



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA  
“CALIDAD PERTINENCIA Y CALIDEZ”  
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA  
SALUD  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA**

**TEMA:  
EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE  
LA DEGRADACIÓN DE GALLINAZA SOMETIDA A  
DIFERENTES RELACIONES C/N**

**AUTORA:**

**ANDREA MERCEDES BELDUMA ZAMBRANO**

**TUTOR:**

**DR. HUGO ROMERO BONILLA. Mg, Sc.**

**MACHALA – EL ORO – ECUADOR**

**2015**

## **RESPONSABILIDAD**

Yo, ANDREA MERCEDES BELDUMA ZAMBRANO, autora del presente Trabajo de Titulación titulada: **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE GALLINAZA SOMETIDA A DIFERENTES RELACIONES C/N**, declaro que las investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones expuestas es de mi exclusiva responsabilidad.

---

Andrea Mercedes Belduma Zambrano  
**AUTORA**

## **CERTIFICACIÓN**

Que he supervisado el siguiente Trabajo de Titulación titulado: **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE GALLINAZA SOMETIDA A DIFERENTES RELACIONES C/N**, desarrollado por la Srta. Andrea Mercedes Belduma Zambrano, el mismo que está de acuerdo con lo instituido por la carrera de Ingeniería Química de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, por lo que autorizo su presentación.

---

Dr. Hugo Romero Bonilla, Mg. Sc.  
**TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo, Andrea Mercedes Belduma Zambrano, con cédula de identidad 070611600-1, Egresada de la Carrera de Ingeniería Química de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, de la Universidad Técnica de Machala responsable del Presente Trabajo de Titulación titulado: **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE GALLINAZA SOMETIDA A DIFERENTES RELACIONES C/N**, Certifico que la responsabilidad de la investigación, resultados y conclusiones del presente trabajo pertenecen exclusivamente a mi autoría; una vez que ha sido aprobada por mi Tribunal de Sustentación autorizando su presentación. Deslindo a la Universidad Técnica Machala de cualquier delito plagio y cedo mis derechos de Autora a la Universidad Técnica de Machala para que ella proceda a darle el uso que crea conveniente.

---

Andrea Mercedes Belduma Zambrano  
C.I.: 0706116001  
**AUTORA**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis padres Segundo Arturo Belduma Cuenca y Doralis Herminia Zambrano Bustamante que han sido el pilar fundamental en mi vida y siempre han sabido brindarme su apoyo, ejemplo, confianza y me han impulsado a seguir adelante.

A mi hermano Erick Daniel, por brindarme su apoyo incondicional y ayudarme en cada momento de mi vida.

**La Autora**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco a Dios, que me ha sabido llevar por el camino del bien y permitirme avanzar con mis estudios, darme fuerzas para el desarrollo de este proyecto.

Mi gratitud a la Universidad Técnica de Machala, de manera especial a la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud por permitirme formar parte de ella y desarrollarme como un profesional más, y que con sus distinguidos docentes han sabido creer en la capacidad de los alumnos de Ingeniería Química e impartirnos sus conocimientos.

A mis familiares y amigos que en momentos difíciles han sabido de una u otra manera ayudarme y apoyarme.

A todos ustedes, ¡Gracias!

**La Autora**

## ÍNDICE

<b>CARÁTULA</b> .....	<b>I</b>
<b>RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>II</b>
<b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORÍA</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XII</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>2</b>
Objetivo General: .....	<b>2</b>
Objetivos Específicos:.....	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
<b>1 REVISIÓN DE LITERATURA ESPECIALIZADA</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 BIOGÁS</b> .....	<b>4</b>
1.1.1 Composición del biogás. ....	<b>4</b>
1.1.2 Características del biogás.....	<b>5</b>
1.1.3 Usos del biogás. ....	<b>6</b>
1.1.4 Ventajas del biogás. ....	<b>6</b>
1.1.5 Principios de combustión del biogás.....	<b>7</b>
1.1.6 Aspectos de Seguridad. ....	<b>7</b>
1.1.7 Tipo de materia prima para la producción de biogás. ....	<b>8</b>
1.1.8 Acondicionamiento del sustrato previo a la producción de biogás.....	<b>8</b>
<b>1.2 GALLINAZA</b> .....	<b>9</b>
1.2.1 Valor como abono de la gallinaza. ....	<b>9</b>

1.2.2	Composición química de la gallinaza. ....	10
1.2.3	Efectos de la gallinaza en el ambiente. ....	11
1.2.4	Usos de la gallinaza.....	11
<b>1.3</b>	<b>PROCESOS BIOLÓGICOS.....</b>	<b>12</b>
1.3.1	Proceso de digestión aerobia.....	13
1.3.2	Proceso de digestión anaerobia. ....	13
1.3.3	Comparación entre tratamientos aerobios y anaerobios.....	15
<b>1.4</b>	<b>FUNDAMENTOS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA.....</b>	<b>16</b>
1.4.1	Hidrólisis.....	18
1.4.2	Acidogénesis.....	18
1.4.3	Acetogénesis.....	19
1.4.4	Metanogénesis.....	19
<b>1.5</b>	<b>BIODIGESTOR.....</b>	<b>20</b>
1.5.1	Características del digestor.....	20
1.5.2	Tipos de biodigestores.....	21
<b>1.6</b>	<b>FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO METANOGENICO..</b>	<b>25</b>
1.6.1	Relación carbono nitrógeno C/N.....	25
1.6.2	pH.....	25
1.6.3	Temperatura.....	26
1.6.4	Tiempo de retención.....	26
1.6.5	Inhibidores.....	27
<b>2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>28</b>
2.1.1	Ubicación.....	28
2.1.2	Material experimental.....	28
<b>2.2</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
2.2.1	Factores en estudio.....	30
2.2.3	Diseño experimental.....	30
<b>2.3</b>	<b>Mediciones experimentales.....</b>	<b>31</b>
2.3.1	Peso Materia Prima.....	31
2.3.2	Análisis Físico – Químico.....	31
2.3.2.1	Determinación de pH.....	31
2.3.2.2	Determinación de Conductividad Eléctrica.....	32

2.3.2.3	Determinación de Oxígeno Disuelto.....	32
2.3.2.4	Determinación de Demanda Química de Oxígeno.....	32
<b>2.4</b>	<b>Manejo del experimento.....</b>	<b>33</b>
2.4.1	Recolección y selección de la Materia Prima. ....	33
2.4.2	Reducción de tamaño de los residuos sólidos orgánicos. ....	33
2.4.3	Inoculación.....	33
2.4.4	Dosificación. ....	33
2.4.5	Fermentación.....	33
2.4.6	Separación.....	34
<b>2.5</b>	<b>Diagrama de flujo para la obtención de biogás.....</b>	<b>34</b>
<b>2.6</b>	<b>Composición Porcentual de los Biodigestores.....</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados de los Análisis físicos químicos de la Gallinaza .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Resultados de las condiciones de digestión anaerobia .....</b>	<b>39</b>
3.2.1	Potencial de Hidrógeno (pH). ....	39
3.2.2	Oxígeno Disuelto (OD). ....	40
3.2.3	Sólidos totales disueltos (STD).....	41
3.2.4	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	42
<b>3.3</b>	<b>Determinar el mejor tiempo de digestión anaerobia.....</b>	<b>43</b>
3.3.1	Volumen de biogás obtenido.....	43
3.3.2	Volumen de biogás acumulado.....	44
<b>3.4</b>	<b>Determinar el rendimiento del biogás a partir del mejor tratamiento.....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición del biogás derivado de diversas fuentes. ....	4
Tabla 2.	Características generales del biogás. ....	5
Tabla 3.	Residuos orgánicos de diversos orígenes. ....	8
Tabla 4.	Valor como abono de la gallinaza de ponedoras de jaula.....	10
Tabla 5.	Contenido total de nutrientes en la gallinaza.....	10

Tabla 6. Comparación entre tratamientos aeróbico y anaeróbico.....	15
Tabla 7. Bacterias presentes en cada una de las etapas metabólicas. ....	18
Tabla 8. Efectos del pH en la biodigestión. ....	26
Tabla 9. Tipo de bacterias en función de la temperatura. ....	26
Tabla 10. Diseño experimental de los biodigestores que se utilizaron para la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos (30:1). ....	30
Tabla 11. Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 5 % de gallinaza y 44 % de desechos orgánicos. ....	35
Tabla 12. Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 7 % de gallinaza y 44 % de desechos orgánicos. ....	35
Tabla 13. Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 5 % de gallinaza y 45 % de desechos orgánicos. ....	35
Tabla 14. Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 7 % de gallinaza y 45 % de desechos orgánicos. ....	36
Tabla 15. Análisis físicos químicos de la gallinaza. ....	37
Tabla 16. ANOVA para el metano para los 4 biodigestores estudiados.....	44
Tabla 17. Prueba de Duncan .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Usos del biogás.....	6
Figura 2. Procesos biológicos para la depuración de la materia orgánica: digestión aerobia y anaerobia. ....	13
Figura 3. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos. ....	16
Figura 4. Biodigestor. ....	20
Figura 5. Esquema general de un biodigestor de flujo continuo. ....	21
Figura 6. Esquema de biodigestor de flujo discontinuo (Tipo Batch). ....	22
Figura 7. Esquema de sistema de biodigestión de dos etapas.....	22
Figura 8. Esquema de biodigestor de cúpula fija. ....	23
Figura 9. Esquema de biodigestor tubular. ....	24
Figura 10. Esquema de biodigestor tipo hindú. ....	24
Figura 11. Cantidad en porcentaje de macro elementos en la gallinaza. ....	38
Figura 12. Cantidad en ppm de micro elementos en la gallinaza .....	38

Figura 13. pH durante el proceso de digestión anaerobia.....	39
Figura 14. Oxígeno disuelto durante el proceso de digestión anaerobia. ....	40
Figura 15. Solidos totales durante el proceso de digestión anaerobia. ....	41
Figura 16. Demanda Química de Oxígeno durante el proceso de digestión anaerobia ..	42
Figura 17. Volumen de biogás producido durante el proceso de digestión anaerobia. ..	43
Figura 18. Volumen de biogás acumulado.....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Recolección de gallinaza.....	53
Anexo 2 Recolección de desechos sólidos orgánicos.....	54
Anexo 3 Pesado de los desechos sólidos orgánicos.....	54
Anexo 4 Pesado de la gallinaza .....	55
Anexo 5 Llenado de los biodigestores .....	55
Anexo 6 Puesta en marcha de los biodigestores .....	56
Anexo 7 Toma de muestra para los análisis durante el proceso de digestión anaerobia	56
Anexo 8 Monitoreo del pH durante el proceso de digestión anaerobia.....	57
Anexo 9 Monitoreo del Oxígeno Disuelto durante el proceso de digestión anaerobia .	57
Anexo 10 Monitoreo de Conductividad Eléctrica durante el proceso de digestión anaerobia.....	58
Anexo 11 Análisis de DQO durante el proceso de digestión anaerobia.....	58
Anexo 12 Resultados de Análisis físico químico de la gallinaza .....	59
Anexo 13 Resultados de Análisis de Conductividad Eléctrica y humedad de la gallinaza .....	60

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE GALLINAZA SOMETIDA A DIFERENTES RELACIONES C/N**, se realizó teniendo en cuenta los sistemas intensivos de producción animal que hay en la provincia de El Oro, el objetivo principal fue evaluar la producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza sometida a diferentes relaciones C/N, y de esta manera obtener una actividad económica más beneficiosa y menos contaminante, la metodología empleada fue la utilización de biodigestores dentro del cual se depositaron los desechos orgánicos tomando en cuenta la relación carbono/nitrógeno, y se tratan para su descomposición bajo un proceso anaerobia que es el que genera biogás. La reacción se llevó a cabo en reactores batch operado a 27 °C durante 29 días. Se determinaron los sólidos totales disueltos (STD), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) soluble, pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y el volumen de biogás producido durante el proceso. Los resultados nos indicaron que el tratamiento 2 produjo más biogás, con un total de 12,8 Litros en comparación de los otros tratamientos.

**Palabras clave:** Biogás, Gallinaza, Digestión Anaerobia, Biodigestor.

## SUMMARY

The present research work entitled: EVALUATION OF PRODUCTION BIOGAS FROM MANURE DEGRADATION SUBJECT TO DIFFERENT RELATIONS C / N, was made taking into account animal production intensive systems that exist in the province of El Oro, the main objective is to evaluate the production of biogas from manure degradation subject to different relations C / N, and this way obtain a more beneficial economic activity and less pollutant, the methodology employed was the use of digesters in which organic waste is deposited considering the carbon / nitrogen ratio, and treated to decompose under anaerobic process that it is what generates biogas. The reaction is carried out in a batch reactors operated at 27 °C for 29 days. Total dissolved solids (TDS), Chemical Oxygen Demand (COD) soluble, pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO) and the volume of biogas produced during the process were determined. The results indicated that treatment 2 we produced more biogas with a total of 12.8 liters compared to the other treatments.

***Keywords:*** *Biogas, Gallinaza, Anaerobic Digestion, Biodigestor.*

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la utilización de biogás es una de las energías renovables más accesibles debido a su viabilidad de obtención, su uso puede sustituir combustibles fósiles y disminuir la contaminación ambiental.

En nuestro país se generan grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos originados por la actividad agrícola y humana coadyuvando severamente a la contaminación del ambiente.

La implementación de tecnologías de la digestión anaeróbica permite aprovechar y manejar adecuadamente los residuos sólidos y líquidos de distintos sectores productivos, transformándolos en una fuente de energía.

La realización de este proyecto es debido a que el Ecuador es un país con un gran potencial agrícola y basándonos en el principio de energía renovable y los problemas de contaminación al medio ambiente, no hay empresas que empleen el uso de biocombustibles y solo se encuentra el empleo de combustibles fósiles en su totalidad, generando gran polución.

La producción de biogás a partir de la gallinaza tiene como finalidad de reducir el impacto negativo que este genera al ambiente, así se reduce los gases que provocan el efecto invernadero del planeta, también permite generar energía y al mismo tiempo obtener abono.

## **JUSTIFICACIÓN**

El propósito de este proyecto fue la obtención de biogás empleando todos los recursos que en nuestro entorno nos rodea como por ejemplo, los residuos domésticos y los residuos animales. La implementación de esta tecnología reducirá la contaminación que generan los desechos orgánicos al momento de descomponerse al ambiente y reemplazaría las tradicionales fuentes energéticas no renovables, el cual transformando la producción de biogás en una actividad económica más beneficiosa y menos contaminante.

El sistema a emplear consiste en biodigestores herméticamente cerrados los cuales se depositan los residuos sólidos orgánicos biodegradables, estos residuos tienen un alto contenido de materia orgánica y se tratan para su descomposición bajo un proceso anaerobio, generando biogás.

## **PROBLEMA**

En nuestro país, los sistemas intensivos de producción animal (bovinos, cerdos y aves) traen consigo grandes problemas de contaminación, debido al exceso de sustancias contaminantes que se generan producto del inadecuado manejo de los residuos.

