



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y pH EN EL  
RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS A  
PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA Y ESTIÉRCOL DE  
EQUINO MEDIANTE UN DIGESTOR BATCH”

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR

**SARA HELENA DE LOS ANGELES NUNTÓN NÚÑEZ**

LAMBAYEQUE, PERÚ

2018

**“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y pH EN EL  
RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS A  
PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA Y ESTIERCOL DE  
EQUINO MEDIANTE UN DIGESTOR BATCH”**

**TESIS**

**INGENIERO QUÍMICO**

**Bach. NUNTÓN NÚÑEZ SARA HELENA DE LOS ANGELES**

---

**M.Sc. JUAN CARLOS DIAZ VISITACIÓN  
PRESIDENTE**

---

**M.Sc. JAMES JENNER GUERRERO BRACO  
SECRETARIO**

---

**Dr. LUIS ANTONIO POZO SUCLUPE  
VOCAL**

---

**M.Sc. SACHUN GARCÍA RUBEN DARIO  
ASESOR**

# DEDICATORIA

A dios por la oportunidad de vida, ser posible la dicha de valorarla y saber que aunque sea corto el tiempo hay que aprovecharlo en cada instante.

A mis padres por su infinito amor, apoyo, comprensión y por su constante motivación. A mi madre por estar siempre conmigo. A mi padre por ser un ejemplo de persona.

A mis hermanos Jossick, Maureen , Edgardo y Lourdes las personas con las que he compartido grandes momentos, por enseñarme que es Determinación, consistencia y dedicación .

A mis sobrinos por el amor y dicha que derraman en cada oportunidad. Roberto, Siarella, Zahara, Joshua, Aiko y Alejandro.

A mis profesores, maestros , docentes e ingenieros por los conocimientos brindados, por ser parte de la formación académica, profesional y personal.

A mis amigos; por su amistad, consejos, reflexiones y apoyo.

# AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a :

Un agradecimiento especial a Dios, por fortalecerme y guiarme a lo largo de mi inesperta vida, por concederme la oportunidad de realizarme como ser vivo, por colmarme de bendiciones en cada ámbito y enfoque de desarrollo.

A mis padres y hermanos por cada granito de arena aportado a mi persona .

A mi asesor M. Sc. Ing. SACHUN GARCIA RUBEN DARIO, por brindarme su asesoría y conocimientos para la realización de la tesis.

Al personal técnico del laboratorio de físico química , química analítica y química orgánica. En especial a Sr. Floriano Saucedo Gallardo quien con su invaluable y desinteresada ayuda hizo posible la realización del proceso experimental del proyecto. Asimismo agradecer a otro personal técnico de la facultad de biología .

A mis compañeros por la ayuda brindada.

Con especial consideración y gratitud a los docentes de nuestra facultad, quienes nos brindaron sus conocimientos y lineamientos para nuestro crecimiento intelectual.

# ABSTRACT

The purpose of this research work is to determine the effect of temperature and pH on the yield of biogas obtained from sugarcane bagasse and equine manure by means of a batch digester. A 2x2 factorial design study was carried out, with one versus two temperatures of 35 ° and 40 ° C; two pH 6 and 8 in two trials; laboratory accessibility was facilitated for two tests, maintaining temperature and pH unchanged, monitoring the process of biomass degradation, carried out with containers of 4 liters capacity, which were fed in their 75% of biomass (bagasse, equine manure and water 0, 1/1/5) and 25% was reserved to store the biogas obtained, drainage bag was used to contain the biogas; detail its performance and obtain it by volumetry adapting the KEN SMITH method; By detailing the retention time of the biomass according to the literature, a period of two months was established.

Through laboratory work, explanatory and experimental, an evaluation of chemical parameters in biomass was made at the beginning and end of the study to detail the degradation of matter and compare the respective samples obtained by the two tests.

The accumulated biogas values, analyzed statistically with the QiMacros 2019, both in experiment one and experiment two; a confidence level of 95% was determined ( $p = 0.95$ ) with an acceptable risk level of 5% ( $\alpha = 0.05$ ). The results indicate that with two degrees of freedom, a critical factor of 5.33,  $P = 0.26$  and 0.521 respectively for both tests. The analysis reported a  $P > 0.95$  and  $\alpha > 0.05$ , leading to the decision that the null hypothesis can not be rejected, this means that it is accepted that temperature and pH factors influence the production of biogas. Higher biogas production was obtained in sample C with temperature of 40 ° C and pH of 6 in the first test; with a characterization of biomass with 69.00% of organic matter, 0.5% nitrogen with the obtaining of 380 milliliters accumulated of biogas, and a rest called mud, rich in nutrients used as natural fertilizer in the farmland.

## RESUMEN

El propósito de este trabajo de investigación es determinar el efecto de la temperatura y pH en el rendimiento de obtención de biogás a partir de bagazo de caña y estiércol de equino mediante un digestor batch. Se realizó un estudio de diseño factorial 2x2, con un versus de dos temperaturas 35° y 40 °C; dos pH 6 y 8 en dos ensayos; se facilitó accesibilidad en laboratorio para dos ensayos manteniendo inalterables la temperatura y pH, monitoreando el proceso de degradación de biomasa, llevado a cabo con recipientes de capacidad 4 litros, los cuales se alimentaron en su 75% de biomasa (bagazo, estiércol de equino y agua 0,1/1/5) y el 25% se reservó para almacenar el biogás obtenido, se usó bolsa de drenaje para contener el biogás; detallar su rendimiento y obtención mediante volumetría adaptando el método de KEN SMITH; detallándose el tiempo de retención de la biomasa según de acuerdo a la literatura, se estableció un periodo de dos meses.

Mediante un trabajo de laboratorio, tipo explicativo y experimental, se realizó una evaluación de parámetros químicos en biomasa al inicio y final del estudio para detallar la degradación de materia y comparar las muestras respectivas obtenidas mediante los dos ensayos.

Los Valores de biogás acumulado, analizados estadísticamente con el QiMacros 2019, tanto en el experimento uno y experimento dos; se pre determinó un nivel de confianza de 95% ( $p = 0.95$ ) con un nivel de riesgo aceptable de 5% ( $\alpha = 0.05$ ). Los resultados indican que con dos grados de libertad, un factor crítico de 5.33,  $P = 0.26$  y 0.521 respectivamente para ambos ensayos. El análisis reportó un  $P > 0.95$  y  $\alpha > 0.05$ , que llevan a decidir que la hipótesis nula no puede ser rechazada, esto significa que se aceptan que los factores temperatura y pH influyen en la producción de biogás. Se obtuvo mayor producción de biogás en la muestra C con temperatura de 40° C y pH de 6 en el primer ensayo; con una caracterización de biomasa 69.00% de materia orgánica, 0.5% nitrógeno con la obtención de 380 mililitros acumulado de biogás, y un resto llamado lodo, rico en nutrientes utilizado como fertilizante natural en la tierras de cultivo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>IX</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
1.1.ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	1
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.....	7
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ESTIÉRCOL DE EQUINO.....	11
<b>PRODUCCIÓN DE BIOGÁS</b> .....	<b>26</b>
<b>PROCESOS DE BIODIGESTIÓN</b> .....	<b>26</b>
<b>1.2.4. FACTORES INFLUENTES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA</b> .....	<b>29</b>
a) RELACIÓN DE CARBONO/ NITROGENO .....	29
b) CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES. ....	30
c) TEMPERATURA.....	32
d) TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH) Y VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA .....	34
e) RANGOS DE PH Y ALCALINIDAD .....	35
f) NUTRIENTES (NIVELES DE SALES) .....	36
g) TÓXICOS E INHIBIDORES DE LA METANOGÉNESIS .....	36
h) PROMOTORES DE LA METANOGÉNESIS (INOCULANTES BIOLÓGICOS) .....	41
i) AGITACIÓN – MEZCLADO.....	41
<b>1.2.5. USOS DEL BIOGÁS</b> .....	<b>42</b>
1.2.6. PRINCIPALES DIGESTORES EN EL MEDIO RURAL.....	43
A. CARACTERÍSTICAS DEL DIGESTOR.....	44
B. TIPOS DE BIODIGESTORES .....	44
C. MEDICION DEL RENDIMIENTO DE BIODIGESTOR.....	46
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO QUE SUGIERE KEN SMITH.....	47
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>50</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>50</b>
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	50
2.2. UNIVERSO Y MUESTRA .....	50
2.2.1. UNIVERSO.....	50
2.2.2. MUESTRA.....	51
2.2.3.PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA .....	51
A.DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA .....	51
<b>2.3. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO DE LA BIOMASA</b> .....	<b>54</b>
<b>2.4.1. DETERMINACIÓN DEL pH Y TEMPERATURA</b> .....	<b>54</b>
<b>2.4.2. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES Y HUMEDAD</b> .....	<b>55</b>
<b>2.4.3.DETERMINACIÓN DE CENIZAS Y SÓLIDOS VOLATILES</b> .....	<b>56</b>

<b>2.4.4.DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA .....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.5. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL.....</b>	<b>60</b>
<b>2.4.6 DETERMINACIÓN DE GRASAS .....</b>	<b>62</b>
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>63</b>
<b>3.RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
3.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS .....	63
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>79</b>
<b>4.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>82</b>
<b>5.    CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>85</b>
<b>6.    RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>CAPITULO VII.....</b>	<b>87</b>
<b>7.    REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>CAPITULO VIII .....</b>	<b>91</b>
<b>8.    ANEXOS .....</b>	<b>91</b>

# INTRODUCCIÓN

Actualmente para la sociedad es de gran importancia la protección del medio ambiente, la reducción de residuos contaminantes, con el fin de evitar el efecto nocivo, para ello se hace necesario estabilizar los contaminantes garantizando de esta manera la seguridad ambiental. Disponiendo de procesos biotecnológicos para el tratamiento de residuos orgánicos. Los cuales se vienen aprovechando como generador de biogás a partir del reciclaje de residuos orgánicos.

Siendo notable el desconocimiento de tratamiento de residuos orgánicos por parte de algunos pobladores en las zonas bagaceras del departamento de Lambayeque, aldeanas a establos que se vienen recuperando. Se inicio a investigar que residuos orgánicos son los más usados en la obtención de biogás, composición y el desembolvimiento del proceso anaeróbico.

Para esta investigación es de gran importancia el creciente aumento de estudios en la producción de biogás en la región de Lambayeque. Con la propuesta de aprovechamiento de residuos orgánicos tales como el bagazo de caña y estiércol de equino, buscando aminorar la contaminación que estos puedan llegar a generar, estando expuestos a espacios abiertos.

Basándome en el tratamiento de residuos de establo y el bagazo; residuo del proceso de elaboración de azúcar. Proponiendo un estudio en la influencia de la temperatura y pH en el rendimiento de obtención de biogás a partir de bagazo de caña y estiércol de equino mediante un digestor batch. Se evaluará un versus de pH y temperatura en dos corridas. Siendo la temperatura un parámetro que facilita o agiliza la descomposición de materia y el pH es un parámetro primordial para el medio de desarrollo de microorganismos degradativos.

# CAPITULO I

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1.ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

- **Flores Ñique M., Suyón Silva D.(2006).**”Evaluación de los parámetros físico- químicos en la producción de bioabono a partir de residuos sólidos de la actividad pesquera artesanal-Lambayeque”, Perú. De acuerdo a la investigación las variables importantes del proceso de compostaje en los bio-abonos realizados, siendo controlada la temperatura en tratamiento de víceras de pescado desciende progresivamente y el pH continúa en aumento hasta un valor máximo cercano a 8.5 y luego desciende hasta el final del proceso con un pH de 7.
- **Sonia y Parra, ( 2010 )**, En su investigación sobre la Producción de metano a partir de bagazo de fique con NaOH, comprueban que al aplicar el pre-tratamiento alcalino con NaOH como álcali al bagazo de fique reduce los tiempos de digestión con respecto al bagazo de fique sin tratar.
- **Severiche Y Acevedo. (2013)**, Obtuvieron Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación y sostienen que el biogás es una prometedora alternativa para la sustitución de combustibles fósiles y para la valorización energética de residuos orgánicos en zonas urbanas, rurales y agroindustriales.

- **Alvarez (2012)**, Refiere que la biometanización de los residuos biodegradables podría convertirse en una alternativa eficaz en la gestión tradicional de los residuos, capaz de generar energía renovable como el biogás (compuesto fundamentalmente de metano y dióxido de carbono), reducir el volumen y peso de los residuos que van a los vertederos y disminuir la emisión de metano a la atmósfera.
- **Bautista y Aznar (2010)**, Concluyen que los ensayos con la pulpa de café y las aguas mieles, siendo necesario mayor tiempo de retención en la digestión para la producción de biogás. Sin embargo, tanto en las tres mezclas de residuos del despulpado de café como en el suero de leche aparecieron diversos problemas de mayor magnitud relacionados con el pH (demasiado ácido).

## **1.2. RESEÑA HISTORICA**

### **1.2.1.ENERGÍAS RENOVABLES**

El nivel de industrialización que tiene lugar en la sociedad actual, cada vez más elevado y complejo aunque localizado únicamente en una zonas de la tierra, ha desembocado en el desarrollo y la aplicación de nuevas energías a añadir a las convencionales: las energías renovables o alternativas.

De los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural, depende la mayor parte de la industria y el transporte en la actualidad.El carbón se ha formado a partir de restos vegetales.

Por otra parte, las energías renovables, que son energías que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, no consumen recurso finitos y causan menos impactos medio ambientales que los combustibles tradicionales. Entre ellas destacan hidroeléctrica, solar geotérmica , eólica, biomasa, biogás.

Por ello las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana( Rolando y Vivanco, 2007). Sin lugar a duda las energías renovables constituirían la mayor parte de la energía del futuro en el planeta y en nuestro país, existen condiciones naturales propicias para el aprovechamiento de algunas de esas fuentes que pueden dar su contribución no solo a la solución de parte de nuestra demanda energética sino a la protección del medio ambiente (contreras,2006)

La necesidad de alternativas de producción energética, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para

sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante (Quesada et al., 2007).

En el año 1776 el científico italiano volta descubrió que el gas producido de manera natural en los pantanos era inflamable(Stafford et al, 1980).

La gasificación de biomasa es la conversión de biomasa sólida (madera, residuos forestales y agrícolas lignocelulósicos) en una mezcla de gas combustible, que se utiliza en motores de combustión interna para generar electricidad, en el marco de un proceso de combustión parcial que ocurre cuando el aire suministrado (oxígeno) es menor que el necesario para que la combustión de la biomasa sea completada.(Suarez et all, 2011).

### **1.2.2. EL RECICLAJE**

Consiste en el aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos para su posterior utilización en otros usos. Cada vez hay mas posibilidades tecnológicas para reciclar las centras tecnológicos, de investigación, las universidades, las empresas tecnologías, etc.

Puesto a punto y se encuentran disponibles en el mercado una amplia oferta de nuevas tecnologías de reciclaje que abren, perpectivas y posibilidades insospechadas hasta ahora.

