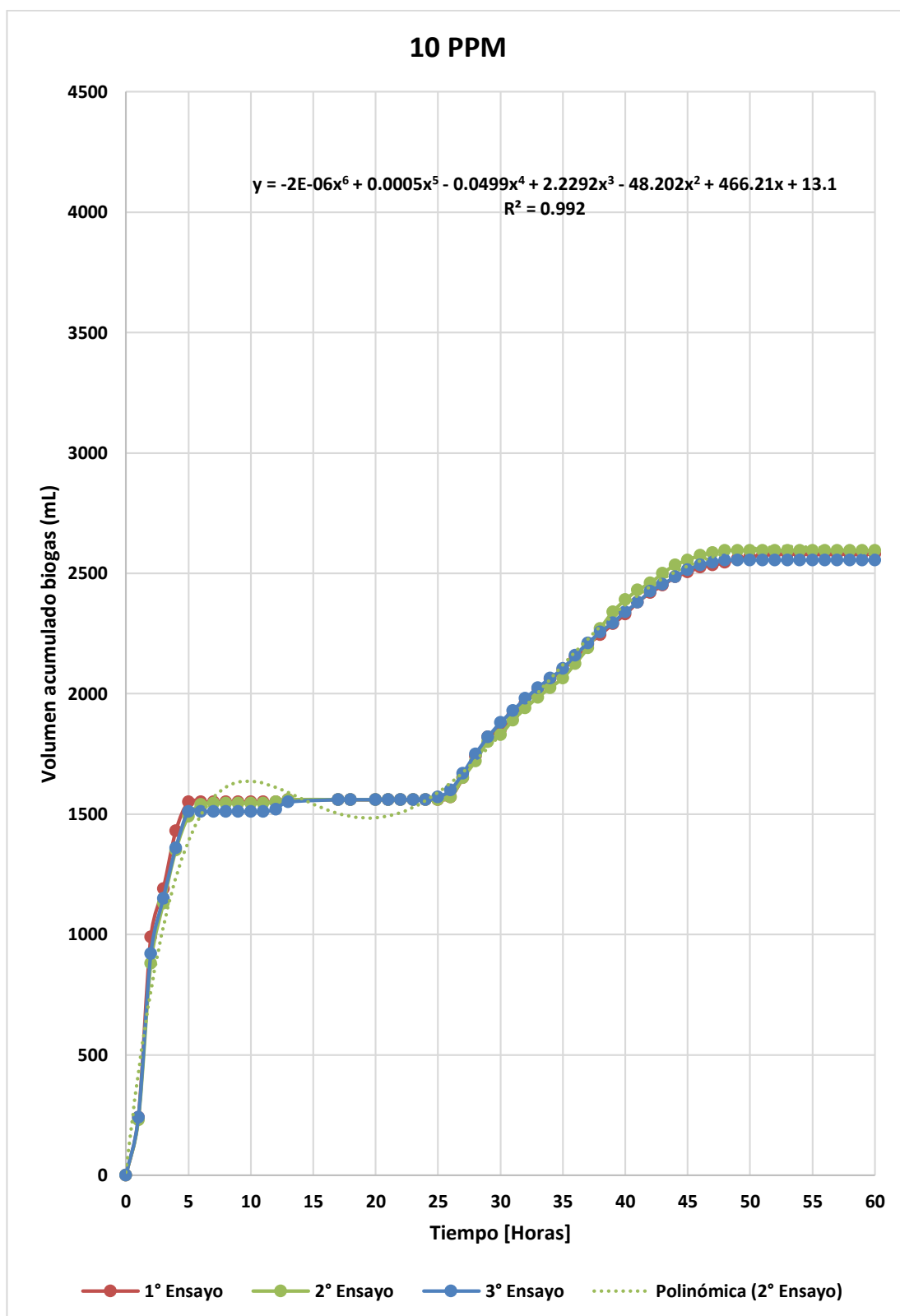


Figura 15. Volumen acumulado de biogás con 10 ppm Stabrex y Tiempo 60hrs.