La industria avícola origina una gran cantidad de residuos que causan: acumulación de materia orgánica de fácil descomposición, malos olores, gases tóxicos, atrae insectos y roedores, se convierte en un foco de infección para los animales de cría, y provoca trastornos respiratorios y de nutrición y crecimiento; todo ello con un impacto negativo en el medio ambiente y a las comunidades que habitan cerca a estos sectores productivos.

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **Objetivo General:**

Evaluar la producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza sometida a diferentes relaciones C/N

### **Objetivos Específicos:**

1. Caracterizar físico-químicamente la gallinaza
2. Determinar las condiciones de digestión anaerobia de las mezclas de gallinaza y desechos orgánicos.
3. Determinar el mejor tiempo de digestión anaerobia de las mezclas de gallinaza y desechos orgánicos.
4. Determinar el rendimiento del biogás a partir del mejor tratamiento

### **HIPÓTESIS**

Ho: La producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza no depende de las diferentes relaciones C/N

H1: La producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza si depende de las diferentes relaciones C/N

# 1 REVISIÓN DE LITERATURA ESPECIALIZADA

## 1.1 BIOGÁS.

El biogás es un gas combustible producto de la transformación de la materia orgánica por bacterias metanogénicas en condiciones anaerobias (Samayoa y col., 2012).

El biogás es un gas combustible renovable que es capaz de sustituir combustibles fósiles o biomasa (leña) (Hernández y col., 2012), se puede usar para generar electricidad y calor.

### 1.1.1 Composición del biogás.

El biogás está compuesto por una mezcla de gases, en el que su composición (Tabla 1) va a depender del tipo de residuo orgánico que se utilice para su producción y de las condiciones en que éste se va a procesar (Varnero Moreno, 2011).

**Tabla 1.** Composición del biogás derivado de diversas fuentes.

Gases	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Relleno sanitario	Propiedades
Metano	50 – 80 %	50 – 80 %	50 – 70 %	45 – 65 %	Combustible.
Dióxido de carbono	30 – 50 %	20 – 50 %	30 – 50 %	34 – 55 %	Ácido, asfixiante.
Vapor de agua	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación	Corrosivo, reduce valor calorífico.
Hidrógeno	0 – 2 %	0 – 5 %	0 – 2 %	0 – 1 %	Combustible.
Sulfuro de hidrógeno	100 – 700 ppm	0 – 1 %	0 – 8 %	0,5 – 100 ppm	Corrosivo, tóxico, oloroso.
Amoniaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Corrosivo.
Monóxido de carbono	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 1 %	Trazas	Tóxico.
Nitrógeno	0 – 1 %	0 – 3 %	0 – 1 %	0 – 20 %	Inerte.
Oxígeno	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 5 %	Corrosivo.
Orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm (terpenos, ésteres, hidrocarburos)	Corrosivo, oloroso.

Fuente: (Carrillo, 2004)

### 1.1.2 Características del biogás.

El biogás se genera a partir de diferentes tipos de materias orgánicas mediante la digestión anaerobia de las mismas y reproduce de una manera acelerada el ciclo natural de dichos compuestos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, 2012).

En la digestión anaerobia también se origina un digestato valioso en nutrientes (N, P, K, Ca, etc.) y materia orgánica. El digestato se lo usa principalmente para el uso agrícola, genera menos olores, y presentan una considerable condición higiénica (Asociación de Investigación de la Industria Agroalimentaria, 2008).

El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la Tabla 2:

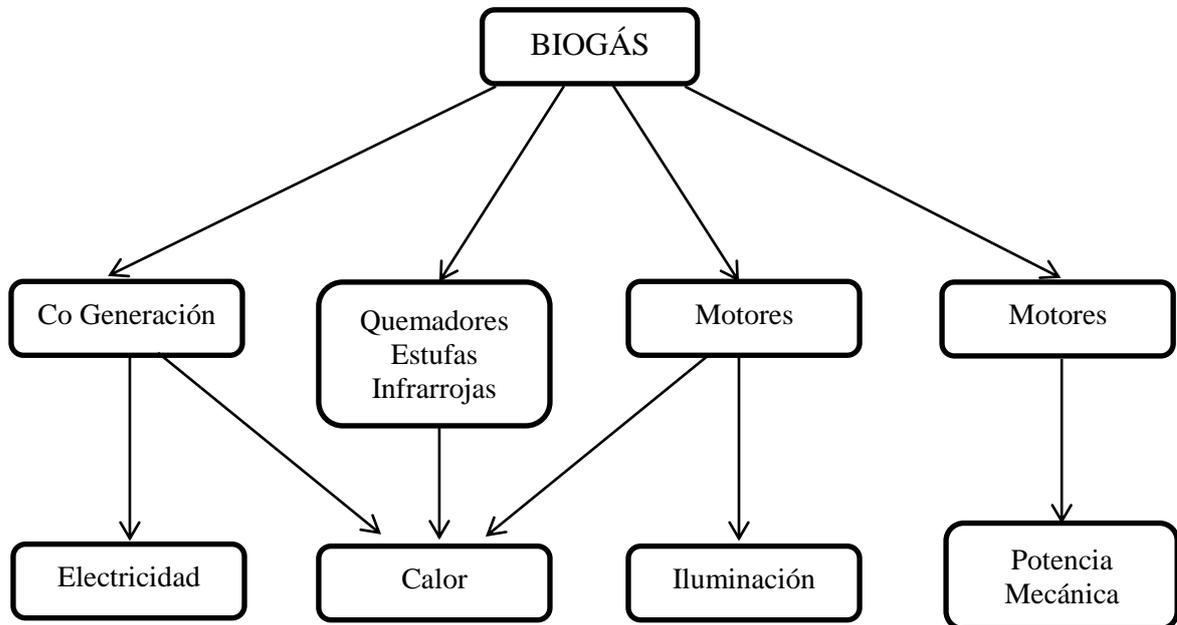
**Tabla 2.** Características generales del biogás.

valor calorífico en KWh/m <sup>3</sup>	6 – 6,5
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6 – 12
Temperatura crítica en °C	-82,5
Presión crítica en atm	74 – 88
Temperatura de ignición en °C	650 – 750
Densidad normal en Kg/m <sup>3</sup>	1,2
Masa molar en Kg/mol	16,043
Olor	Huevo podrido

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

### 1.1.3 Usos del biogás.

Figura 1. Usos del biogás.



Fuente: (Tobares, 2012)

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007):

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H<sub>2</sub>S y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

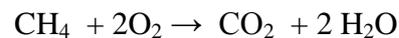
### 1.1.4 Ventajas del biogás.

Las ventajas del biogás son las siguientes:

- El biogás es una fuente de energía renovable que puede sustituir el uso de combustibles fósiles que son usadas comúnmente en zonas rurales.
- Disminuye las emisiones de gases de efecto de invernadero, la depuración de los residuos y la disminución de la emisión de contaminantes al agua, suelo y aire.
- Genera un fertilizante natural (subproducto) rico en nutrientes esenciales.
- Instalada en comunidades rurales, contribuye a la generación de empleo, incrementa la producción agrícola, preservara el medio ambiente y permita el autoabastecimiento de energía.

### **1.1.5 Principios de combustión del biogás.**

La combustión es una reacción química en la cual sucede una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química (Varnero Moreno, 2011):



El 21% de aire teórico sería lo necesario para que se lleve a cabo una buena combustión. La relación aire-gas se mejora aumentando la presión del aire, aumentando la apertura de la válvula dosificadora de gas y variando la geometría del paso de aire desde el exterior.

### **1.1.6 Aspectos de Seguridad.**

El biogás es un gas altamente tóxico, peligroso, corrosivo e inflamable si contiene sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). La exposición a altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno es perjudicial para la salud y puede causar la muerte.

El almacenamiento de gas y sistema de utilización deben ser construidos de acuerdo con las prácticas de ingeniería estándar para el manejo de un gas inflamable para evitar los riesgos de seguridad innecesarios (Navaratnasamy y Koberstein, 2008).

### 1.1.7 Tipo de materia prima para la producción de biogás.

Para la generación de biogás se puede utilizar todo tipo de materias orgánicas o biológicas siempre que puedan ser reducidas por microorganismos (Hernández y col., 2012). Entre las cuales tenemos:

**Tabla 3.** Residuos orgánicos de diversos orígenes.

Residuos de origen animal	Heces y deyecciones de animales (ganado vacuno, porcino y aves) llamados estiércoles y purines.
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	Ramas, hojas, corteza, serrín.
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas y malezas acuáticas.

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

### 1.1.8 Acondicionamiento del sustrato previo a la producción de biogás.

Antes de ingresar los residuos en el biodigestor se debe de realizar una serie de operaciones de acondicionamiento. El objetivo es introducir el residuo lo más homogéneo posible, con las condiciones fisicoquímicas adecuadas al proceso que va a ser sometido, y sin elementos que puedan dañar al biodigestor (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

La manera adecuada de acondicionar los residuos de entrada puede ser por pretatamientos, control de pH, reducción del tamaño de partícula, espesamiento, calentamiento, eliminación de metales y eliminación de gérmenes patógenos.

Al manipular sustratos, como purines, estos no deben estar almacenados demasiado tiempo, debido a que se reduce la productividad de biogás al generarse descomposición espontánea (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

## **1.2 GALLINAZA.**

La gallinaza es el estiércol de gallina ponedora de huevos sin cama o sustrato. Las hay líquidas (purines), pastosas y sólidas. Las hay igualmente presecadas o secadas. Por lo tanto su variación, va a depender de dos factores (Abaigar y col., 2010):

- El % de Materia Seca.
- El tiempo de almacenamiento: las pérdidas de nitrógeno durante el almacenamiento tanto exterior, como interior son muy importantes (hasta el 60%). Los sistemas de secado reducen estas pérdidas.

Además, la gallinaza puede ser usada en la industria ganadera o agropecuaria. Es un fertilizante orgánico que contiene un gran aporte de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y otros macro y microelementos.

La gallinaza es una excelente alternativa como abono orgánico debido que es uno de los fertilizantes orgánicos más completo y rico en proteínas y minerales, puede ser utilizada en la alimentación de rumiantes y contribuye también al cuidado del medio ambiente debido a que la producción de la misma constituye un medio no contaminante de poder deshacerse de los estiércoles de las aves dentro de los mismos lugares de producción, lo cual es un problema sanitario que hoy en día enfrenta la industria avícola.

### **1.2.1 Valor como abono de la gallinaza.**

La gallinaza al utilizarse como alimento para animales, fertilizante u otro uso que se le dé, debe de tenerse en cuenta la composición de la misma debido a que cambia de acuerdo al momento de recolectarla y la manera en que esta se almacena (Estrada Pareja, 2005).

A continuación, podemos apreciar tal como se mencionó anteriormente:

**Tabla 4.** Valor como abono de la gallinaza de ponedoras de jaula.

<b>Tipo Ácido</b>	<b>Humedad %</b>	<b>Nitrógeno %</b>	<b>Fosfórico %</b>	<b>Potasio %</b>
Fresca	70 – 80	1,1 – 1,6	0,9 – 1,4	0,4 – 0,6
Acumulada unos meses	50 – 60	1,4 – 2,1	1,1 – 1,7	0,7 – 1
Almacenada en foso profundo	12 – 25	2,5 – 3,5	2 – 3	1,4 – 2
Desecada industrialmente	7 – 15	3,6 – 5,5	3,1 – 4,5	1,5 – 2,4

Fuente: (Estrada Pareja, 2005)

### 1.2.2 Composición química de la gallinaza.

La composición química de la gallinaza puede variar por diferentes factores como: su origen, dependiendo de la procedencia (de ponedoras o de carne), el sistema de alojamiento de las aves, tipo de alimentación, la temperatura ambiente y ventilación del galpón (Estrada Pareja, 2005) .

A continuación se ilustra (Tabla 5) el contenido total de nutrientes presentes en la gallinaza:

**Tabla 5.** Contenido total de nutrientes en la gallinaza.

<b>Nutriente</b>	<b>Gallinaza</b>
Materia seca (%)	89,6
Proteína cruda (%)	28,0
Proteína verdadera (%)	11,3
Proteína digestible (%)	14,4
Fibra cruda (%)	12,7
Grasa cruda (%)	2,0
Elementos libres de nitrógeno (%)	28,7
Cenizas (%)	28,0
Total de nutrientes digestibles (%)	52,0
Energía digestible (Kcal/Kg)	1.911
Calcio (%)	8,8
Fósforo (%)	2,5
Magnesio (%)	0,67
Manganeso (mg/Kg)	406
Sodio (%)	0,94
Potasio (%)	2,33
Cobre (mg/Kg)	150
Zinc (mg/Kg)	463

Fuente: (Ochoa Cordero y Urrutia Morales, 2007)

Los nutrientes que se encuentran en la gallinaza se deben a que las gallinas solo asimilan entre el 30 % y 40 % de los nutrientes con las que se les alimenta, lo que hace que en su estiércol se encuentren el restante 60 % a 70 % no asimilado (Serrato Viera, 2012).

### **1.2.3 Efectos de la gallinaza en el ambiente.**

La gallinaza al manipularla de manera incorrecta pueden tener un impacto negativo sobre el ambiente, generando malos olores, mala imagen, aumento de insectos, propagación de enfermedades, problemas con los vecinos.

### **1.2.4 Usos de la gallinaza.**

#### **1.2.4.1 Ingrediente para dietas de animales.**

La gallinaza es utilizada como ingrediente para dieta de animales debido a que contiene un alto valor de nitrógeno, aunque en su mayor parte, en manera no proteica, primordialmente como ácido úrico, y resulta de mucha utilidad para los rumiantes a excepción para los animales monogástricos (Estrada Pareja, 2011).

#### **1.2.4.2 Fertilizantes.**

La gallinaza se usa incorporando al suelo como fertilizante orgánico. La gallinaza posee tres nutrientes importantes para la fertilización del suelo los cuales son: el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K).

La gallinaza provee macro nutrientes como el nitrógeno(N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), sodio (Na) y micro nutrientes como el boro (Bo), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn) para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ayuda a la condición del suelo, ayuda a controlar la erosión, mejora la retención del agua y ayuda a la aeración del suelo. El contenido de nutrientes de la gallinaza dependerá del contenido de humedad, el almacenamiento, el tiempo que tiene la camada en uso y la condición patológica del pollo (Montalvo Torres, 2008).

### **1.2.4.3 Recurso energético.**

La descomposición de la gallinaza en biodigestores produce biogás, de los cuales los más primordiales son el metano  $\text{CH}_4$  y el dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ . El biogás puede ser aplicado, como biocombustible en un motor de combustión interna para la generación de energía eléctrica en las granjas (Estrada Pareja, 2011).