El análisis económico-financiero realizado en la fase I de BIOMAS-CUBA, con un horizonte hasta el 2014, brindó una relación beneficio/costo que, al cierre de este año, se estima en 3,4, incluida la inversión realizada por la Cooperación Suiza y las contrapartes, con un valor actual neto (VAN) superior a 34 millones de CUP y una tasa interna de retorno de la inversión (TIR) de 7,4%, con una recuperación de la inversión al inicio del 2009, lo que le confiere al proyecto una adecuada eficiencia.

Asimismo, se calculó una utilidad neta superior a 48,2 millones CUP, entre 2009 y 2014. .(Suarez et all, 2011).

### **1.2.3. RESIDUOS SÓLIDOS: BIOMASA (ESTIERCOL DE EQUINO + BAGAZO)**

El problema de residuos sólidos en nuestro departamento se debe a los diversas actividades ganaderas, agroindustriales y agropecuarios; estos residuos son arrojados de forma irresponsable, lo que causa un alto grado de contaminación al aire, suelo y agua. En el departamento de Lambayeque situamos a los diversos ingenios azucareros, los cuales uno de los productos azucareros es el bagazo, se emplea en la combustión en calderos para ser contribuido en la conversión de energía eléctrica, un excedente de este residuo, rico en constituyentes y material fibroso, se plantea aprovecharlo y aminorarlo; unos de los procesos que se vienen empleando es el método de reciclaje de material orgánico, más conocido como fermentación anaeróbica.

Torres et all (2014); afirman la Influencia de la fermentación láctica para sustrato como estiércol de vacuno; tenía como objetivo comparar entre los tres tratamientos la calidad y cantidad de biogás y la calidad de biol. Obtuvieron un promedio de CH<sub>4</sub> de 50,7% para el Tratamiento 1, un promedio de 52.6% para el Tratamiento 2, y un promedio de 50.9% para el Tratamiento 3. La mayor producción de biogás se obtuvo en el Tratamiento 3 (0.2m<sup>3</sup> /Kg SV), en comparación con el Tratamiento 2 (0.15 m<sup>3</sup> /Kg SV) y con el Tratamiento 1 (0.1 m<sup>3</sup> /Kg SV).

La producción de biogás se generó a partir de bagazo de caña y se empleó el estiércol de equino como fuente de microorganismos causantes de la degradación de material orgánico.



*Figura 1:* Generación de Residuos. Elaboración propia

### **A. BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR**

El Ministerio de Energía y Minas del Perú en el Balance Nacional de Energía del año 2014, define a la biomasa como aquella “materia orgánica no fósil de origen biológico que puede ser utilizada con fines energéticos para la producción de calor y algunas veces también de electricidad. Bajo este concepto se agrupan el bagazo, la bosta, la yareta y los residuos agrícolas”. Por origen biológico hace referencia tanto al origen animal como vegetal.

El bagazo es el residuo fibroso que queda de la caña después de ser exprimida y de pasar por el proceso de extracción. Por lo general el bagazo se utiliza en los ingenios azucareros como combustible, sin embargo para la industria papelera representa una de las materias primas más importantes.

Vargas et all, (2007). Esta experiencia representa una nueva alternativa en la producción de biogás, la cual aún no había sido estudiada, dándole una utilidad al

bagazo de caña de azúcar que es desperdiciado y algunas veces usado en la incineración contaminado de este modo el ambiente.

## PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El bagazo completo está integrado por tres componentes principales:

- El recubrimiento, en el que se incluye la epidermis, la corteza y el periciclo.
- Los mazos de fibra vascular, entre los que figuran las células conductoras de pared delgada asociadas con fibras de pared relativamente con estrecho lumen.
- El tejido básico (parénquima) o medula, con mazos de fibra distribuidos irregularmente.

La composición química de las diferentes fracciones de bagazo, incluyendo el bagazo entero, la fibra separada y la medula se indican en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Propiedades químicas de las fracciones del bagazo*

<b>Propiedades</b>	<b>Entero</b>	<b>Fibra</b>	<b>Medula</b>
Solubilidad en eter (%)	0.25	0.12	2.5
Solubilidad en alcohol-benceno (%)	4.1	1.8	2.8
Solubilidad en agua caliente (%)	2.5	0.9	1.9
Lignina (%)	20.2	20.8	20.2
Pentosas (%)	26.7	27.9	28.4
Hemicelulosa (%)	76.6	77.8	77.7
Alfa celulosa (%)	38.1	42.4	34.8
Ceniza (%)	1.67	0.7	2.29

*Nota:* Recuperado Aislamiento, selección y preservación de cepas levaduriformes degradadores del bagazo de caña de azúcar por Arboleda Marcelo (2010) o <https://es.scribd.com/document/26085572/PROYECTO-BAGAZO-DE-CANA>

**a) CELULOSA**

La celulosa es el principal componente de la paredes celulares de los árboles y otras plantas, la celulosa está constituida por una larga cadena de carbohidratos y polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa a través de enlaces 1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua.

**b) HEMICELULOSA**

Las hemicelulosas son polisacáridos que, excluyendo la celulosa, constituyen las paredes celulares de las plantas. La hemicelulosas forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes maderosas de las plantas . Las hemicelulosas se encuentran en frutas, tallos de plantas, y las cáscaras de granos. Aunque las hemicelulosas no son digeribles, pueden ser fermentadas por levaduras y bacterias. Los polisacáridos que producen pentosas al desdoblarse se llaman pentosanos.

**c) LIGNINA**

La lignina es un polímero complejo, tridimensional, globular, irregular, insoluble y de alto peso molecular, formado por unidades de fenilpropano cuyos enlaces son relativamente fáciles de hidrolizar por vía química o enzimática. Ésta molécula tiene diferentes tipos de uniones entre unidades aromáticas de fenilpropano .

Cordova et al,(2004). Se eligió transformar el almidón y la celulosa presentes en los residuos, según la Biodegradación de Residuos Orgánicos de Plazas de Mercado, Se establecieron las mejores condiciones de temperatura, pH y dosificación de enzima para transformar los polisacáridos en azúcares reductores. La conversión de almidón alcanzó valores del 60% a 50 °C, y un pH de 6,0. La conversión de celulosa fue de un 4% a 60 °C y un pH de 4,0. Se llevó a cabo el estudio cinético de la hidrólisis de almidón con base en el modelo de Michaelis-Menten. A partir de la nueva materia prima (azúcares reductores) se obtuvo etanol.

En las plantas, la lignina se encuentra químicamente unida a la hemicelulosa y rodeado a las fibras compuestas por celulosa. Es responsable de la rigidez de las plantas y de sus mecanismos de resistencia al estrés y a ataques microbianos. Es especialmente abundante (20-30% del peso de la pared) en células conductoras (vasos xilemáticos) y estructuras (fibras) con engrosamiento secundario.

**Tabla 2**

*Características de los substratos orgánicos complejos que influyen en la descomposición y la degradabilidad.*

Substrato	Subunidad básica	Enlaces	Elementos presentes en gran cantidad					Degradación	
			C	H	O	N	P	Con O <sub>2</sub>	Sin O <sub>2</sub>
Almidón	Glucosa	Alfa(1-4),alfa(1-6)	+	+	+	-	-	+	+
Celulosa	Glucosa	Beta (1-4)	+	+	+	-	-	+	+
Hemicelulosos	Monosacáridos C <sub>6</sub> y C <sub>5</sub>	Beta (1-4), Beta (1-3)	+	+	+	-	-	+	+
Lignina	Fenilpropano	Enlaces C-C,C-O	+	+	+	-	-	+	-
Quitina	N-acetilglucosamina	Beta (1-4)	+	+	+	+	-	+	+
Proteínas	Aminoácidos	Enlaces peptídicos	+	+	+	+	-	+	+
Hidrocarburos	Alifático, cíclico, aromático		+	+	-	-	-	+	+/-
Lípidos	Glicerol, ácidos grasos	Ésteres	+	+	+	+	+	+	+

*Nota:* Recuperado de Arboleda Marcelo (2010).

La lignina es un caso especial en el que la biodegradabilidad depende de la disponibilidad de oxígeno. A menudo no existe una degradación sustancial porque la mayoría de los hongos filamentosos que degradan lignina, pueden actuar sólo en presencia de oxígeno.

## B. ESTIÉRCOL

A las expulsiones sólidas de los animales se las conoce como estiércol, por su parte una composición de estiércol, agua de lavado y orina se los denomina purines. Dentro de lo que respecta a la forma química de estiércol indistintamente de la especie que sea, ésta va a depender de las cantidades de los diferentes ingrediente que se encuentran incluidos en el contenido perteneciente a los nutrimentos. La respectiva dieta, por los agregados como las enzimas y la cantidad de alimento que se va

consumiendo, también de la biodisponibilidad tanto de minerales como de los aminoácidos (García, 2000)

El estiércol es un sustrato complejo, el cual presenta considerables contenidos de materiales orgánicos disueltos y particulados, dentro de los que se incluyen polisacáridos, lípidos, proteínas y ácidos grasos volátiles (AGV), además de un conjunto de compuestos inorgánicos. Este sustrato es reconocido como una excelente base para el desarrollo del proceso de digestión anaeróbica debido que presenta una alta capacidad tamponadora (resistencia a cambiar su pH frente a adiciones ácidas a básicas) y un gran contenido de nutrientes necesario para el desarrollo de las poblaciones anaeróbicas. (Eastman, 2011).

Desarrollar tecnologías alternativas a bajo costo para la obtención de biogás, mediante un trabajo de campo, de tipo explicativo y experimental; “Evaluar la influencia de la temperatura sobre la producción de Biogás” ; alimentado con estiércol de ganado vacuno y el recurso orgánico nunca antes utilizado bagazo de caña de azúcar. Esto demuestra que es recomendable tener el biodigestor a temperatura ambiente (25°C) y alimentado con 50% de Bagazo de caña y 50% de estiércol de vaca. Lo primero porque las bacterias se desarrollan efectivamente y lo segundo ya que se estaría aprovechando un recurso orgánico de gran importancia como lo es el bagazo de caña de azúcar. (Savendra et al ;2007).

## **ESTIÉRCOL DE EQUINO**

El estiércol de caballo, como su propio nombre indica, proviene de las heces de dicho animal. A menudo se mezcla con restos de hierbas; de hecho, es el que más contenido en paja tiene. Como decíamos, tiene varias propiedades muy interesantes para nuestros cultivos. Entre ellas destacamos:

- Alto rico en celulosa
- Pobre en nitrógeno
- Elimina las bacterias perjudiciales
- Evita que crezcan malas hierbas

- Mejora la estructura de suelo, volviéndolo más esponjoso

## **PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ESTIÉRCOL DE EQUINO**

Los aportes de Carbono y Nitrógeno tienen bastante incidencia en la producción y mejoramiento del suelo. En la actualidad se vienen empleando los distintos tipos de estiércoles gracias a su valor agregado como obtención de biogás.

El estiércol de caballo es un material que se composte muy bien. Suele tener un contenido en nitrógeno moderado con respecto a otros estiércoles como la gallinaza o el estiércol de oveja. A diferencia de otros animales como vacas u ovejas, no son rumiantes, por lo que su estiércol es ligeramente diferente. Está formado principalmente por excrementos del caballo mezclados con paja u otro material lignocelulósico utilizado normalmente como cama absorbente. En cuanto a su compostaje, se puede emplear como agente estructurante y las proporciones varían en función del residuo a co-compostar. Pueden ir desde 50% hasta un 10% (proporción en base al peso fresco o volumen de residuo). Es importante conocer el contenido en nitrógeno y carbono del otro residuo ya que eso hará que utilicemos más o menos.

## CARACTERIZACIÓN AGROQUÍMICA DE UN ESTIÉRCOL DE CABALLO

%HUMEDAD	19,5
pH	7,24
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	16,74
Materia orgánica (%)	57,8
Lignina (%)	20,1
Carbono orgánico total (COT, %)	31,1
Nitrógeno total (NT, g kg <sup>-1</sup> )	15,3
Relación C/N	20,4
Contenido graso (%)	0,3
Fósforo (P, g kg <sup>-1</sup> )	2,3
Potasio (K, g kg <sup>-1</sup> )	21,2
Calcio (Ca, g kg <sup>-1</sup> )	58,6
Magnesio (Mg, g kg <sup>-1</sup> )	14,9
Sodio (Na, g kg <sup>-1</sup> )	5,0
Azufre (S, g kg <sup>-1</sup> )	8,8
Hierro (Fe, mg kg <sup>-1</sup> )	3541
Cobre (Cu, mg kg <sup>-1</sup> )	42
Manganeso (Mn, mg kg <sup>-1</sup> )	218
Cinc (Zn, mg kg <sup>-1</sup> )	45

J.A. Albuquerque, I. Bautista-Carrascosa, A. Lidón, R. García-de-la-Fuente, J. Girbent, M. Abad and J. Cegarra (2009). Co-composting an animal fatty-proteinaceous waste with a solid lignocellulosic by-product from the olive oil industry (“alperujo”). *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 84: 918:926.

### **1.2.2. FERMENTACIÓN ANAERÓBICA**

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación- reducción en ausencia de oxígeno. La materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones, el producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados mediante la descomposición de la materia orgánica, siendo parcialmente oxidada.

La mayor parte del metano producido mediante la fermentación anaeróbica se debe al acetato que actúa como dador y aceptor de electrones en la vía metanogénesis acetotrófica. La fermentación anaeróbica se puede aplicar para la recuperación de biocombustibles.

La RED BIOLAC-Red de biodigestores para Latinoamérica y el Caribe se crea en el marco de taller de Intercambio de Experiencias de Biodigestores en América Latina, desarrollando entre 18 y 22 de mayo del 2009 en el Centro de demostración y capacitación de tecnologías apropiadas (CEDECAP) en Cajamarca Perú. La Misión de promover la investigación aplicada y difusión de la biodigestión anaeróbica como herramienta para mejorar el bienestar de la población de América Latina y el Caribe, y la visión de ser una organización que apoye de manera genuina la conservación ambiental y el bienestar socio económico del medio rural, y la Red Nacional de biodigestores y su aplicación e investigación en nuestro país.

## **A. FERMENTACIÓN METANOGENICA**

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo con una diversidad de microorganismos degradativos de materia orgánica, causantes de las reacciones bioquímicas, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

### **ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA**

El proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica se realiza en cuatro etapas:

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético  $H_2$ ;  $CO_2$ .

En la Figura 4 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaeróbica, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados.

