



TITULACION

TESIS PROFESIONAL

GENERACION DE BIOGAS APARTIR DE LA DEGRADACION
ANAEROBIA DE RESIDUOS ORGANICOS DE COCINA

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

NELSON OBIEL GONZALEZ ANDRADE

DIRECTOR DE TESIS

DR. LEANDRO CHAIRES MARTINEZ

CO-DIRECTOR DE TESIS

M.B. ALEJANDRO CRUZ HERNANDEZ

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCION | 5 |
| CAPITULO I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 6 |
| 1.1.- Antecedentes generales de la empresa | 6 |
| 1.2.-Organigrama de la empresa | 8 |
| 1.3.-Planteamiento del Problema. | 9 |
| 1.4.-Justificación..... | 9 |
| 1.5.-Objetivos de la investigación..... | 10 |
| 1.5.1.- Objetivo principal..... | 10 |
| 1.5.2.-Objetivos específicos..... | 10 |
| 1.6.- Cronograma de Actividades | 11 |
| CAPITULO II. MARCO TEORICO | 12 |
| 2.1.-Desechos orgánicos..... | 12 |
| 2.1.1.-Residuos de frutas y verduras | 13 |
| 2.2.-Inóculo..... | 13 |
| 2.2.1.-Origen del inoculo..... | 14 |
| 2.2.2.-Estiércol de ganado porcino..... | 14 |
| 2.3.-Digestión anaerobia..... | 14 |
| 2.3.1.-Hidrólisis. | 15 |
| 2.3.2.-Acetogénesis. | 15 |
| 2.3.3.-Metanogénesis..... | 16 |
| 2.3.4.-Condiciones óptimas de la digestión | 17 |
| 2.3.5.-Relación sustrato/inoculo (S/I)..... | 17 |
| 2.4.-Potencial bioquímico de producción de biogás | 18 |
| 2.5.-Inhibidores de la producción de biogás..... | 18 |
| 2.6.-Usos del Biogás | 18 |
| CAPITULO III.-APLICACIONES Y RESULTADOS | 19 |
| 3.1.-Solución del problema..... | 19 |
| 3.2.-Materiales a utilizar..... | 19 |
| 3.3.-Recolección y acondicionamiento de los desechos orgánicos | 20 |
| 3.4.-Recolección de estiércol para la preparación del inoculo..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.-Produccion de biogás en biodigestores batch | 21 |
| 3.6.-Determinacion de técnicas analíticas | 22 |
| 3.6.1.- Sólidos totales. | 22 |
| 3.6.2.-Solidos Volátiles | 23 |
| 3.6.3.-Solidos totales volátiles | 23 |
| 3.6.4.-Determinacion de porcentaje de humedad | 24 |
| 3.6.5.-Determinacion de la demanda química de oxígeno..... | 24 |
| 3.7.- Resultados de la producción de biogás a partir de residuos orgánicos | 25 |
| 3.7.1.-Recolección de los desechos orgánicos | 25 |
| 3.7.2.-Caracterización de los desechos orgánicos y estiércol porcino..... | 26 |
| 3.7.3.- Producción de biogás en reactores tipo batch | 27 |
| 3.7.4.-Efecto de los niveles de sustrato en la producción de metano | 28 |
| 3.7.5.-Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) | 29 |
| 3.7.6.-Evaluación del pH en la generación de Biogás | 29 |
| 3.8.- Conclusiones..... | 30 |
| BIBLIOGRAFIA | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.-Fase del proceso anaerobio----- | 16 |
| Figura 2.- Desechos orgánicos triturados----- | 20 |
| Figura 3.- Preparación del inóculo ----- | 21 |
| Figura 4.- Biorreactores tipo Batch ----- | 22 |
| Figura 5.-Demanda Química de Oxígeno ----- | 25 |
| Figura 6.- Efecto del sustrato en la producción de metano ----- | 28 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.-Diseño experimental ----- | 21 |
| Tabla 2.- Composición de los desechos orgánicos----- | 26 |
| Tabla 3.- Caracterización de los residuos orgánicos y el inóculo ----- | 26 |
| Tabla 4.- Demanda Química de Oxígeno----- | 29 |
| Tabla 5.- Efecto de pH ----- | 29 |



INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos generados en grandes cantidades en mercados y centros de distribución de alimentos, constituyen una problemática al ser dispuestos en sitios no controlados, estas al final van a dar aun vertedero o desecho sanitario, causando de algún modo contaminación. A pesar de que en México la regulación de este tipo de residuos es una práctica reciente, teniendo como consecuencia la falta de información exacta y confiable acerca de los volúmenes de generación, así como falta de estrategias para su manejo adecuado.

Los problemas ambientales y sanitarios ligados al manejo inadecuado de estos residuos se traducen en la proliferación de fauna nociva y de vectores de enfermedades, la generación de lixiviados; potencialmente contaminantes de suelo y mantos acuíferos, así como la emisión de gases nocivos y partículas al ambiente. Por lo que se puede establecer una solución de los desechos de origen vegetal y animal, estas se pueden transformar por acción microbiana, dando como resultado biogás, mediante el uso de biorreactores.

La producción de biogás proporciona una fuente de energía renovable, y puede usarse para reemplazar los combustibles (hidrocarburos) en la generación de calor y energía y como combustible para vehículos. Por lo que el objetivo de este trabajo es obtener biogás a partir de la degradación de residuos orgánicos de cocina de forma anaerobia y obtener una energía limpia con bajos niveles de contaminantes

CAPITULO I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- Antecedentes generales de la empresa

La Fundación del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, fue hecha en 1999, aunque sus funciones administrativas y académicas, las realizó a partir del 7 de Febrero de 2000; con el firme propósito de formar profesionales e investigadores aptos para la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos.

El Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, es un organismo público descentralizado del Gobierno del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propios, el cual, tiene como objetivo fomentar e impartir la Educación Tecnológica; así como, realizar investigación científica en la región, que contribuya al desarrollo productivo y elevación de la calidad de vida de la Comunidad.

Cuenta con la carrera en; Ingeniería en Industrias Alimentarias en el cual es un profesionista especializado en la producción y transformación de alimentos, en el manejo de procesos industriales alimentarios, en la mejora de la calidad de los productos alimentarios.

Ingeniería en Sistemas Computacionales, este es un profesional con sólidos conocimientos en las ciencias de la computación, líderes, analíticos, críticos y creativos, con visión estrategia y amplio sentido ético, capaces de diseñar, e implementar y administrar infraestructura computacional para aportar soluciones innovadoras en beneficio de la sociedad.