## **1.3 PROCESOS BIOLÓGICOS.**

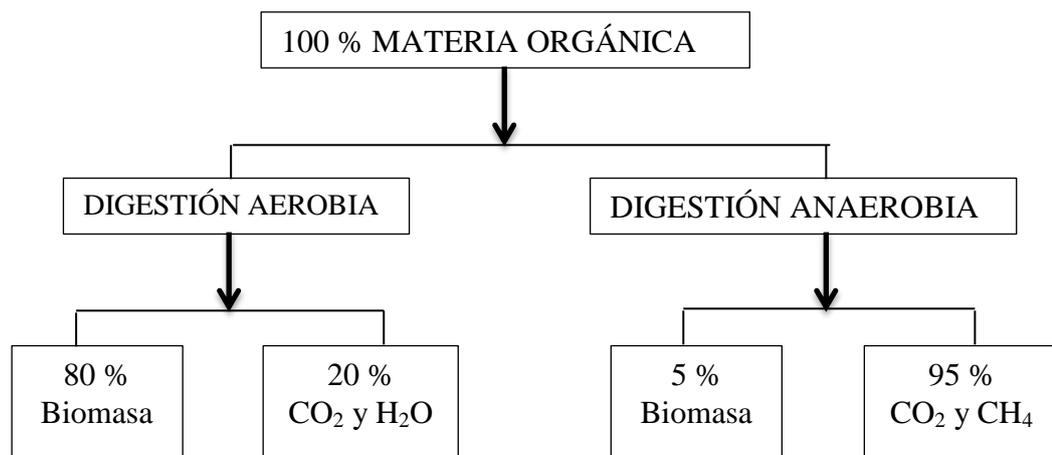
Durante el último siglo, el crecimiento prolongado de la población y la industrialización han dado lugar a la degradación de diversos ecosistemas en los que se basa la vida humana. En el caso de los océanos y la calidad de los ríos, la contaminación es causada primordialmente por la descarga de aguas residuales industriales y municipales inapropiadamente tratadas (Chan y col., 2009).

Los procesos biológicos son efectivos para la depuración de compuestos con alta carga orgánica como las aguas residuales, lodos de depuradora, y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (Forster Carneiro y col., 2004).

Los métodos empleados para el tratamiento de residuos orgánicos son: aerobio y anaerobio. El primero se lleva a cabo en presencia de oxígeno y la segunda en ausencia de oxígeno.

Entre ambos procesos existen grandes diferencias, la digestión aerobia elimina el 80 % de la materia orgánica en forma de biomasa (lodos) y el 20 % restante, en forma de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), en cambio, la digestión anaerobia transforma la materia orgánica en una mezcla de 5 % de biomasa y 95 % de metano ( $\text{CH}_4$ ) y anhídrido carbónico, susceptible de aprovechamiento y valorización económica (Forster Carneiro y col., 2004) (Figura 2).

**Figura 2.** Procesos biológicos para la depuración de la materia orgánica: digestión aerobia y anaerobia.

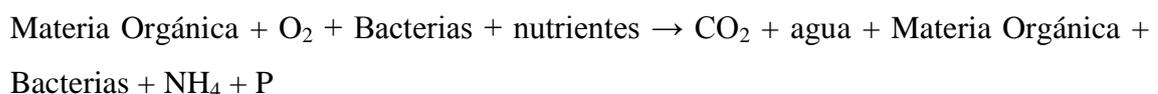


Fuente: (Forster Carneiro y col., 2004)

### 1.3.1 Proceso de digestión aerobia.

La digestión aerobia, es un proceso biológico, que se desarrolla mediante la acción de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno transforma la materia orgánica disuelta en productos finales inocuos y materia celular (Varnero Moreno, 2011).

La fórmula general del proceso de digestión aerobia es la siguiente:



El compostaje es uno de los procesos aerobios para tratar residuos sólidos orgánicos.

### 1.3.2 Proceso de digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico, mediante el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y por acción de diversos grupos de microorganismos, da como resultado final la liberación de una mezcla de gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.), conocido como biogás y un digestato, con nutrientes minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

Los residuos orgánicos a tratar pueden provenir de diversos orígenes (animal, vegetal, agroindustriales, forestales, cultivos acuáticos), el cual proveen de carbono y la energía necesaria para los procesos biológicos.

Las principales fuentes de alimentación de las bacterias anaerobias son el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos y amoníaco, etc.). El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno para la formación de nuevas células (Varnero Moreno, 2011).

La relación óptima es de 30:1. Si el carbono presente es mayor al necesario, la descomposición de la materia orgánica ocurre más lenta debido a que la multiplicación y desarrollo de las bacterias es bajo, por la falta de nitrógeno, y el periodo de producción de biogás resulta más prolongada. En cambio si el nitrógeno presente es menor al necesario se ve limitada la producción de biogás, y en cambio sí está en exceso se produce más amoníaco del necesario, el cual es tóxico e inhibidor del proceso.

El producto primordial obtenido en la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano y dióxido de carbono, y trazas de otros gases (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición va a depender tanto del residuo orgánico que se utilice para su producción y del proceso en sí. La cantidad de gas que se produce es muy variable, aunque oscila alrededor de los 350 L/Kg de sólidos degradables, con un contenido de metano del 70 %. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005).

El efluente que sale del biodigestor una vez que haya finalizado el proceso de digestión anaerobia se conoce como digestato. El digestato tiene valor nutritivo y puede ser utilizado como abono.

### **1.3.2.1 Beneficios ambientales de la digestión anaerobia.**

Los beneficios ambientales de la digestión anaerobia son la reducción de malos olores, mineralización, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, producción de

energía renovable si el gas se emplea energéticamente y reemplaza a un fuente de energía fósil.

Las energías renovables son aquellas que producen electricidad o energía térmica sin agotar los recursos naturales. Las emisiones de gases de efecto invernadero son los culpables de la aceleración del cambio climático en todo el mundo. Por lo tanto, se recomienda a nivel mundial el uso de energías renovables y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Navaratnasamy y Koberstein, 2008).

### 1.3.3 Comparación entre tratamientos aerobios y anaerobios.

**Tabla 6.** Comparación entre tratamientos aeróbico y anaeróbico.

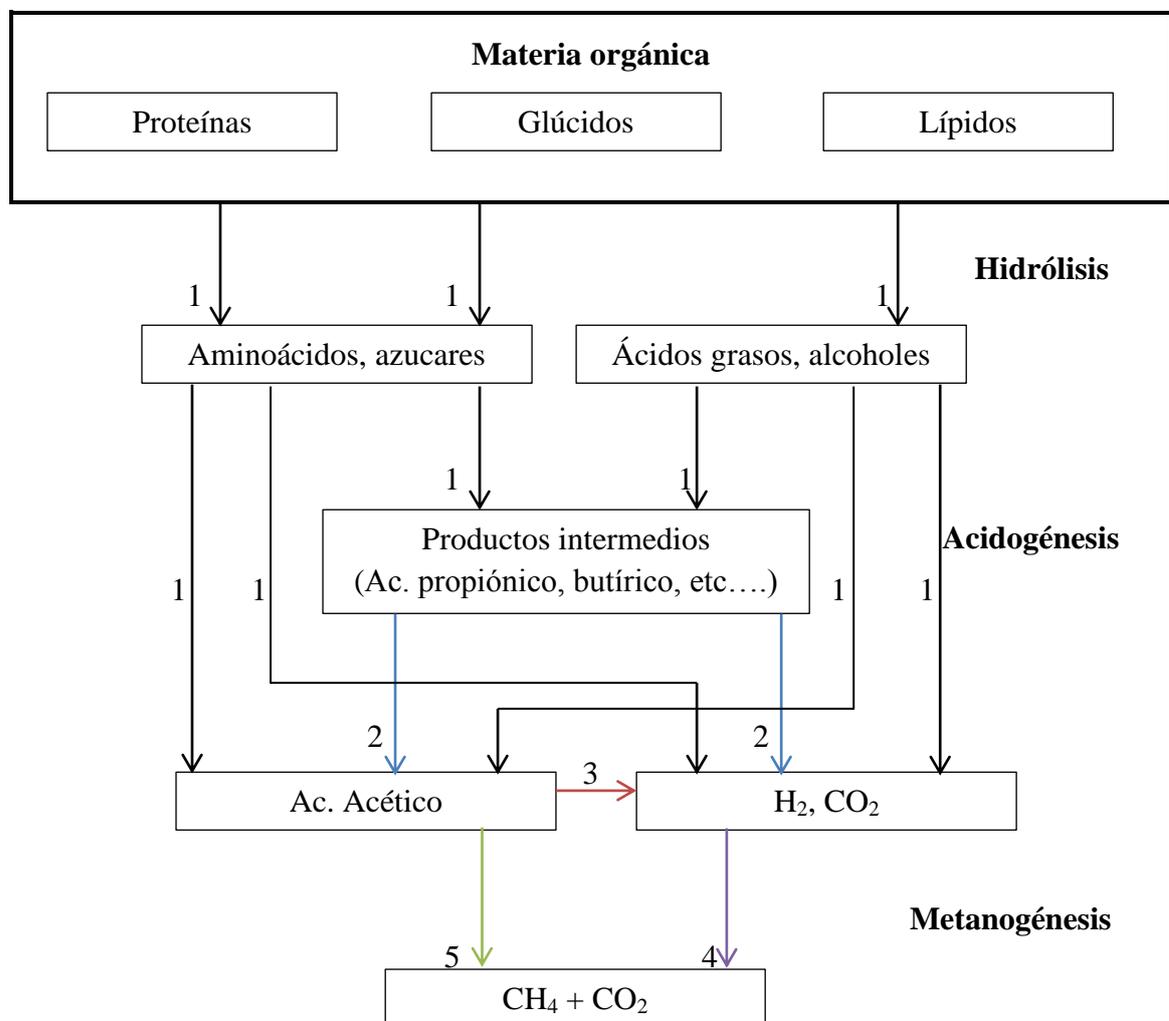
	<b>Aerobio</b>	<b>Anaerobio</b>
Eficiencia de Remoción	Alta	Alta
Calidad del efluente	Excelente	Moderada a Baja
Tiempo de residencia	Moderado	Alto
Producción de lodos	Alta	Baja
Requerimiento de nutrientes	Alto	Bajo
Requerimientos de alcalinidad	Bajo	Alto para determinados efluentes
Requerimiento energético	Alto	Bajo
Sensibilidad a la temperatura	Baja	Alta
Tiempo de puesta en marcha	2-4 semanas	2-4 meses
Olor	Baja probabilidad	Problemática Potencial
Recuperación de energía y/o nutrientes	No	Si
Tratamiento	Total	Requiere post-tratamiento

Fuente: (Chan y col., 2009)

Los diversos méritos de ambos tratamientos se resaltan en la Tabla 6, y ambos sistemas son capaces de lograr una alta eficiencia de remoción orgánica. En general, los sistemas aeróbicos son adecuados para el tratamiento de efluentes con baja carga orgánica (concentraciones de DQO biodegradables menores de 1000 mg/L) mientras que los sistemas anaeróbicos son adecuados para el tratamiento de efluentes con alta carga orgánica (concentraciones de DQO biodegradables superiores a 4000 mg/L) (Chan y col., 2009).

#### 1.4 FUNDAMENTOS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA.

**Figura 3.** Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos.



- 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

**Fuente:** (Pascual y col., 2011)

La digestión anaerobia es un proceso complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de manera simultánea (Varnero Moreno, 2011).

La digestión anaerobia de la materia orgánica se divide en cuatro fases o etapas consecutivas, interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos (Figura 3). Estas poblaciones se caracterizan por distintas velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto como inhibidor (por ejemplo, el hidrógeno, ácido acético o amoniaco producido en la etapa acidogénesis de aminoácidos). Esto implica que cada fase presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH (Pascual y col., 2011).

La primera etapa consiste en la hidrólisis de moléculas complejas (hidratos de carbono, proteínas y lípidos) que son hidrolizadas por acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. Como resultado se producen compuestos solubles como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga y alcoholes, que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando como resultado ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno, dióxido de carbono y productos intermedios (ácido propiónico, butírico, etc.). Los ácidos grasos de cadena corta por acción de las bacterias acetogénicas son transformados en ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono. Por último, el ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono por acción de los microorganismos metanogénicos producen metano (Varnero Moreno, 2011).

En cada una de estas etapas intervienen un número significativo de grupos de especies particulares (ver tabla 7).

**Tabla 7.** Bacterias presentes en cada una de las etapas metabólicas.

*Bacterias aisladas en un reactor anaerobio*

<i>Fase no metanogénica</i>	<i>Fase Metanogénica</i>
<b>Anaeróbicos facultativos</b>	<b>Anaeróbicos extremos</b>
Lactobacillus	Methanobacterium
Spirillum	Methanococcus
Klebsiella	Methanospirillum
Actinomyces	Methanobrevibacter
Vibrio	Methanomicrobium
Corynebacterium	
Bacillus	
Micrococcus	
Pseudomonas	
Alcaligenes	
Sarcina	
Aerobacter	
<b>Anaeróbicos estrictos</b>	
Bacteroides	
Clostridium	
Bifidobacterium	
Sphaerophorus	
Fusobacterium	
Veillonella	
Peptococcus	
Deulfovibrio	

**Fuente:** (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

#### **1.4.1 Hidrólisis.**

La descomposición de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o monómeros resulta por acción de agua y bacterias.

La hidrólisis consiste en la degradación de la materia orgánica que se compone de hidratos de carbono, proteínas y lípidos en unidades estructurales como ácidos grasos, monosacáridos, aminoácidos, y compuestos relacionados (Martí Ortega, 2006). Este proceso lo lleva a cabo los microorganismos anaerobios facultativos.

#### **1.4.2 Acidogénesis.**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas

(acético, fórmico,  $H_2$ ) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Martí Ortega, 2006). La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema (Varnero Moreno, 2011).

Es decir, esta etapa consiste en la fermentación de los compuestos solubles a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes,  $H_2$  y  $CO_2$ . El pH en esta fase se encuentra con valores entre 5.1 y 6.8.

### **1.4.3 Acetogénesis.**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos ( $H_2$  y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles como valeriato, butirato, propionato, etc. y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato e hidrógeno, a través de las bacterias acetogénicas (Martí Ortega, 2006).

Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h. Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos (Varnero Moreno, 2011).

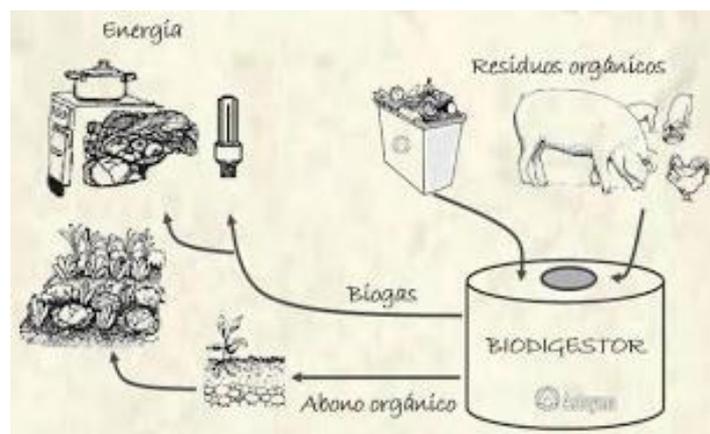
### **1.4.4 Metanogénesis.**

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $H_2 / CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas (Martí Ortega, 2006).

