

## ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE BASURA ORGÁNICA, USANDO UN BIODIGESTOR DOMESTICO

### STUDY FOR THE GENERATION OF BIOGAS FROM ORGANIC GARBAGE USING A DOMESTIC BIODIGESTOR

Quechulpa Perez P.<sup>1\*</sup>, Herrera Meza R., Guarneros Nolasco L.R., Terron Mejía K.A., Itehua Feria J.A

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

\* Km 04 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, C.P. 95005, Zongolica, Veracruz, México

\*martin.pompeyo@hotmail.com

#### RESUMEN

Actualmente se están generando una gran cantidad de residuos, a los que en su mayoría no se les da un tratamiento para su valoración o incorporación. Tal es el caso de los desechos orgánicos generados en los hogares los cuales pueden ser usados como sustrato para la generación de biogás. En esta investigación se realizó el análisis de la generación de basura en los hogares y en el mercado de la ciudad de Zongolica, Ver.; con la finalidad de conocer la cantidad de residuos orgánicos susceptibles de ser usados para la producción de biogás. Se utilizó un biodigestor anaerobio domestico

modular, fácil de operar por las familias.

Dentro de los resultados obtenidos se encontró que en Zongolica una familia de 5 personas genera en promedio 1,962 g de desperdicios alimenticios, suficientes para cargar diariamente el biodigestor con un 10% de materia orgánica y producir biogás que aporte parte de la energía necesaria para la casa. El estudio fue realizado utilizando para la generación de biogás tres biodigestores de 200 litros; cargados al 7.5 %, 10 % y 12.5 % de materia orgánica base seca. A la suspensión alimentada al biodigestor se le ajustó el pH entre 7.0 y 7.5 y se le determinó la densidad, el contenido de sólidos totales y volátiles, materia

orgánica. Los mismos parámetros anteriores fueron evaluados durante todo el proceso. También al inicio y al finalizar cada prueba se analizó el contenido de nitrógeno total Kjendahl de la materia orgánica. Durante todo el proceso se determinó el volumen de gas producido y la composición fue analizada por medio de un cromatografo y un equipo Orsat durante 21 días.

**Palabras clave:** Basura, biogás, biodigestor, energía

## ABSTRACT

Currently a large amount of home waste are being generated, most of which are not treated for its evaluation or incorporation. Such is the case of organic waste generated in households which can be used as a substrate for the generation of biogas. In this investigation the generation of garbage in homes and in the market of the city of Zongolica,

Veracruz was determined and evaluated; in order to know the amount of organic waste susceptible to be used for the production of biogas. A modular domestic anaerobic biodigester, easy to operate by any person was used. Among the results obtained it was found that in Zongolica a family of 5 members, throws on average 1,962 g of waste, enough to load the biodigester daily at 10% of organic matter and to produce biogas that provides part of the energy needed for the house . Then the study was carried out using three 200 liters biodigesters for the generation of biogas; charged to 7.5 %, 10 % and 12.5 % of dry base organic matter. The pH was adjusted to the suspension fed to the biodigester at a value between 7.0 and 7.5. Also there were determined the density, the content of total and volatile solids, organic matter. The same parameters above were evaluated throughout the process. Also, at the beginning and at the end of each

run the Kjendahl total nitrogen content of organic matter was analyzed. Throughout the process, the volume of gas produced was determined and its composition was analyzed by means of a gas chromatograph and an Orsat gas analyzer for 21 days.

**Keywords:** Garbage, biogas, biodigester, energy

## INTRODUCCION

Uno de los usos de la biomasa, que se encuentra en los desechos domésticos, agropecuarios, agrícolas y agroindustriales, es la producción de biogás. El biogás es un gas incoloro e inflamable compuesto aproximadamente por un 55 – 70 % de CH<sub>4</sub> el cual le confiere las características de combustión, un 30 – 40 % de CO<sub>2</sub>, con pequeñas cantidades de otros gases, tales como H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico), estos porcentajes varían de

acuerdo con la biomasa utilizada. El biogás posee un contenido energético entre 6.0 – 6.5 kWh/m<sup>3</sup>, su límite de exposición del biogás en el aire es del 6 – 12 %, cuando el gas tiene un contenido entre el 55 y 70 % de CH<sub>4</sub>, su temperatura de ignición es de 650 – 750 °C, su presión crítica es de 74 - 88 atm, su temperatura crítica de 82.5 °C, su densidad normal de 1.2 kg/m<sup>3</sup>, y su masa molar es del 16.043 kg/kmol.