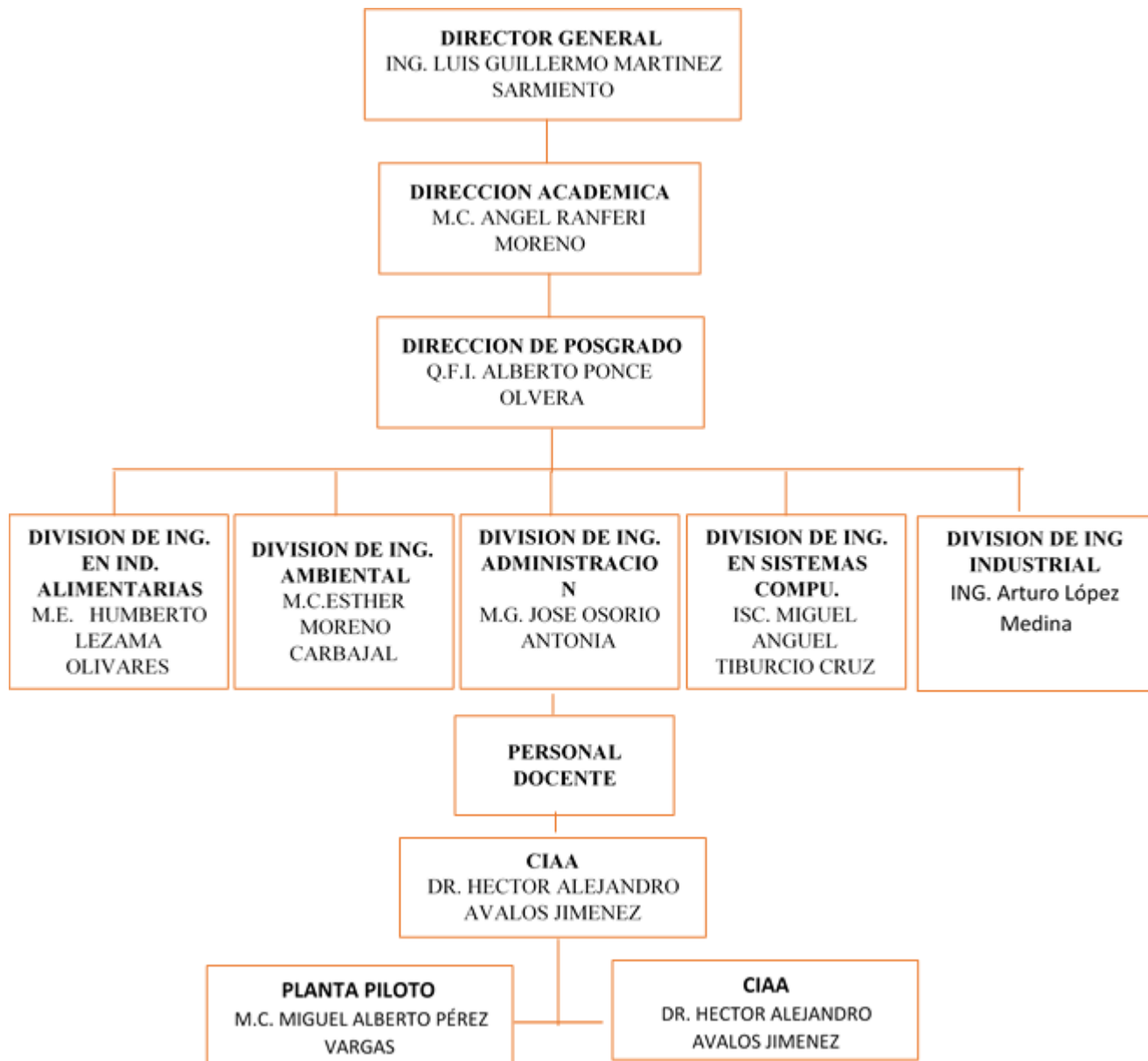
Ingeniería Ambiental, este es un profesionista con capacidad para administrar, diseñar, construir y operar sistemas de prevención, disminución y eliminación de contaminantes, generados por proyectos industriales, económicos y sociales además de participar en la gestión, evaluación y planeación de la sustentabilidad de los recursos naturales de forma ética y eficiente.

Ingeniería en Administración, este es un profesional que cuenta con un enfoque productivo e ingenieril, que le permite ver a la empresa como un todo; se profundiza en las áreas de recursos humanos, mercadotecnia, finanzas, contabilidad, impuestos, auxiliado en las nuevas tecnologías de la información.

Ingeniería Industrial, el ingeniero industrial es un profesional capacitado para incorporarse a instituciones públicas o privadas, tanto en empresas que utilizan tecnología de punta, como aquellas que cuyo nivel tecnológico es incipiente, así como en áreas administrativas, recursos humanos, producción.

Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación, Es un profesional que se enfoca a la integración, implementación, mantenimiento, operación y administración de soluciones sustentables en las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) al servicio de personas y organizaciones.

1.2.-Organigrama de la empresa (INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR DE ALAMO TEMAPACHE)



Esquema Del Departamento Del Centro De Investigación en Alimentos y Ambiental

1.3.-Planteamiento del Problema.

En México se generan toneladas de residuos orgánicos que pudieran utilizarse para la generación de fuentes bioenergéticas, sin embargo los problemas ambientales y sanitarios ligados al manejo inadecuado de los residuos orgánicos se traducen en la proliferación de fauna nociva, vector de enfermedades, la generación de lixiviados; potencialmente contaminantes de suelo y mantos acuíferos, así como la emisión de gases nocivos y partículas al ambiente.

En la ciudad de Álamo - Tuxpan los residuos orgánicos no son aprovechados, y son puestos a disposición del ayuntamiento, estos a su vez los colocan en vertederos o rellenos sanitarios, aumentando así la producción de gases tóxicos y contaminantes. Por lo que en esta investigación se pretenden aprovechar los residuos orgánicos de cocina para conocer los componentes del gas producido en biorreactores a escala laboratorio.

1.4.-Justificación

La producción de biogás es una alternativa para tratar los residuos orgánicos de cocina mediante digestión anaerobia; es uno de los procesos biológicos más usados para descomponer los materiales orgánicos (desechos de cocina). La digestión anaerobia ocurre con menor desprendimiento calórico, circunstancia que determina un mayor contenido energético y un incremento en la relación de nitrógeno original de los residuos digeridos. En el proceso participan un gran número de especies bacterianas, productoras del biogás.