## 1.5 BIODIGESTOR.

Un biodigestor también denominado digestor o reactor anaerobio es un recipiente o tanque cerrado herméticamente en el que se deposita los residuos sólidos (Samayoa y col., 2012). En su interior se fermenta el material orgánico mezclados con agua en ausencia de oxígeno se produzca un gas combustible y fertilizantes orgánicos.

**Figura 4.** Biodigestor.



Fuente: <http://www.biodigestores.info/>

### 1.5.1 Características del digestor.

Según Moreno (2011), las características que debe presentar el digestor de residuos orgánicos para que opere de manera correcta son:

- ✓ Ser hermético con la finalidad de evitar la entrada de aire, debido a que interfiere en la digestión anaerobia y a la vez, evitar las fugas del biogás producido.
- ✓ Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- ✓ Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá disponer con una válvula de seguridad.
- ✓ Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- ✓ Tener acceso para el mantenimiento.
- ✓ Disponer de un medio para romper las natas y costras que se forman.

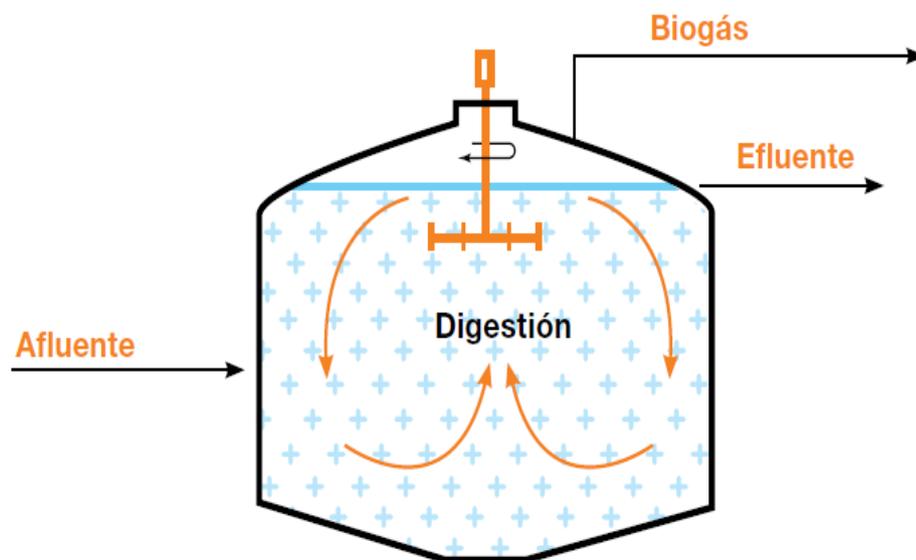
### 1.5.2 Tipos de biodigestores.

Los tipos de biodigestores resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga, como los describiremos a continuación (Samayoa y col., 2012):

#### 1.5.2.1 Sistemas continuos.

Se caracterizan porque el afluente o flujo de materia que ingresa al biodigestor es de manera continua o por lo menos una vez al día, el cual permite manejar las variables relacionadas, carga específica, tiempo de retención y temperatura.

**Figura 5.** Esquema general de un biodigestor de flujo continuo.

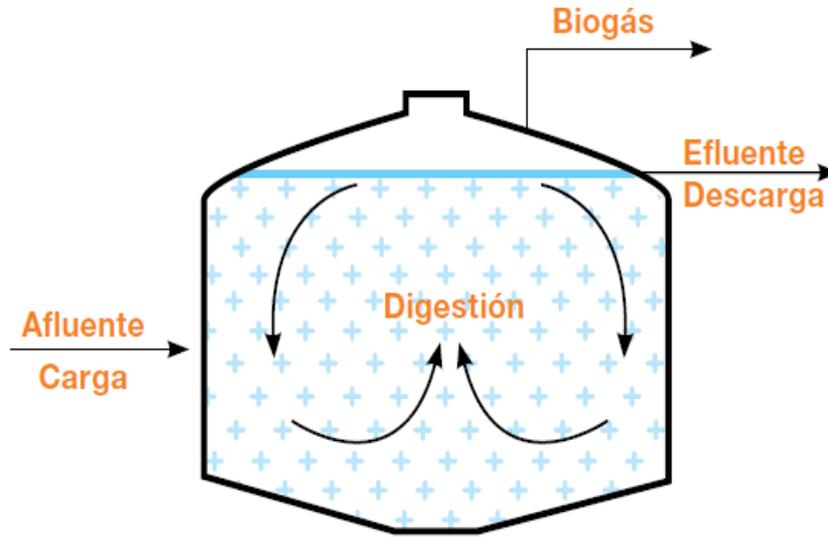


Fuente: (Samayoa y col., 2012)

#### 1.5.2.2 Sistemas discontinuos.

Estos se caracterizan debidos a que el afluente o materia orgánica ingresa al inicio del proceso en forma total y la descarga se realiza una vez que finalice de producir gas combustible.

**Figura 6.** Esquema de biodigestor de flujo discontinuo (Tipo Batch).

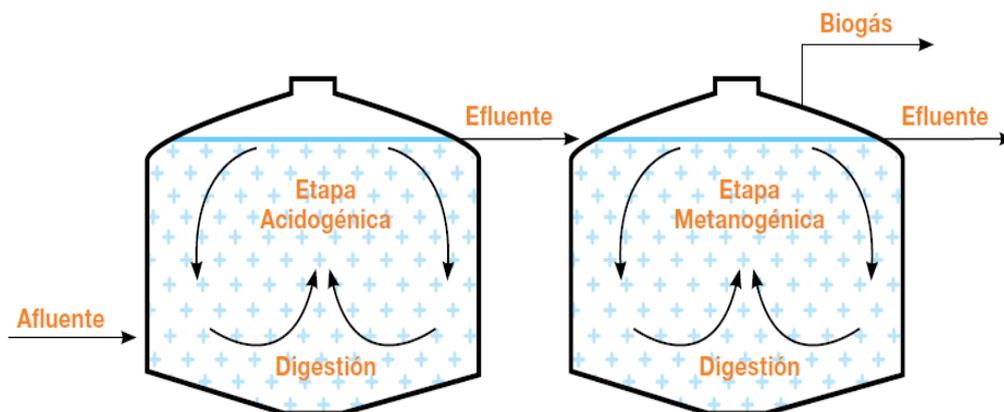


Fuente: (Samayoa y col., 2012)

### 1.5.2.3 Sistemas de dos etapas.

En este sistema, la digestión anaerobia tiene lugar en dos biodigestores en serie, el cual permite separar las fases de la digestión anaerobia. En el primer biodigestor se lleva a cabo la hidrólisis y la fase acidogénica de la materia orgánica y en el segundo se termina de realizar el proceso de descomposición (fase metanogénica) y producir biogás.

**Figura 7.** Esquema de sistema de biodigestión de dos etapas.



Fuente: (Samayoa y col., 2012)

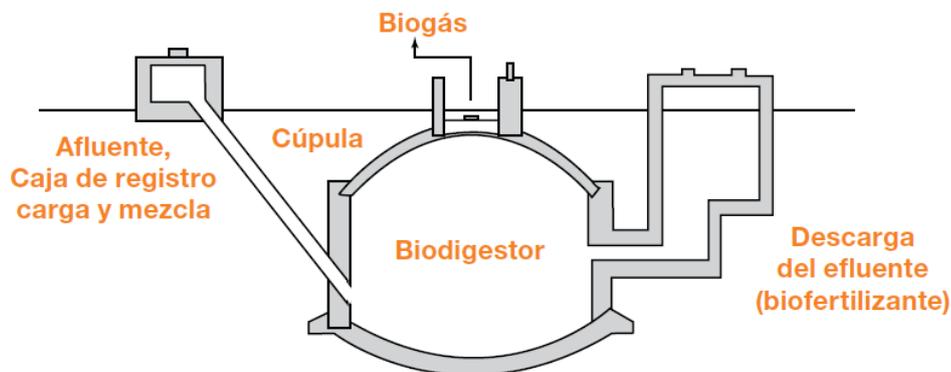
Existen muchos tipos de biodigestores según su diseño o tipo de estructura, los más comunes son:

#### 1.5.2.4 Biodigestor de cúpula fija (Chino).

Este tipo de biodigestor se construye con ladrillos, piedra o de elementos prefabricados de hormigón. Tiene forma cilíndrica con el techo y el piso en forma de domo y estar enterrado. Está compuesto por un registro de carga, el digestor y un tanque de compensación (Samayoa y col., 2012).

El funcionamiento de este tipo de biodigestor es sencillo, primero se realiza la mezcla de la materia orgánica en la caja de registro, que es transportada a través de tuberías hacia la cámara de digestión, en donde se retiene por un tiempo determinado para que los microorganismos realicen todo el proceso de digestión, generando dos subproductos, el biogás y el biofertilizante, el cual el biogás se almacena en la cúpula fija del sistema, el cual se capta y se transporta por tuberías, y el biofertilizante es recolectado hacia una caja de descarga (Samayoa y col., 2012).

**Figura 8.** Esquema de biodigestor de cúpula fija.



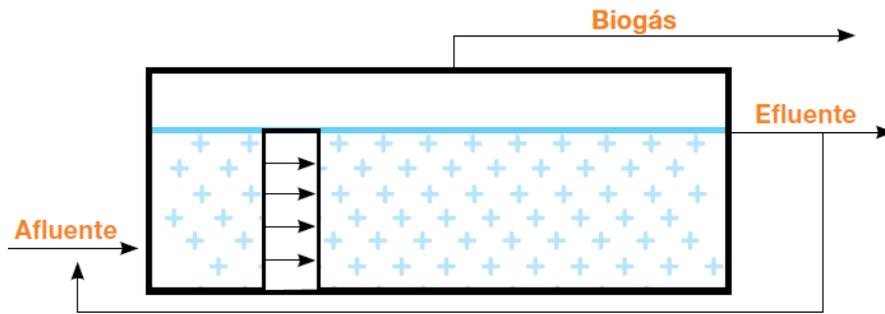
Fuente: (Samayoa y col., 2012)

#### 1.5.2.5 Biodigestor tubular.

Estos sistemas de biodigestión son conocidos también como biodigestores tipo salchicha o taiwanés, se caracterizan por ser sistemas continuos fabricados de goma, polietileno. Es un sistema estacionario, con formas alargadas, donde el flujo de líquido es continuo, significa que cada fracción de líquido que entra en el biodigestor no se

mezcla con la fracción posterior. Debido a las características del flujo continuo, las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del flujo cambian a medida que avanzan dentro del biodigestor; por lo tanto, la producción de biogás es distinta en cada sección del sistema (Samayoa y col., 2012).

**Figura 9.** Esquema de biodigestor tubular.

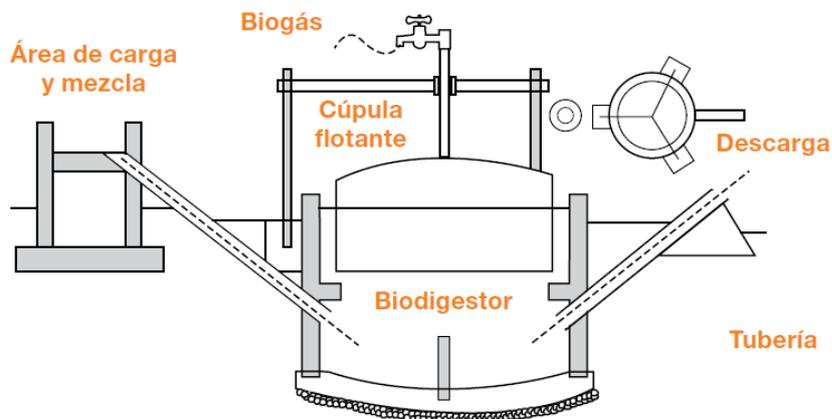


Fuente: (Samayoa y col., 2012)

#### 1.5.2.6 Biodigestor de campana flotante o tipo hindú.

Este sistema es muy parecido al biodigestor tipo chino, su componente principal es una campana de acero que tiene la característica de flotar en el biodigestor; a medida que el biogás que se genera ejerce presión sobre esta cúpula, esta sube almacenando el biogás que se produce dentro del biodigestor (Samayoa y col., 2012).

**Figura 10.** Esquema de biodigestor tipo hindú.



Fuente: (Samayoa y col., 2012)

## **1.6 FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO METANOGENICO.**

### **1.6.1 Relación carbono nitrógeno C/N.**

La relación entre carbono y nitrógeno presente en la materia orgánica se expresa como carbono/nitrógeno (C/N).

Si la relación C/N es alta, el nitrógeno se va a consumir rápidamente por las bacterias metanogénicas para formar proteínas y no reaccionará con el material restante, por tanto la producción de gas será alta. Si por lo contrario, dicha relación es muy baja, es decir, donde el nitrógeno sea abundante, el nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amoníaco, el cual incrementará el pH de la carga en el digestor. Un pH mayor que 8.5 comenzará a mostrar efectos tóxicos en la población de bacterias metanogénicas. Los materiales con una relación C/N alta pueden mezclarse con aquellos de baja relación C/N para dar la relación promedio deseada a la carga, que es de 20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno (Unidad de Planeación Minero Energética, 2003).

La relación C/N no debe ser superior a 35, con un óptimo de 30. Por debajo de 30 la producción de biogás se hace más lenta.

### **1.6.2 pH.**

El pH es elemental en proceso de producción de biogás, el rango de pH en la digestión anaerobia puede variar entre 6,7 y 7,5, que debe mantenerse en un medio cercano a la neutralidad.

El aumento de pH nos indica exceso de amoníaco; mientras que al disminuir el pH nos indica un aumento de contenido de ácidos grasos volátiles, generando una menor producción de biogás (Sánchez y Pazmiño, 2007).

Una vez realizado el llenado al biodigestor, el tiempo que demora para alcanzar el pH adecuado depende de la temperatura, la clase y la cantidad de materia prima usada.

En algunos casos las variaciones del pH en el biodigestor puede corregirse usando bicarbonato de sodio para evitar las precipitaciones del bicarbonato de calcio, aunque resulta costoso, pero también se puede agregar agua con cal (Samayoa y col., 2012).

**Tabla 8.** Efectos del pH en la biodigestión.

<b>pH</b>	<b>Efecto</b>
7 – 7,6	Óptimo
≤ 6,2	Retarda la acidificación
≥ 7,6	Retarda la armonización

Fuente: (Olaya y González, 2009)

### **1.6.3 Temperatura.**

La temperatura es un factor que afecta el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogás. Para que dé inicio al proceso se requiere de una temperatura mínima de 4 a 5 °C. El aumento de temperatura acelera el proceso de digestión y aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias y disminuye el tiempo de retención, el intervalo más adecuado es de 30 – 40 °C (Varnero Moreno, 2011).