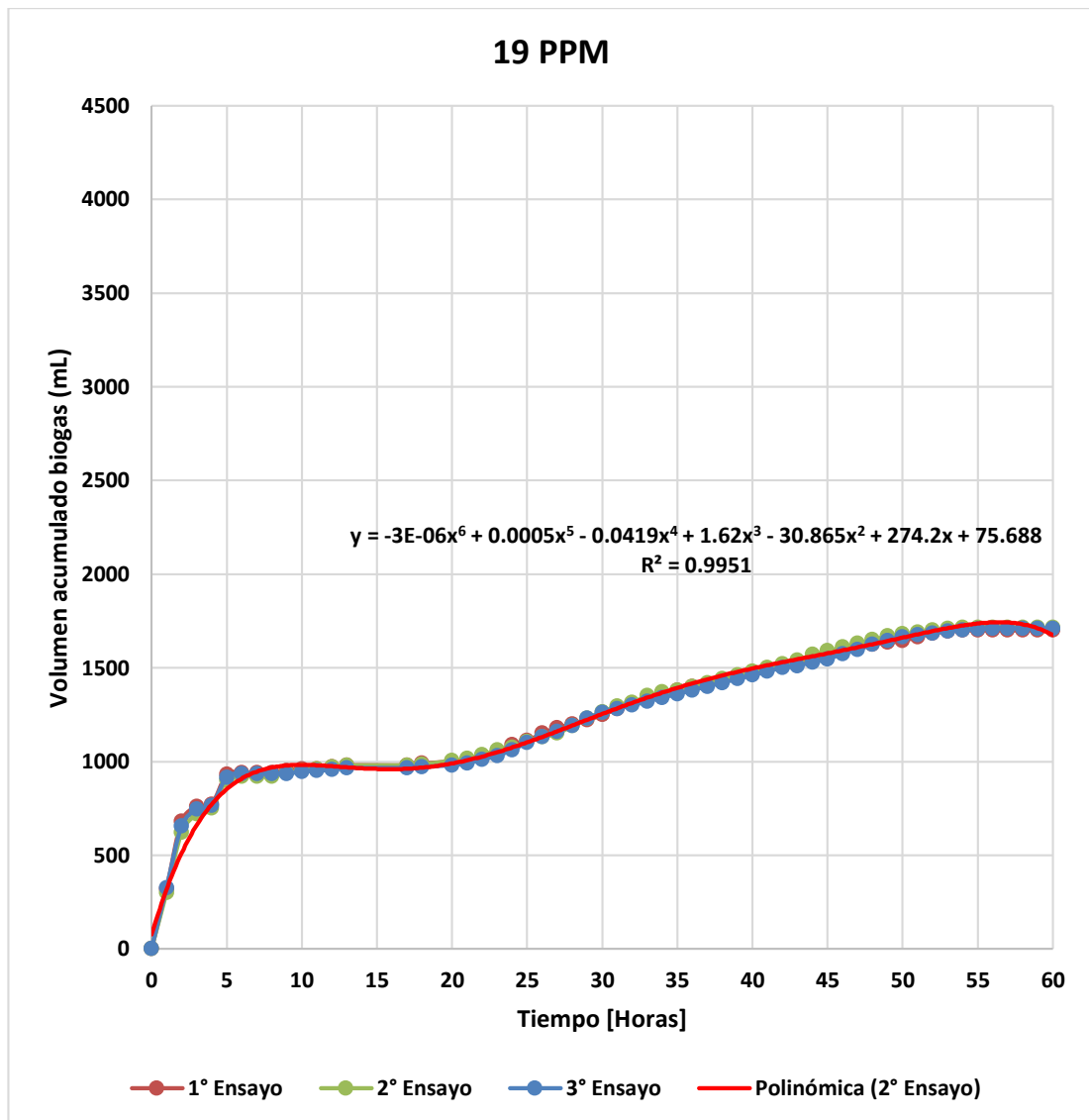


Figura 16. Volumen acumulado de biogás con 19 ppm Stabrex y Tiempo 60hrs.

En la Figura 16 se observó la interacción de la concentración de stabrex a 19ppm en el volumen de biogás producido.

Por ello que en la Figura 17 se observó que la mayor producción se tiene con una concentración de 1 mg/l con un tiempo de 60 horas, así como menor producción de biogás a una concentración de 19mg/L.