La producción de biogás resulta una fuente de energía renovable, que puede usarse para reemplazar los combustibles fósiles en la generación de calor, energía y como combustible. Por lo que la investigación se centra en la generación de biogás a partir de la degradación de residuos orgánicos de cocina de forma anaerobia, para obtener energía limpia con bajos niveles de contaminantes.

1.5.-Objetivos de la investigación

1.5.1.- Objetivo principal

Obtener biogás a partir de la degradación de residuos orgánicos de cocina de forma anaerobia y así obtener una energía limpia con bajos niveles de contaminantes.

1.5.2.-Objetivos específicos

- Recolectar residuos orgánicos de los comedores de Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache.
- Caracterizar los residuos orgánicos mediante las técnicas de: ph, DQO, humedad, Materia orgánica, solidos volátiles totales, solidos suspendidos totales
- Determinar la caracterización del inóculo mediante las técnicas de: ph, DQO, humedad, Materia orgánica, ceniza, solidos volátiles totales, solidos suspendidos totales
- Analizar las condiciones óptimas para la generación del Biogás
- Determinar cinéticas de crecimiento de generación de biogás con respecto al tiempo y concentración de residuos orgánicos.

1.6.- Cronograma de Actividades

| Meses | AGOSTO | | | | SEPTIEMBRE | | | | OCTUBRE | | | | NOVIEMBRE | | | | DICIEMBRE | | | |
|---------------------------------|--------|---|---|---|------------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Investigación bibliográfica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño del biodigestor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Recolección de desechos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción de biodigestor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de R. organicos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Digestión de residuos orgánicos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redacción del reporte final | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1.-Desechos orgánicos

Los desechos orgánicos son restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica (Dante, 2013), dentro de ellos están los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel.

De acuerdo a la Política para la Gestión de Residuos, el aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia inicial es un residuo. La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente. De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables deben tener en cuenta lo siguiente:

Se trata de materia prima con valor comercial, en consecuencia sujeta a las leyes del mercado y consideradas como insumo.

Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.

2.1.1.-Residuos de frutas y verduras

Los residuos de frutas y verduras son producidos en grandes cantidades en mercados y centros de distribución de alimentos, cocinas económicas etc., de manera que constituyen una problemática al ser dispuestos en sitios no controlados. De manera que producen problemas ambientales por el manejo inadecuado de estos residuos, y se traducen en la proliferación de fauna nociva, enfermedades, la generación de lixiviados; potencialmente contaminantes de suelo y mantos acuíferos, así como la emisión de gases nocivos y partículas al ambiente (Ros *et al.* 2013).

El biogás al ser emitido libremente a la atmósfera tiene un efecto 21 a 23 veces el provocado por el CO₂ como gas de efecto invernadero (GEI) (Johari *et al.*, 2012). Una tonelada de residuos sólidos orgánicos tiene el potencial de liberar de 50 a 110 m³ de dióxido de carbono (CO₂) y de 90 a 140 m³ de biogás (CH₄) a la atmósfera (Macias-Corral *et al.* 2008)

2.2.-Inóculo

Se entiende como inóculo a la sustancia a partir de la cual se obtienen los microorganismos productores de biogás. La diversidad de inóculos es tan alta que incluso pueden presentarse variaciones en la comunidad microbiana al emplear el inóculo de una misma fuente, pero al haber sido muestreado en un momento diferente (Raposo *et al.* 2012).

Para llevar a cabo pruebas de degradación anaerobia, el inóculo se puede obtener de reactores anaerobios en operación, plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (es comúnmente empleado debido a las interacciones metabólicas de gran actividad que presentan y a la facilidad de acceso a esta fuente), estiércol y plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (cerveceras, refresqueras, alimenticias en general y productos de la fermentación), entre otros (Raposo *et al.* 2011).

2.2.1.-Origen del inóculo

El origen del inóculo determina factores; como la actividad inicial de los microorganismos, la diversidad dentro de la población microbiana y la adaptación a diversos tipos de sustratos. Además, empleado el inóculo puede contener sustrato biodegradable residual proveniente del proceso de origen, afectando las pruebas de potencial bioquímico de metano (Elbeshbishy *et al.* 2012).

2.2.2.-Concentración

La concentración de microorganismos empleada determinará la cinética de degradación, la fase de latencia y el tiempo de la prueba (Elbeshbishy *et al.*, 2012), y los valores de microorganismos reportados son en intervalos que van desde 2.1 gSV/L hasta 37gSV/L (Raposo *et al.*, 2012). Mientras se exceden las concentraciones de materia orgánica podrían causar inhibición en el proceso (Raposo *et al.* 2012)

2.2.3.-Estiércol de ganado porcino

Los desechos generados a partir de actividades ganaderas (estiércol) representan una problemática ambiental. La problemática asociada al estiércol generado a raíz de esta actividad económica es grande cuando se toma en cuenta que la producción de excretas, está reportada en un intervalo de entre 12 y 35 kg/cabeza/d en el caso del ganado bovino, dependiendo de las condiciones de alimentación y tipo de establo utilizado (Ruiz-Suárez and González-Avalos 1997).

2.3.-Digestión anaerobia

Los procesos anaerobios de los residuos orgánicos tienen la capacidad de estabilizar la materia orgánica, el control de olores, la recuperación de biogás y la obtención de un efluente con valor útil en agricultura, (Alburquerque *et al.* 2012). Además el biogás es de alto valor, ya que puede ser utilizado como fuente de energía renovable al estar compuesto por metano (Liao *et al.* 1984). El biogás, es el producto de la digestión anaerobia,

considerada una fuente de energía limpia y renovable, en algunos casos incluso sustituir las fuentes convencionales de energía.

El proceso anaerobio se lleva a cabo cuando no existe oxígeno en su forma molecular o ligada a otras moléculas en el medio. (MARM, 2010). Involucra microorganismos para facilitar la comprensión de materia orgánica y se lleva en varias etapas.

2.3.1.-Hidrólisis.

Las proteínas, carbohidratos y lípidos son transformados en aminoácidos, azúcares y ácidos grasos, respectivamente. Los microorganismos emplean enzimas extracelulares para transformar los compuestos orgánicos, deshaciendo enlaces y reduciendo su tamaño para dejarlos disponibles para su paso hacia la célula (Chen *et al.*, 2008).

2.3.2.-Fermentación.