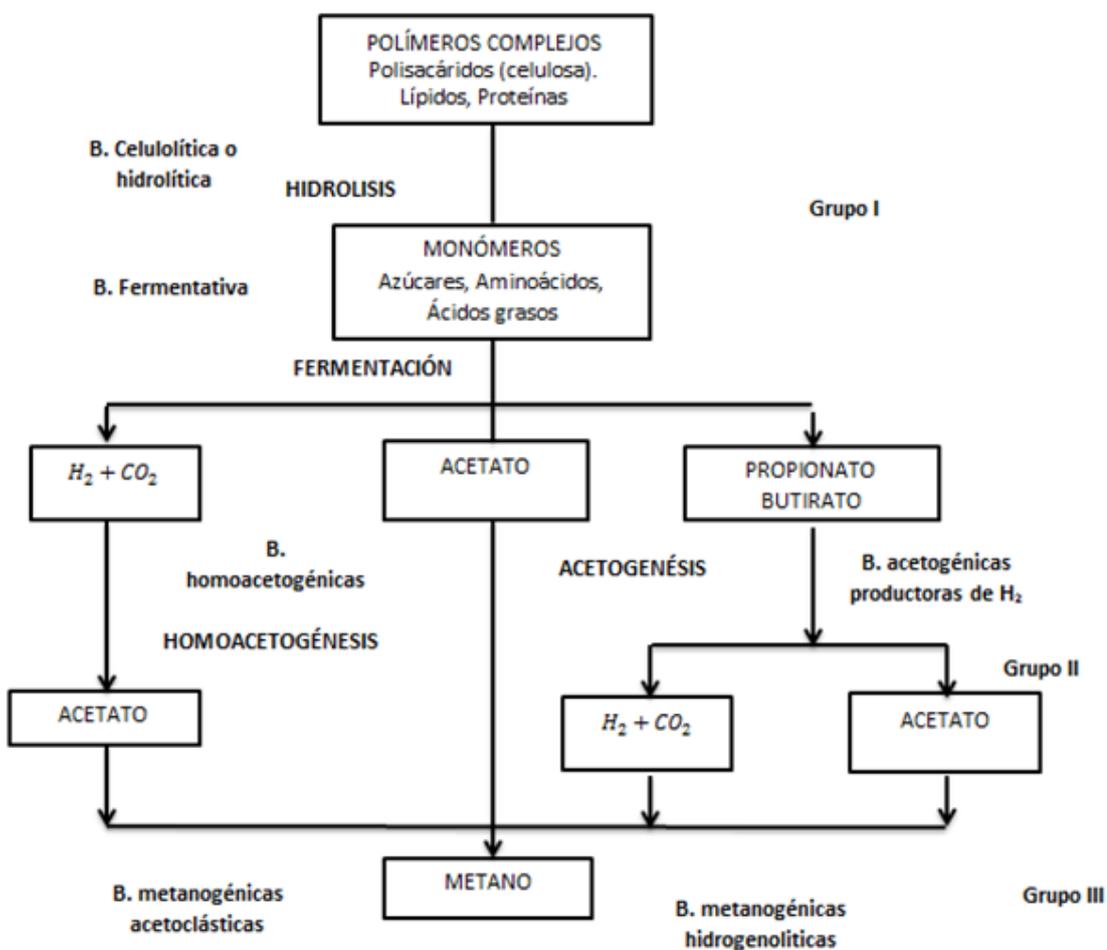


Figura 2 : Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos. Adaptado Madigan et al (1997). Los números indican la población bacteriana responsable de cada proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5 : bacterias metanogénesis acetoclásticas.

## • ETAPA HIDRÓLISIS

En esta primera etapa se da una degradación de los compuestos orgánicos complejos como lípidos, proteínas hidratos de carbono y compuestos inorgánicos, en moléculas más pequeñas que son capaces de atravesar la membrana celular, este proceso se

lleva a cabo por medio de enzimas denominadas hidrolasas, capaces de solubilizar la materia orgánica y romper enlaces específicos con ayuda de agua para poder ser utilizadas.

En esta etapa los carbohidratos se convierten en azúcares simple; las grasa en ácidos grasos y glicerol; las proteínas se desdoblán en aminoácidos y las sales presentes se oxidan o reducen; obteniendo como productos dióxido de carbono, hidrogeno y agentes inhibidores.

Uno de los principales componentes de la materia orgánica son los materiales compuestos principalmente de lignina, difícilmente degradable en condiciones anaeróbicas, afectando la biodegradabilidad del sustrato.

Dentro de las bacterias anaerobias que participan en las fases de hidrólisis y acidogénesis se encuentran *Peptostreptococcus*, *Propionibacterium*, *Bacteroides*, *Micrococcus* y *Clostridium* que interactúan con algunas bacterias de la familia *Enterobacteriaceae*.

- **ETAPA FERMENTATIVA O ACIDOGÉNICA**

Los compuestos solubles resultantes de la etapa hidrolítica van a ser transformados por la acción de microorganismos y bacterias fermentativas a través de un proceso de fermentación, dando como resultado ácido acético ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) principalmente, y en menor cantidad productos intermedios: alcoholes, ácidos grasos volátiles (por ejemplo, propiónico, fórmico, láctico, butírico o succínico) y ácidos orgánicos.

Bacterias acidogénicas, siendo las más comúnmente identificadas el *Butyvirbio*, *Propionbacterium*, *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococos*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococos* y *Enterobacterias*.

- **ETAPA ACETOGÉNICA**

En la acetogénesis, los ácidos grasos volátiles se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. El ácido acético es producido por dos diferentes mecanismos: acetogénesis por hidrogenación, en la cual se produce acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) como producto final de la reducción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) más hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) y la acetogénesis por deshidrogenación en donde las bacterias son inhibidas por pocas cantidades de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y por lo tanto solo sobreviven en asociaciones con microorganismos que consumen hidrogeno como las bacterias homoacetogénicas y bacterias sulfato reductoras.

Las bacterias homoacetogénicas son microorganismos anaerobios estrictos los cuales catalizan la formación de acetato a partir de hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La reducción del dióxido de carbono en todos los homoacetógenos se produce por la ruta de la acetil-CoA, esta ruta también es útil para la fijación de carbono por las bacterias sulfatoreductoras y la fermentación de homoacetógenos para producir acetato como producto final .

Como ejemplos de bacterias acetogénicas se identifican *Syntrophobacterwolunii*, que descompone el ácido propiónico, o *Syntrophomonaswolfei* que descompone el ácido butírico. Los ácidos valérico y butírico son descompuestos por las mismas especies. Mientras que como bacterias pertenecientes al grupo de las homoacetogénicas se encuentran los géneros *Acetobacterium*, *Acetoanaerobium*, *Acetogenium*, *Clostridium* o *Eubacterium*.

- **ETAPA METANOGENICA**

La metanogénesis es la etapa final de la digestión anaerobia, en presencia del ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono aparecen en el medio los microorganismos responsables de la metanogénesis o formación del metano. Se distinguen dos tipos principales de microorganismos: los que van a degradar el ácido acético produciendo metano y dióxido de carbono, (los metanógenosacetoclásticos), y los que a partir del

hidrógeno y dióxido de carbono resultantes de etapas anteriores van a generar metano y agua, (los metanógenoshidrogenotrofos).

La principal vía de formación del metano va a ser la vía acetoclástica, con alrededor del 70% del metano producido de forma general. A pesar de ser esta vía la más importante, sólo microorganismos de los géneros Methanosarcina y Methanotherix son capaces de producir metano a partir de acético. Los géneros principales dentro de la vía de los hidrogenotrofos son Methanobacterium, Methanococos, Methanobrevibacter o Methanogenium, entre otros.

**Tabla 3**

*Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases*

<b>Tipo de Fermentación</b>	<b>Reacciones bioquímicas</b>	<b>Bacterias estrictas y/o facultativas</b>
Fermentación de glucosa a acetato	$\text{Glucosa} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$	bacterias hidrolíticas acidogénicas
Fermentación de glucosa a butirato	$\text{Glucosa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$	bacterias hidrolíticas acidogénicas
Fermentación del butirato a acetato e $\text{H}_2$	$\text{Butirato} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$	bacterias acetogénicas
Fermentación del propionato a acetato	$\text{Propionato} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$	bacterias acetogénicas
Acetogénesis a partir del $\text{CO}_2$ y $\text{H}_2$	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	bacterias homoacetogénicas
Metanogénesis a partir del $\text{CO}_2$ y $\text{H}_2$	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	bacterias metanogénicas hidrogenófilas
Metanogénesis a partir del acetato	$\text{Acetato} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	bacterias metanogénicas acetoclasticas

*Nota:* Adaptado de Tratamiento Anaerobica de Aguas residuales. (2012). Elaboración propia

## **B. DILUCIÓN**

Los residuos orgánicos estiércoles y vegetales, son mayormente de materia sólida, en algunos casos presente en forma pastosa. Para condicionar el sustrato a la degradación y como medio de cultivo para la bacterias degradativas, se emplea agua y en condiciones a un mas apropiadas aguas residuales.

Se define aguas residuales como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación, y control de los sistemas de aguas residuales. Generalmente los generadores de aguas residuales se pueden agrupar en: Aguas Residuales Domésticas, son los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Aguas Residuales Municipales, son los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal. Aguas Residuales Industriales, aguas provenientes de las descargas de industrias manufactureras. (Sierra 2011)

La máxima producción de biogás de 375 ml se ha obtenido a partir de 875 ml de estiércol: agua 1:1 ½ del volumen del digestor, 70 ml de agua de despulpado de café 4% volumen/ volumen de agua de despulpado de café con respecto al volumen del digestor) y 13 g de pulpa de café (9% peso volumen de pulpa de café con respecto al volumen de estiércol).(Aznar,2010).

Maicelo et al.,(2010) utilizó los residuos orgánicos domésticos y ganaderos contaminantes para producir biogás, el biogás producido se colectó por desplazamiento de agua, en botellas calibradas de plástico de 260 mL. Con tres variables independientes: relación estiércol:agua (1:1, 1:2, 1:3); Se realizó 15 experimentos por triplicado durante 45 días. El mayor volumen de biogás producido fue de 195 mL, empleando 583 mL de estiércol (estiércol:agua de 1:2).

**Tabla 4**

*Sustrato y proporción de excreta + agua*

	<b>Excreta humeda diaria Kg animal</b>	<b>Biogás m<sup>3</sup>/día</b>	<b>Proporción excreta + agua</b>	<b>Tiempo de retención aconsejable día</b>
<b>Vaca toro</b>	10	0.36	1:1	40
<b>Cerdo 50 kG</b>	225	0.101	1:1:3	40
<b>caballo</b>	10	0.3	1:1:3	30
<b>persona</b>	0.4	0.025	1:1	60

Nota : Recuperado de revista

### **C. TIPOS DE SUSTRATO**

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros :

- Residuos de origen animal : Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
- 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, malezas, residuos de semillas.
- Residuos forestales: Hojas, vástago, ramas y cortezas

- Residuos de cultivos acuáticos: Algas marinas, Jacinto y malezas acuáticas.

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de otros compuestos o bien un pre tratamiento.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En el caso de estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sin número de factores que pueden intervenir en el proceso.

**Tabla 5**

*Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal.*

<b>Materia Prima</b>	<b>C (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>CaO (%)</b>	<b>MgO (%)</b>
<b>Excretas</b>						
<b>Porcino</b>	35	1.40	4.42	0.08	6.50	0.42
<b>Caprino</b>	40	2.22	2.12	3.28	1.83	1.41
<b>Equino</b>	50	0.5	0.3	0.4	0.12	0.12
<b>Mezclas:</b>						
<b>Porcno+pajas</b>	20.0	0.5	0.24	0.63	0.20	
<b>Bovino + pajas</b>	45	0.5	0.79	1.55	0.30	
<b>Rastrojo:</b>						
<b>Bagazo de caña</b>	40.0	0.36	0.05	0.12	0.56	0.08
<b>Cascarilla de arroz</b>	83.8	0.46	0.08	0.17	0.18	0.08
<b>Broza de café</b>	47.5	2.24	0.14	2.51	0.51	0.13

Nota : Recuperado de revista de la ciencia del Suelo y nutrición vegetal volumen 8 numero 3 .Temuco 2008 o [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000300002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000300002)

La degradación o descomposición de la materia orgánica es compleja y difícil de tratar en detalle. Simplificando esta situación, las fuentes carbonadas más utilizadas por los microorganismos quimiotróficos son los glúcidos o carbohidratos y de éstos compuestos orgánicos, principalmente las hexosas, las cuales son degradadas por diferentes vías metabólicas. Corresponden a procesos de oxidación biológica o respiración aeróbica con desprendimiento de CO<sub>2</sub> y de energía equivalente a la mineralización total del substrato orgánico utilizado por los microorganismos.

Dependiendo de la composición bioquímica de cada materia prima, se tendrá diferentes niveles en producción de biogás.

**Tabla 6**  
*Producción de biogas por tipo de residuo animal*

Estiércol	Disponibilidad Kg/Día*	Relación C/N	Volumen de biogas	
			m <sup>3</sup> /Kg húmedo	m <sup>3</sup> /día
Bovino (500 Kg)	10.00	25:1	0.04	0.4
Porcino (50 Kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 Kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 Kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 Kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 Kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3Kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

*Nota* Recuperado de Tipos de Sustrato, Tomado de Varnero y Arellano (1991).  
[http://engineeringdesknotes.com/Digestion/4\\_1\\_Digestion\\_tipos\\_sustrato.html](http://engineeringdesknotes.com/Digestion/4_1_Digestion_tipos_sustrato.html)

**Tabla 7**  
*Componentes del biogás en función del sustrato utilizado*

<b>Componente</b>	<b>Residuos</b>	<b>Lodos de depuradora</b>	<b>Residuos industriales</b>	<b>Gas de vertedero</b>
<b>Metano</b>	50-80%	50-80%	50-70%	46-65%
<b>Dióxido de carbono</b>	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
<b>Agua</b>	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
<b>Hidrogeno</b>	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
<b>Sulfuro de hidrogeno</b>	100-700ppm	0-1%	0-8%	0.5-100ppm
<b>Amoniaco</b>	Trazas	Trazos	Trazas	Trazas
<b>Monóxido de carbono</b>	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
<b>Nitrógeno</b>	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
<b>Oxígeno</b>	0.1%	0-1%	0-1%	0-5%
<b>Compuestos orgánicos</b>	Trazas	trazas	trazas	5ppm

Nota : Recuperado de revista de la ciencia del Suelo y nutrición vegetal volumen 8 numero 3 .Temuco 2008

La utilización del efluente puede hacerse de forma integral o después de una separación de las fases sólida y líquida. Por lo que respecta a la finalidad buscada, los campos de aplicación de este efluente son, fundamentalmente, la fertilización de suelos.

**Tabla 8**  
*Características generales del biogás*

<b>Carateristicas</b>	<b>Deficiión</b>
<b>Composición</b>	55-70 % metano (CH <sub>4</sub> ) 30-45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
<b>Contenido energético</b>	6.0 – 6.5 kW H m <sup>-3</sup>
<b>Equivalente de combustible</b>	0.60-0.65 L petróleo/ m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6-12 % de biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650-750 °C ( con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
<b>Presión crítica</b>	74-88 atm
<b>Temperatura crítica</b>	-82.5 °C
<b>Densidad normal</b>	1.2 Kg m <sup>-3</sup>
<b>Olor</b>	Huevo podrido( el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
<b>Masa molar</b>	16.043 kg Kmol <sup>-1</sup>

*Nota:* Recuperado de biogás de residuos y recursos renovables por Deublein y Steinhauser 2010 o <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-3527327983.html#>

## **PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

### **PROCESOS DE BIODIGESTIÓN**

En la actualidad el manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que busca aumentar la velocidad de degradación de residuos, transformándolos en productos

con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos.

#### **a) DIGESTIÓN AERÓBICA**

La digestión aeróbica es un proceso mediante el cual los lodos son sometidos a una aireación prolongada en un tanque separado y descubierto. El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la auto-oxidación de la materia celular.