Existen tres rangos de temperatura de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaerobios como se puede observar a continuación:

**Tabla 9.** Tipo de bacterias en función de la temperatura.

<b>Bacterias</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de retención</b>
Psicrófilos	4 – 10 °C	15 – 18 °C	20 – 25 °C	Sobre 100 días
Mesófilos	15 – 20 °C	25 – 35 °C	35 – 45 °C	30-60 días
Termófilos	25 – 45 °C	50 – 60 °C	75 – 80 °C	10-15 días

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

### **1.6.4 Tiempo de retención.**

El tiempo de retención solo puede ser definido en los sistemas discontinuos o batch, en donde el tiempo de retención concuerda con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor (Varnero Moreno, 2011).

El tiempo de retención está íntimamente relacionado con dos factores: el tipo de sustrato y su temperatura.

Los microorganismos necesitan de un determinado tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende de la temperatura, mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención para conseguir una buena producción de biogás (Varnero Moreno, 2011).

#### **1.6.5 Inhibidores.**

Existen una gran cantidad de sustancias que pueden inhibir la digestión anaeróbica. Entre ellos, cabe destacar el oxígeno, aunque su efecto inhibitor no es permanente, ya que en la flora bacteriana existen microorganismos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio. Asimismo, si la biomasa es rica en nitrógeno, se puede producir un exceso de amoníaco que inhibe el proceso. Otros inhibidores son los metales pesados, que actúan sobre los microorganismos metanogénicos. Además, algunas sustancias orgánicas, como antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones, pueden inhibir el proceso. Por último, una concentración elevada de ácidos volátiles puede producir un efecto inhibitor (Centro de Extremadura e Alentejo, 2010).

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **2.1 MATERIALES.**

#### **2.1.1 Ubicación.**

El presente trabajo investigativo, se realizó en el laboratorio de Tecnología Farmacéutica I de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, de la Universidad Técnica de Machala.

Latitud 3°17'07.19"

Longitud 79°54'46.17"

#### **2.1.2 Material experimental.**

En la presente investigación se utilizó desechos orgánicos recolectados en la ciudad de Pasaje.

##### **2.1.2.1 Inóculo.**

Gallinaza (estiércol de gallinas ponedoras)

##### **2.1.2.2 Materiales de campo.**

- Balanza analítica
- Mangueras de plástico
- Cuchillo
- Recipientes de plástico
- Guantes
- Masilla epóxica Rally
- Mandil
- Mascarilla

##### **2.1.2.3 Materiales y equipos de laboratorio.**

- Vasos de precipitación

- Pipetas graduadas
- Micropipeta
- Espectrofotómetro HACH DR 3900
- Multiparámetro (pH/ISE/CONDUCTIVIDAD/DO) TIPO ORION STAR A329 digital.
- Multiparámetro HQ40d
- Balanza Analítica
- Gradilla
- Bioreactores experimentales
- Pipetas graduadas
- Micro pipetas
- Reactor DRB200
- Agitador magnético

#### **2.1.2.4 Reactivos.**

- Dicromato de potasio
- Kit para la determinación de DQO (rango alto)
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio

#### **2.1.2.5 Materiales de oficina.**

- Computadora
- Pendrive
- Cuaderno
- Esferográficos
- Papel blanco A4
- CD
- Carpetas
- Impresora

## 2.2 MÉTODOS.

### 2.2.1 Factores en estudio.

#### 2.2.1.1 Factor A: concentración de residuos orgánicos.

- $A_1 = 44 \%$
- $A_2 = 45 \%$

#### 2.2.1.2 Factor B: concentración de gallinaza.

- $B_1 = 5 \%$
- $B_2 = 7 \%$

### 2.2.2 Tratamientos.

Se evaluaron 4 tratamientos, resultado de la combinación de los dos factores en estudio, factor A (concentración de residuos orgánicos) x factor B (concentración de gallinaza).

### 2.2.3 Diseño experimental.

El diseño del experimento es considerado como parte fundamental del proceso de digestión anaerobia de desechos agroindustriales y una de las formas de aprender acerca de la funcionalidad del proceso y mediante su análisis estadístico optimizarlos (Montgomery, 2004).

La investigación consistió en evaluar la utilización de desechos sólidos orgánicos, los cuales serán utilizados como fuente de carbono y la gallinaza como fuente de nitrógeno para el desarrollo de la digestión anaerobia en la obtención de biogás, el experimento tendrá dos factores; factor A = concentración de residuos (25/1 y 30/1) y factor B = concentración de gallinaza (5 % y 7%).

**Tabla 10.** Diseño experimental de los biodigestores que se utilizaron para la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos (25:1), (30:1).

<i>Diseño factorial 2x2</i>	<b>Factor B*</b> = Gallinaza	
<b>Factor A*</b> =residuos orgánicos	$B_1 = 5 \%$	$B_2 = 7 \%$
$A_1 = 44 \%$ (25/1)	$A_1B_1$	$A_1B_2$
$A_2 = 45\%$ (30/1)	$A_2B_1$	$A_2B_2$

\* El porcentaje faltante se lo completa con agua virgen; **Factor A** = Concentración de residuos orgánicos; **Factor B** = Concentración de inóculo;  $A_n X B_n$ = Interacción de los factores del experimento.

### **2.2.3.1 Tipo de investigación.**

En el presente trabajo investigativo, se realizó una investigación cuantitativa de tipo experimental, ya que se manipuló la variable independiente (relación Carbono/Nitrógeno), se analizaría su respectivo desarrollo y el cambio que este ocasionaría a la variable dependiente (producción de biogás), y mediante análisis estadísticos, definir el mejor tratamiento.

## **2.3 Mediciones experimentales.**

En el transcurso del proyecto se evaluaron los siguientes datos:

### **2.3.1 Peso Materia Prima.**

Luego de haber realizado los cálculos matemáticos para determinar las cantidades de desechos que ingresan al biodigestor, se procedió a la pesada de los desechos y que de esta forma se cumple con los % y relación carbono / nitrógeno necesaria para que se efectuó la digestión anaerobia.

### **2.3.2 Análisis Físico – Químico.**

Los análisis físico – químicos que se efectuaron durante la experimentación sirven para analizar el estado de los digestores en las distintas fases y dar un seguimiento a la digestión anaerobia. Los análisis que se realizaron son:

- Potencial de Hidrógeno (pH).
- Conductividad Eléctrica (CE).
- Oxígeno Disuelto (OD).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).

#### **2.3.2.1 Determinación del pH.**

La determinación del pH se realizó en el equipo Multiparámetro HQ40d. Primero encendemos el pH-metro y calibrarlo con las soluciones buffer (4.00, 7.00 y 10.00), una vez calibrado el equipo se introduce el electrodo en la muestra, y después de unos segundos se obtiene el valor del pH.

### **2.3.2.2 Determinación de Conductividad Eléctrica.**

La determinación de la Conductividad Eléctrica (CE) se realizó introduciendo el electrodo del equipo Multiparámetro ORION STAR A329, y después de unos segundos se obtiene el valor de conductividad eléctrica.

### **2.3.2.3 Determinación de Oxígeno Disuelto.**

La determinación del oxígeno disuelto (OD) se realizó introduciendo el electrodo del equipo Multiparámetro HQ40d (pH/ISE/CONDUCTIVIDAD/DO), y después de unos segundos se obtiene el valor del oxígeno disuelto.

### **2.3.2.4 Determinación de Demanda Química de Oxígeno.**

La Demanda Química de Oxígeno se define como la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación total de la materia orgánica presente en la muestra.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinó mediante los siguientes pasos (Método 10212\_TNTp823\_DQO\_28E\_US - Ver Manual de Instrucciones de HACH DR 3900):

- Homogenizar 100 ml de muestra en una mezcladora.
- Encender y precalentar a 150 °C el reactor DRB200.
- Cerciorarse de que los tubos de reactivo de digestión de DQO a utilizar sean del rango adecuado.
- Añadir 0,3 ml de muestra en los respectivos tubos de reactivos de digestión de DQO.
- Tapar bien los tubos y limpiar respectivamente.
- Voltar varias veces para mezclar. Colocar los tubos en el reactor DRB200 precalentado.
- Calentar los tubos durante dos horas.
- Encender el reactor. Esperar unos 20 minutos a que los tubos se enfríen hasta 120 °C o menos.
- Voltar los dos tubos varias veces mientras siga calientes. Colocar los tubos en un estante y dejar enfriar a temperatura ambiente.

- Limpiar el exterior de los tubos y se procede la respectiva lectura en mg/L de DQO en el Espectrofotómetro HACH DR 3900.

## **2.4 Manejo del experimento.**

Para la obtención de biogás seguimos los siguientes pasos:

### **2.4.1 Recolección y selección de la Materia Prima.**

La recolección de la materia prima se realizó eliminando partes no apropiadas de las mismas y material extraño como piedras, plásticos que no servían para nuestro fin.

### **2.4.2 Reducción de tamaño de los residuos sólidos orgánicos.**

Luego de seleccionar los residuos sólidos orgánicos, se procedió a la reducción de tamaño con la finalidad de aumentar el área de ataque bacteriano y exista una mejor degradación y una digestión anaerobia adecuada, en el caso de la gallinaza se la diluiría en agua para facilitar el ingreso en el biodigestor.

### **2.4.3 Inoculación.**

Una vez pesada la gallinaza se procedió a colocar la cantidad correcta para cada tratamiento.

### **2.4.4 Dosificación.**

Una vez realizada la inoculación se procedió al llenado de los biodigestores con la cantidad de desechos orgánicos de acuerdo a la cantidad calculada para cada tratamiento.

### **2.4.5 Fermentación.**

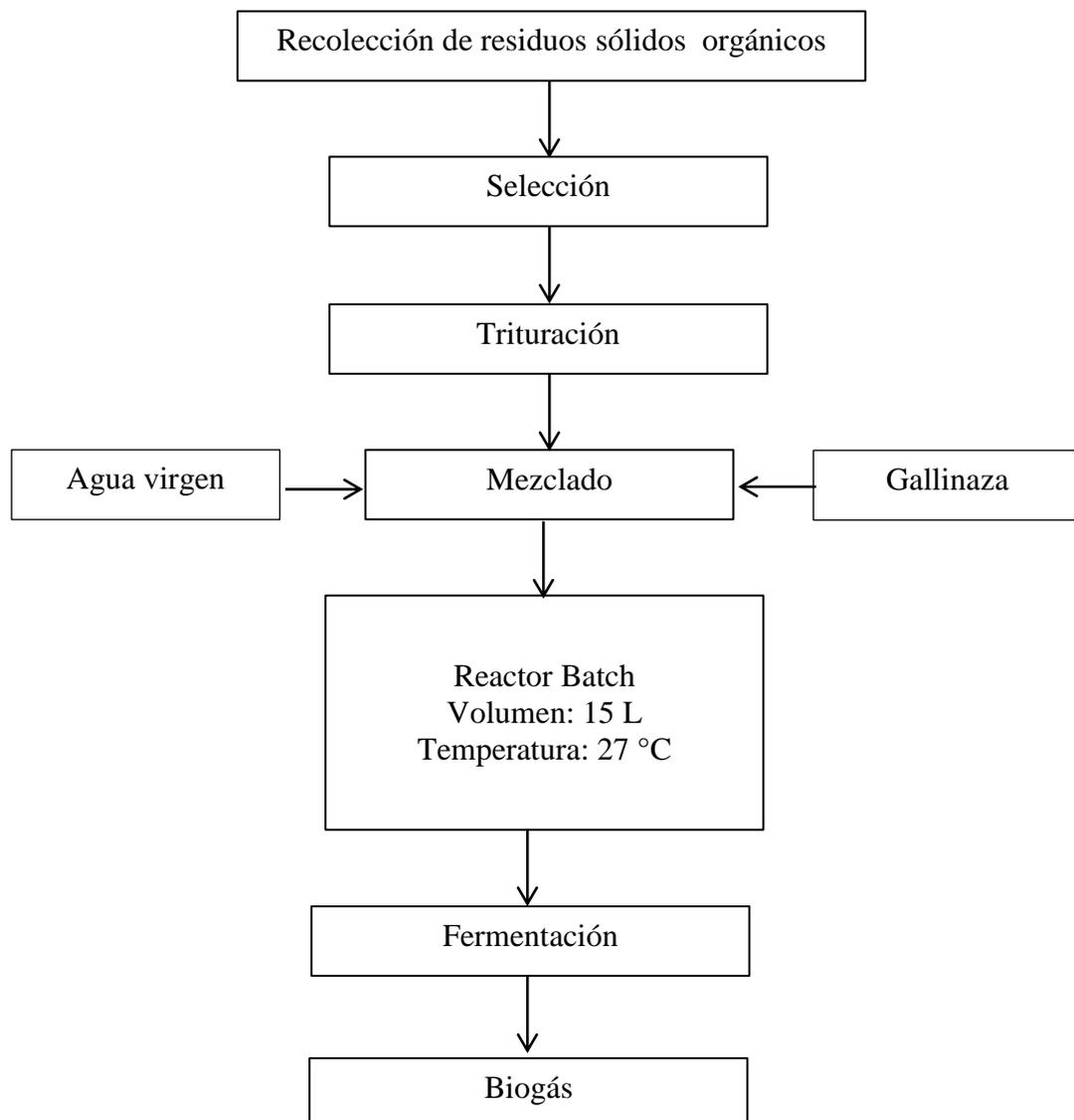
Se dejó pasar el tiempo necesario para cada tratamiento como se realizó el diseño experimental, en el cual se procedió a analizar los siguientes parámetros de control del proceso de digestión anaerobia.

#### 2.4.6 Separación.

Se procedió a separar el gas mediante una manguera, una vez que inició el proceso de digestión este fue adaptada a otro envase que contenía una solución concentrada de NaOH en un rango entre 15-20 g/L. a medida que pasa el biogás a través de esta solución de pH alto, el CO<sub>2</sub> del biogás se convierte en carbonato y es absorbido dentro del líquido.

Solo el gas metano pasa a través de la solución y un volumen equivalente es desplazado, el cual puede medirse en una probeta o puede pesarse.

#### 2.5 Diagrama de flujo para la obtención de biogás.



## 2.6 Composición Porcentual de los Biodigestores.

Se montaron 4 biodigestores, todos ellos tuvieron distinta composición porcentual de gallinaza y de desechos orgánicos, el cual cumple con los % y relación carbono/nitrógeno necesaria para que se efectuara la digestión anaerobia.