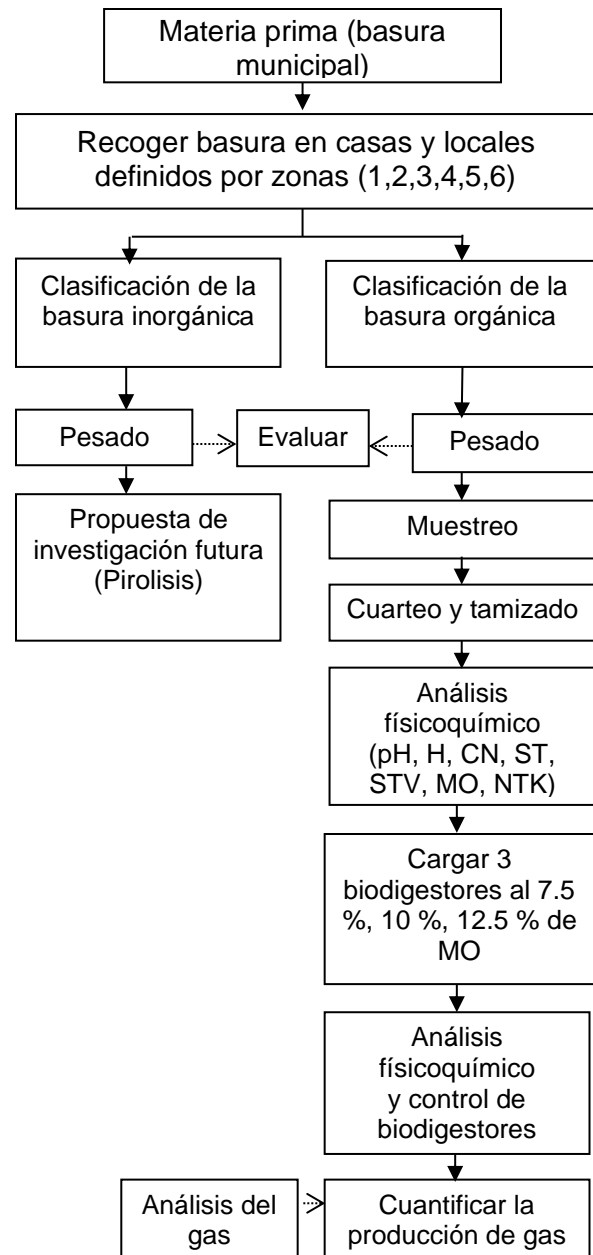
El gas se produce en un recipiente o tanque denominado biodigestor, en cuyo interior se realiza la fermentación o digestión anaerobia de materia orgánica; la cual es un proceso biológico atractivo para la conversión de residuos domésticos, agrícolas, e industriales [1]. Esta transformación se lleva a cabo por la acción de bacterias en la mezcla, provocando la liberación de su energía química en tres etapas fundamentales: hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis para convertir las sustancias de

naturaleza orgánica que son biodegradables [2], a productos intermedios para llegar fácilmente a la mezcla gaseosa llamada biogás, compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono [3], en algunos casos puede ser sustituto de los combustibles comunes [4].

El uso del biogás como fuente alterna de energía en casas, contribuye en la disminución del daño ambiental, provocado por los productos derivados del petróleo y maderables, que son usados como combustibles en las actividades domésticas. Además de generar biogás como combustible se estará generando un desecho orgánico rico en nitrógeno que sale del digestor, el cual puede ser usado como un abono orgánico. El nitrógeno es uno de los principales compuestos que necesitan las plantas para su crecimiento.

## METODOLOGIA

En la **Figura 1** se presenta la metodología para la generación de biogás a partir de desechos orgánicos domésticos.



**Figura1.** Metodología.

A continuación, se detalla cada etapa de la metodología

1. Se realizó una metodología que permitiera recolectar, clasificar, cuantificar y reciclar la basura orgánica e inorgánica de la ciudad de Zongolica Ver. Se identificaron y definieron 6 zonas de estudio: zona centro, alta, baja, alrededores, montaña y mercado municipal, dando un tamaño de la muestra de 30 casas y 6 locales del mercado municipal. A cada casa y local se les pidió su basura y se determinó su peso total, posteriormente se clasificó en basura orgánica e inorgánica, mediante una tabla de clasificación y se pesó cada tipo de basura separada. El estudio se realizó durante 2 meses; con la finalidad de determinar la generación diaria de basura. La metodología de recolección nos permitió dar parte de la solución al problema de la

contaminación; generando una conciencia del reciclaje de basura en las personas habitantes de las casas encuestadas.

2. Se determinaron las características fisicoquímicas de la basura orgánica y para lograrlo; se juntó la basura orgánica generada en las 6 zonas, posteriormente se mezcló, cuarteo y tamizó y se obtuvieron tres muestras a las que se les determinaron sus propiedades fisicoquímicas de pH (potencial de Hidrogeno),  $\rho$  (densidad), H (humedad), CN (cenizas), ST (sólidos totales), STV (sólidos totales volátiles), MO (materia orgánica) y NTK (nitrógeno total Kjendahl).