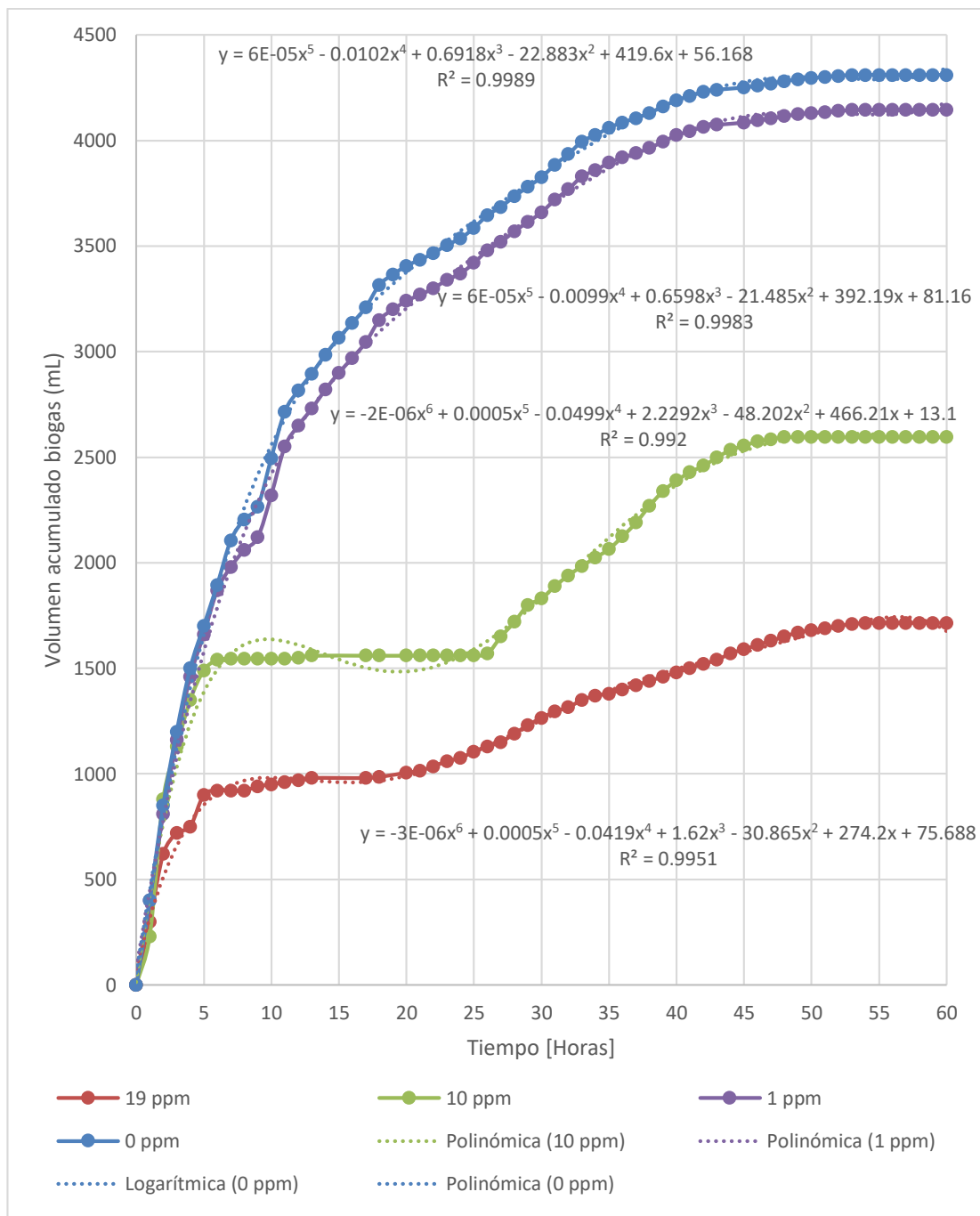


Figura 17. Producción de biogás a diferentes concentraciones durante 60 horas.

#### - Análisis factorial de varianza

El análisis factorial de varianza nos permitió determinar el efecto tanto individual de la variable independiente ensayada. Los resultados se muestran en la Tabla 07.

**Tabla 07**  
*Resultados ANOVA*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fo</b>	<b>Valor P-value</b>
Concentración	0.1995	3	0.0665	2313	0.000
Error	0.00023	8	0.000028		
Total	0.2018	11			

*Nota.* Elaborado por los autores.

#### **4.2. Discusión**

- Se encontró diferencia en la actividad metanogénica con respecto a los reactores evaluados por Manobanda y Heras (2015). En el R6 se obtuvo una AME 0.639 Kg DQO/Kg SSV donde utilizaron 2 litros de lodo con 0.178g/L de SSV para un volumen total de 4 litros; sin embargo en el presente trabajo se obtuvo un valor de 0.53 gDQO /gSSV.d, haciendo uso de un lodo anaeróbico de cervecería con aproximadamente 10g/L de utilizando 250 ml de lodo. En el trabajo realizado el sustrato fue alimentado solo al inicio, a diferencia de Manobana y Heras que adicionaban ácido acético en 5 días.
- El valor determinado para la actividad metanogénica de lodo anaeróbico va acorde a Hulshoff- Poi (1989) con valor de 0.2 a 1.9 gDQO /gSSV.d. y Fiekl (1987) de 0.5 a 1.5 gDQO /gSSV.d.
- En la investigación se encontró que a una concentración de 10mg/L de biocida Stabrex ST 70, se obtiene una variación de 18% respecto a la actividad metanogénica a diferencia de Tejerina (2007) quién obtuvo una concentración máxima tolerable de 1107mg N-NH<sub>3</sub>/L, 269 mgS/L, 306 mg Tanino/L.
- A mayor concentración de biocida Stabrex ST70, se obtiene menores valores de actividad metanogénica, encontrando así una relación inversamente proporcional, sin embargo Torres y Chaparro (2015), observaron que a mayor concentración de amoxicilina se obtiene mayores valores de actividad metanogénica, siendo su relación directamente proporcional, ya que la amoxicilina sirve de sustrato.
- La caracterización del lodo anaeróbico fue de 124g/L de sólidos volátiles diferente al lodo aeróbico de Corsio (2006) con 306g/L, así mismo la relación

entre sólidos Volátiles y Sólidos Totales en la presente investigación fue de 84% y la de lodo aeróbico fue de 57% afectando a su producción de biogás que fue de 12.08 litros durante 45 días, y el lodo anaeróbico tuvo un volumen de 4 litros durante 2 días y medio.