Una vez dentro de la célula, las moléculas simples son transformadas a ácidos orgánicos de bajo peso molecular; ácidos grasos volátiles (AGV) y solventes como etanol y acetona, entre otros. Este proceso es útil para las células ya que les permite obtener energía en forma de adenosín trifosfato (ATP) a partir de compuestos orgánicos a pesar de que la ausencia de oxígeno en el medio (Chen *et al.*, 2008).

2.3.3.-Acetogénesis.

En esta etapa los productos de la fermentación son transformados a acetato mediante dos vías distintas: a partir de las moléculas orgánicas a través de reacciones de descarboxilación o bien, a partir de la reducción del CO₂ por una vía metabólica conocida como la vía del acetil-CoA (Madigan *et al.*, 1980). La vía del acetil-CoA consiste en la transformación paralela de dos moléculas de CO₂, en la que la primera es transformada dando lugar a un grupo metilo y la segunda provee el grupo carbonilo. Estas moléculas generan acetato y ATP por medio de actividad de complejos sistemas enzimáticos intermembranales o bien por medio de la fosforilación a nivel de sustrato (Guevara 1996).

2.3.4.-Metanogénesis.

Esta es la fase final del proceso anaerobio. Se lleva a cabo por bacterias *metanógenas*. La generación biológica del biogás se puede llevar a cabo por dos vías dependiendo el sustrato donador de electrones: la primera es la vía quimioorganótrofa, en la que el biogás se genera a partir de moléculas orgánicas, como por ejemplo acetato, y que contribuye con el 70% del metano generado biológicamente y la segunda es la quimilitótrofa, en la que se obtiene metano a partir de CO_2 e H_2 , contribuyendo con el 30% restante del metano producido. Para llevar a cabo la vía quimioorganótrofa los microorganismos tienen los mecanismos necesarios para llevar a cabo la transformación de las moléculas orgánicas hasta metano empleando enzimas que contienen cobalto en su estructura; sin embargo, para llevarla a cabo resulta necesaria la generación de electrones. Esta necesidad se compensa a partir de la oxidación enzimática de moléculas orgánicas a CO_2 , con lo que es posible obtener los electrones necesarios para conducir la reducción de grupos metilo hacia metano (Madigan *et al.*, 1980).

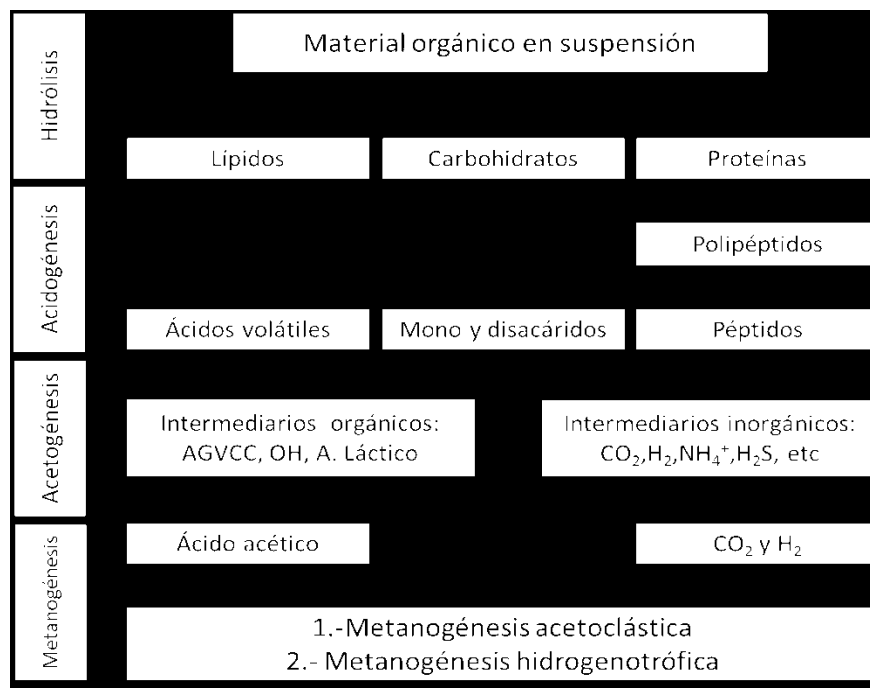


Figura 1.-Fase del proceso anaerobio

2.3.5.-Condiciones óptimas de la digestión

Un adecuado funcionamiento del biodigestor es la temperatura, recomienda los siguientes rangos; 0 – 20 °C, para el ambiente psicrófilico; 20 – 45 °C, para el ambiente mesófilico; y 45 – 97 °C, para el ambiente termófilico (Alcayaga *et al.*, 1999).

El pH determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6.0–7.5 (Vargas, 2006). Las bacterias que crecen en cada uno de estos ambientes son organismos diferentes (Vargas 2006). Otro factor determinante es el tiempo de retención, se definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación, el tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas del proceso, con una temperatura de 30 °C (Olaya 2006), debido a la variación de la temperatura, la cual es difícil de controlar. Esta variación de temperatura afecta el tiempo de retención, el cual varía de acuerdo con el factor de corrección que puede ser determinado (Vargas 1992). Además, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) influye sobre la producción de biogás, siendo la relación adecuada entre 20:1 y 30:1 (Alcayaga *et al.*, 1999).

2.3.6.-Relación sustrato/inoculo (S/I)

La relación inicial sustrato/inoculo (S/I) es uno de los factores más importantes en pruebas de degradación anaerobia en lotes (Elbeshbishy *et al.*, 2012). La relación constituye la cantidad de microorganismos presentes para degradar el sustrato adicionado. El rendimiento de producción se ve drásticamente reducido al emplear una relación S/I mayor a 4 $\text{gSV}_{\text{sustrato}}/\text{gSV}_{\text{inoculo}}$ (Hashimoto, 1989), sin embargo Zhou *et al.*, (2011), reportaron un valor de la relación S/I de 0.1 hasta 3 $\text{gSV}_{\text{sustrato}}/\text{gSV}_{\text{inoculo}}$. Owen *et al.*, (1979) propusieron estandarizar la relación S/I con 1 $\text{gSV}_{\text{sustrato}}/\text{gSV}_{\text{inoculo}}$. Sin embargo Lesteur *et al.*, (2010), reportan que cada sustrato tiene una relación S/I óptima en la cual existe un balance entre el potencial de producción de AGV y su capacidad amortiguadora debida a la hidrólisis de proteínas. De modo que han surgido propuestas por parte de los investigadores para determinar la relación S/I y los mejores resultados se han mostrado en valores de 0.3 y 1 $\text{gSV}_{\text{sustrato}}/\text{gSV}_{\text{inoculo}}$ (Lesteur *et al.*, 2010).