3. Debido a que existen algunos factores a considerar para una digestión óptima, en donde tienen que estar presentes todos los elementos esenciales en forma fácil de asimilar para las bacterias. Se han logrado

resultados satisfactorios con concentraciones mayores al 15 % de sólidos, sin embargo en la práctica la gama es de 3 a 10 % de sólidos [5], motivo por el cual, con el contenido de ST, STV y MO, se formularon las mezclas de materia orgánica y agua

para los tres biodigestores piloto, tipo bach para una capacidad de 200 litros tal y como se muestra en la **Figura 2**, obteniendo un substrato homogéneo con un contenido del 7.5, 10 y 12.5 % de materia orgánica, el 92.5, 90 y 87.5 % restante de agua.



**Figura 2.** Biodigestor modular para casa habitación

4. Otro factor importante a considerar en la digestión anaerobia es el pH, el cual determina la producción total de biogás y la composición del metano. Debajo de un pH de 6 el proceso se llevaría a cabo de forma ácida la cual inhibe la actividad de las bacterias metanogénicas. Por debajo de pH

entre 4.5 a 5.0, la inhibición afecta a las bacterias fermentativas y lo mismo ocurre si en el proceso el pH se encuentra por encima de 8 a 8.5. Debido a que la basura orgánica tiene un pH ácido, para llevar cada carga orgánica a un pH entre 7 y 7.5, en un recipiente se prepararon 10 L de agua

con hidróxido de calcio (cal) al 10 N, y en contenedores externos se realizaron las mezclas de materia orgánica y agua para cada reactor y se le agregó la mezcla de agua con cal, con la finalidad de elevar el pH ácido de la materia orgánica, a un pH entre 7 y 7.5 siendo este un pH óptimo para el proceso de digestión anaerobio. Una vez acondicionado el pH se cargaron los tres reactores.

5. A cada reactor mostrado en la **Figura 3**, se le tomaron tres muestras, a las que se les determinó su densidad y NTK, para tener los datos de las propiedades fisicoquímicas al iniciar el proceso.
6. Durante el proceso de digestión anaerobio, solo se determinó ST, STV y MO con la finalidad de determinar la pérdida de materia orgánica

provocada por el consumo del sustrato por parte de las bacterias.

7. También durante el proceso se determinó la generación volumétrica de biogás con la técnica de desplazamiento de fluidos usando una probeta invertida y con el uso de un cromatógrafo y un Orsat se analizó el biogás en términos de su composición CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, y N<sub>2</sub>.
8. Al finalizar el proceso, además del contenido de ST, STV, MO y pH se determinó el contenido de NTK para saber el comportamiento de la materia orgánica al inicio y final del proceso.

Los parámetros se obtuvieron mediante las técnicas de los métodos estándar APHA [6],





**Figura 3.** Biodigestores cargados al 7.5, 10 y 12.5 % de MO

## RESULTADOS

En la **Tabla 1** se muestra la generación de basura promedio, la cual fue de 3,384.497 g de basura por cada familia de 5 personas, siendo igual a 676.899

g/persona, de las cuales 2,797.29 g es orgánica y 587.207 g es inorgánica. Donde es posible identificar que la mayor producción fue de 1,962.5 g de desperdicio.

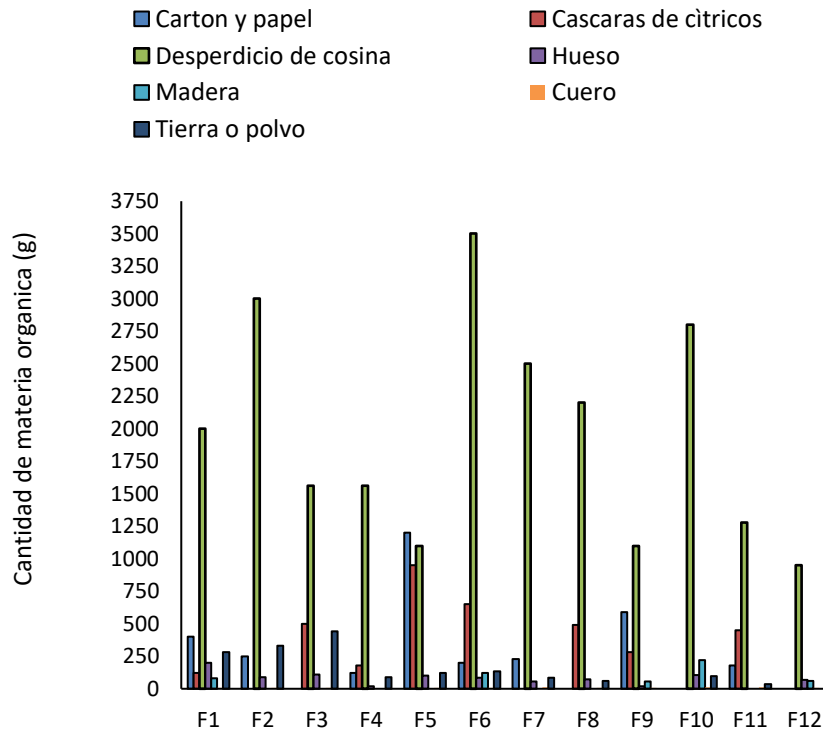
**Tabla 1.** Basura promedio generada diariamente en una familia de 5 personas