#### **b) DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico degradativo en el cual un sustrato de un residuo orgánico (residuos animales, vegetales y actividad humana) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por agentes bacterianos sensibles o inhibidos por el oxígeno.

### **1.2.3. PRODUCTOS FINALES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**

La degradación espontánea de la biomasa causada por los agentes microbianos, dan lugar a productos gaseosos, principalmente metano y dióxido de carbono, conocida como biogás y una suspensión acuosa de sólidos (efluente de valor considerable como fertilizante).

#### **BIOGÁS**

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. Dada la gran variabilidad en cuanto a composición de los sustratos susceptibles de ser digeridos anaeróbicamente y a los parámetros del proceso. En la práctica la composición del gas es muy variable.

El metano ( principal componente de biogás) es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable, este se produce por medio de un biodigestor aprovechando la fermentación anaeróbica (proceso natural de la materia orgánica) utilizando como materia orgánica el estiércol de bovino desechos agroindustriales .(Metcalt ty Eddy, 1995).El biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100%, mientras que en los motores diésel sólo se logra un máximo de 80%, debido a que la baja ignición del biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía (Quesada, 2007).

El biogás posee un bajo poder calorífico pero aun así, su energía es suficiente para mantener en operación un dispositivo de generación de potencia como turbinas, micro turbinas, motores alternativos o sistema de calentamiento y cocción de alimentos (Lafay et al,2006) &(Quinet a.,2001).

El biogás es una fuente de energía alternativa atractiva debido a que presenta una disponibilidad energética descentralizada, en tanto que su producción es posible siempre que existan fuentes de origen orgánico (Forsich et al., 2004).

**Tabla 9**  
*Biogás producido en función de los sólidos volátiles*

<b>Material</b>	<b>Proporción (%)</b>	<b>Volumen de Biogás m<sup>3</sup>/Kg de materia</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>
<b>Gallinaza</b>	100	0.3111	59.8
<b>Bovinaza</b>	100	0.0871	65.2
<b>Porquinaza</b>	100	0.3234	65.0
<b>Basura de cocina</b>	100	0.211	61.0
<b>Residuo de papel</b>	100	0.2178	67.1
<b>Desechos agrícolas</b>	100	0.2999	60.0

Nota: Recuperado de Olaya. 2006 Citado por Olaya y Gonzales, 2009.

## **BIOABONO**

El efluente es el residuo del proceso de obtención de biogás por digestión anaerobia. Es una suspensión negruzca, exenta de olores ofensivos, que sedimenta fácilmente y tiene un pH aproximadamente neutro. Las características del bioabono, dependen en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte de la materia orgánica. Gran parte de la materia orgánica de este producto se ha mineralizado, por lo que normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico.

### **1.2.4. TRATAMIENTO DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DE USO**

**Eliminación de partículas:** se trata de métodos sencillos que se basan en el uso de rejillas metálicas, trampas de agua o combinaciones de ambas.

**Deshidratación condensadores:** El biogás normalmente se encuentra saturado de agua de vapor de agua. La eliminación del agua se realiza mediante su condensación en trampas frías. La trampa fría o condensadores aprovecha la diferencia de

temperaturas entre el digestor y la temperatura ambiente exterior para condensar el agua en forma natural.

**Eliminación de H<sub>2</sub>S:** El sulfhídrico es un compuesto altamente corrosivo por lo que su concentración debe reducirse por debajo de los niveles aceptables para proteger las instalaciones del gas.

#### **1.2.4. FACTORES INFLUENTES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**

##### **a) RELACIÓN DE CARBONO/ NITROGENO**

La materia orgánica compuesta de una serie de nutrientes (nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc). Dichos componentes son las principales fuentes de energía de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno como generador de nuevas células.

La composición del desecho utilizado en el proceso anaeróbico incide en la cantidad y calidad del biogás. Las bacterias formadoras de metano usan el carbono y el nitrógeno como sus principales fuentes de nutrición (Alkalay, 1997).

Existen muchos criterios en lo referente a esta relación, en general es aceptable una proporción de C:N de 20-30:1. Las excretas de humanos y de animales son ricas en nitrógeno, con una relación C:N inferior a 25:1, durante la fermentación tienen una mejor velocidad de biodegradación y de generación de gas; en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación C:N superior a 30:1, pero con una generación más lenta de gas en el proceso de digestión (Guevara Vera, 1996).

En general la materia prima rica en carbono produce más gas que las ricas en nitrógeno. Así mismo, es más rápida la producción de gas a partir de materias primas nitrogenadas (excretas), que las ricas en carbono (pajas y tallos). Mientras en los primeros 10 días de fermentación las materias nitrogenadas generan de 34 a 46% del total de gas producido, las ricas en carbono solo aportan el 9% (FAO, 1986).

**Tabla 10**

*Valores promedios aproximados de la relación carbón/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.*

<b>Materiales</b>	<b>%C</b>	<b>%N</b>	<b>C/N</b>
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1

*Nota:* Recuperado de Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal v.8 n.3. Temuco 2008

## **b) CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES.**

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

Este uno de los criterios decisivos para seleccionar el tipo de reactor anaerobio por emplear. Se han clasificado en sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos fijos y sólidos sedimentales (Fernández et al., 2008). Experimentalmente se

ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca. (Tabla8).

**Tabla 11**

*Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.*

<b>Materiales Primas</b>	<b>% Sólidos totales</b>
Residuos animales	
Bovinos	13.4-56.2
Porcinos	15.0-49.0
Conejos	34.7-90.8
Equinos	19.0-42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos Vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojos maíz	77.0
Paja trigo	88.0-90.0
Paja arroz	88.8-92.6

*Nota:* Adatado de “Evaluación de parámetros en la obtención de biogás en una planta piloto” por Leon (1998).

Los sólidos Totales, se refieren al material residual dejado en la capsula después de la evaporación de una muestra simple y su posterior secado en una estufa a una temperatura definida. Incluyen a los sólidos suspendidos totales (porción de sólidos totales retenida por un filtro), y los sólidos totales disueltos (porción que pasa a través de un filtro) (APHA, 1998).

**Tabla 12**  
*Característica del bagazo de caña de azúcar*

<b>Biomasa</b>	<b>Características</b>		
	<b>TS%</b>	<b>VS%</b>	<b>VS/TS</b>
<b>Bagazo</b>	79.64	78.83	0.99

*Nota:* Adatado de “Increasing biogas production from sugar cane baggase by anaerobic co-digestion with animal manure” por Sumardiono et all. (2016).

### c) TEMPERATURA

La temperatura siendo uno de los parámetros más importantes de la fermentación anaeróbica, se fundamenta en la actividad metabólica de los procesos biológicos, dependientes de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados, quienes a su vez depende de la temperatura; afectando también las constantes de equilibrio químico, produciendo desplazamientos en los valores de los parámetros como alcalinidad, pH, precipitación, cambios en la composición del gas por efecto de la solubilidad. Además la temperatura tiene efecto principalmente sobre la velocidades de reacción biológica, tasa de difusión de sustrato y la tasa de reacciones enzimáticas.

Se desina tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos (Tabla 9): psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C). A continuación la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación .Se presenta en el siguiente gráfico. Lagrange, (1979)

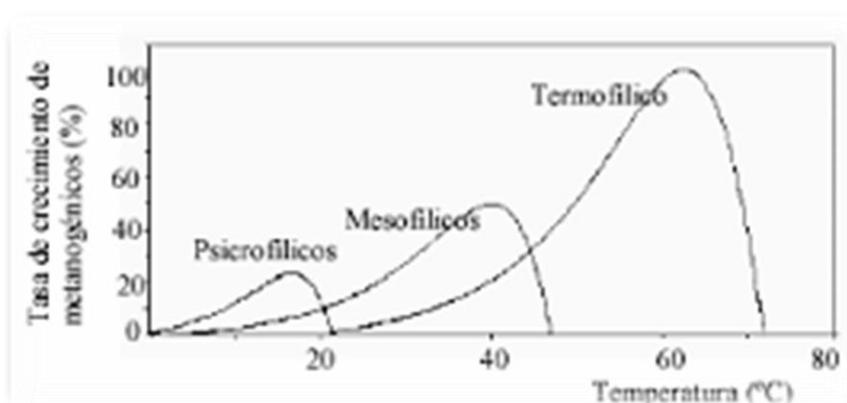


Figura 5 Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesofílicos y termofílicos. Recuperado de crecimiento microbiano Lagrange 1979.

**Tabla 13**

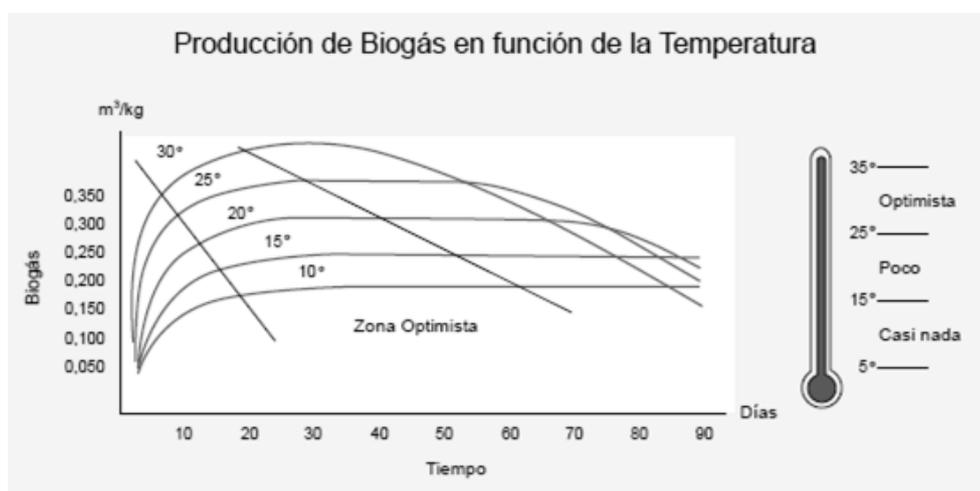
*Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica.*

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
Psychophilica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Thermophilica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

*Nota :* Adaptado de Diseño e implementación de un biodigestor para la producción de biogás y fertilizante a partir del estiércol de ganado pag 17.Abanto (2012)..

Las baterías metanogénicas son bastantes sensibles a variaciones de temperaturas, por tanto deben ser evitadas. El proceso puede darse en el rango mesofílico (15-40°C) o bien en el rango termofílico (55-65°C). Ramire, (1988),

Siendo el rango psicrófilico, el menos viables para el proceso de digestión anaeróbica debido al gran tamaño del reactor necesario. Se distinguen dos rangos fundamentalmente, el rango mesófilo (entre 25 y 45°C) y termófilo (entre 45 y 65°C). El rango mesófilo es el más utilizado a pesar de que cada vez más se está utilizando también el termófilo para conseguir una mayor velocidad del proceso y una mejor eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el rango termófilo suele ser más inestable a cualquier cambio en las condiciones de operación.



Figur 6 : Producción de biogás en función de la temperatura. Adaptado Abanto (2012).

#### d) TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TRH) Y VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA

El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

En los de mezcla completa, el tiempo de retención hidráulico coincide con el de degradación, por lo que el tiempo de retención deberá ser suficientemente largo como para asegurar el crecimiento de la población bacteriana. Al aumentar el tiempo de retención hidráulico, aumenta el grado de materia orgánica degradada así como la

producción de metano, aunque este último valor comenzará a disminuir para lodos de depuradora está entre 15 y 20 días, aunque este valor depende mucho del tipo de reactor utilizado.

#### e) RANGOS DE PH Y ALCALINIDAD

En el proceso de digestión anaeróbica el pH, durante la fase ácida, que puede durar 2 semanas, el pH puede bajar a 6 o menos, mientras se produce una cantidad de CO<sub>2</sub>. Conforme prosigue la digestión se produce menos CO<sub>2</sub> y más metano y el pH se eleva lentamente hasta llegar un valor entre 7 y 8 básico. El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo). Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. Las bacterias productoras de metano son extremadamente sensibles al pH, con un rango óptimo entre 6,8-7,2; los rangos de pH óptimo para los demás grupos tróficos de microorganismos son de 7,2-7,4 para las bacterias hidrolíticas; 6,6 para las especies acetogénicas y 5- 6 para las acidogénicas

La drástica caída de la actividad metanogénica sobre el pH 8.0 se puede deber a cambios de  $\text{GNH}_4^+$  a formas más tóxica no iónicas de  $\text{NH}_3$ . Entre otros inhibidores.

El valor pH es similar a la de la temperatura. Los microorganismo que participan en las distintas etapas de descomposición requieren diferentes valores de pH para un crecimiento óptimo si se agota la capacidad tampón del sistema, es decir si , se han acumulado demasiados ácidos orgánicos, cae el valor de pH

Siendo el biol un producto de la digestión anaeróbica, el pH debería estar dentro de rango de 6.8 a 7.5, valores de pH por debajo de este rango inhiben la acción de la bacterias metanogenicas y con ella la producción de biogás. Además el pH no debe bajar demasiado, debido a los ácidos producidos por los clostridium, para no inhibir el crecimiento de los metanógenos (camillo, 2003).

Baltierra et al;(2012). Demostró según su “Modelo experimental de difusión de biogás en raíces vegetales”. El volumen y composición del biogás en un periodo de 45 días; se probó si la acidez a pH 4 ó la alcalinidad a pH 10 de la solución salina influyó en la concentración de CH<sub>4</sub> del biogás proveniente de los reactores de digestión anaerobia de sustrato sólido después de su difusión por el sistema de medición del volumen de biogás. Se registraron como de "alta concentración" tuvieron un volumen promedio de 79.27 L biogás/mes del que el 58.90 % fue CH<sub>4</sub> y los de "baja concentración" un volumen promedio de 46.98 L biogás/mes de los que el 49.18 % fue CH<sub>4</sub>.

#### **f) NUTRIENTES (NIVELES DE SALES)**

Al igual que en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. Sin embargo, una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los procesos aeróbicos, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos.

#### **g) TÓXICOS E INHIBIDORES DE LA METANOGÉNESIS**

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos. Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado. Es interesante destacar que muchas de las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos refractarios.

#### **➤ ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES.**

El aumento de la concentración de ácidos volátiles puede venir producido por sobrecarga de alimentación, o por una inhibición de las metanobacterias. A su vez,

una gran concentración puede provocar la rotura de la capacidad tampón del lodo, disminución del pH y en consecuencia, inhibición de las bacterias formadoras de metano (Montes, 2008).

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV), productos intermedios mayoritarios del proceso anaeróbico, es uno de los parámetros que más eficazmente pueden indicar la evolución del proceso. De hecho, este parámetro es uno de los más utilizados en los sistemas de control debido a su rápida respuesta ante variaciones del sistema. Durante la degradación anaeróbica, la materia orgánica compleja es hidrolizada y fermentada en compuestos de bajo peso molecular, incluyendo ácidos grasos de cadena corta (C2-C6). Estos incluyen principalmente ácidos acético, propiónico y butírico y en menores cantidades ácidos isobutírico, valérico, isovalérico y caproico.