2.4.-Potencial bioquímico de producción de biogás

Es un procedimiento nivel laboratorio que tiene la finalidad de medir la capacidad máxima de biogás, también llamada producción específica máxima de metano (PEMM) (Lesteur *et al.*, 2010). El sustrato es puesto en contacto con un inóculo anaerobio bajo condiciones controladas para conocer el grado en que puede obtenerse biogás a partir del sustrato. Para determinar la biodegradabilidad del sustrato bajo las condiciones de la prueba, el valor de PEMM experimental se compara con el valor teórico (Salazar 2006).

2.5.-Inhibidores de la producción de biogás

En la mayoría de los digestores, la adición de surfactantes causa una disminución de la tasa de producción de biogás. Esto debe ser tomado en cuenta a la hora de adicionar residuos domésticos e industriales a un biodigestor en funcionamiento, ya que la productividad, lejos de aumentar se podría ver afectada. Los pesticidas, desinfectantes o antibióticos presentes en algunos residuos también pueden llegar a afectar el proceso según su concentración (García & Sanchez, 2006).

2.6.-Usos del Biogás

El biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa, sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, calefacción, como reemplazo de la gasolina o el diésel en motores de combustión interna. Este tiene un poder calorífico por lo general entre 50 y 70% del gas natural. Se debe tener especial cuidado con el ácido sulfhídrico del biogás, ya que ocasiona corrosión prematura en los equipos, por esta razón es necesario colocar una trampa de limadura de hierro en la línea de transporte del biogás (Valdivia, 2000).

CAPITULO III.-APLICACIONES Y RESULTADOS

3.1.-Solución del problema

En México se generan toneladas de desechos orgánicos que causan contaminación ambiental, ligados al manejo inadecuado de los residuos orgánicos se traducen en la proliferación de fauna nociva, vector de enfermedades, la generación de lixiviados; potencialmente contaminantes de suelo y mantos acuíferos, así como la emisión de gases nocivos y partículas al ambiente y su alto contenido de DQO. Sin embargo estos desechos pueden ser aplicados para la generación de nuevas fuentes de bioenergéticos, por ejemplo la producción de biogás, que proporciona una fuente versátil de energía renovable, ya que el metano puede usarse para reemplazar los combustibles fósiles en la generación de calor, energía y como combustible para vehículos. Por lo que en esta investigación se pretenden aprovechar los desechos orgánicos de cocina para conocer los componentes del gas producido en biorreactores a escala laboratorio.

3.2.-Materiales a utilizar

A continuación se enlistan los materiales y equipos para desarrollar el presente trabajo de investigación.

➤ Equipos

- Ph-metro Modelo (WPA, CD 100)
- Balanza granataria (OHAUS Modelo, N04120)
- Balanza analítica (OHAUS Modelo AR1140)
- Estufa (HERMLE Labortechnik GMBTT)
- Mufla
- Licuadora (MAN, Modelo LPU5071)
- Baño María (GRANT, Modelo 5686B)
- Rotavapor (STVART, Modelo RE300)

3.3.-Recolección y acondicionamiento de los desechos orgánicos

Los desechos orgánicos fueron recolectados en los comedores del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, estos se colocaron en bolsas de plástico de 2 kg y se conservaron a 4°C hasta su uso. Posteriormente los desechos orgánicos fueron sometidos a un proceso de trituración con una licuadora durante 1 min, con el objetivo de garantizar una mezcla homogénea de los elementos que constituyen el sustrato. Para ello se preparó una mezcla de sustrato y agua destilada 1:1 m/m (Sharma *et al.*, 1988).



Figura 2.- Desechos orgánicos triturados

3.4.-Recolección de estiércol para la preparación del inóculo

Se recolectaron 10kg de estiércol de porcino y se trasladaron en bolsas negras hasta el laboratorio para ser procesadas. Posteriormente se preparó el inóculo en una relación 1:3 (3kg de estiércol por 9 L de agua destilada-Figura 3), se ajustó el pH a 7 ± 2 con NaOH al 1N y se dejó a 35°C durante 20 días en oscuridad.



Figura 3.- Preparación del inoculo

3.5.-Produccion de biogás en biodigestores batch

Se utilizaron matraces Kitasatos de 250 mL (Figura 4) como biodigestores, se determinaron las concentraciones de inoculo a 1.5 gSTV/L de acuerdo a las recomendaciones de Fiel (1989). Al momento de preparar las pruebas se añadieron las cantidades necesarias de los sustratos de acuerdo a la caracterización de sólidos volátiles de tal forma que la concentración final vario de 0.5 -2.25 gSVT/kg, manteniendo el inoculo a 1.5 gSVT/L de manera que la relación S/I fue de 0.5, 1, 1.5 gSTV/kg _{sustrato} /gSTV/L _{inoculo} (Tabla 1), de acuerdo a estos datos, se determinó el potencial de producción de biogás. Se realizaron 2 repeticiones por cada tratamiento, y un control que contenía solo inoculo a 1.5 gSVT/

Tabla 1.-Diseño experimental

| Biorreactor | Relación S/I gSTV/kg_{sustrato}/gSTV/L_{inoculo} |
|----------------------|---|
| T0 | Sin sustrato |
| R₁ | 0.5 |
| R₂ | 1 |
| R₃ | 1.5 |



Figura 4.- Biorreactores tipo Batch

3.6.-Determinacion de técnicas analíticas

Durante el desarrollo del presente trabajo se determinaron los sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV)-(APHA (1992), humedad, materia orgánica y el pH de acuerdo a los métodos estándares (APHA, 1998) y se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) en los biorreactores, al inicio y final de la generación de biogás.

3.6.1.- Sólidos totales.