- La relación de sólidos volátiles entre sólidos totales en el presente trabajo va acorde con Hulshoff- Poi (1989) que indica valores entre 0.45 y 0.9. De igual manera con la concentración típica de sólidos volátiles según Fiekl (1987) con valores entre 70 a 120 g/L; en el presente trabajo el lodo contenía 104 g/L de sólidos volátiles.
- Según el cálculo estadístico el valor de F es 2313 y la significación es 0,000. Al ser la significación menor de 0,05 hay diferencia significativa a diferentes concentraciones de Stabrex ST70, descartándose la hipótesis que indica que a mayor concentración de Stabrex ST70, mayor será la actividad metanogénica



## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### ***5.1. Conclusiones***

- Con un nivel de significancia de 0.05, se descarta la hipótesis nula y concluye que a mayor concentración de biocida Stabrex ST70 menor es la actividad metanogénica del lodo anaeróbico, ya que a una concentración de 1 ppm la actividad metanogénica fue de 0.51 gDQO/gSSV.d. y a 19 ppm de 0.20 gDQO/gSSV.d.
- Las características cuantitativas y fisicoquímicas del lodo anaeróbico fue de 124 g/L de sólidos totales y 104 g/L de sólidos volátiles con una relación de 84% entre sólidos volátiles y totales.
- La actividad metanogénica determinada para el lodo anaeróbico de cervecería fue en promedio 0.53 gDQO/gSSV.d. para las características fisicoquímicas del lodo anaeróbico que presentó.
- La producción de biogás es directamente proporcional al valor de actividad metanogénica, obteniéndose en promedio 4274, 4118, 2575 y 1708 ml respectivamente a 0, 1, 10 y 19 ppm. La disminución de la actividad metanogénica fue de 3%, 18% y 61% correspondiente a 1, 10 y 19 ppm, considerándose tóxico a cualquier valor mayor a 25%.

### ***5.2. Recomendaciones***

- Evaluar otros factores (volumen de muestra, temperatura) que intervienen en la actividad metanogénica y ayudarán a tener un mayor control de la técnica.
- Efectuar análisis físico-químicos al agua: sólidos suspendidos por gravimetría, AGV por volumetría según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, antes y después del tratamiento.

- Realizar caracterización cuantitativa del lodo anaeróbico, para tener información de los grupos tróficos de microorganismos que intervienen en la actividad metanogénica por método de NMP con sustrato de glucosa, lactato, lactosa, acetato, propionato.
- Realizar pruebas de toxicidad de todas las sustancias químicas que ingresan al tratamiento de aguas residuales de tratamiento anaeróbico, para calcular los valores máximos permisibles de dichas sustancias y así poder evitar la pérdida de lodo. Además de mantener el control de consumo de dichas sustancias químicas.
- Utilizar los siguientes elementos de protección personal como guantes, guardapolvo y mascarilla, para evitar el contacto directo con sustancias químicas tóxicas peligrosas como es el caso del biocida Stabrex ST7 y la soda cáustica.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters. 25th. Ed American Public Health Organization. Washington, D.C., USA,: American Public Health Organization.
- Aquino, S. y otros. 2007. Metodologias para determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) Em Lodos Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 12 –No. 2.
- Barrera, S. 1993. Fundamentos del tratamiento anaeróbico. Seminario sobre tecnología de tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de los Andes.
- Chavez M. y otros. 2006. Evaluación de biomasa en el lodo granular anaerobio en reactores por carga. Venezuela.
- Chernicharo, C. 2007. Principios do tratamento biológico de águas residuárias. UFMG. 2° ed. Belo horizonte. Brasil. 379.
- Corcio R. 2006. Producción de biogás mediante la digestión anaeróbica de lodos flotantes de oxidación de aguas residuales de Chepén. Perú.
- Coronel E. y Marquez J. 2009. Granulación de un lodo anaeróbico en un RAFA, utilizando diferentes medios de soporte, y, lixiviado como substrato. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Diaz, M., Espitia, S. y Molina, F. 2002. Digestión anaerobia. Una aproximación a la tecnología. Universidad Nacional de Colombia. Barrera, S. (1993). Fundamentos del tratamiento anaeróbico. En: Seminario sobre tecnología de tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- Du, J., y otros. 2015. Influence of four antimicrobials on methane-producing archae and sulfate-reducing bacteria in anaerobic granular sludge. Japón.
- Estrada Vázquez C. y otros. 2001. Tolerance to oxygen exposure of anaerobic suspended biomass. Proc. 9th World Cong. Anaerobic Digestion - Anaerobic Conversion of Sustainability. Part 2. Antwerpen, Bélgica. pp. 575-579.
- Field, J. 1987. Medición de parámetros. Curso de arranque y operación de reactores anaerobios con flujo ascendente y manto de lodos (UASB). Universidad del Valle, Cali. Colombia.