| Basura inorgánica        | Peso (g) | Basura orgánica       | Peso (g)        |
|--------------------------|----------|-----------------------|-----------------|
| Plástico rígido          | 82.588   | Cartón o papel        | 264.166         |
| Plástico película        | 170.478  | Cáscaras              | 301.667         |
| Metales ferrosos         | 70.525   | Desperdicio           | 1962.5          |
| Metales no ferrosos      | 60.755   | Huesos                | 77.5            |
| Vidrio                   | 22.24    | Madera                | 44.5833         |
| Hule                     | 4.405    | Cuero                 | 7.458           |
| Baterías                 | 10.898   | Tierra o polvo        | 139.416         |
| Ropa, trapo y algodón    | 42.652   |                       |                 |
| Equipo electrónico       | 85.273   |                       |                 |
| Pinturas, colorantes     | 15.548   |                       |                 |
| Material de construcción | 21.845   |                       |                 |
| Total basura inorgánica  | 587.207  | Total basura orgánica | 2,797.29        |
| <b>Basura total</b>      |          |                       | <b>3,384.49</b> |

En la **Figura 4** se muestra la generación de basura orgánica promedio para 12

familias representativas





**Figura 4.** Basura orgánica promedio generada en 12 familias

En la **Tabla 2**, se presenta el promedio de basura recolectada por semana, observando una mayor generación de basura de 5,235.77 g en los días lunes y 4,873.15 g en los días jueves, debido a que en la ciudad de Zongolica, los días domingo y jueves son días de plaza. El

domingo la gente realiza la compra de sus productos orgánicos en el mercado y junta el desperdicio en lunes, el día jueves la gente vuelve a comprar, pero ese día se junta basura sumada a la basura acumulada del día miércoles.

**Tabla 2.** Basura promedio generada por semana de una familia de 5 personas

| Basura         | Domingo  | Lunes    | Martes   | Miércoles | Jueves   | Viernes  | Sábado   |
|----------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Inorgánica (g) | 529.55   | 685.45   | 521.91   | 521.85    | 988.51   | 424.76   | 429.86   |
| Orgánica (g)   | 3,357.56 | 4,550.32 | 2,327.55 | 1,952.99  | 3,884.64 | 1,678.99 | 1,875.76 |
| Total (g)      | 3,887.11 | 5,235.77 | 2,849.46 | 2,474.84  | 4,873.15 | 2,103.75 | 2,305.62 |

Del total de basura generada por zona, se tomaron muestras de basura orgánica para caracterizarla, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3. En la tabla se enlistan los datos necesarios para realizar las cargas orgánicas de los tres reactores, siendo un contenido de 24.2 % de ST, 95.81 % de MO, un pH

ácido igual a 4.2 de la materia orgánica. También se determinó, que la basura orgánica tiene un 28.35 % de NTK siendo un material orgánico extremadamente rico en N, el cual ayuda a la actividad metanogénica de las bacterias durante el proceso de digestión anaerobio de materia orgánica [7].

**Tabla 3.** Análisis fisicoquímico de la materia orgánica

| Parámetro                   | Variable | Unidad     | Promedio de las seis zonas |
|-----------------------------|----------|------------|----------------------------|
| Densidad                    | P        | g/ml       | 0.936                      |
| % Humedad                   | % H      | g/g        | 75.800                     |
| % Cenizas                   | % CN     | g/g        | 0.886                      |
| % Sólidos totales           | % ST     | g/g        | 24.200                     |
| % Sólidos totales volátiles | % STV    | g/g        | 23.313                     |
| % Materia orgánica          | % MO     | g/g        | 95.81                      |
| Potencial de hidrogeno      | Ph       | g/g        | 4.2                        |
| Potencial de hidrogeno      | pH       | Valoración | Acido                      |
| %Nitrógeno total Kjendahl   | % NTK    | g/kg ST    | 28.35                      |
|                             | % NTK    | Valoración | Extremadamente rico en N   |

En la **Tabla 4** se presenta la relación, la investigación de Pérez y Vicencio [8]. entre los resultados encontrados y los de

**Tabla 4.** Comparación entre dos investigaciones relacionadas con temperatura y % de STV

| Muestra         | Pérez y Vicencio, (2002) |           | Esta investigación |           |
|-----------------|--------------------------|-----------|--------------------|-----------|
| Basura orgánica | Temperatura °C           | % STV m/m | Temperatura °C     | % STV m/m |
| Promedio        | 24.3                     | 38        | 24                 | 24.20     |
| Máximo          | 30.4                     | 65        | 30                 | 34.15     |
| Mínimo          | 21.1                     | 14        | 17                 | 21.55     |

En la **Tabla 5** se presentan los valores de realizada por Delfín y Duran [9] en ambos comparación entre los resultados de la resultados, existe relación entre las basura orgánica de esta investigación y composiciones de la basura respecto al los resultados de la investigación pasto y la paja.