Se introdujeron 3 capsulas de porcelana en una estufa a una temperatura de 110°C durante 24 h hasta temperatura constante. Enseguida se pasaron a un desecador y se dejaron 30 min, posteriormente se pesaron en una balanza analítica. Se añadieron 5 g de estiércol y/o residuos orgánicos (según sea el caso) a cada capsula, y se introdujeron a la estufa a 105-110°C durante 24 h. Al término las capsulas se introdujeron de nuevo a un desecador y se pesaron. El resultado se expresó en g de Solidos Totales /Kg (Ecuación 1)

$$ST = \frac{(\text{Peso del crisol con muestra seca} - \text{Peso del crisol constante}) (1000)}{\text{Peso del crisol con muestra seca}} \quad (1)$$

3.6.2.-Sólidos Volátiles

Se registró el peso total del crisol más la muestra (5 mL) y se colocó en la estufa a 105-1010°C durante 24 horas, esto debido a las características del residuo empleado. Posteriormente se dejó enfriar en un desecador durante dos horas y se registró el peso. Finalmente, para determinar el contenido de sólidos volátiles se colocó el crisol en una mufla a 550°C durante un periodo de dos horas, con una tapadera de porcelana para evitar pérdida de material. Al término de esta etapa se colocó en la estufa a 103-105°C por veinte minutos y finalmente en desecador durante dos horas para registrar el peso.

$$SF = \frac{(\text{Peso del crisol después de la inserción} - \text{Peso del crisol constante}) (1000)}{(\text{Volumen de la muestra})} \quad (2)$$

$$SV = ST - SF \quad (3)$$

3.6.3.-Sólidos totales volátiles

Una vez obtenido los resultados de los ST. El crisol con la muestra se procede a su calcinación en una mufla a 550°C durante 30 min., posteriormente se colocan en un desecador y se esperan 30 min aproximadamente para registrar su peso.

$$STV = \frac{(\text{Peso del crisol seco mas muestra seca} - \text{Peso del crisol mas muestra insenerada}) (1000)}{(\text{Peso del crisol seco mas muestra seca} - \text{Peso del crisol seco})}$$

(4)

3.6.4.-Determinacion de porcentaje de humedad

El % de humedad se determinó siguiendo la metodología de solidos totales aplicando la siguiente ecuación 5

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra fresca} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra Fresca}} (100) \quad (5)$$

3.6.3.-Determinacion de la demanda química de oxigeno

A las muestras antes y después de la digestión anaerobia se les determino la demanda química de oxigeno (DQO) mediante el método de reflujó abierto (NMX-AA-030-SCFI-2001). A un tubo de ensayo de 10 mL se le adiciono 3 mL de la muestra, más 2mL de la solución de dicromato de potasio y 4 mL de solución de sulfato de plata. Se homogenizo suavemente y se colocaron en una estufa a 250°C durante 2 h. Finalmente la solución se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y se le adicionaron 5 gotas del indicador 1,10-Fenantrolina. Se tituló con la solución de sulfato ferroso amoniacal (La solución de sulfato amoniacal se validó mediante la fórmula 4), y se tomaron los mL gastados cuando la muestra dio un vire color rojo ladrillo y se determinó la DQO mediante la fórmula 5 (Figura 5)

$$M_2 = \frac{(M)(6)(V)}{V_2} \quad (4)$$

Donde:

M es la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

V es el volumen de la disolución

6 es el factor del sulfato ferroso

$$DQO \left(\frac{mgO_2}{L} \right) = \frac{V_1 - V_2 \times M \times 8000}{V_3} \quad (5)$$

Donde:

V1 es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo.

V2 es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.

V3 es el volumen en mL de la muestra.

M es la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.



Figura 5.-Demanda Química de Oxígeno

3.7.- Resultados de la producción de biogás a partir de residuos orgánicos

3.7.1.-Recolección de los desechos orgánicos

Los desechos recolectados en los comedores del Tecnológico Superior de Álamo Temapache se describen en la tabla 2, donde la recolección total fue de 10kg, en su mayoría fue la comida (tortillas, carne, frijoles, arroz) con el 50% del total, seguido las verduras con un 30% que corresponde a papa, zanahoria, calabaza y repollo., y por último el 20% corresponde a la cascara de frutas a excepción de los cítricos.

Tabla 2.- Composición de los desechos orgánicos

| Desechos | % |
|-------------------|-----|
| Comida | 50 |
| Verduras | 30 |
| Cascara de frutas | 20 |
| Total | 100 |

3.7.2.-Caracterización de los desechos orgánicos y estiércol porcino

El contenido de ST y SV de cada sustrato se presenta en la tabla 3. Los desechos de cocina y el estiércol de porcino mostraron valores altos en ST con 87.24 y 98.833 g/kg respectivamente. Mientras que la fracción orgánica de los sólidos totales volátiles en los desechos de cocina es de 107.17 g/kg y para el estiércol de 23.474 g/Kg. Así mismo a relación SV/ST fue de 98.922 % para los desechos orgánicos de cocina y 98.323 % para el estiércol respectivamente. Estos valores indica la materia orgánica que puede ser materializada (González-Sánchez., *et al* 2015). En general, los valores de pH para los desechos de cocina fue de 4.7 mientras que el del inculo de 5,79.

Tabla 3.- Caracterización de los residuos orgánicos y el inculo

| Parámetros | Residuos orgánicos | Inculo |
|-------------|--------------------|--------|
| Humedad (%) | 82.75 | 97.166 |
| ST (g/kg) | 87.24 | 98.833 |
| STV (g/kg) | 106.17 | 23.474 |
| SV (g/kg) | 98.92 | 97.166 |
| MO (%) | 5.53 | 44.922 |
| Ph | 4.7 | 5.79 |
| SV/ST (%) | 98.922 | 98.313 |

En cuanto a la humedad del sustrato e inoculo fue de 82.75 y 97.66 aproximadamente, de manera; los residuos son rápidamente acidificables (Pesta, 2007; Li et al., 2010). Los bajos valores de pH están ligados a la descomposición de la materia orgánica que está asociada con alto contenido humedad, lo que causa un aumento de la producción de ácidos grasos volátiles (AGV's), por lo tanto se evidencia la necesidad de acondicionar el pH con un alcalinizante (Abdulkarim & Abdullahi, 2010).

3.7.3.- Producción de biogás en reactores tipo batch

En la figura 5 se observa la producción de biogás con respecto al tiempo. El biodigestor (R₂) al inicio de la digestión las curvas del tratamiento (R₁) y tratamiento (R₃) presentaron la producción de biogás en los primeros 2 días, no así para el tratamiento R₂, donde su factor de retención fue hasta los 18 días, sin embargo la producción de biogás fue menor. Conforme transcurren los días, la producción de biogás se incrementa en R₁ y R₃, sin embargo el R₂ dio la mayor producción de biogás con 826 mL al día 26, son 8 veces más que el T₀ (Control)