**Tabla 11.** Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 5 % de gallinaza y 44 % de desechos orgánicos.

<b>Tratamiento 1</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Cantidades</b>	<b>(Kg)</b>	<b>%</b>
Kg de desechos orgánicos	6,6		44,44
Kg de gallinaza	0,75		5,05
Litros de agua	7,5		50,51
<b>Total</b>	<b>14,85</b>		<b>100</b>

**Tabla 12.** Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 7 % de gallinaza y 44 % de desechos orgánicos.

<b>Tratamiento 2</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Cantidades</b>	<b>(Kg)</b>	<b>%</b>
Kg de desechos orgánicos	6,6		43,56
Kg de gallinaza	1,05		6,93
Litros de agua	7,5		49,51
<b>Total</b>	<b>15,15</b>		<b>100</b>

**Tabla 13.** Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 5 % de gallinaza y 45 % de desechos orgánicos.

<b>Tratamiento 3</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Cantidades</b>	<b>(Kg)</b>	<b>%</b>
Kg de desechos orgánicos	6,75		45
Kg de gallinaza	0,75		5
Litros de agua	7,5		50
<b>Total</b>	<b>15</b>		<b>100</b>

**Tabla 14.** Composición de la mezcla sometida a digestión anaerobia utilizando 7 % de gallinaza y 45 % de desechos orgánicos.

**Tratamiento 4**

<b>Componentes</b>	<b>Cantidades (Kg)</b>	<b>%</b>
Kg de desechos orgánicos	6,75	44,5
Kg de gallinaza	1,05	6,5
Litros de agua	7,5	49
<b>Total</b>	<b>15,3</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Andrea Mercedes Belduma Zambrano

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIONES.

#### 3.1 Resultados de los Análisis físicos químicos de la Gallinaza.

La gallinaza se sometió a una caracterización física-química realizada en el laboratorio NEMALAB S.A. Los resultados arrojados por dicha caracterización permiten identificar un contenido equivalente al 41,26 % de Materia Orgánica fácilmente Biodegradable, un pH de 9,2, conductividad eléctrica de 15,53 dS/m, y humedad de 29,40 %. En la tabla 15 se pueden apreciar características respectivas de la gallinaza.

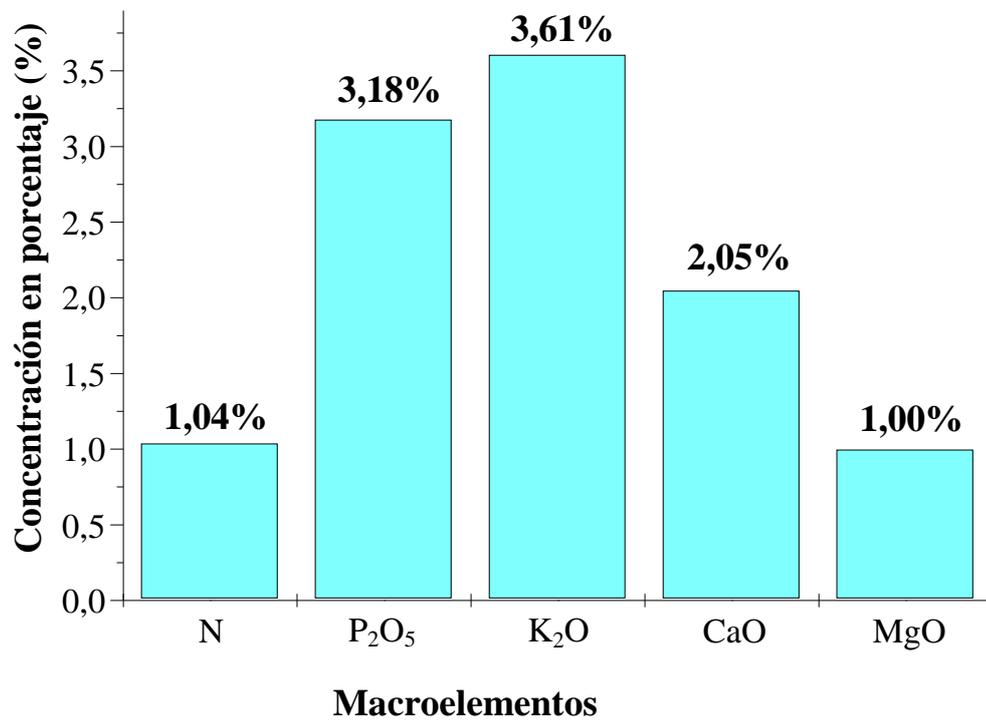
**Tabla 15.** Análisis físicos químicos de la gallinaza.

Parámetro	Gallinaza
pH	9,2
Materia Orgánica	41,26 %
Conductividad Eléctrica	15,53 dS/m
Carbono	23,90 %
Relación C/N	22,98
Humedad	29,40 %

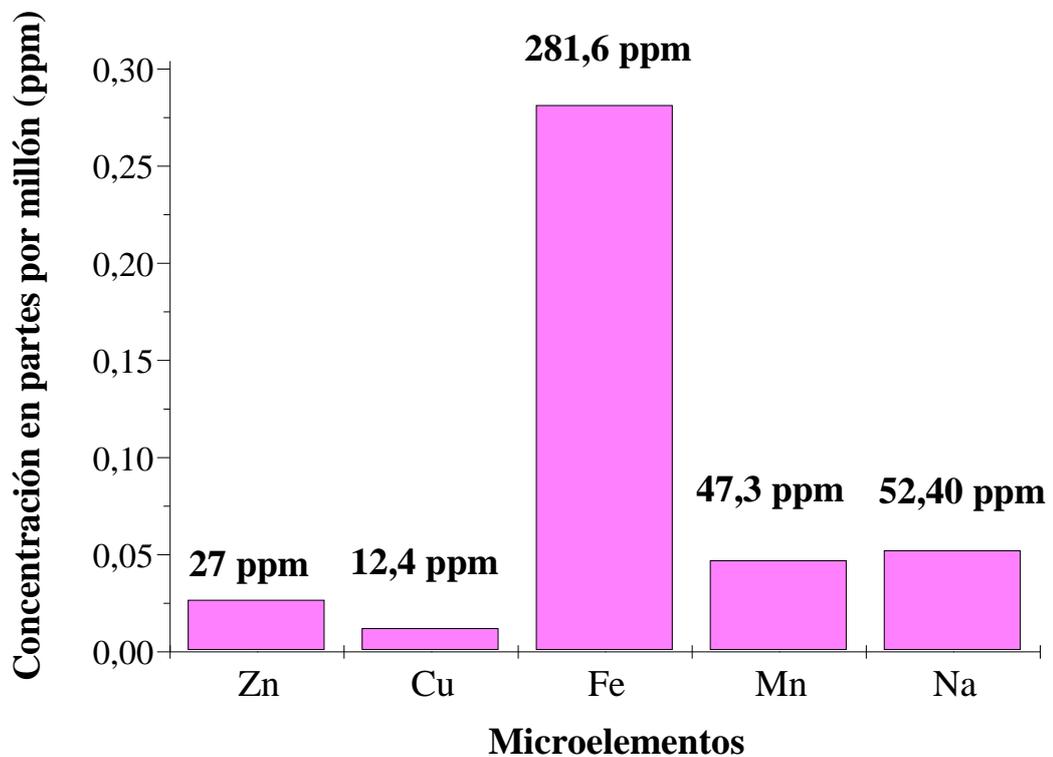
La gallinaza es un fertilizante orgánico que contiene una excelente fuente de macro y micro nutrientes (ver figura 11 y 12), la presencia de estos en el proceso de digestión anaerobia es muy necesaria debido a que se requiere para el crecimiento y buen funcionamiento de los microorganismos y es muy indispensable para garantizar una buena producción de metano. Las cantidades indispensables de nutrientes son fundamentales para el buen funcionamiento y la estabilidad dentro del biodigestor.

En la figura 11, se puede observar los resultados de los análisis químicos de los macro elementos principales como son el Nitrógeno, Fósforo y Potasio y de los macro elementos secundarios como son el Calcio y Magnesio. El Nitrógeno con un valor de 1,04 %, 3,18 % para Fósforo, 3,61 % para Potasio, 2,05 % para Calcio y 1 % para Magnesio.

**Figura 11.** Cantidad en porcentaje de macro elementos en la gallinaza.



**Figura 12.** Cantidad en ppm de micro elementos en la gallinaza



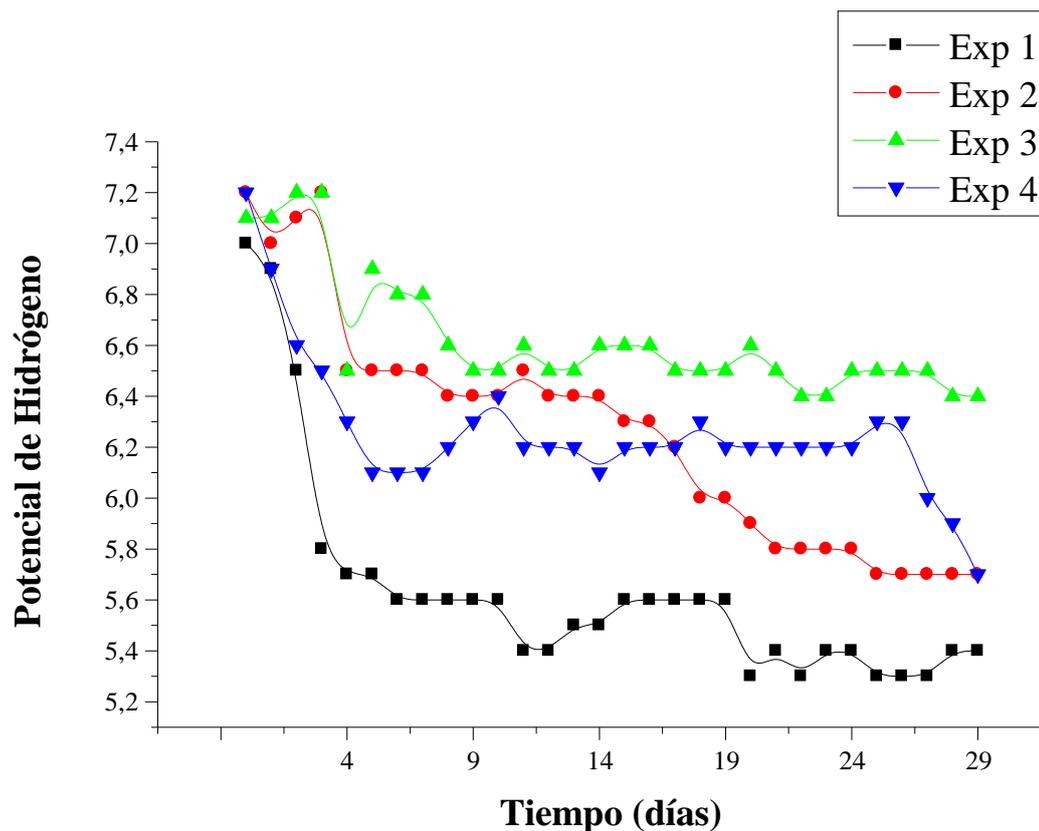
En la figura 12 se puede apreciar los resultados de los micro elementos como son el Zinc (Zn), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Sodio (Na) y se expresan en ppm., con un valor de 27 ppm para Zinc, 12,4 ppm para Cobre, 281,6 ppm para Hierro, 47,3 ppm para Manganeso y 52,40 ppm para Sodio.

### 3.2 Resultados de las condiciones de digestión anaerobia.

#### 3.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH).

El pH es un parámetro que debe de controlarse debidamente para asegurar el desarrollo del proceso de digestión anaerobia. Los microorganismos anaerobios necesitan un pH óptimo, siendo el pH neutro el ideal.

Figura 13. pH durante el proceso de digestión anaerobia.



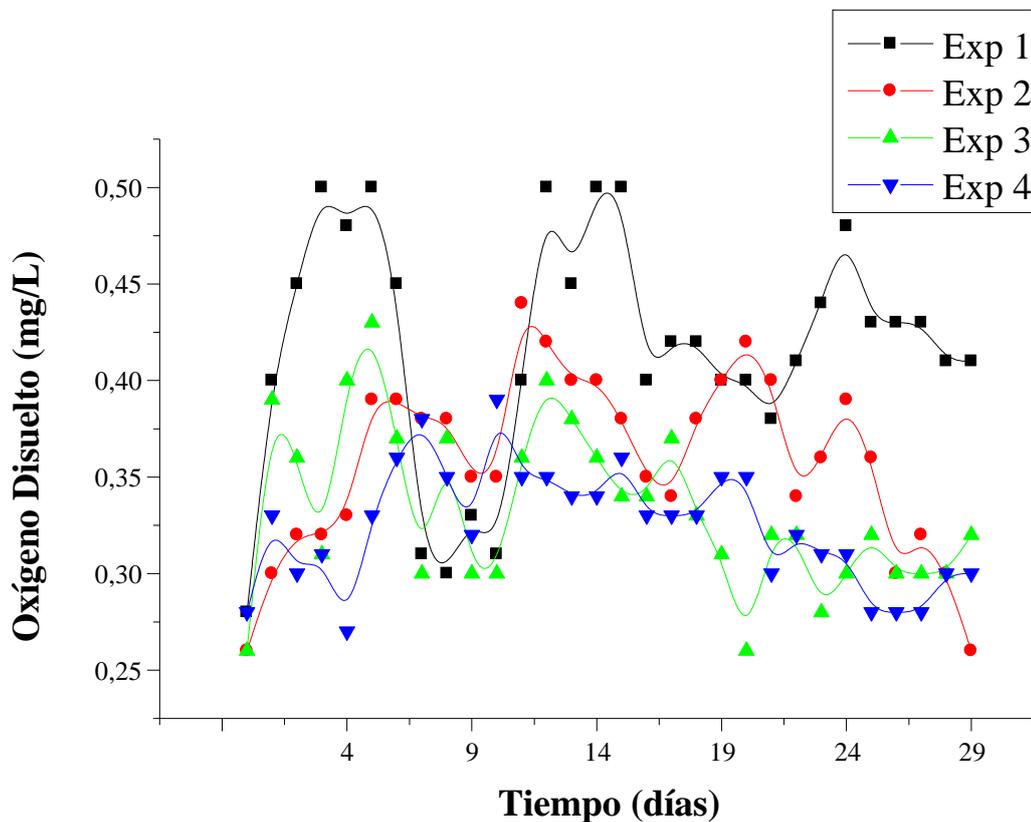
Los resultados obtenidos de pH en la figura 13, nos demuestran que los rangos de pH en los diferentes tratamientos del proceso de digestión anaerobia algunos no se encuentran en los valores óptimos para que se lleve el proceso exitosamente, como

podemos observar en el Exp 1 nos indica que el proceso no se está llevando a cabo la digestión correctamente, en el que el proceso va ser menos eficiente, en comparación con los otros tratamientos.

### 3.2.2 Oxígeno Disuelto (OD).

El Oxígeno Disuelto mide la cantidad de oxígeno disuelta en el agua. Se expresa en mg/L. los niveles bajos de oxígeno disuelto puede encontrarse en áreas donde el material orgánico se encuentra en descomposición.