**Tabla 5.** Comparación entre dos investigaciones relacionadas con el peso seco, cenizas, y nitrógeno de materia orgánica

| Investigación          | Material            | % Peso seco  | % Cenizas     | % Nitrógeno  |
|------------------------|---------------------|--------------|---------------|--------------|
| Delfín y Duran, (2003) | Algodón             | 71.32 ± 0.05 | 3.68 ± 0.01   | 1.17 ± 0.03  |
|                        | Paja                | 84.66 ± 0.40 | 3.20 ± 0.12   | 4.30 ± 0.07  |
|                        | Pasto               | 89.27 ± 0.20 | 9.23 ± 0.16   | 14.43 ± 0.05 |
|                        | Piña                | 25.91 ± 0.12 | 3.43 ± 0.04   | 4.94 ± 0.03  |
|                        | Café                | 80.01 ± 0.06 | 8.10 ± 0.20   | 1.32 ± 0.06  |
|                        | Semilla var. Oscura | 38.94 ± 0.00 | 404.06 ± 0.15 | 3.04 ± 0.06  |
|                        | Semilla var. Clara. | 31.77 ± 0.28 | 4.94 ± 0.12   | 2.11 ± 0.05  |
| Esta investigación     | Basura orgánica     | 29.45 ± 2.88 | 0.886 ± 0.12  | 28.35 ± 1.04 |

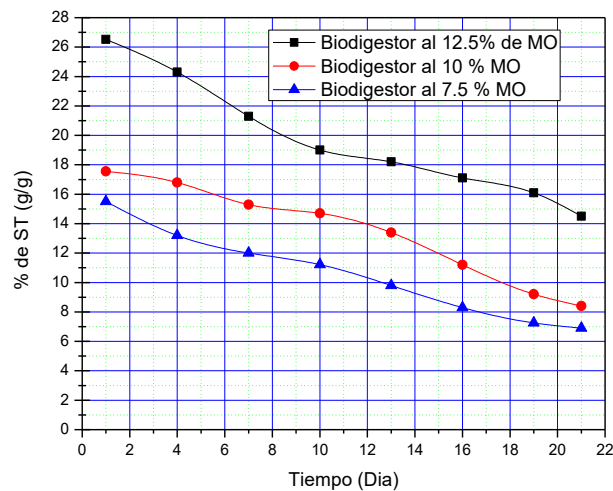
En la **Tabla 6**, se presenta la los tres reactores, al iniciar el proceso de composición fisicoquímica de la carga de digestión anaerobia

**Tabla 6.** Composición fisicoquímica de las mezclas al iniciar el proceso de digestión anaerobio

| Variable      | Mezcla al 7.5 % de MO     | Mezcla al 10 % de MO      | Mezcla al 12.5 % de MO    |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| % H (g/g)     | 84.4989                   | 82.4433                   | 73.4789                   |
| % ST (g/g)    | 15.5011                   | 17.5567                   | 26.5211                   |
| % CN (g/g)    | 4.1800                    | 6.0200                    | 9.9622                    |
| % STV (g/g)   | 11.1916                   | 11.5367                   | 16.5589                   |
| % MO          | 71.9032                   | 66.7702                   | 63.6219                   |
| Ph            | 6.82                      | 6.85                      | 6.84                      |
| %NTK (g/kgST) | 25.58                     | 23.44                     | 22.05                     |
| Valoración    | Extrema-damente rico en N | Extrema-damente rico en N | Extrema-damente rico en N |

En las **Figuras 5, 6 y 7** se observa claramente una disminución del contenido de ST, STV y un porcentaje de remoción de MO muy elevada en los 21 días de su tiempo de residencia

hidráulica, lo que indica que en este tiempo se generó mayor cantidad de biogás y las bacterias metanogénicas consumieron los nutrientes presentes en cada composición.

**Figura 5.** Porcentaje de Sólidos Totales en el proceso de digestión anaerobio

En la **Figura 7** se observa que durante los primeros 21 días, el proceso de biodigestión de la basura en el biodigestor cargado al 7.5 % de MO, logró remover el 39.53 % de MO; el de 10

% de MO removió el 41.16 % de MO y el de 12.5 % de MO alcanzó una remoción del 44.71 % de MO. Por lo que los tres biodigestores superaron el 38 % de Materia Orgánica, cumpliendo con la norma, NOM-004-SEMARNAT-2002

[10] donde se indican los valores permisibles para depositar al ambiente un residuo producto de algún proceso

industrial, de lo contrario provoca daños al ser expuesta al ambiente.