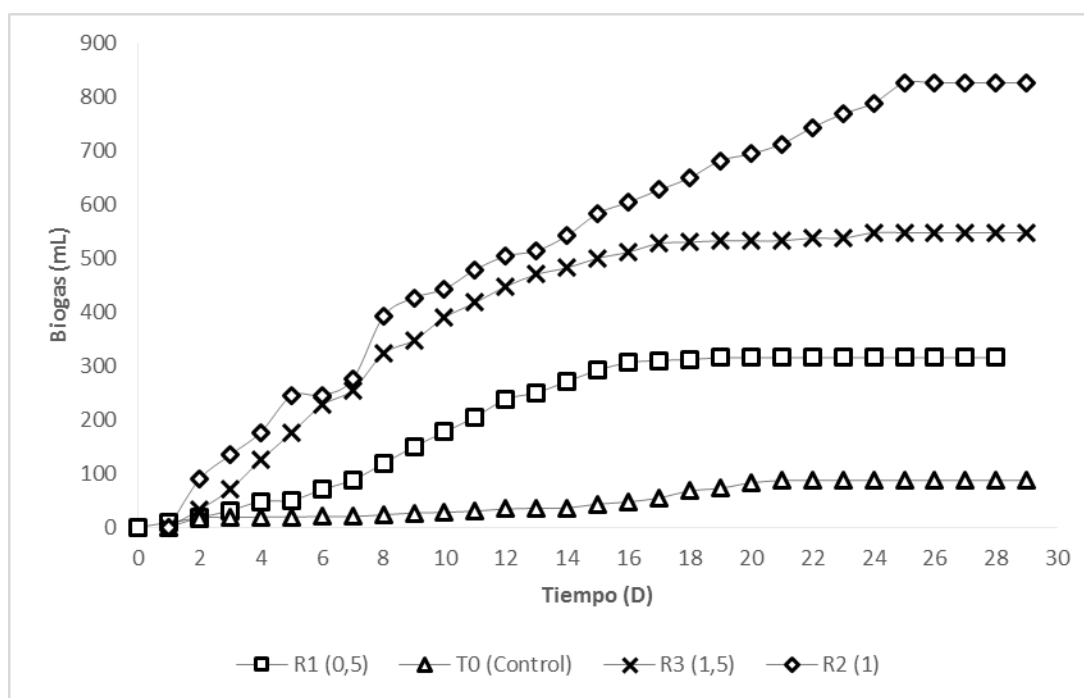


Figura 5.- Producción de biogás a partir de desechos de cocina

3.7.4.-Efecto de los niveles de sustrato en la producción de metano

En la figura 6 se observa el efecto de biomasa sobre la producción de metano de los residuos orgánicos. La cantidad de materia orgánica utilizada para cada ensayo fue de 0.75, 1.5 y 2.25 gSTV/kg. Mientras que la cantidad de inóculo fue constante (1.5 gSTV/L). La producción de metano fue menor cuando el sustrato fue de 0.75gSTV/kg, mientras que el sustrato fue de 1.5gSTV/kg la producción fue mucho mayor, logrando una producción máxima a los 26 días con 826mL de Biogás, en contraste cuando el sustrato fue de 2.25 gSTV/kg la producción de biogás fue de 500 mL a los 16 días aproximadamente, sin embargo se mantuvo constante hasta terminar el ciclo del experimento. El control se mantuvo constante con 100mL de biogás a partir de los 20 días aproximadamente.

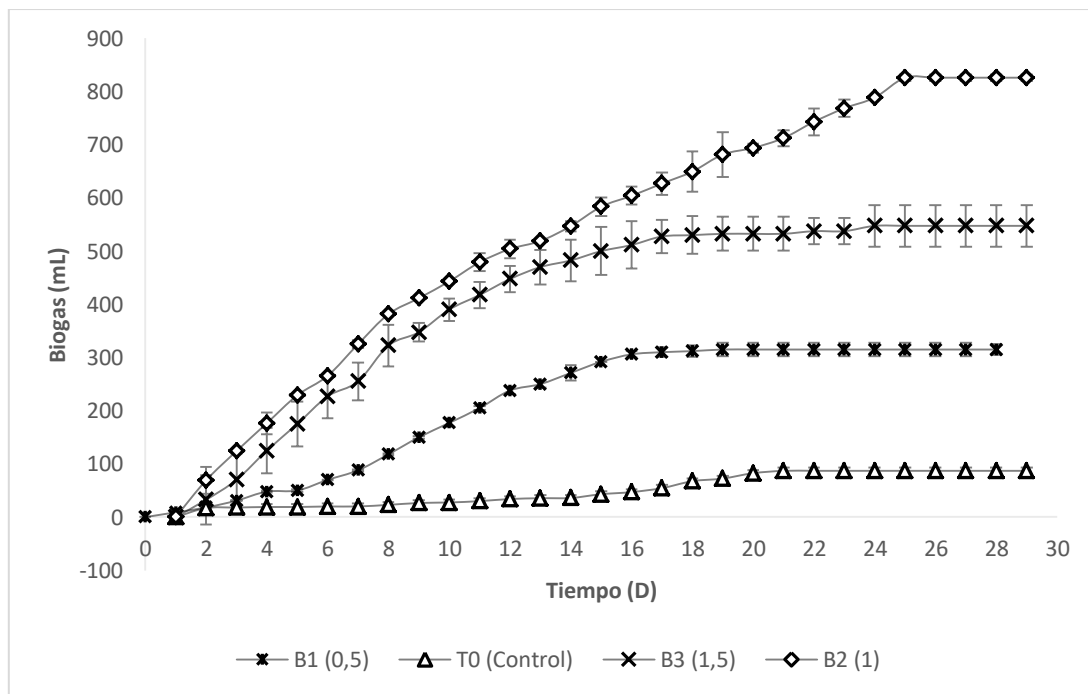


Figura 6.- Efecto del sustrato en la producción de metano

3.7.5.-Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se puede observar en la tabla 4 la evaluación de la DQO consumida por los microorganismos en los tratamientos. El R₂ fue el que obtuvo la mayor reducción de DQO con 77,826 mgO₂/L, seguido de R₁ con 76,330 mgO₂/L y R₃ con 46,396 mgO₂/L. Esto indica que la actividad de los microorganismos, así como las condiciones del ambiente anaerobio fueron responsables de la degradación reduciendo su actividad y con ello el consumo de oxígeno.

Tabla 4.- Demanda Química de Oxígeno

| | T₀(mgO₂/L) | R₁(mgO₂/L) | R₂(mgO₂/L) | R₃(mgO₂/L) |
|------------------|---|---|---|---|
| Inicial | 44,900±0,006 | 88,303±0,058 | 91,296±0,025 | 68,846±0,046 |
| Final | 37,416±0,000 | 11,973±0,006 | 13,470±0,020 | 22,450±0,069 |
| Reducción | 7,483 | 76,330 | 77,826 | 46,396 |

Se expresan los valores de la media ± el error estándar (n=3)

3.7.6.-Evaluación del pH en la generación de Biogas (biodigestores).