**Figura 14.** Oxígeno Disuelto durante el proceso de digestión anaerobia.



Como podemos observar en la figura 14, existen diferencias de valores obtenidos de oxígeno disuelto con el pasar de los días de digestión anaerobia, esto nos indica que existe biodegradabilidad de la materia orgánica quiere decir que las bacterias requieren de oxígeno para descomponer desechos orgánicos y por lo tanto disminuyen el oxígeno en la mezcla.

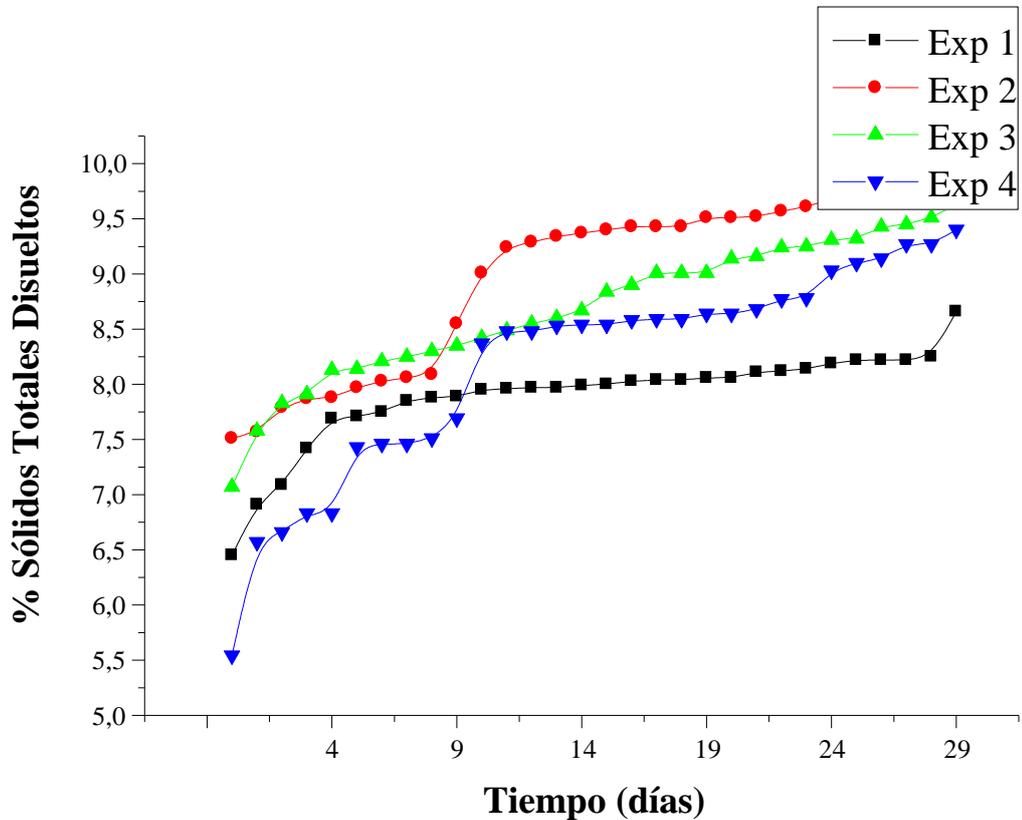
### 3.2.3 Sólidos Totales Disueltos (STD).

Los sólidos totales representan la porción seca de la materia prima. Este factor es muy importante debido a que de ello dependerá el potencial de producción de biogás.

La concentración de sólidos en la mezcla entre el 6 – 8 % es aconsejable en términos de capacidad digerible de bacterias.

El porcentaje de sólidos totales son una manera eficaz de comprobar si el proceso se está llevando a cabo satisfactoriamente.

**Figura 15.** Sólidos Totales durante el proceso de digestión anaerobia.



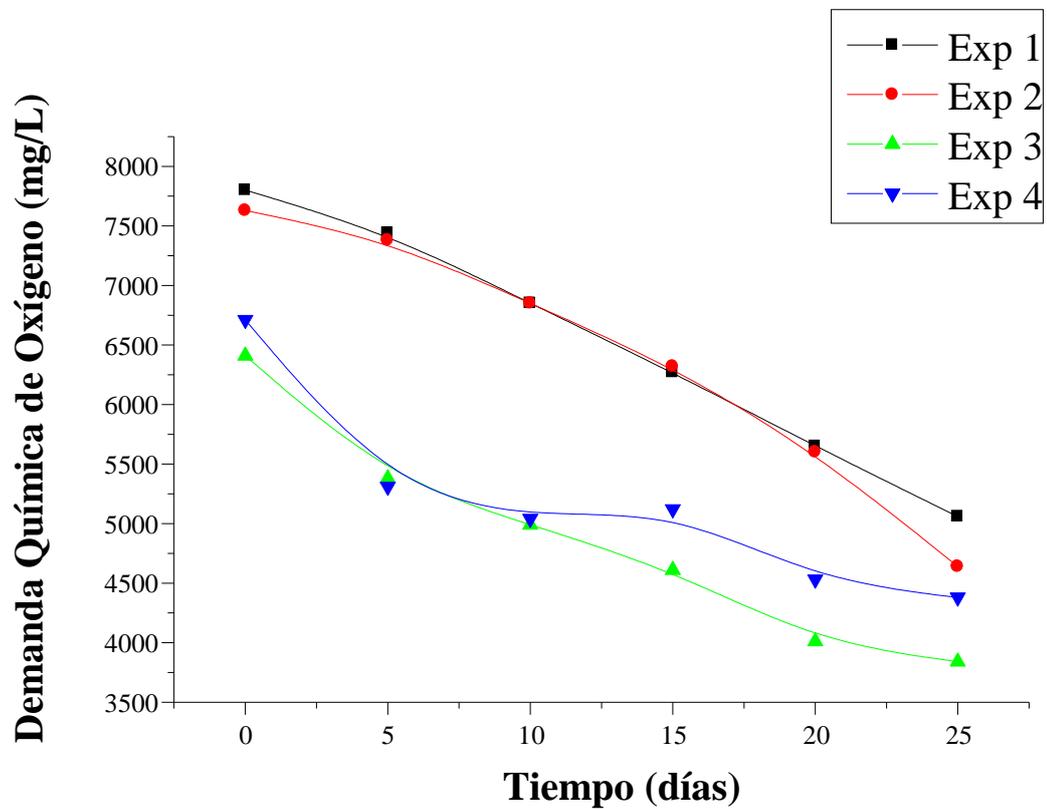
En la figura 15, se muestra el comportamiento de los sólidos totales disueltos, el cual los valores permanecen con una regularidad durante el desarrollo del experimento, permaneciendo en valores muy cercanos que oscilan entre 5 y 9 %, el cual nos garantiza que el proceso de digestión anaerobia se está llevando satisfactoriamente.

### 3.2.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

A continuación en la figura 16, se muestran los resultados de la variación de la demanda química de oxígeno durante el tiempo de digestión anaerobia.

**Figura 16.** Demanda Química de Oxígeno durante el proceso de digestión anaerobia

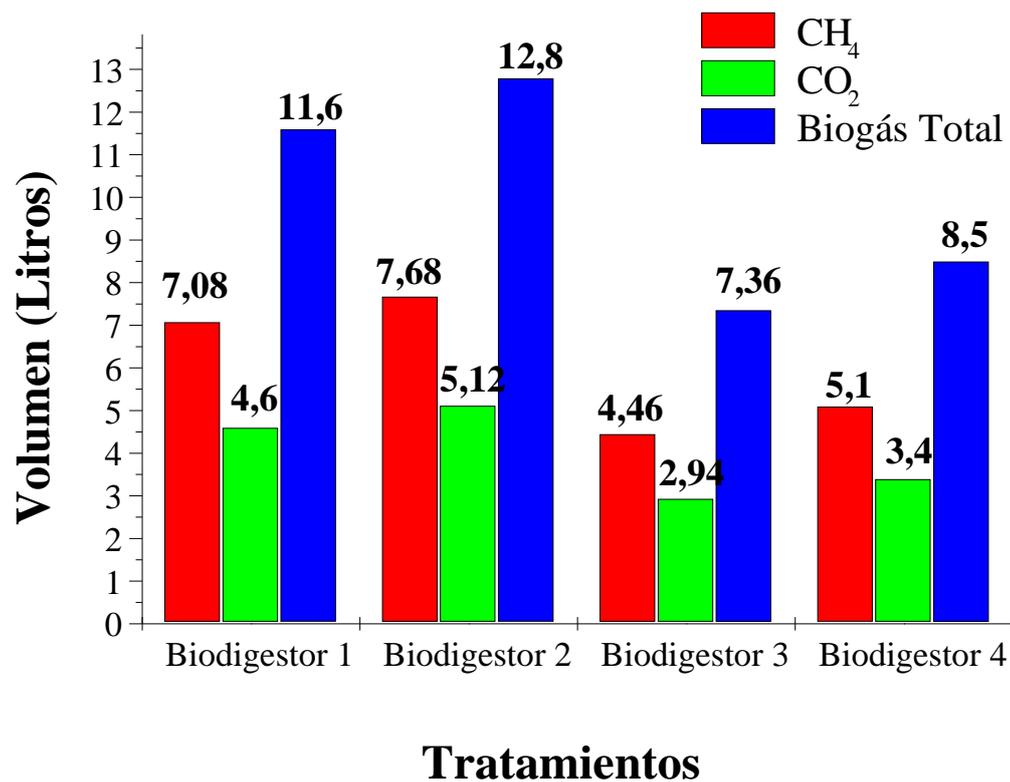


De acuerdo a la figura se observa como decae el DQO en los diferentes tratamientos a través del tiempo el cual nos permite comprobar la degradación de la materia orgánica y comprobar así la efectividad del proceso.

### 3.3 Determinar el mejor tiempo de digestión anaerobia.

#### 3.3.1 Volumen de biogás obtenido.

Figura 17. Volumen de biogás producido durante el proceso de digestión anaerobia.

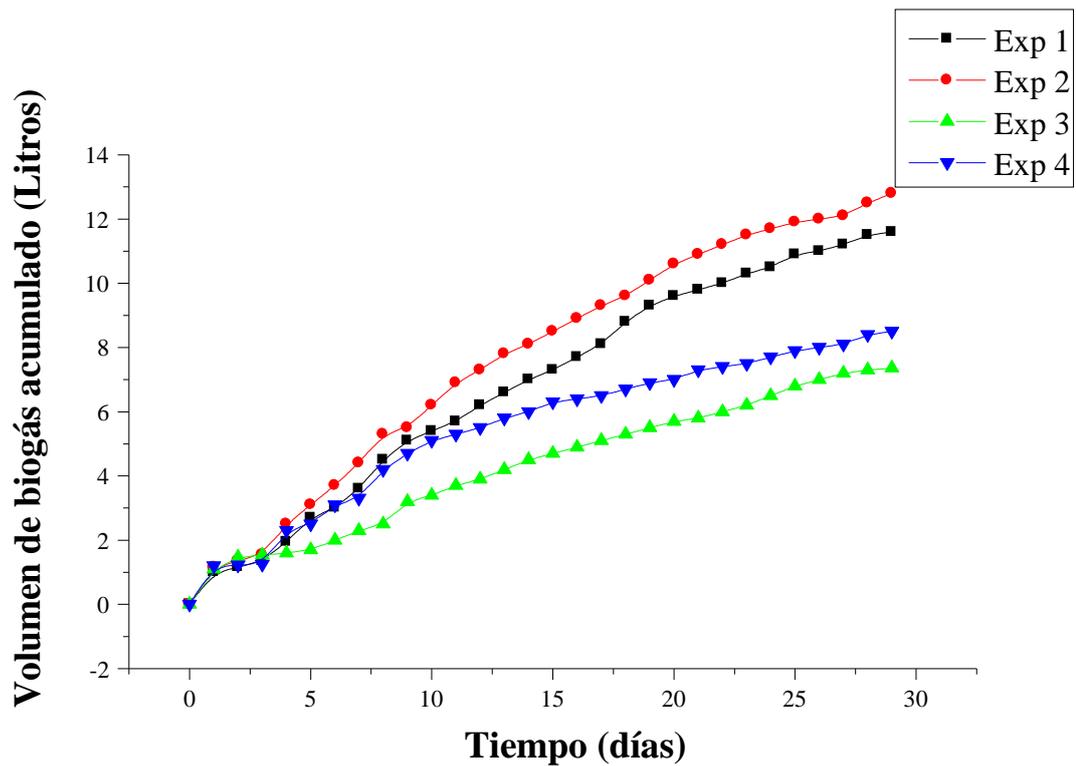


De acuerdo a la figura 17, se analiza los volúmenes de biogás generados en los 4 biodigestores, en donde se puede manifestar en el biodigestor 1 producción 11,6 Litros (77,33 %), el biodigestor 2 con un volumen de 12,8 Litros (85,33 %), el biodigestor 3 con un volumen de 7,36 Litros (49,07 %), y el biodigestor 4 con un volumen de 8,5 Litros (56,67 %), el cual resultando el tratamiento 2 (85,33 %) más eficiente.

### 3.3.2 Volumen de biogás acumulado.

La máxima acumulación de biogás durante la biodigestión ocurrió a los 29 días de experimentación.

**Figura 18.** Volumen de biogás acumulado.



A continuación en la tabla 16 se muestra el análisis de varianza aplicado en los cuatro tratamientos estudiados, para determinar si existe diferencia significativa entre ellos.

**Tabla 16.** ANOVA para el metano para los 4 biodigestores estudiados

Análisis de Varianza ANOVA					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Entre grupos	21,3388	4	5,33469	547,15	0,0000
Dentro de grupos	0,06825	7	0,00975		
Total (Corr.)	21,407	11			

La tabla ANOVA presenta los valores de variabilidad entre y dentro de grupos. La suma de cuadrados entre grupos mide la variabilidad entre las medias de los grupos de factores. La suma de cuadrados dentro de grupos mide la variabilidad dentro de cada grupo del factor. La suma de cuadrados totales mide la variabilidad de todos los datos con respecto a una media. El F-Ratio es el valor de la media de cuadrados entre grupos dividido entre el valor de la media de cuadrados dentro de grupos. El P-valor indica el nivel de significatividad (es el área de la derecha del valor F). Para valores pequeños (menores que 0,05) indica que las medias de las muestras son significativamente diferentes.

A continuación en la tabla 17 se muestra la prueba de Duncan aplicada a los 4 tratamientos para determinar la significancia que existe entre los 4 tratamientos estudiados.

**Tabla 17.** Prueba de Duncan

<b>Contraste</b>	<b>Diferencia</b>
Exp 1 - Exp1	-0,015
Exp 1 - Exp2	*-0,595
Exp 1 - Exp3	*2,615
Exp 1 - Exp4	*1,975
Exp1 - Exp2	*-0,58
Exp1 - Exp3	*2,63
Exp1 - Exp4	*1,99
Exp2 - Exp3	*3,21
Exp2 - Exp4	*2,57
Exp3 - Exp4	*-0,64

En la tabla 17 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar que medias son significativamente diferentes de las que otros. La parte inferior medio de la tabla muestra la diferencia estimada entre cada par de significa. Un asterisco se ha colocado junto a 9 pares, indicando que estos pares muestran diferencias significativas en el 95,0 % nivel de confianza.