#### ➤ **HIDRÓGENO.**

El hidrógeno es también un compuesto intermedio importante del proceso anaeróbico. Su acumulación en el medio provoca la inhibición de la acetogénesis y, consecuentemente, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono.

#### ➤ **NITRÓGENO AMONIACAL**

El amoníaco puede estar presente en las materias primas que entran al digestor o ser producido durante la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos nitrogenados tales como proteínas o aminoácidos. Las proteínas generalmente contienen 16% de nitrógeno. Durante el proceso anaeróbico, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento.

El nitrógeno amoniacal es la suma del ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Ambas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada una depende del Ph, tal indica la ecuación de equilibrio:



Muchas industrias agropecuarias generan residuos con altos contenidos de amoníaco. La digestión anaeróbica de tales residuos generalmente presenta problemas debido a los altos niveles de amoníaco. Se reportó que a niveles de amoníaco-N que excedían 3000 mg/L, el ión amonio se volvía tóxico independientemente del pH. McCarty (1964) (Tabla 10).

**Tabla 14**

*Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica*

<b>Amoníaco-N (mg/L)</b>	<b>Efectos</b>
50-100	Benéficos
200-1000	Sin efecto adversos
1500-3000	Efectos inhibitorios a niveles de Ph altos
Sobre 3000	Tóxico

*Nota:* Recuperado de Análisis de la dinámica del nitrógeno en un sistema continuo acoplado contactor de membrana hidrofóbica/ reactor anaerobio por de Mc Carty (1964) o <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/89206/memoria.pdf>

El estiércol contiene un buen número de nutrientes para las plantas. Casi la mitad del nitrógeno que contiene el estiércol está en forma amoniacal, si se maneja bien, es disponible casi inmediatamente para las plantas. El resto se encuentra en diversos compuestos orgánicos y no está disponible para las plantas. El nitrógeno orgánico debe ser convertido a nitrógeno a partir del nitrógeno orgánico es un proceso microbiano que está regulado por la temperatura y humedad del suelo y que continúa por dos a tres años después de ser aplicado al suelo. Entre 25 y 75 por ciento del nitrógeno en el estiércol está disponible durante el año en que se aplicó, esto dependiendo del tipo de estiércol y la forma en que se ha manejado. (Moncayo, 2003).

### ➤ **SULFATOS Y SULFUROS**

La presencia de elevadas concentraciones de sulfato en el sustrato puede producir la inhibición del proceso anaeróbico, especialmente de la metanogénesis. En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrógeno).

El sulfuro es también un inhibidor para muchos grupos bacterianos. El sulfuro puede producirse durante la degradación de materia orgánica que contiene azufre (proteínas), encontradas en residuos de animales. En general, los metanogénicos son más sensibles que los acidogénicos y acetogénicos.

### ➤ **CATIONES Y METALES PESADOS.**

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-térreos tienen un efecto estimulador de la actividad de las bacterias a bajas concentraciones. A partir de un nivel de concentración, pueden proporcionar toxicidad provocando una disminución de la velocidad de crecimiento.

La toxicidad de los cationes aumenta con el peso molecular, por lo que los metales pesados son los que provocan toxicidad a menor concentración. El orden de toxicidad de los metales pesados es Ni>Cu >Cr (IV) ~ Cr (III)>Pb>Zn.

### ➤ **OTROS INHIBIDORES**

Debido a que la etapa de fermentación tiene etapas realizadas por microorganismos estrictamente anaeróbicos, el oxígeno es un tóxico más del proceso. Concentraciones del orden de 1 µg/l son inhibitoras.

Otros inhibidores del proceso son el pH, determinadas sustancias orgánicas como ácidos grasos de cadena larga y alcoholes, en elevadas concentraciones, y la presencia de desinfectantes y antibióticos.

**Tabla 15**

*Tabla de inhibidores en procesos de descomposición anaeróbica y concentraciones perjudiciales*

<b>Inhibidores</b>	<b>Concentración inhibitoria</b>	<b>Comentarlos</b>
<b>Oxígeno</b>	>0.1 mg, l	Inhibición de arqueas metanogénicas
<b>Sulfuro de hidrogeno</b>	>50 mg/l H <sub>2</sub> O	El efecto inhibitorio se eleva medida que cal el valor de pH
<b>Ácidos grasos volátiles</b>	>2,000 mg /l pH	El efecto inhibitoria se eleva a medida que cae el valor de pH. Gran adaptabilidad de las bacterias
<b>Nitrógenode amoniaco</b>	>3500mg/l NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> pH=7,0	El efecto inhibitorio se eleva medida de que se eleva el valor de pH y la T. Gran adaptabilidad de las bacterias.
<b>Metales pesados</b>	Cu>50 mg/l Zn>150 mg/l Cr>100 mg/l	Solo los metales disueltos tienen un efecto, inhibitorio. La desintoxicación se hace por medio de precipitación de sulfuros

Nota : Recuperado de revista de la ciencia del Suelo y nutrición vegetal volumen 8 numero 3 .Temuco 2008 o [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000300002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000300002)

## **h) PROMOTORES DE LA METANOGÉNESIS (INOCULANTES BIOLÓGICOS)**

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica, donde pueden distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias metanogénicas que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente. De esta forma se alcanza en forma más rápida, la etapa de estabilización, con lo cual, puede incrementarse la producción de biogás por kg de estiércol. Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad del inóculo, mayor será la eficacia.

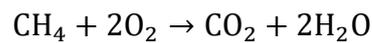
## **i) AGITACIÓN – MEZCLADO**

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios muertos; sin actividad biológica que reducirían el volumen efectivo del reactor y prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor.

### 1.2.5. USOS DEL BIOGÁS

#### PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química.



El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión.

**Tabla 16**

*Energía equivalente (Valor Energético) Biogás Vs. Otras fuentes.*

Valores	Biogas *	Gas natural	Gas propano	Gas metano	Hidrogeno
Valor calorífico (Kw/m <sup>3</sup> )	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (% gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

*Nota:* Recuperado Diseño y Construcción de un Biodigestor Industrial para tratamiento de residuos Orgánicos por Infantes (2010) o <http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/9-presentacion-biodigestoresiifase.2.pdf>

### **1.2.6. PRINCIPALES DIGESTORES EN EL MEDIO RURAL**

La actividad ganadera produce entre 15-20% de la emisión mundial de gas metano. El ganado bovino realiza un proceso digestivo en el cual degradan la celulosa ingerida a glucosa, que fermentan luego a ácido acético y reducen el dióxido de carbono, formando metano en el proceso. (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005).

En 1920, Imhoff instaló el primer biodigestor en Alemania este consistía en un estanque hermético, el cual era alimentado con material fermentable para la obtención de biogás.

Un biodigestor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos (Lagrange, 1979). El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro.

Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo.

Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento.

Todas estas etapas del proceso se llevan a cabo en un biodigestor que es, “un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales/humanos) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fosforo y potasio.”(Rojas,2009).

## A. CARACTERÍSTICAS DEL DIGESTOR

El uso de biodigestores es una alternativa para aprovechar las excretas animales y humanas y lograr una disminución en la contaminación que estas causan, y al mismo tiempo producir biogás, para aumentar la rentabilidad al sistema. Para que la rentabilidad sea sostenible, se debe mejorar la cantidad y calidad de biogás que se produce con las excretas.( Aldana-catalán, 2008).

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- a) Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- b) Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- c) Aún no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- d) Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- e) Tener acceso para el mantenimiento.
- f) Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

## B.TIPOS DE BIODIGESTORES

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

- a) **Continuos:** Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo

industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.

**b) Semi continuos:** Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y Chino.

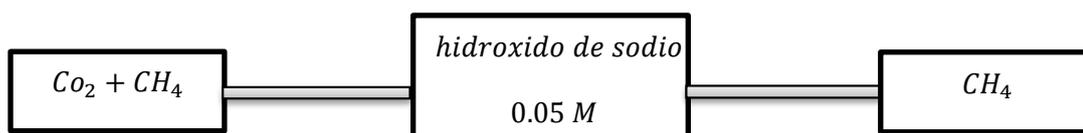
c) **Discontinuos o régimen estacionario:** Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

Los biodigestores de modelo Hindú y chino se implementaron en la década de los 80 en el Perú. De todos los biodigestores instalados en el Perú hasta el momento las experiencias exitosas que se puede mencionar son las siguientes: Bioagricultura Casa Blanca, CARE Perú Proyecto Desarrollo Inclusivo. Ancash, Fundo América, La Calera, Fundo Las Tayas, Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM). San Martín, Proyecto Biosinergia, Soluciones Prácticas.

### C. MEDICION DEL RENDIMIENTO DE BIODIGESTOR

Para evaluar el rendimiento de un biodigestor, se debe asegurar que el contenido del metano en el biogás producido sea mayor al 60%; como es sabido el biogás contiene metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases, tal es el caso de sulfuro de hidrogeno entre otros.

La composición del biogás obtenido, debería controlarse con análisis constante de su composición, llevándose con bastante exactitud con un cromatógrafo de gases. Sin embargo hemos adaptado el método de KEN SMITH. El cual puede realizarse con facilidad hasta con un margen de error del 10 %. Aprovechando que el dióxido de carbono es soluble en agua y aun más soluble casi en su totalidad en solución de hidróxido de sodio a 0.05 M , formando bicarbonato de sodio. Podemos referir que el volumen restante representa al volumen de metano presente en el biogás. Lograremos determinar la cantidad de metano presente en el biogás mediante volumetría.



Volumen total = volumen de dióxido de carbono y metano

Volumen final= volumen de metano

El dióxido de carbono reacciona con el hidróxido sódico 0.05 M 1:1 formando el bicarbonato, afirmando la extracción de este en el biogás de forma práctica y sencilla.

El porcentaje de metano se determinara de la siguiente forma:

$$\%CH_4 = \frac{\text{volumen } CH_4}{\text{volumen total}} \times 100$$

## DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO QUE SUGIERE KEN SMITH

El biogás obtenido contiene metano y trazas de otros gases, los cuales son solubles ligeramente en agua, siendo el dióxido de carbono, el componente obtenido con mayor porcentaje después del metano, se buscara descartar su contenido en el biogás, se procederá a disolver el volumen del gas en un volumen igual de hidróxido de sodio 0.05 M, el dióxido de carbono presente en el biogás reacciona en relación de 1: 1 con el hidróxido de sodio formando bicarbonato de sodio.

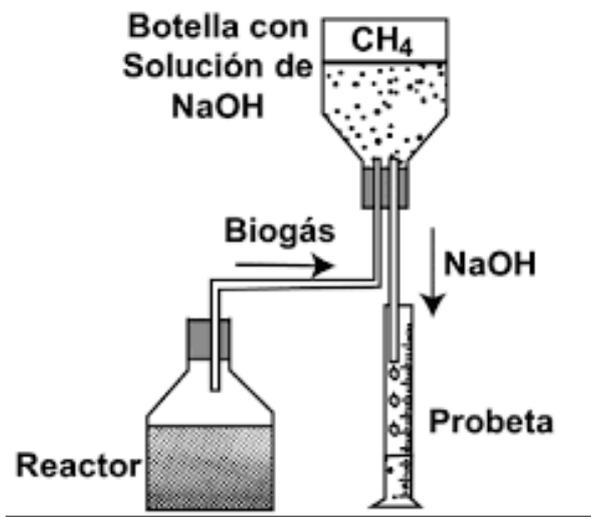


Figura 7 : Medición del rendimiento del biodigestor. Responsable del estudio.

## **POTENCIAL DE BIOMETANO**

El líquido utilizado para medir su desplazamiento es una solución concentrada de NaOH en un intervalo entre 15-20 g/L. Debido a esta alta concentración los pH logrados están por encima de 12 y se logra que todo el CO<sub>2</sub> del biogás se convierta en carbonato y sea absorbido dentro de líquido. Únicamente el gas metano es el que se acumula en la columna, y esta acumulación produce el desplazamiento de un volumen equivalente hacia afuera de la columna.

La prueba consiste en la medición de biogás producido por una cantidad de residuos en condiciones con parámetros que pueden afectar significativamente los resultados del experimento, como temperatura, pH, características física- química de los sustratos e inóculo.

El biodigestor se compone de una botella de vidrio de amplia capacidad cubierta con un corcho de caucho sellado con pegamento de silicona constando tu hermeticidad, es decir que no pueda existir fuga de gas. En el interior de cada botella se encuentra el residual a ser estudiado.

Otra botella de menor capacidad la cual contiene NaOH concentrado, sellada con un corcho de caucho, herméticamente cerrado con silicona. Los equipos de veneclosis fueron utilizados para las conexiones entre estas dos botellas, por la cual pasaría el biogás generado y el hidróxido de sodio (NaOH) desplazado a la probeta.

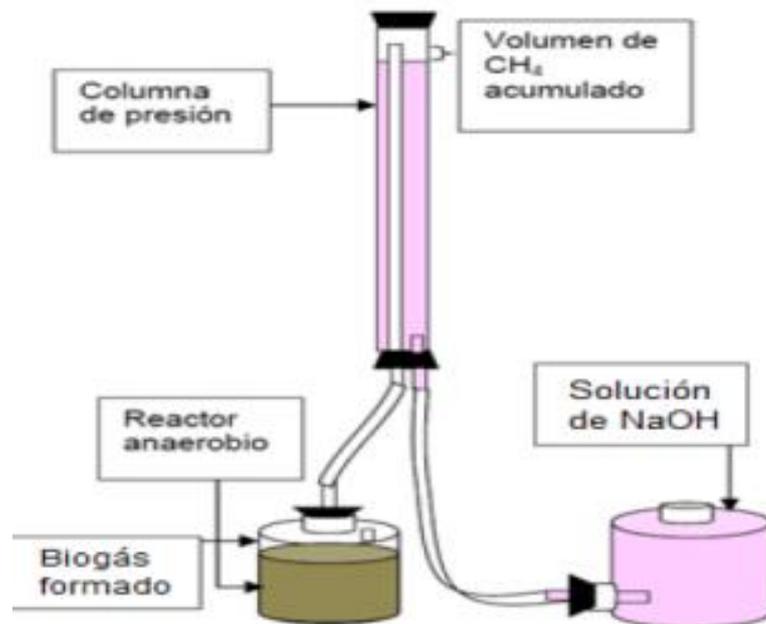


Figura 8 : Potencial de biometano.Responsable del estudio.

## **CAPITULO II**

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Este Trabajo contribuye una investigación experimental de carácter aplicativo en donde el rendimiento de obtención de biogás se ve afectado por los parámetros pH y temperatura, mediante un diseño factorial de 2X2.

Para el proceso de evaluación de la investigación realizo dos ensayos entre los meses de septiembre, octubre y noviembre. El tratamiento aplicado se compararon datos obtenidos, para determinar si existía diferencia significativa entre los resultados, así evaluar la viabilidad del proyecto.

#### **2.2. UNIVERSO Y MUESTRA**

##### **2.2.1. UNIVERSO**

Residuos ganaderos, estiércol de caballo 220 kg/diarios aprox. (Distrito Patapo)

Residuos agrícolas, bagazo subproducto del proceso azúcar. Aprovechamiento residual, debido a que el bagazo es suministrado en calderas para generar vapor y generar energía eléctrica.