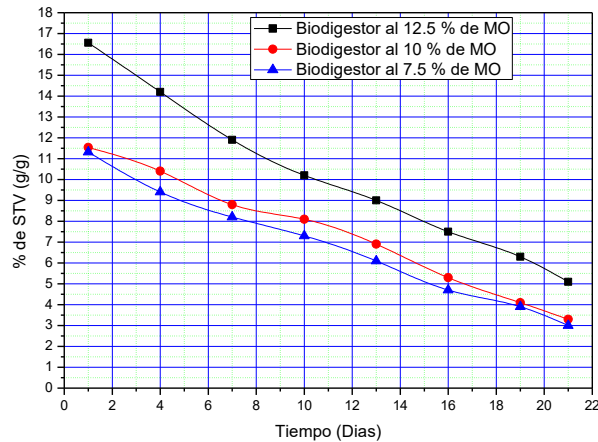


Figura 6. Porcentaje de Sólidos Totales Volátiles en el proceso de digestión anaerobio

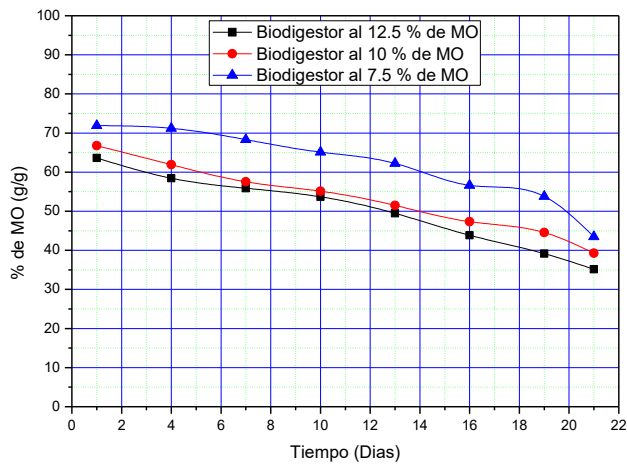


Figura 7. Porcentaje de remoción de Materia Orgánica en el proceso de digestión anaerobio

Los estudios de generación de biogás para cada reactor se muestran en la Figura 8, y a medida que avanza el proceso de digestión anaerobia, la

producción de biogás aumenta, hasta una producción máxima en el día 13. En los días siguientes la producción de biogás decrece hasta el día 21.

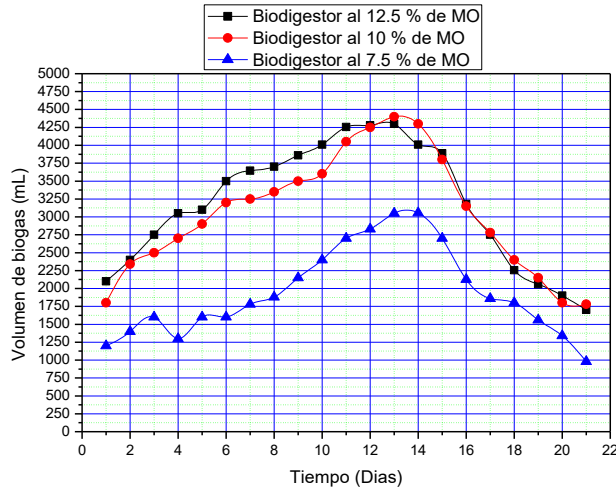


Figura 8. Volumen de generación de biogás para cada biodigestor

En la Figura 9 se presenta la gráfica de la producción del gas metano, que es el gas principal, el cual le confiere las características de combustión del biogás. Se observa que la producción de gas metano comenzó con una pequeña producción en el día 5 y una máxima

producción en el día 13 y 14, disminuyendo su producción hasta el día 21. Debido a que las bacterias consumieron la mayor cantidad de materia orgánica y ésta se va agotando, después del día 21 el proceso se vuelve continuo.

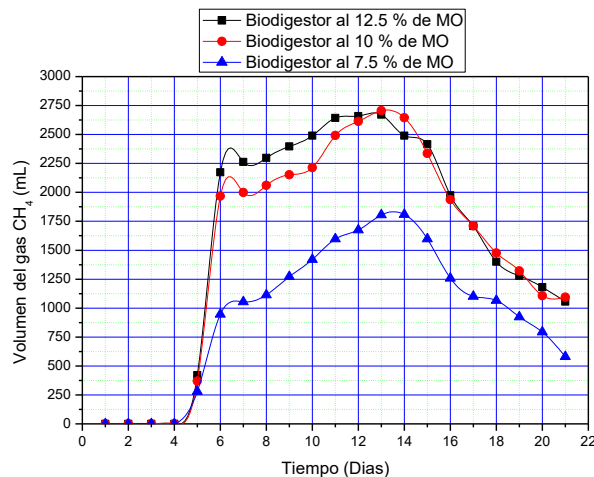


Figura 9. Volumen de generación de gas metano CH<sub>4</sub> para cada biodigestor

En la **Tabla 8** se presenta la composición del biogás, donde se aprecia que la mayor producción está entre 59.2 y 62.1

% de CH<sub>4</sub>, muy similar a la investigación de Malina quien obtuvo entre el 60 % - 75 % de CH<sub>4</sub> [11].