- Gutiérrez, M. 2001. Influencia de un Inoculo Mixto en el Arranque de un Reactor UASB a Escala de Laboratorio. Tesis Pregrado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Santiago de Cali.
- Hulshoff-Pol, L., Worp, L.W. y Lettinga, G. (1986). Physical characterization of anaerobic granular sludge. Proc. NVA/ EWPCA, Water Treat. Conf. Anaerobic Treatment: A growup technology, Amsterdam, The Netherlands. Sept. 1986: 89-101.
- Hulshoff-Pol, L. 1987. Arranque y operación de reactores UASB. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo UASB. Manual del curso. Universidad del Valle. Corporación Autónoma Regional del Cauca y Universidad Agrícola de Wageningen. Santiago de Calí. Colombia. Noviembre. E-1 - E-11.
- Hulshoff-Pol, L. 1989. The phenomenon of granulation of anaerobic sludge. Tesis doctoral. Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda.
- Hutnan M, Mrafkova L, Drtil M, Derco J. 1999. Methanogenic and non-methanogenic activity of granulated sludge in anaerobic baffled reactor. Chem. Papers 53: 374-378.
- Inca P. y Vargas E. 2010. Tratamiento anaeróbico de las vinazas provenientes de la industria pisquera mediante reactores UASB a escala piloto. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Ince O, Ince BK, Yenigun O. 2001. Determination of potential methane production capacity of a granular sludge from a pilot-scale up flow anaerobic sludge blanket reactor using a specific methanogenic activity test. J. Chem. Technol. Biotechnol. 76: 573-578.
- Manobamba S. y Heras V. 2015. Cuantificación del metano utilizando la técnica de actividad metanogénica específica en lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba. Ecuador.
- Martínez M. y otros . 2012. Evaluación de la digestión anaerobia como alternativa de estabilización de biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Mélida del Pilar Anzola Rojas, Antonio Oliveira Netto, Marcelo Zaiat (2008). Actividad metanogénica específica en un reactor anaerobio-aerobio aplicado al tratamiento de agua residual doméstica. Interciencia, abril, año/vol. 33, número 004, pp. 284-289.
- Palacios A. y otros. 2013. Determinación de la actividad metanogénica. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

- Penna, J. y otros. 1991. Study of the methodology of specific methanogenic activity determination. In: Sixth International Symposium on Anaerobic Digestion. Sao Paulo, Brasil.
- Rypley, L. y otros. 1996. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high strength wastes. En: Journal water pollution control federation, V. 58.
- Tejerina M. y otros. 2007. Efectos del amoníaco, sulfuro y taninos sobre la actividad de un lodo anaeróbico. Argentina.
- Torres Lozada, P., & Pérez, A. 2010. Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaeróbico de aguas residuales. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. 9, 5-14.
- Torres Y. y Chaparro T. 2015. Actividad metanogénica específica de una solución acuosa de amoxicilina. Colombia.
- Vich D. 2006. Atividade metanogénica e comunidade microbiana envolvidas na degradação de metilamina. Tesis. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, Brasil. 76 pp.
- Zaiat M, y otros. 2000. Avaliação da influencia de algumas variáveis sobre a atividade metanogénica específica do lodo anaeróbico. XIII Simpósio Nacional de fermentações. SINAFERM 2000. Teresópolis, RJ, Brasil. 6 pp.
- Zhang, W., y otros. 2014. Batch anaerobic co-digestion of pig manure with dewatered sewage sludge under mesophilic. China.

## VII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### CARACTERIZACIÓN DEL LODO ANAERÓBICO

- **Determinación de Sólidos Totales:**

Datos:

Peso de crisol vacío ( $P^\circ$ ) = 37.8968 g

Peso de crisol en estufa ( $P1$ ) = 44.1078 g

Fórmula:

$$ST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(P1 - P^\circ) * 10^6}{Volumen\ de\ lodo\ (ml)}$$

$$ST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(37.8968 - 44.1078) * 10^6}{50}$$

$$ST = 124220\ mg/L$$

- **Determinación de Sólidos Volátiles:**

Datos:

Peso de crisol en estufa ( $P1$ ) = 44.1078 g

Peso de crisol en mufla ( $P2$ ) = 38.9132 g

Fórmula:

$$SV \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(P1 - P2) * 10^6}{Volumen\ de\ lodo\ (ml)}$$

$$SV \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(44.1078 - 38.9132) * 10^6}{50}$$

$$SV = 103892\ mg/L$$

## ANEXO 2

### PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN

- **Preparación de solución de patrón de Strabrex 6700 ppm**

Densidad de Stabrex ST70: 1.34 g/ml

Volumen total: 1 L

$$\text{Concentración} \frac{mg}{L} = \frac{\text{Peso (mg)}}{\text{Volumen (L)}}$$

$$6700 \frac{mg}{L} = \frac{\text{Peso (mg)}}{1 L}$$

$$6700mg = \text{Peso}$$

$$\text{Peso} = \text{Densidad} \left( \frac{g}{ml} \right) * \text{volmen (ml)}$$

$$6.7 g = 1.34 \left( \frac{g}{ml} \right) * \text{volmen (ml)}$$

$$\text{Volumen} = 5ml$$

- **Calculo de soluciones de Stabrex ST 70**

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

**1 ppm:**

$$6700ppm * V1 = 1 ppm * 1800 ml$$

$$V1 = \frac{1ppm * 1800ml}{6700ppm}$$

$$V1 = 0.27ml$$

**10 ppm:**

$$6700ppm * V1 = 10 ppm * 1800 ml$$

$$V1 = \frac{10ppm * 1800ml}{6700ppm}$$

$$V1 = 2.68ml$$

**19 ppm:**

$$6700ppm * V1 = 19 ppm * 1800 ml$$

$$V1 = \frac{19ppm * 1800ml}{6700ppm}$$

$$V1 = 5.10ml$$

### ANEXO 3 CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

*Datos para determinar la varianza*

# Muestras	Concentración mg/L	AME DQO/gSSV*d
1	0	0.53
2	0	0.53
3	0	0.52
4	1	0.51
5	1	0.51
6	1	0.52
7	10	0.43
8	10	0.43
9	10	0.43
10	19	0.2
11	19	0.21
12	19	0.2

*Nota.* Elaborado por los autores.

- Cálculo de la varianza de la actividad metanogénica

$$\text{Media } (\bar{X}) = \frac{0.53+0.53+0.52+0.51+0.51+0.52+0.43+0.43+0.43+0.20+0.21+0.20}{12} = 0.4183$$

$x_i$	$(\bar{x} - x_i)$	$(\bar{x} - x_i)^2$
0.53	0.11166667	0.0125
0.53	0.11166667	0.0125
0.52	0.10166667	0.0103
0.51	0.09166667	0.0084
0.51	0.09166667	0.0084
0.52	0.10166667	0.0103
0.43	0.01166667	0.0001
0.43	0.01166667	0.0001
0.43	0.01166667	0.0001
0.20	-0.21833333	0.0477
0.21	-0.20833333	0.0434
0.20	-0.21833333	0.0477

*Nota.* Elaborado por autores.



Concentración	Xk	Xg	(Xk-Xg) <sup>2</sup>	n	n(Xk-Xg) <sup>2</sup>
0	0.53	0.4183	0.0117	3	0.0352
1	0.51	0.4183	0.0084	3	0.0252
10	0.43	0.4183	0.0001	3	0.0004
19.00	0.20	0.4183	0.0462	3	0.1387

*Nota.* Elaborado por autores.

$$SC_F = \sum n (Xk - Xg)^2$$

$$SC_F=0.1995$$

Xik	Xk	(Xik - Xk)	(Xik-Xk) <sup>2</sup>
0.53	0.53	0.0033	0.00001
0.53	0.53	0.0033	0.00001
0.52	0.53	-0.0067	0.00004
0.51	0.51	0.0000	0.00000
0.51	0.51	0.0000	0.00000
0.52	0.51	0.0100	0.00010
0.43	0.43	0.0000	0.00000
0.43	0.43	0.0000	0.00000
0.43	0.43	0.0000	0.00000
0.20	0.20	-0.0033	0.00001
0.21	0.20	0.0067	0.00004
0.20	0.20	-0.0033	0.00001

*Nota.* Elaborado por autores.

$$\sum (Xik - Xk)^2 = 0.00023$$

Grados de libertad

Factor, entre los grupos

$$k-1$$

$$4-1=3$$

Residual, dentro de los grupos

$$n-k$$

$$12-4= 8$$

Total

$$n-1$$

$$12-1=11$$

$$MC_F = \frac{SC_F}{k-1} = \frac{0.1995}{3} = 0.0665$$

$$MC_R = \frac{SC_R}{n-k} = \frac{0.00023}{8} = 0.00002875$$

$$MC_T = \frac{SC_T}{n-1} = \frac{0.1995 + 0.00023}{11} = 0.01816$$

$$F = \frac{MC_F}{MC_R} = \frac{0.0665}{0.00002875} = 2313$$

#### **ANEXO 4**

### **ANÁLISIS DE ACTIVIDAD METANOGENICA**

- Se agregó 500 gramos de soda caustica.