### **2.2.2. MUESTRA**

Para el ensayo a realizar se tomó 0.5 kg de bagazo, 5 kg de estiércol y 20 litros de agua. Residuos aprovechados en la región de Lambayeque.

### **2.2.3. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

Se tomó una determinada cantidad para la composición de biomasa, en una proporción 0.1:1:5 de bagazo, estiércol y agua respectivamente. Basada en fundamentos literarios acumulado.

El bagazo se utilizó como co-fermentador por la cantidad de sacáridos que aun contiene ( en menor proporción por la cantidad de lignina que posee no necesita de pre tratamiento debido a que es un residuo muy fino), el estiércol fue muestra fuente principal de bacterias metanogénicas y el agua el medio de cultivo de todo nuestro sustrato.

## **A. DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA**

El tratamiento de digestión anaeróbica se realizó en un área disponible de la facultad de ingeniería química. El ensayo se realizó con la siguiente composición en biomasa 0.074 kg de bagazo, 0.74 kg de estiércol y 3.7 litros de agua.

El diseño de los 8 digestores fue de 4 litros, un diseño batch de régimen estacionario.

### ✓ **ÁREA DE SELECCIÓN**

Se evaluó el área a disposición, para que aporte un beneficio al sistema de control en base a temperatura, se concluyó instalar una incubadora para mantener constante las temperaturas de 35°C, 40°C.

### ✓ **DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

Es un proceso de degradación de materia orgánica por medio de bacterias estrictas o facultativas en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es degradada en sus compuestos más simples, aprovechados por los microorganismos para la producción de nuevos compuestos, formadores de metano, dióxido de carbono y otros compuestos en menor cantidad. Asimismo la obtención de un lodo, por el contenido de nutrientes es considerado un fertilizante natural.

Este trabajo se centró en los beneficios que se obtiene al tratar un residuo, considerado que carece de importancia, y como el rendimiento de obtención de biogás se ve influenciado por los parámetros de temperatura y pH; fomentando el valor agregado como la producción de biogás y fertilizante, como a la vez contribuir al medio ambiente.

### ✓ **CONTROL DEL SISTEMA**

Se elaboró registro de cada unidad de biomasa como: fecha de conformación, temperatura, pH, sólidos totales, sólidos finales, % materia orgánica, % nitrógeno; en la entrada de biomasa y lodos finales para sistematizar el proceso. Llevando una evaluación periódica de pH, temperatura y volumen de gas obtenido.

### **CONTROL DE LA TEMPERATURA Y pH**

La temperatura y pH se procedio a ser medida con el modelo de Potenciómetro HI 991300.en la muestra sustraída por la llave inferior del digestor, una muestra unificada de 50 ml .

### **CONTROL DEL VOLUMEN DE BIOGÁS**

Se acondiciono un método de despliegue, basados en la ley que dos cuerpos no pueden ocupar el mismo lugar, el gas obtenido desplazaría el agua suministrada en una probeta graduada.

## **2.3. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICO DE LA BIOMASA**

### **2.4.1. DETERMINACIÓN DEL pH Y TEMPERATURA**

(Medida potenciometrica del pH)

#### **A. MATERIALES**

- Potenciómetro
- Vasos de 250 ml
- Baguetas
- Balanzas analíticas

#### **B. REACTIVOS**

- Solución de Cloruro de Potasio 1 N
- Solución Tampón de pH 7
- Agua destilada

## 2.4.2. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES Y HUMEDAD

### A. FUNDAMENTO

Pesar una capsula de porcelana vacía, luego pesar una muestra de 50 gramos llevar en un horno eléctrico a una temperatura de 105 °C, durante 8 horas para eliminar la humedad contenida en la misma. Pasar al desecador, enfriar a temperatura ambiente y pesar nuevamente para conocer el porcentaje de humedad y masa seca respectivamente

### B. MATERIALES

- Estufa regulada a 105°C
- Crisoles
- Desecador
- Balanza analítica

### C. CÁLCULO

$$SOLIDOS\ TOTALES\ \% = \frac{PESO\ DE\ LA\ MUESTRA\ SECA}{PESO\ TOTAL\ DE\ LA\ MUESTRA} * 100$$

$$MASA\ HUMEDA\ \% = 100 - SOLIDOS\ TOTALES\ \%$$

### 2.4.3.DETERMINACIÓN DE CENIZAS Y SÓLIDOS VOLATILES

#### A. FUNDAMENTO

La muestra se incinera a 500-700°C en la mufla, para que toda la materia orgánica. El material inorgánico, que no se destruyen a esta temperatura se le llama ceniza

#### B. MATERIALES

- Mufla regulada a 700°C
- Crisoles
- Desecador
- Balanza analítica

#### C. CÁLCULO

$$\%SOLIDOS\ VOLATILES = \frac{(PESO\ DE\ SÓLIDOS\ TOTALES - PESO\ DE\ LAS\ CENIZAS) * 100}{PESO\ DE\ SÓLIDOS\ TOTALES}$$

$$\%CENIZAS = 100 - \%SOLIDOS\ VOLATILES$$

## **2.4.4.DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA**

(Método Walkely Black)

### **A. FUNDAMENTO**

El dicromato de potasio oxida el carbono orgánico de la materia orgánica en presencia de ácido sulfúrico (aplicado lentamente), originando una reacción exotérmica, la cual es más rápida cuando la temperatura es más elevada. El ácido sulfúrico va a generar más iones  $H^+$  que aumentan la oxidación del carbono.

### **B. MATERIALES**

- Estufa regulada a  $105^{\circ}C$
- Desecador
- Balanza Analítica
- Fiola de 1000 ml
- Matraces Erlenmeyer de 500 cc
- Pipeta de 10, 5, 1 ml
- Agitador magnético bureta de 50 ml
- Equipo de titulación
- Probeta de 100 ml

### **C. REACTIVOS**

- Dicromato de potasio 1 N
- Difenilamina
- Ácido Sulfúrico concentrado
- Sulfato ferroso amoniacal 0.5N
- Ácido fosfórico del 85%

#### D. PROCEDIMIENTO

1. Se pesa 0.1 g. de muestra y se coloca en un Erlenmeyer de 500ml.
2. Se agregan 10 ml de dicromato de potasio al matraz que contiene a la muestra agitando suavemente tratando de mezclarlos.
3. Agregar 20 ml de ácido sulfúrico, agitar suavemente procurando que la muestra no quede en las paredes, dejar en reposo 20 minutos.
4. Añadir 200 ml de agua destilada más 10 ml de ácido fosfórico
5. Añadir 1 ml de la solución de difenilamina y mezclar bien.
6. Titular con la solución de sulfato ferroso amónico, hasta que aparezca un color verde botella.
7. Los pasos para la valoración en blanco son los mismos a partir del paso 2.

#### E. CALCULOS

- ✓ Cálculo del factor de la solución de sulfato ferroso amónico.

Primeramente debe calcularse el factor de la solución de sulfato ferroso amónico, ya que su concentración en  $\text{Fe}^{++}$  disminuye con el tiempo por tratarse de un ión que se oxida fácilmente por acción del aire. Este factor se deduce de la valoración del blanco, comparando la normalidad requerida de la solución ferrosa (0.5 N) con la real (la resultante de la valoración).

- ✓ Cálculo del contenido en carbono fácilmente oxidable.

Se deduce de la diferencia entre el dicromato de potasio utilizado y el remanente después de la oxidación de la muestra.

*%carbono fácilmente oxidable*

$$= \frac{(VD - VS * NS * FS) * 0.003 * 100}{P}$$

Donde:

VD= volumen del Dicromato de Potasio 1N empleado (VD=10ml)

VS= volmen de sulfato ferroso amónico empleado en la valoración del dicromato de potasio que no ha reaccionado con el suelo.

NS= normalidad de la solución de sulfato ferroso Amónico (NS=0.5N).

FS= factor de la solución de sulfato de ferroso amónico.

P =Peso de la muestra de lodos

0.003=es el peso equivalente del carbono

✓ Cálculo del contenido en materia orgánica fácilmente oxidable y total. Este cálculo es aproximado se basa en el supuesto de que la materia orgánica del suelo tenga el 58 % de carbono y que todo el dicromato es consumido por este.

$$\%MOFO = \frac{(VD - VS * NS * FS) * 0.003 * 100}{P * 1.72}$$

Por otra parte se supone que por término medio, la materia orgánica valorada por el método o fácilmente oxidable es el 77% de la materia orgánica total.

$$\% M. O. Total = \frac{\%MOFO}{0.77}$$

## **2.4.5. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL**

(Método de Micro Kjeldhal)

### **A. FUNDAMENTO**

El Nitrógeno del suelo se halla bajo la formas nítricas (nitratos), amoniacal (amonio) y orgánica, siendo ésta última la más abundante.

La determinación de N total es un índice útil para estimar la fertilidad de un suelo, pues nos permite hallar la relación C/N del suelo.

Se realiza esta determinación con una modificación del método original de kjeldhal. Todo el procedimiento consiste en pasar todas las formas de N a la forma de amonio, que es recogida en ácido bórico y luego titulado con ácido sulfúrico.

### **B. MATERIALES**

- Equipo de digestión o cámara de ataque
- Campana de extracción de vapores
- Balones Micro Kjeldahl de 100 ml
- Vasos Pirex de 100 ml
- Equipo de destilación
- Balanza analítica
- Pipetas de 5 ml
- Buretas de 50 ml

### **C. REACTIVOS**

- Catalizador de proteínas (Sulfato de cobre más sulfato de potasio)
- Ácido sulfúrico puro
- Ácido bórico 4 %

- Rojo de metilo y bromocresol
- Solución de NaOH al 40%
- Ácido clorhídrico al 0.02 N

#### **D. PROCEDIMIENTOS**

1. Ataque o digestión, se pesa 1 g de suelo, se envuelve en papel muy delgado y se introduce en el baló Micro Kjeldahl. Agregar el catalizador de proteínas de color azul y agregarle 4 ml. De ácido sulfúrico puro lo que origina un cambio de color a oscuro, luego hacer la digestión por calor por el tiempo que demore en cambiar de color de oscuro a café a verde claro o amarillento .Dejar enfriar.
2. Destilación, antes del proceso de destilación es necesario calentar el aparato, hasta que hierva el agua. En el tubo de salida del aparato de destilación colocar en un vaso de 50 cc. Unos 15 ml de solución de ácido bórico teniendo cuidado de que la salida del tubo este sumergida en el líquido.
3. Se añaden rápidamente y con cuidado soda en exceso por las paredes del balón micro kjeldahl, mezclar y calentar el aparato.
4. Debe cuidarse de que el balón este bien tapado con el tapón de destilación .
5. Destilar hasta que el ácido bórico vire a color verde, dejar por 3 minutos. Para completar el proceso de destilación.

#### **E. VALORACIÓN**

Valoración del ácido bórico con ácido clorhídrico 0.02 N hasta que la solución vire de nuevo a su color inicial.

#### **F. CÁLCULOS**

Anotar el gasto de la valoración: ml de Ácido Clorhídrico 0.02 N.

Cuando se usa 1 g de suelo multiplicar el gasto del ácido clorhídrico 0.02 N por 0.028 para obtener % N total.

## **2.4.6 DETERMINACIÓN DE GRASAS**

(Método de soxhlet)

### **A. FUNDAMENTO**

Se basa en la extracción de la grasa de cualquier sustancia mediante un disolvente orgánico en forma continua, en el que la solubilidad de la grasa en el disolvente es cuantitativa porque éste siempre actúa al estado puro.

### **B. PROCEDIMIENTO**

1. Tomar 10 g de la sustancia problema debidamente saturada, enseguida hacer un cartucho con el papel filtro y la muestra y colocarlo en el exterior.
2. En el balón colocar armar en seguida el soxhlet y todo el conjunto se coloca a la acción el solvente, del calor efectuándose la extracción hasta que el líquido pase incoloro o en su defecto son suficientes unas 50 extracciones.
3. El extracto etéreo que contiene la materia grasa se pasa a un matraz Erlenmeyer debidamente tarado, se destila el solvente, el matraz con el residuo que queda se lleva completa a la sequedad a la estufa a baja temperatura, se deja enfriar y se pesa.

### **C. CÁLCULO**

El peso de la grasa presente en la cantidad de muestra tomada, se obtiene por diferencia entre el peso del matraz vacío y el que contiene la grasa. El resultado obtenido se relaciona a 100 para obtener el porcentaje.

## CAPITULO III

### 3.RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 3.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS

La evolución de los parámetros físico-químicos se inició con la determinación de los principales componentes de la materia prima, siguiendo esta evaluación a lo largo de todo el proceso, hasta llegar al producto y subproducto final, a continuación se presentan tablas y gráficos elaborados en base a los datos obtenidos de la investigación.

**Tabla 17**

*DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES FISICO QUIMICO DE LA BIOMASA (BAGAZO + ESTIÉRCOL).*

	BIOMASA A		BIOMASA B		BIOMASA C		BIOMASA D	
CARACTERIZACIÓN	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
HUMEDAD	63.70	63.50	63.74	63.60	63.76	63.62	63.58	63.59
MATERIA SECA	36.30	36.50	36.26	36.40	36.24	36.38	36.42	36.41
GRASA	09.10	09.20	09.10	9.10	9.20	9.30	9.40	9.40
CENIZAS	57.90	57.89	57.87	57.89	57.91	57.92	57.93	57.94

Nota: Responsable del estudio

\* El ensayo se realizó con la siguiente composición en biomasa 0.074 kg de bagazo, 0.74 kg de estiércol.

En la tabla 15 describe la composición de la del material lignocelulidico y la del estiércol, sin el adicionamiento de agua. Se puede observar el alto porcentaje de grasas en las muestras; el porcetaje de humedad esta entre los 60 – 65 %.

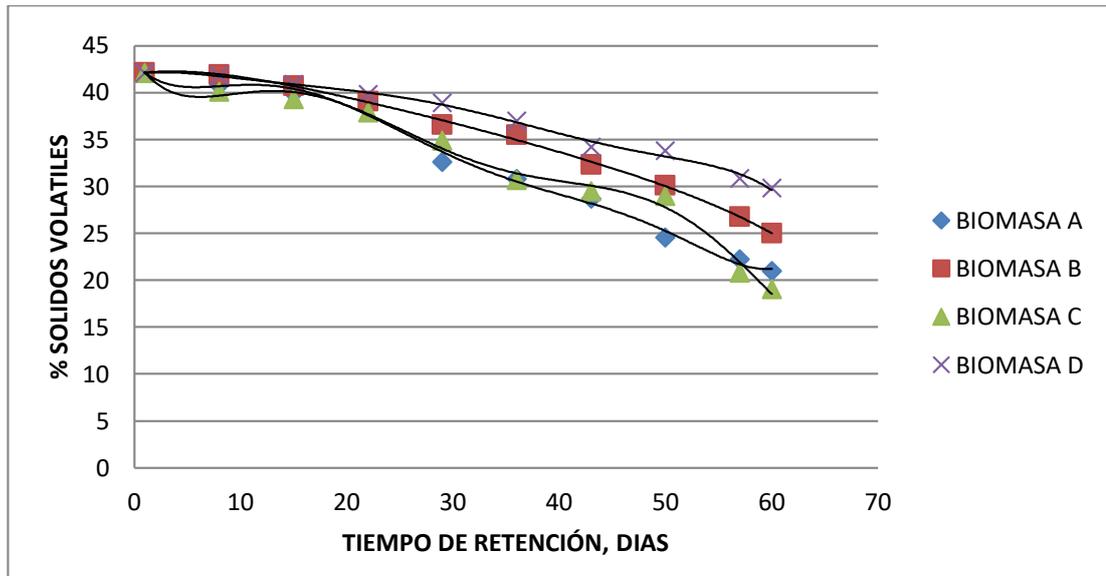


Figura 8 : Comparación del porcentaje de solidos volátiles durante el tiempo de retención en la primera prueba. Responsable del estudio.