**Tabla 8.** Porcentaje de composición promedio del biogás

| Biogás              |                   | Reactores   |            |              |
|---------------------|-------------------|-------------|------------|--------------|
| Nombre              | Variable          | 7.5 % de MO | 10 % de MO | 12.5 % de MO |
| Metano              | % CH <sub>4</sub> | 59.2        | 61.5       | 62.1         |
| Dióxido de carbono  | % CO <sub>2</sub> | 31.5        | 33.8       | 35.7         |
| Nitrógeno molecular | % N <sub>2</sub>  | 9.3         | 4.7        | 2.2          |
| Total               |                   | 100.0       | 100.0      | 100.0        |

## DISCUSIÓN

El conocimiento del porcentaje de los gases componentes presentes en el biogás es muy importante. Si se logra tener un sistema que separe los gases generados en el biodigestor, en sus gases principales CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, se aumentará la pureza de cada gas y se les dará un valor agregado. Quechulpa [12], diseño un sistema para purificar y

separar los gases generados en los biodigestores, este sistema puede ser usado en los biodigestores domésticos, tema que se propone para futuros trabajos de investigación.

En la **Tabla 9**, se presenta el rendimiento del gas metano y se observa que el mejor rendimiento es para el biodigestor al 10 % de MO.

**Tabla 9.** Rendimiento de gas metano para cada carga

| Rendimiento de gas             | Biodigestor |            |              |
|--------------------------------|-------------|------------|--------------|
|                                | 7.5 % de MO | 10 % de MO | 12.5 % de MO |
| L de CH <sub>4</sub> /kg de MO | 1.691       | 2.012      | 1.675        |



---

## CONCLUSIONES

Para disminuir un poco los problemas de contaminación provocados por la mala disposición de la basura; cada hogar deberá tener por lo menos un contenedor para depositar la basura orgánica, y 4 contenedores para la basura inorgánica, uno para plástico, otro para metales, otro para pilas, baterías, y otro para equipo electrónico. El ayuntamiento municipal deberá buscar la forma de recolectar la basura inorgánica ya clasificada mediante rutas de recolección. A nivel investigación buscar alguna aplicación a la basura inorgánica. Para el caso de la basura orgánica y con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de digestión anaeróbica y la generación de biogás; del total de basura orgánica recolectada por día en la casa, separar la basura orgánica que fácilmente pueda ser degradada por las bacterias. Es decir, quitar los huesos, carne y compuestos cítricos con mayor contenido de ácido,

posteriormente triturar la basura y preparar la carga formada por la mezcla de materia orgánica y agua al 10 % de MO. Mediante la mezcla de agua con cal al 10 N elevar el pH de ácido a neutro en el rango de 7 a 7.5. El biodigestor al 10 % de MO es el de mejor resultado con un rendimiento de 2.012 L de CH<sub>4</sub>/Kg de MO.

Después del día 21 el proceso se convierte en continuo por lo que se tiene que agregar diariamente una carga de materia orgánica y agua. En esta segunda etapa las bacterias ya están acondicionadas y producen una mayor cantidad de biogás.

El proceso de digestión anaeróbico usando biodigestores modulares domésticos, es una alternativa viable para generar biogás para ser usado en la cocción de los alimentos. El efluente desechado por el biodigestor, sirve como abono orgánico con excelente contenido de nitrógeno equivalente al 27.5 %,

siendo indispensable para el crecimiento de las plantas el cual puede ser utilizado en la creación de huertos familiares en los que se cultiven verduras y leguminosas para el consumo de la familia.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores externan su gratitud al Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ) por el apoyo para llevar a cabo dicha investigación, al Centro de Investigación y de Estudios Tecnológicos Avanzados (CINVESTAV) del IPN unidad Querétaro, Qro. Institución en donde se llevaron a cabo algunos análisis y estudios correspondientes, a la Asociación para el Desarrollo de Alternativas Sustentables de la Sierra de Zongolica (ADASZ A. C.) por su contribución y apoyo para llevar a cabo la investigación y al Colegio de Bachilleres del Estado de Veracruz (COBAEV) plantel 49 Zongolica por apoyar con los

alumnos en la investigación.

### REFERENCIAS

- [1] Gupta N., Gupta S.K., Ramachandran K.B. (1997). Modelling and simulation of anaerobic stratified biofilm for methane production and prediction of multiple steady states, *Bioresource Technology*, 65
- [2] Rajbhandari S.K. Annachatre A. P. (2004). Anaerobic ponds treatment of starch wastewater: case study in Thailand, *Bioresource Technology*, In press, 25
- [3] Winkler M. (1995). Tratamiento biológico de aguas de desecho, 4ª. Ed., Limusa, México D.F.
- [4] Murphy J.D., McKeogh E., Kiely G. (2004). Technical Veconomiclenvironmental analysis of biogas utilization, *Applied Energy*, 77, 407-427
- [5] Van Buren A. A. (1979). Chinese Biogas Manual. Intermediate Technology Publications, London
- [6] APHA, AWWA, WEF. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th Edition, Washington, D.C.
- [7] Guirovich, M. J. (1996). Biosolids Treatment and Management, Ed Marcel Decker, Inc. Cap. 7. N. Y., E.U.A., 79 – 85
- [8] Pérez L. M. E., Vicencio de la R. M. G. (2002). Influencia del basurero municipal en la calidad del agua de acuífero de la ciudad de Durango, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18 (003): 2 – 7.
- [9] Delfín, A. I., Duran de B. C. (2003).