A continuación se realiza una prueba de hipótesis:

## **Pruebas de hipótesis**

*Desviación estándar de la muestra = 1,0*

*Tamaño de muestra = 12*

*95,0 % Intervalo de confianza para sigma: [0,708395, 1, 69788]*

*Hipótesis nula: desviación estándar = 0,5*

*Alternativa: no es igual*

*Computarizada estadístico chi-cuadrado = 44,0*

*P-valor = 0,0000145339*

*Rechazar la hipótesis nula para alfa = 0,05.*

Este análisis muestra los resultados de realizar una prueba de hipótesis relativa a la desviación estándar (sigma) de una distribución normal.

Las dos hipótesis para ser probadas son:

*Hipótesis nula: sigma = 0,5*

*Hipótesis alternativa: sigma  $\neq$  0,5*

Dada una muestra de 12 observaciones con una desviación estándar de 1,0, el estadístico chi-cuadrado calculado es igual a 44,0. Dado que el valor P para la prueba es inferior a 0,05, la hipótesis nula es rechazada en el Nivel de confianza del 95,0%. El intervalo de confianza muestra que los valores de sigma respaldados por los datos caer entre 0,708395 y 1,69788. Entonces se acepta la hipótesis alternativa: La producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza si depende de las diferentes relaciones C/N

### 3.4 Determinar el rendimiento del biogás a partir del mejor tratamiento.

El cálculo respectivo para determinar el rendimiento del biogás se procedió a partir del mejor rendimiento en volumen de biogás, correspondiente al tratamiento 2 (A1B2) con un volumen de 12,8 L resultado de la combinación 7 % de gallinaza con 44 % de desechos de residuos orgánicos.

Los cálculos se realizan de la siguiente manera:

#### Datos:

Materia prima = 7,65 Kg

Densidad: 1,056 g/mL

#### Cálculo:

- Primero transformamos los 7,65 Kg a gramos  
Resultando: 7.650 g
- Los gramos calculados los transformamos en mililitros con el uso de la densidad  
Resultando: 7.244,3 mL
- Esto nos indica que 7.244,3 mL producen 12.800 mL de biogás.
- Ahora calculamos cuanto biogás produjo 100 mL de materia prima usada en el proceso.

$$\begin{array}{rcl} 7.244,3 \text{ mL de masa} & - & 12.800 \text{ mL de biogás} \\ 100 \text{ mL de masa} & - & X \\ X = 176,7 \text{ mL de biogás} \end{array}$$

De esta manera decimos que por cada 100 mL de materia prima se obtiene 176,7 mL de biogás.

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

1. Las características físicos químicos de la gallinaza le atribuyen las cualidades para ser utilizada como abono o inóculo para la producción de biogás, siempre y cuando en procesos de digestión anaerobia, garantizando no solo su calidad como producto, sino su aporte al bienestar del medio ambiente.
2. Se ha determinado que el mejor rendimiento de la producción de biogás se obtuvo en el tratamiento 2 (85,33 %). Los resultados en forma decreciente fueron: tratamiento 1 (77,3 %), tratamiento 3 (49,07 %) y tratamiento 4 (56,67 %), notándose que a mayor porcentaje de desechos orgánicos y menor cantidad de gallinaza, disminuye la producción de biogás.
3. Mediante la prueba de hipótesis se puede concluir que “La producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza si depende de las diferentes relaciones C/N”.

### **4.2 Recomendaciones**

- Es necesario que los biodigestores estén herméticamente cerrados debido a que a que si ingresa oxígeno, al haber fugas por más pequeñas que sean no se produce biogás.
- Los desechos orgánicos deben ser reducidos de tamaño antes del ingreso al biodigestor con la finalidad de aumentar el área de ataque bacteriano y acelerar el proceso de producción de biogás.
- La implementación de los biodigestores se recomienda realizarlo en lugares donde reciba la mayor cantidad de rayos solares para obtener una temperatura óptima para la generación de biogás.
- Realizar análisis del biogás obtenido, con métodos instrumentales como cromatografía de gases, con la finalidad de obtener información sobre la pureza del gas obtenido.
- El presente proyecto es una base para efectuar futuras investigaciones en el campo de energías alternativas utilizando gallinaza para procesos de digestión anaeróbica, lo cual la utilización de esta contribuye a la generación de empleo, incrementa la producción agrícola, preservara el medio ambiente y permita el autoabastecimiento de energía.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- Abaigar, A., & col., y. (2010). *Gestión de estiércol de gallinas ponedoras*. ITG Ganadero. Obtenido de [www.itgganadero.com/itg/portal/documentos2.asp?id=210&d=1](http://www.itgganadero.com/itg/portal/documentos2.asp?id=210&d=1)
- Asociación de Investigación de la Industria Agroalimentaria. (Mayo de 2008). *Digestatos - Ainia*. Obtenido de [https://www.ainia.es/html/sites/09/pdf/ID\\_biogas\\_%20digestatos\\_mayo2008.pdf](https://www.ainia.es/html/sites/09/pdf/ID_biogas_%20digestatos_mayo2008.pdf)
- Carrillo, L. (2004). *Energía de biomasa*. 1° ed. S.S. Jujuy.
- Centro de Extremadura e Alentejo. (Diciembre de 2010). *Informe complementario a Estudio de soluciones viables para el Aprovechamiento del Biogás en Extremadura*. Obtenido de <http://www.altercexa.eu/images/archivos/Areas%20Tematicas/Biogas/Estudio%20BIOGAS.pdf>
- Chan, Y. J., & col., y. (2009). *A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater*. *Chemical Engineering Journal* 155(2009) 1-18. Obtenido de <http://www.d.umn.edu/~rdavis/courses/che4601/articles/Review%20of%20Wastewater%20Treatment.pdf>
- Estrada Pareja, M. M. (2005). *Manejo y procesamiento de la gallinaza*. *Revista Lasallista de Investigación*. Corporación Universitaria Lasallista Colombia. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520108.pdf>
- Estrada Pareja, M. M. (Octubre de 2011). *Gestión de la gallinaza*. PV ALBEITAR. Obtenido de <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/10313/ARTICULOS-AVES/Gestion-de-la-gallinaza.html>
- Forster Carneiro, T., & col., y. (2004). *Biometanización de la fracción orgánica del residuos sólido urbano: proceso Sebac*. Obtenido de [http://www.researchgate.net/profile/Tania\\_Forster-Carneiro/publication/253329449\\_Biometanizacin\\_de\\_la\\_fraccin\\_orgnica\\_del\\_residuos\\_slido\\_urbano\\_proceso\\_Sebac/links/02e7e51f84d99555f9000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Tania_Forster-Carneiro/publication/253329449_Biometanizacin_de_la_fraccin_orgnica_del_residuos_slido_urbano_proceso_Sebac/links/02e7e51f84d99555f9000000.pdf)
- Hernández, E., & col., y. (2012). *Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogas a nivel productivo en Honduras*. Obtenido de [http://www.snvworld.org/download/publications/hn\\_estudio\\_potencial\\_de\\_biogas\\_version\\_tecnica.pdf](http://www.snvworld.org/download/publications/hn_estudio_potencial_de_biogas_version_tecnica.pdf)
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (Octubre de 2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Obtenido de:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_digestores\\_07\\_a996b846.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf)

- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 35-48. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Martí Ortega, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?isbn=1581123329>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. (16 de Septiembre de 2012). *El Sector del biogás agroindustrial en España*. Obtenido de [http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/docbiogasversion21-09-2010\\_tcm7-5925.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/docbiogasversion21-09-2010_tcm7-5925.pdf)
- Montalvo Torres, W. A. (Octubre de 2008). *Manejo y disposición de la gallinaza en el nucleo de produccion avícola en el sector de Gambia entre los Municipios de Santa Isabel y Coamo, Puerto Rico*. Requisito parcial para el grado de Maestría en Ciencias Ambientales con Especialidad en Manejo Ambiental. Escuela de Ciencias y Tecnología Universidad del Turabo. Obtenido de: [http://www.suagm.edu/utdoctoral/pdfs/5\\_Montalvo\\_W\\_Tesis\\_UT\\_2008.pdf](http://www.suagm.edu/utdoctoral/pdfs/5_Montalvo_W_Tesis_UT_2008.pdf)
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México.
- Navaratnasamy, M., & Koberstein, B. (04 de Abril de 2008). *Anaerobic Digesters*. Obtenido de <http://www.thepoultrysite.com/articles/1019/anaerobic-digesters/>
- Ochoa Cordero, M. A., & Urrutia Morales, J. (Junio de 2007). *Uso de pollinaza y gallinaza en la alimentacion de rumiantes*. Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/308/161.pdf?sequence=1>
- Olaya, Y., & González, L. (Julio de 2009). *Módulo para la asignatura de Construcciones agrícolas "Fundamento para el diseño de biodigestores"*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
- Pascual, A., & col., y. (2011). *Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid*. Obtenido de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e16\\_biogas\\_db43a675.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e16_biogas_db43a675.pdf)
- Pascual, A., & col., y. (2011). *Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid*. Obtenido de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e16\\_biogas\\_db43a675.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e16_biogas_db43a675.pdf)

- Samayoa, S., & col., y. (2012). *Guía "Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas"*. Obtenido de <http://www.snvworld.org/es/node/5010>
- Sánchez, M., & Pazmiño, G. (2007). *Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2227/1/T-ESPE-014730.pdf>
- Serrato Viera, G. (28 de Mayo de 2012). *la gallinaza*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/95091904/La-Gallinaza#scribd>
- Tobares, L. (Octubre de 2012). *La importancia y futuro del biogás en la Argentina. Trabajo seleccionado en el 3er. Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación*. Obtenido de [http://www.petrotecnica.com.ar/1\\_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf](http://www.petrotecnica.com.ar/1_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf)
- Unidad de Planeación Minero Energética. (Marzo de 2003). *Formulación de un programa básico de Normalización para aplicaciones de Energías alternativas y Difusión. Guía de Implementación de Sistemas de Biogás. Documento No. ANC-603-19-01. Rev. 01 [Internet]*. Obtenido de Unión Temporal ICONTEC - AENE:  
[http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/GUIA\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_PRODUCION\\_DE\\_BIO.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCION_DE_BIO.pdf)
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogás. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

# ANEXOS

## Anexo 1. Recolección de gallinaza



**Anexo 2.** Recolección de desechos sólidos orgánicos



**Anexo 3.** Pesado de los desechos sólidos orgánicos



#### Anexo 4. Pesado de la gallinaza



#### Anexo 5. Llenado de los biodigestores



**Anexo 6.** Puesta en marcha de los biodigestores



**Anexo 7.** Toma de muestra para los análisis durante el proceso de digestión anaerobia



**Anexo 8.** Monitoreo del pH durante el proceso de digestión anaerobia



**Anexo 9.** Monitoreo del Oxígeno Disuelto durante el proceso de digestión anaerobia



**Anexo 10.** Monitoreo de conductividad eléctrica durante el proceso de digestión anaerobia



**Anexo 11.** Análisis de DQO durante el proceso de digestión anaerobia



## Anexo 12. Resultados de Análisis físico químico de la Gallinaza

**NEMALAB S.A.**  
En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP  
e-mail: nemalab@lapavtc.com.ec

**NEMALAB**  
KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) SN Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel. (593) 2992184 Fax: (593) 97660254

10/04/2015  
Página 1

---

**Remitente:** BELDUMA ZAMBRANO ANDREA MERCEDES  
**Propiedad:** N/D  
**Localización:** MACHALA EL ORO  
Cantón Provincia

**Documento No:** 00026954  
**Fecha de Muestreo:** 25/03/2015  
**Fecha de Ingreso:** 25/03/2015  
**Fecha de Salida:** 09/04/2015

---

**Resultados e Interpretación de: ANALISIS FERTILIZANTE BASICO**

Cód. Muestra	No. de Muestra	pH	%										Relac.					
			M.O.	C	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S	C/N	Zn	Cu	Fe	Mn	Na	B	
3004	GALLINAZA	9.2	41.26	23.900	1.04	3.18	3.61	2.05	1.00	--	22.98	27.0	12.4	281.6	47.3	52.40	--	

**Interpretación C/N**

Excesiva liberación de Nitrógeno	< 10
Normal liberación de Nitrógeno	10 - 12
Escasa Liberación de Nitrógeno	12 - 15
Muy Escasa Liberación de Nitrógeno	> 15

Estos resultados pueden ser sujetos de comparación, siempre y cuando se utilice la misma metodología utilizada en este Laboratorio.  
Esta Hoja de Resultados es válida solo con firma y sello en original.



**BIOOSORAYA PÉREZ**  
Jefe de Laboratorio



**ING. NARCISA PINTADO**  
Secretaría



**DIRECTOR**  
**Glenn J. Espino**  
Laboratorio de análisis agrícola

"Análisis que hacen la diferencia"

F05001R

## Anexo 13. Resultados de Análisis de conductividad eléctrica y humedad de la Gallinaza



**NEMALAB S.A.**  
En convenio con el MAG - PRODE y AGEAP  
e-mail: nemalab@lapavic.com.ec

10/04/2015  
Página 1

---

**NEMALAB** LABORATORIO DE ANÁLISIS AGRÍCOLA  
KM 1 1/2 (ANTIGUA VIA FERREA) S/N Y GRUPO BOLIVAR, EL CAMBIO - MACHALA, EL ORO Tel. (593) 2992184

---

<b>Cliente:</b> BELDUMA ZAMBRANO ANDREA MERCEDES	<b>Documento No:</b> 00026954
<b>Remite:</b> SRTA.ANDREA BELDUMA	<b>Fecha de Muestreo:</b> 25/03/2015
<b>Propiedad:</b> N/D	<b>Fecha de Ingreso:</b> 25/03/2015
<b>Localización:</b>	<b>Fecha de Salida:</b> 09/04/2015
Sitio	Parroquia
	MACHALA Cantón
	EL ORO Provincia

---

Resultados de Análisis Químico de: CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C.E.)					
Cód. Muestra	No. de Muestra	Identif. de Muestra	meq/100 g	dS/m	Humedad
			C.I.C.	Conduct. Eléct.	%
3004	4	GALLINAZA	-,-	15.53	29.40

Nemalab S.A. realiza únicamente el análisis químico de la muestra.  
Esta Hoja de Resultados es válida sólo con firma y sello en original.

\* Estos resultados pueden ser sujetos de comparación, siempre y cuando se utilice la misma metodología utilizada en este Laboratorio.



BIOQ. SORAYA PEREZ  
Jefe de Laboratorio



DIRECTOR  
Gerente Técnico

**NEMALAB**  
Laboratorio de análisis agrícola

"Análisis que hacen la diferencia"



ING. NARCISA PINTADO  
Secretaria

---

F05012R