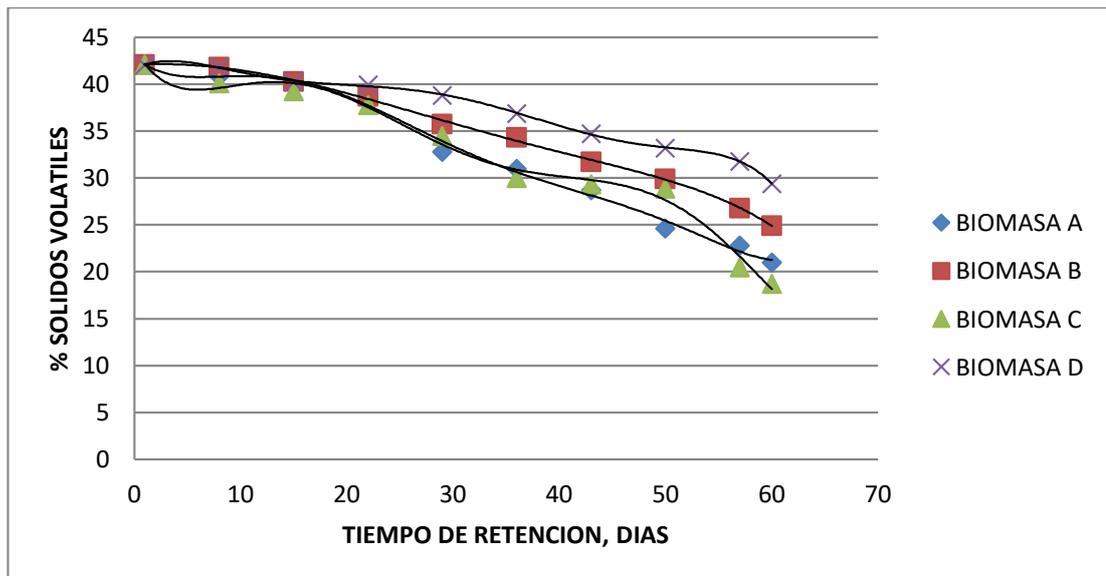


Figura 9 : Comparación del porcentaje de solidos volátiles durante el tiempo de retención en la segunda prueba. Responsable del estudio.

**Tabla 18**

*DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA PRESENTE EN LA BIOMASA AL INICIO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE BIOGAS*

DIAS	A		B		C		D	
	M 1	M2						
1	79.32	79.31	79.3	79.35	79.36	79.37	79.35	79.3
8	78.3	78.3	78.23	78.25	78.01	78.2	78.25	78.27
15	77.61	77.01	77.05	77.01	77.7	77.56	77.1	77.13
22	76.2	76.1	76.7	76.69	76.2	76.26	76.79	75.82
29	75.41	75.37	75.49	75.5	75.47	75.49	75.53	74.69
36	74.47	74.5	74.21	74.2	74.5	74.53	74.35	74.59
43	73.51	73.6	73.9	73.9	73.8	73.78	73.01	73.3
50	72.61	72.81	72.43	72.5	72.81	72.81	72.7	72.1
57	70.58	70.87	70.2	70.1	70.97	70.9	70.63	70.99
60	69.38	69.46	69.91	69.03	69	69.1	69.9	69.93

Nota: Responsable del estudio

- \* El ensayo se realizó con la siguiente composición en biomasa 0.074 kg de bagazo, 0.74 kg de estiércol y 3.7 litros de agua.
- \* Biomasa A: biomasa con temperatura de 35°C y pH de 6.
- \* Biomasa B: biomasa con temperatura de 35°C y pH de 8.
- \* Biomasa C: biomasa con temperatura de 40°C y pH de 6.
- \* Biomasa D: biomasa con temperatura de 40°C y pH de 8.
- \* M1: : muestra de la primer ensayo
- \* M2: : muestra del segundo ensayo.

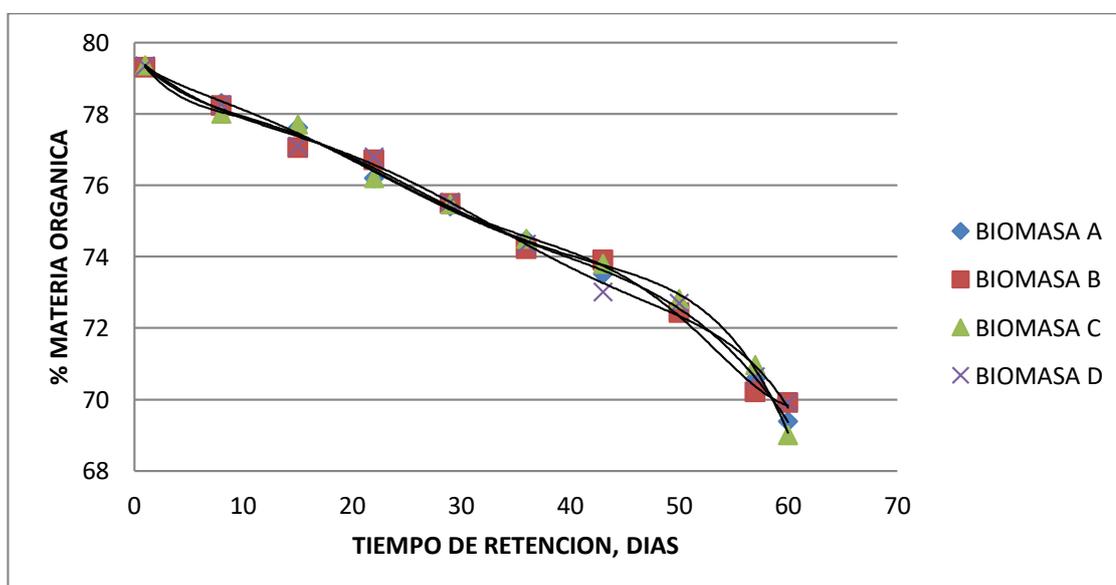


Figura 10 : Comparación del porcentaje de materia orgánica durante el tiempo de retención en la primera prueba. Responsable del estudio.

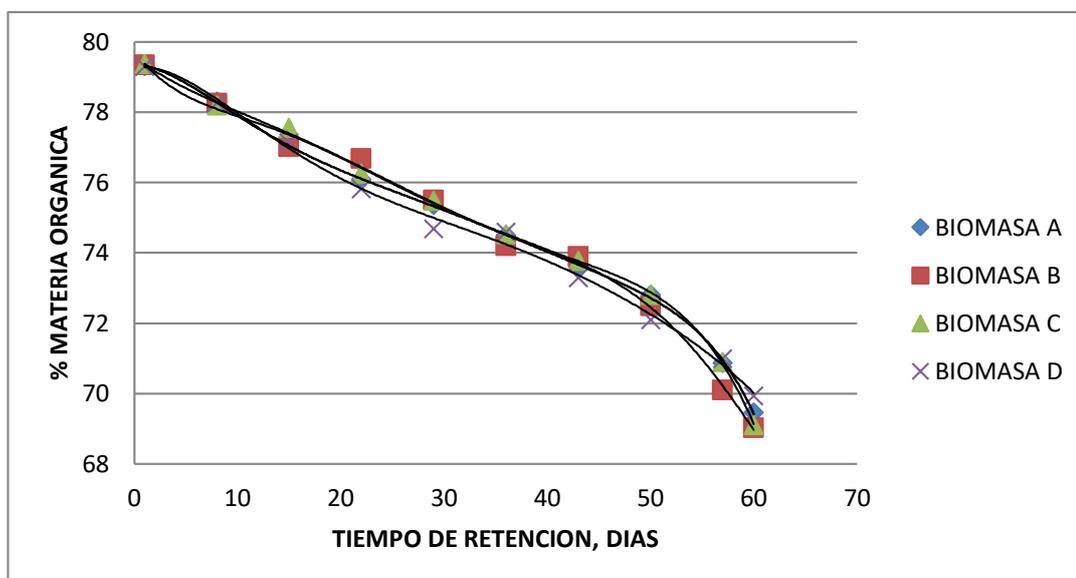


Figura 11 : Comparación del porcentaje de materia orgánica durante el tiempo de retención en la segunda prueba. Responsable del estudio.

**Tabla 19**

*DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE CARBONO PRESENTE EN LA BIOMASA AL INICIO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE BIOGAS*

DIAS	BIOMASA A		BIOMASA B		BIOMASA C		BIOMASA D	
	M 1	M2						
1	34.57	34.69	34.70	34.71	34.71	34.70	34.71	34.72
8	34.42	34.41	34.52	34.51	34.50	34.61	34.63	34.69
15	34.20	34.19	34.32	34.35	34.27	34.29	34.51	34.57
22	33.90	33.70	34.21	34.27	34.01	34.05	34.49	34.49
29	33.53	33.54	34.13	34.10	33.50	33.60	34.31	34.35
36	33.13	33.10	34.09	34.05	33.10	33.11	34.29	34.30
43	32.93	32.91	34.01	34.00	32.99	32.87	34.18	34.20
50	32.60	32.50	33.94	33.73	32.53	32.55	34.13	34.15
57	31.79	31.79	33.81	33.51	31.99	32.23	34.07	34.03
60	31.57	31.51	33.70	33.40	31.67	32.00	33.99	33.95

Nota: Responsable del estudio

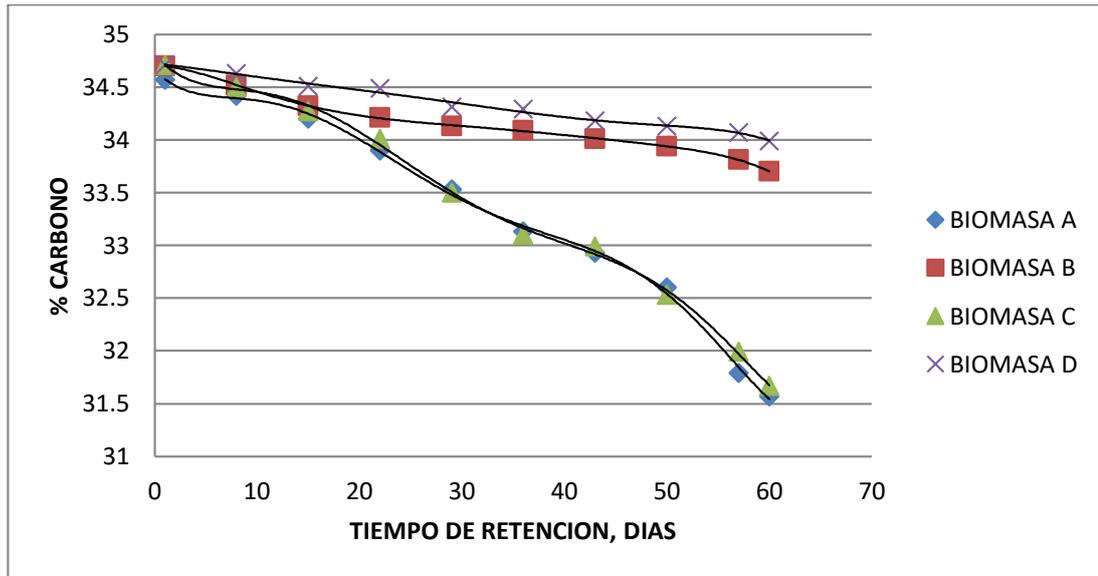


Figura 12 : Comparación del porcentaje de carbono durante el tiempo de retención en la primera prueba. Responsable del estudio.

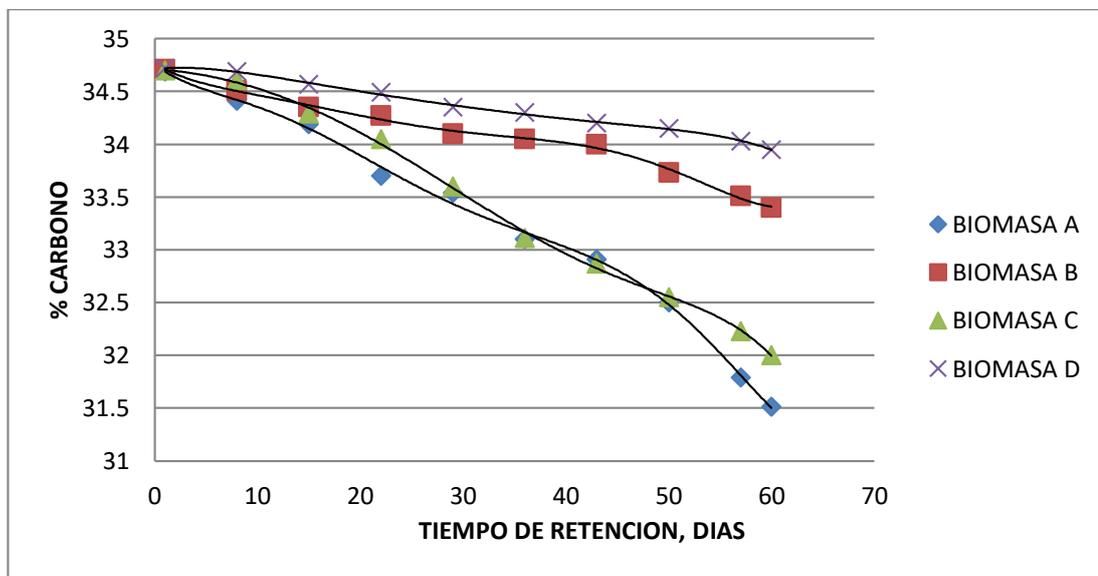


Figura 13: Comparación del porcentaje de carbono durante el tiempo de retención en la segunda prueba. Responsable del estudio.