En la tabla 5 se observa el pH antes y después de la degradación de los desechos de cocina. Todos los tratamientos iniciaron a un pH de 7, mientras que en la etapa final el pH aumento de .25 a .35 unidades para el T₀ y T₂ respectivamente.

Tabla 5.- Efecto de pH

| pH | T₀ | R₁ | T₂ | T₃ |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Inicial | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Final | 7.25 | 7.35 | 7.38 | 7.3 |

3.8.- Conclusiones

La producción de biogás fue mayor en el Biorreactor R₂ que corresponde a la relación S/I de 1 con 826 mL al día 26, con 2.6 veces más que el T₀ (Control). Así mismo el R₂ obtuvo al final de la degradación 11,973 mgO₂/L de DQO, con una reducción de 76,630 mgO₂/L. Los valores corresponden a la mayor producción de biogás y reducción de DQO en el R₂. Lo que indica que la relación S/I de 1 (1.5:1.5 gSTkg/L/gstv/L) es la ideal para obtener el mayor producción de biogás de los desechos de cocina.

Los desechos de cocina generados en el ITSAT son una fuente importante de aprovechamiento para la producción de biogás, ya que la caracterización de los desechos orgánicos de cocina presentaron un elevado contenido de humedad (82.75 %) lo cual es favorable para solubilizar la materia orgánica susceptible a la biometanización. Además presentaron un alto contenido en materia orgánica (ST/SV-98.922 %) que satisfacen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias.

BIBLIOGRAFIA

- Abdulkarim, B. I. y Abdullahi, M. E. (2010). Effect of buffer (NaHCO_3) and waste type in high solid
- Alburquerque J., A., de la Fuente C., Campoy M, Carrasco L, Nájera I, Baixauli C, Caravaca F, Alcayaga, S.; Gloria, J.; Guerrero, L. (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. *Bioresource technology* **99**(10), 4044–64.
- Chen Y, Cheng JJ, Creamer KS (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource technology* 99(10), 4044–64.
- Eaton, A. Clesceri, L. Greenberg, A. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF, 19 the edition. EEUU.
- Elbeshbishy E, Nakhla G, Hafez H, (2012). Biochemical methane potential (BMP) of food waste and primary sludge: influence of inoculum pre-incubation and inoculum source. *Bioresource technology* **110**, 18–25.
- Fernández B, Fernández-Polanco M, Frigon JC, Ganesh R, Kaparaju P, Koubova J, Méndez R, Menin G, Peene a., Scherer P, Torrijos M, Uellendahl H, Wierinck I, de Wilde V (2011). Biochemical methane potential (BMP) of solid organic substrates: evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 86(8), 1088–1098. From Straw. *Biological Wastes* 28, 247–255.
- Flores, Dante. Guía Práctica No. 2. (2001) Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito Ecuador. Guía Práctica No.2. Marzo 2001; pag 8-12.
- García, M. T., Campos, E., Dalmau, M., Illá, P., & Sanchez, J. (2006). Inhibition of biogas production by alkyl benzene sulfonates in a screenig test for anaerobic biodegradability. *Biodegradation*, 17, 39- 46
- GUEVARA V., A.; (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. *Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud*. Lima, 80p.

- Hashimoto AG (1989). Effect of Inoculum/Substrate Ratio on Methane Yield and Production Rate Hosseini Koupaie E, Barrentes Leiva M, Eskicioglu C, Dutil C. (2014). Mesophilic batch anaerobic co-digestion of fruit-juice industrial waste and municipal waste sludge: Process and cost-benefit analysis. *Bioresur Technol.*;152:66-73
- Lesteur M, Bellon-Maurel V, Gonzalez C, Latrille E, Roger JM, Junqua G, Steyer JP (2010) Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review. *Process Biochemistry* 45(4), 431–440
- Li, R., Chen, S. & Li, X. (2010). Biogas Production From Anaerobic Co-Digestion Of Food Waste With Dairy Manure In A Two-Phase Digestion System. *Applied Biochemistry And Biotechnology*, 160,2, 643-654.
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J (2003) *Biología de los microorganismos*: Brock. Pearson organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**(1), 861–877.
- MARM (2010) El sector del biogás agroindustrial en España. Madrid, 16 de septiembre de 2010. *Ministerio Del Medio Ambiente*. Op Cit; p. 13-14.
- OLAYA, Y.; (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). *Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira*.
- Owen WF, Stuckev DC, Healv JB, Young LY, Mccagr PL (1979) Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water research* **13**(5),
- PEDRAZA, G.; CHARÁ, J.; CONDE, N.; GIRALDO, S.; GIRALDO, L.; (2002). Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *Fundación Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Cali*
- Pesta, G. (2007). *Anaerobic Digestion Of Organic Residues And Wastes* New York, Prentice Hall. *Décima Edición. Madrid, 2004 produccion-ganadera* 21-09-2010

- RAMÓN, J.A.; ROMERO, L.F.; SIMANCA, J.L.; (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. *Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo*. Vol. 1, 15-23.
- Raposo F, De la Rubia M a., Fernández-Cegrí V, Borja R (2012). Anaerobic digestion of solid Farmacia Práctica, *17a Edición*. Editorial Médica Panamericana. Argentina.
- Raposo F, Fernández-Cegrí V, De la Rubia M a., Borja R, Béline F, Cavinato C, Demirer G, REMINGTON (1997). Farmacia Práctica, 17a Edición. Editorial Médica Panamericana. Argentina.
- Roldán a., Cegarra J, Bernal MP (2012) Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy* **43**,
- Ruiz-Suárez LG, González-Avalos E (1997) Modeling methane emissions from cattle in Mexico substrate-to-inoculum ratio on the batch anaerobic digestion of bean curd refuse-okara under mesophilic conditions. *Biomass and Bioenergy* **35**(7), 3251–3256.
- Valdivia, T. R. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado. Lima, Perú
- VARGAS L., L.; (1992). Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios. *Tesis (Ingeniero Sanitario)*. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- VARGAS P., M.A.; (2006). Introducción a las energías alternativas con experimentos sencillos. La Paz, 8p.
- Zhou Y, Zhang Z, Nakamoto T, Li Y, Yang Y, Utsumi M, Sugiura N (2011) Influence of Thermophilic Anaerobic Digestion. *International Journal Of Chemtech Research*, 2,2.