- Biodegradación de residuos urbanos lignocelulosicos por pleurotas, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, UNAM, México, 19(001), 37 – 45: 41
- [10] Norma Oficial Mexicana, NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, publicada en el Diario Oficial de la Federación, México (15 de agosto de 2003), 4 – 9, 15 – 17.
- [11] Malina, F. J. (1993). Variables Affecting Anaerobic Digestion, *Public Works*, 25(8): 113 – 116
- [12] Quechulpa-Pérez P, Pérez-Robles JF, Pérez-de Brito AF, Avilés-Arellano LM (2014) Hybrid Membranes Prepared by the Sol-Gel Process and based on Silica-Polyvinyl Acetate for Methane Enrichment from Biogas. *J Membra Sci Technol* 4: 128. doi:10.4172/2155-9589.1000128
- [13] Harris Jonathan M. (2006). *Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach*. 2a Ed. Tufts University, Global Development and Environmental Institute
- [14] Rodrigo S. A. (2005). Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de residuos alimentarios. *Ainia*, México, 12: 2 – 10
- [15] Arvizu F. J. L. y Huacuz V. J. M. (2003). Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. *Boletín IIE*, octubre-diciembre, México, 118 – 123: 118, 119
- [16] Esty, Daniel et- al. (2005). *Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship*, Yale Center for Environmental Law y Policy. New Haven, <http://www.yale.edu/esi>
- [17] Rivera P, Foladori, G. (2006). Reflexiones sobre la contabilidad ambiental en México, *Economía, Sociedad y Territorio*, mayo – agosto, México, 6 (021), 177 –217: 192, 197
- [18] Pineda P. N., Loera B. E. (2006). Bien recolectada pero mal tratada. El manejo municipal de la basura en Ciudad Obregón, Hermosillo y Nogales, Sonora. *Colegio de Sonora*, México, 16, 30
- [19] SEMARNAT. Guía para la gestión de los residuos sólidos municipales. Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental, México, 24
- [20] Steiner C. G. (2000). Understanding anaerobic treatment. *Pollution engineering*. 32,12, 1-7
- [21] Noyola A. (2003). Incubadoras de empresas y creación de empresas de base tecnológica: 1) creación de empresas spin-off por parte de investigadores universitarias. Reunión Regional OMPI-CEPAL de expertos sobre el sistema nacional de innovación: propiedad intelectual, universidad y empresa
- [22] Omer A.M., Fidelli Y. (2003). Biogas technology in Sudan. *Renewable pp*. 28: 499-507. Paginas consultadas 53 – 100
- [23] Muñoz Valero, J. A., Ortiz Cañabate, J., Vázquez Míguela, J. (1987). *Técnicas y aplicaciones agrícolas de la biometanización*. Serie Técnica – Ministerio de Agricultura Pesca y alimentación, España
- [24] Marchaim U. (1992). *Biogas processes for sustainable development*. FAO, Agricultural. Roma, 95
- [25] Stronach, S. M., Rudd, T. y Lester, J. M. (1986). *Anaerobic Digestión Proceses in industrial Wastewater Treatmen*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. Republica Federal de Alemania, 59 –

68, 149, 158

- [26] Hohlfeld J, Sasse L. (1986). Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries. GTZ. Eschborn, Alemania
- [27] Taiganides, E.P. (1980). Biogás, recuperación de energía de los excrementos animales *Zootecnia*, 35: 2-12
- [28] Coombs, J. (1990). The present and future of anaerobic digestion, en *Anaerobic digestion: a waste treatment technology*. Editado por Wheatley, A. Critical reports on applied chemistry. Vol. 31, 93-138. Elsevier applied science LTD
- [29] González S., Marmolejo C. (1986). Tratamiento de aguas de desecho de la industria del nixtamal en un reactor anaerobio empacado. Series de Instituto de Ingeniería No. 498. Universidad Nacional Autónoma de México
- [30] Montiel E., Joachin M. (2000). Comportamiento cinético y cuantificación de la producción de metano de aguas residuales en un reactor anaerobio. Tesis de licenciatura. Ingeniería Agroquímica. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas de Orizaba, México
- [31] Hernández S. B., Guyot J. P. (1991). Arranque de un reactor anaerobio con lodos adaptados como inoculas y un afluyente industria agroalimenticia (levaduras). Ingeniería Bioquímica Industrial. Publicaciones Universidad Autónoma Metropolitana, México.