- Mezcla de soda cáustica con agua



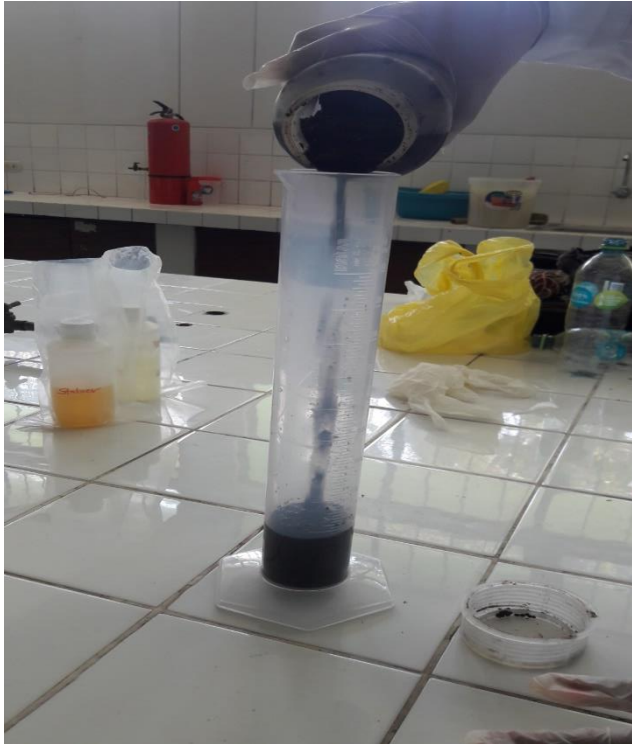
- Pesado de nutrientes : bicarbonato de sodio, sacarosa, cloruro de amonio, fosfato de diácido de potasio, fosfato monoácido de potasio



- Disolución de nutrientes



- Se midió el lodo anaerobio



- Mezclar el lodo con los nutrientes



- Montaje del equipo para el análisis volumetrico



- Agitación y calentamiento del fermentador.



- Biobida STABREX ST70



- Preparación de biocida solución patrón.





**ANEXO 5**  
**CARACTERIZACIÓN DEL LODO ANAERÓBICO**



Crisol vacío



Sólidos totales



Crisol en mufla



Material volátil

**ANEXO 06****VOLUMENES ACUMULADOS EN ENSAYOS**

- 0 ppm:

Tiempo (h)	Volumen Acum (ml)		
	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
0	0	0	0
1	400	350	410
2	850	800	840
3	1200	1080	1146
4	1500	1330	1446
5	1700	1510	1651
6	1895	1680	1831
7	2105	1880	2021
8	2205	1965	2111
9	2265	2035	2179
10	2495	2245	2389
11	2715	2485	2619
12	2815	2585	2704
13	2895	2665	2799
17	2985	2750	2884
18	3065	2830	2964
20	3135	2920	3037
21	3210	3005	3116
22	3315	3095	3196
23	3365	3175	3256
24	3405	3245	3316
25	3435	3315	3371
26	3465	3375	3421
27	3505	3425	3461
28	3535	3465	3506
29	3585	3505	3546
30	3645	3555	3596
31	3685	3595	3636
32	3735	3645	3686
33	3780	3680	3731
34	3825	3715	3786
35	3885	3775	3846
36	3935	3825	3896
37	3995	3885	3946
38	4025	3925	3986
39	4060	3965	4021
40	4085	4000	4051
41	4105	4030	4076
42	4130	4060	4096
43	4160	4085	4121
44	4190	4115	4141

45	4210	4140	4161
46	4230	4160	4181
47	4240	4180	4191
48	4250	4190	4201
49	4260	4200	4211
50	4270	4210	4221
51	4280	4220	4231
52	4290	4230	4241
53	4295	4235	4246
54	4300	4240	4251
55	4305	4245	4256
56	4310	4250	4261
57	4310	4250	4261
58	4310	4250	4261
59	4310	4250	4261
60	4310	4250	4261

- 1 ppm:

Tiempo (h)	Volumen Acum (ml)		
	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
0	0	0	0
1	400	400	385
2	810	780	775
3	1160	1100	1085
4	1460	1380	1365
5	1660	1570	1545
6	1870	1760	1745
7	1980	1880	1865
8	2060	1980	1955
9	2120	2060	2020
10	2320	2280	2225
11	2550	2490	2455
12	2650	2650	2655
13	2730	2780	2795
17	2820	2880	2895
18	2900	2970	2985
20	2970	3040	3055
21	3045	3105	3130
22	3150	3160	3195
23	3200	3205	3255
24	3240	3250	3321
25	3270	3290	3371
26	3300	3320	3421
27	3340	3360	3461
28	3370	3390	3491

29	3420	3440	3521
30	3480	3495	3556
31	3520	3535	3596
32	3570	3585	3631
33	3615	3630	3676
34	3660	3675	3706
35	3720	3725	3741
36	3770	3765	3771
37	3830	3800	3804
38	3860	3830	3834
39	3895	3865	3869
40	3920	3890	3894
41	3940	3910	3914
42	3965	3935	3939
43	3995	3965	3969
44	4025	3985	3999
45	4045	4005	4019
46	4065	4025	4039
47	4075	4035	4049
48	4085	4045	4059
49	4095	4055	4069
50	4105	4060	4079
51	4115	4065	4089
52	4125	4070	4099
53	4130	4075	4104
54	4135	4080	4109
55	4140	4085	4114
56	4145	4090	4119
57	4145	4090	4119
58	4145	4090	4119
59	4145	4090	4119
60	4145	4090	4119

- 10 ppm:

Tiempo (h)	Volumen Acum (ml)		
	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
0	0	0	0
1	240	230	240
2	990	880	920
3	1190	1130	1150
4	1430	1350	1360
5	1550	1490	1510
6	1550	1540	1510

7	1550	1545	1510
8	1550	1545	1510
9	1550	1545	1510
10	1550	1545	1510
11	1550	1545	1510
12	1550	1550	1520
13	1560	1560	1550
17	1560	1560	1560
18	1560	1560	1560
20	1560	1560	1560
21	1560	1560	1560
22	1560	1560	1560
23	1560	1560	1560
24	1560	1560	1560
25	1560	1560	1570
26	1570	1570	1600
27	1650	1650	1670
28	1740	1720	1750
29	1820	1800	1820
30	1850	1830	1880
31	1910	1890	1930
32	1960	1940	1980
33	2020	1985	2025
34	2060	2025	2065
35	2100	2065	2105
36	2150	2125	2160
37	2205	2190	2210
38	2245	2270	2255
39	2290	2340	2295
40	2330	2390	2340
41	2380	2430	2380
42	2420	2460	2425
43	2450	2500	2455
44	2485	2535	2485
45	2505	2555	2515
46	2525	2575	2535
47	2535	2585	2545
48	2545	2595	2555
49	2560	2595	2555
50	2570	2595	2555
51	2575	2595	2555
52	2580	2595	2555
53	2580	2595	2555
54	2580	2595	2555
55	2580	2595	2555
56	2580	2595	2555

57	2580	2595	2555
58	2580	2595	2555
59	2580	2595	2555
60	2580	2595	2555

- 19 ppm:

Tiempo (h)	Volumen Acum (ml)		
	Ensayo N°1	Ensayo N°2	Ensayo N°3
0	0	0	0
1	320	300	325
2	680	620	655
3	760	720	745
4	770	750	765
5	930	900	915
6	940	920	935
7	940	920	935
8	940	920	935
9	950	940	935
10	960	950	945
11	960	960	950
12	970	970	955
13	980	980	965
17	980	980	965
18	990	985	970
20	1000	1005	980
21	1010	1015	990
22	1030	1035	1010
23	1050	1060	1030
24	1090	1075	1060
25	1110	1105	1100
26	1150	1130	1130
27	1180	1150	1160
28	1200	1190	1190
29	1220	1230	1230
30	1250	1265	1260
31	1280	1295	1280
32	1310	1315	1300
33	1340	1350	1320
34	1360	1370	1340
35	1380	1380	1360
36	1400	1400	1380
37	1410	1420	1400
38	1430	1440	1420
39	1450	1460	1440
40	1470	1480	1460

41	1490	1500	1480
42	1510	1520	1500
43	1520	1540	1510
44	1540	1570	1530
45	1565	1590	1545
46	1595	1610	1575
47	1615	1630	1595
48	1625	1650	1625
49	1635	1670	1645
50	1645	1680	1665
51	1665	1690	1675
52	1685	1700	1685
53	1695	1710	1695
54	1700	1715	1700
55	1700	1715	1705
56	1700	1715	1710
57	1700	1715	1710
58	1700	1715	1710
59	1700	1715	1710
60	1700	1715	1710

---

**ANEXO 07**  
**CÁLCULO DE ACTIVIDAD METANOGENICA**

Volumen de lodo = 0.250 L

T° de trabajo = 35°C

Corrección de T° =  $\frac{(0+273)}{(35+273)} = 0.886$

SSV g/L= 103.892 g/L

Presión = 1016 mb

$$FC = \frac{1000}{1016} * 350 * \frac{273 + 35}{273} = 388.7$$

$$AME = \frac{Pendiente * 24}{(FC * SSVg/L * 0.25L)}$$

$$Pendiente = \frac{Yf-Yo}{Xf-Xo}$$

Concentración ppm	Ensayo	Pendiente	AME (gDQO/gSSV.d)	Volumen (ml)
0	N° 1	225	0.53	4310
0	N° 2	225	0.53	4250
0	N° 3	220	0.52	4261
1	N° 1	215	0.51	4145
1	N° 2	215	0.51	4090
1	N° 3	217.5	0.52	4119
10	N° 1	180	0.43	2580
10	N° 2	180	0.43	2595
10	N° 3	180	0.43	2555
19	N° 1	85	0.2	1700
19	N° 2	90	0.21	1715
19	N° 3	85	0.2	1710



## ANEXO 08

### **Ficha de observación AD HOC “Registro de volumen producido”.**

[illegible]