Tabla 20

DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE NITROGENO PRESENTE EN LA BIOMASA AL INICIO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE BIOGAS

DIAS	BIOMASA A		BIOMASA B		BIOMASA C		BIOMASA D	
	M 1	M2						
1	0.98	0.97	0.89	0.98	1.10	0.99	0.80	0.97
8	0.99	0.93	0.87	0.97	0.99	0.98	0.79	0.89
15	0.90	0.90	0.85	0.89	0.81	0.82	0.77	0.89
22	0.89	0.87	0.83	0.89	0.72	0.72	0.77	0.84
29	0.85	0.83	0.81	0.81	0.71	0.71	0.76	0.81
36	0.81	0.80	0.79	0.77	0.69	0.68	0.76	0.79
43	0.79	0.75	0.78	0.78	0.60	0.63	0.75	0.77
50	0.75	0.73	0.75	0.74	0.60	0.60	0.74	0.76
57	0.69	0.67	0.71	0.71	0.59	0.57	0.73	0.74
60	0.61	0.65	0.69	0.70	0.50	0.53	0.71	0.71

Nota: Responsable del estudio

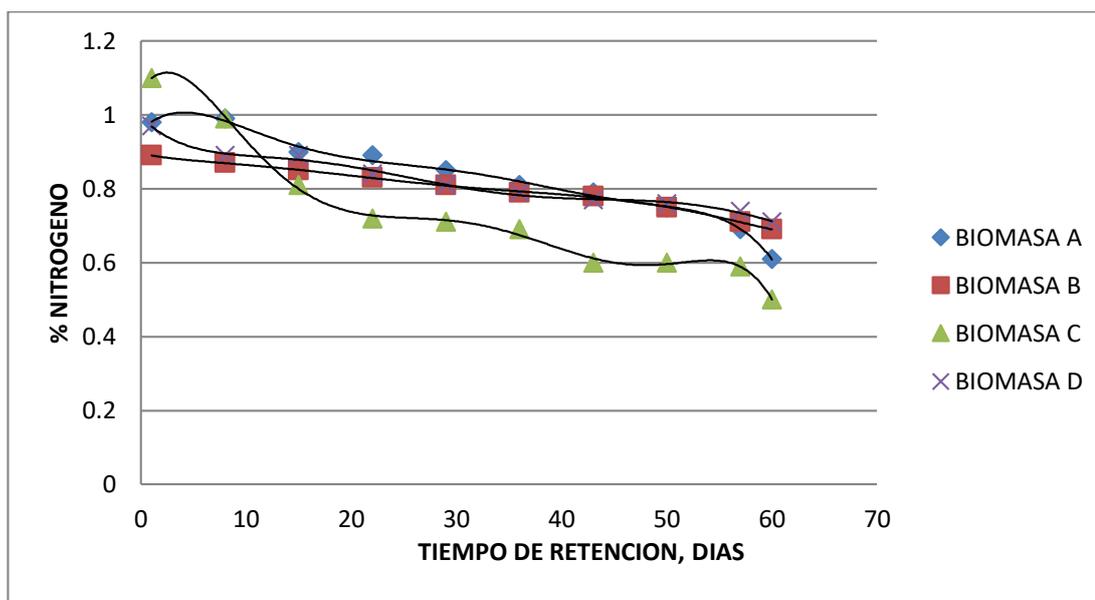


Figura 14: Comparación del porcentaje de nitrógeno durante el tiempo de retención en la primera prueba. Responsable del estudio.

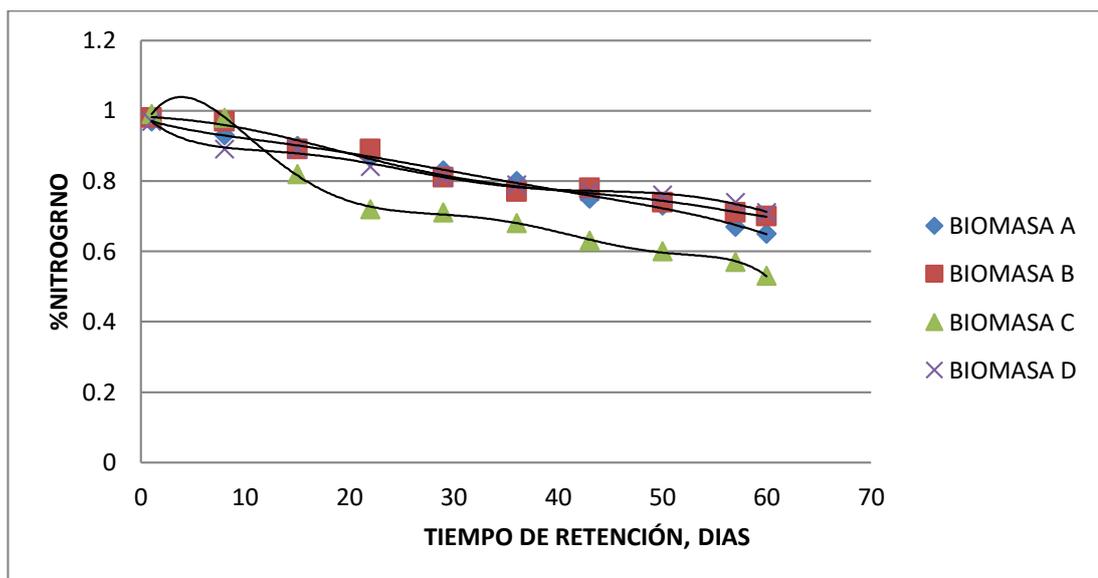


Figura 15: Comparación del porcentaje de nitrógeno durante el tiempo de retención en la segunda prueba. Responsable del estudio.

**Tabla 21**

*DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE LA PROPORCIÓN DE C/N PRESENTE EN LA BIOMASA AL INICIO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE BIOGAS*

DIAS	BIOMASA A		BIOMASA B		BIOMASA C		BIOMASA D	
	M 1	M2						
1	35.28	35.76	38.99	35.42	31.55	35.05	43.39	35.79
8	36.23	37.00	39.68	35.58	34.85	35.32	43.84	38.98
15	38.00	37.99	40.38	38.60	42.31	41.82	44.82	40.67
22	38.09	38.74	41.22	38.51	47.24	47.29	44.79	41.06
29	39.45	40.41	42.14	42.10	47.18	47.32	48.32	42.41
36	40.90	41.38	43.15	44.22	47.97	48.69	50.43	43.42
43	41.68	43.88	43.60	43.59	54.08	52.17	54.25	44.42
50	43.47	44.52	45.25	45.58	54.22	54.25	56.88	44.93
57	46.07	46.85	47.62	47.20	54.22	56.54	47.53	45.99
60	51.75	48.48	48.84	47.71	63.34	60.38	47.87	47.82

Nota: Responsable del estudio

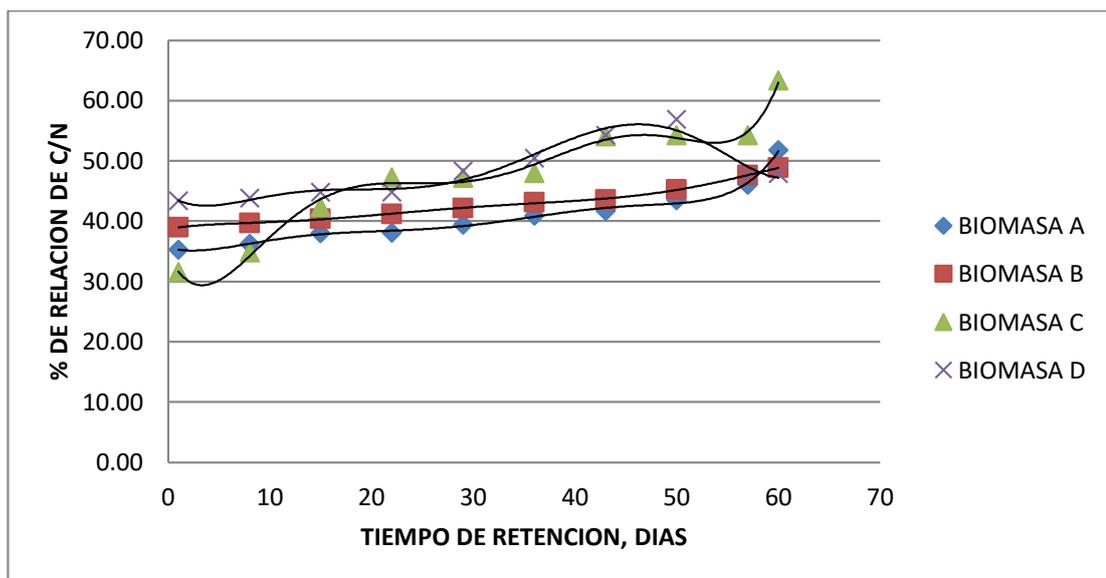


Figura 16: Comparación del porcentaje de relación de C/N durante el tiempo de retención en la primera prueba. Responsable del estudio.

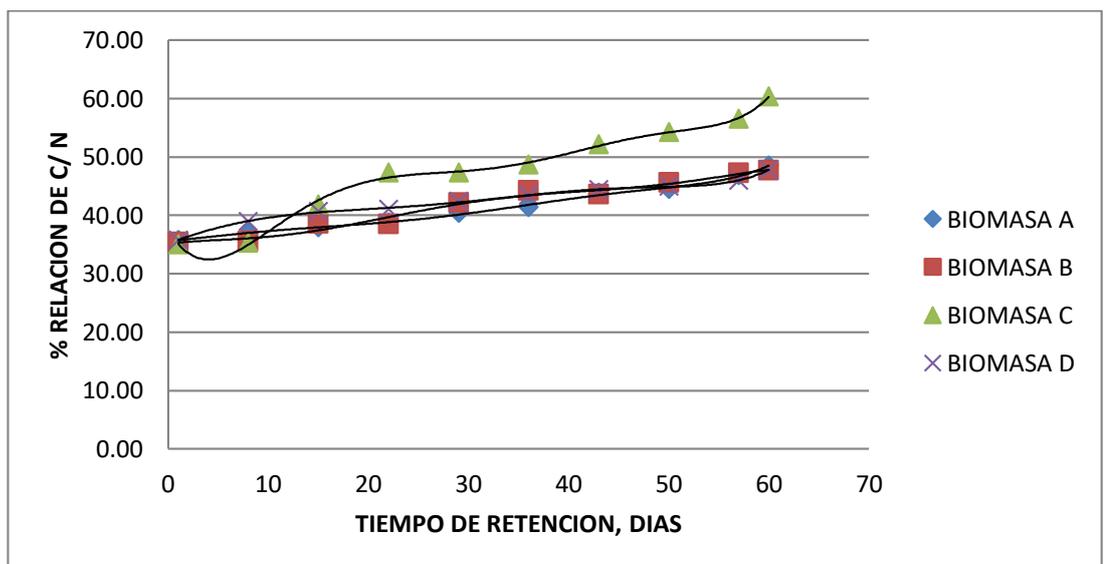


Figura 17: Comparación del porcentaje de relación de C/N durante el tiempo de retención en la segunda prueba. Responsable del estudio.

**Tabla 22**

*DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES FISICO QUIMICO DE LA BIOMASA AL FINALIZAR EL PROCESO DE DEGRADACIÓN EN LA OBTENCION DE BIOGAS*

CARACTERIZACIÓN	BIOMASA A		BIOMASA B		BIOMASA C		BIOMASA D	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
<b>HUMEDAD</b>	88.89	87.50	80.01	80.20	87.83	86.50	70.02	71.20
<b>MATERIA SECA</b>	11.11	12.50	19.99	19.80	12.17	13.50	29.98	28.80
<b>GRASA</b>	2.00	2.10	3.50	3.60	1.10	1.00	4.90	5.30
<b>CENIZAS</b>	1.50	1.6	1.5	1.8	1.5	1.6	1.6	1.6
<b>MATERIA ORGANICA</b>	49.01	49.00	49.91	49.03	49.67	49.57	49.90	49.93
<b>CARBONO</b>	31.57	31.51	33.70	33.40	31.67	32.00	33.99	33.95
<b>NITROGENO</b>	0.61	0.65	0.69	0.70	0.50	0.53	0.71	0.71
<b>C/N</b>	51.75	48.47	48.84	47.71	63.34	60.38	47.87	47.82

Nota: Responsable del estudio

- \* El ensayo se realizó con la siguiente composición en biomasa 0.074 kg de bagazo, 0.74 kg de estiércol y 3.7 litros de agua.

En la tabla 20 describe, el % de humedad de alimentación una vez culminada el proceso de digestión, el aumento de la humedad se debe al agua adicionada como fuente de dilución; es notorio la degradación de grasas presentes en el estiércol y bagazo ya culminada el proceso degradativo.

**Tabla 23**

*VARIANZA DE MATERIA ORGANICA AL INICIAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D,*

TRATAMIENTO	1	2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	79.32	79.31	79.32	0.00005	0.00707	79.31	79.32
<b>B</b>	79.30	79.35	79.33	0.00125	0.03536	79.30	79.35
<b>C</b>	79.36	79.37	79.37	0.00005	0.00707	79.36	79.37
<b>D</b>	79.35	79.30	79.33	0.00125	0.03536	79.30	79.35
<b>X PROMEDIO</b>			79.33				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 24**

*VARIANZA DE MATERIA ORGANICA AL FINALIZAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.*

TRATAMIENTO	1	2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	69.38	69.46	69.42	0.00320	0.05657	69.38	69.46
<b>B</b>	69.91	69.03	69.47	0.38720	0.62225	69.03	69.91
<b>C</b>	69	69.1	69.05	0.00500	0.07071	69	69.1
<b>D</b>	69.90	69.93	69.92	0.00045	0.02121	69.9	69.93
<b>X PROMEDIO</b>			69.46				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 23**

*VARIANZA DE CARBONO AL INICIAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.*

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	34.57	34.69	34.63	0.00720	0.08485	34.57	34.69
<b>B</b>	34.70	34.71	34.71	0.00005	0.00707	34.70	34.71
<b>C</b>	34.71	34.7	34.71	0.00005	0.00707	34.70	34.71
<b>D</b>	34.71	34.72	34.72	0.00005	0.00707	34.71	34.72
<b>X PROMEDIO</b>			34.69				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 25**

*VARIANZA DE CARBONO AL FINALIZAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.*

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	31.57	31.51	31.54	0.00180	0.04243	31.51	31.57
<b>B</b>	33.90	33.40	33.65	0.12500	0.35355	33.40	33.90
<b>C</b>	31.67	32.00	31.84	0.05445	0.23335	31.67	32.00
<b>D</b>	33.99	33.95	33.97	0.00080	0.02828	33.95	33.99
<b>X PROMEDIO</b>			32.75				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 26**

*VARIANZA DE NITROGENO AL INICIAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.*

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	0.90	0.90	0.90	0.00000	0.00000	0.90	0.90
<b>B</b>	0.80	1.10	0.95	0.04500	0.21213	0.80	1.10
<b>C</b>	1.10	0.90	1.00	0.02000	0.14142	0.90	1.10
<b>D</b>	0.80	0.90	0.85	0.00500	0.07071	0.80	0.90
<b>X PROMEDIO</b>			0.93				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 27**

*VARIANZA DE NITROGENO AL FINALIZAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.*

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	0.61	0.65	0.63	0.00080	0.02828	0.61	0.65
<b>B</b>	0.69	0.70	0.70	0.00005	0.00707	0.69	0.70
<b>C</b>	0.30	0.53	0.42	0.02645	0.16263	0.30	0.53
<b>D</b>	0.71	0.71	0.71	0.00000	0.00000	0.71	0.71
<b>X PROMEDIO</b>			0.61				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 28**

*VARIANZA DE C/N AL INICIAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.*

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	38.41	38.54	38.48	0.00889	0.09428	38.41	38.54
<b>B</b>	43.38	31.55	37.46	69.8616	8.35832	31.55	43.38
<b>C</b>	31.55	38.56	35.06	24.5071	4.95046	31.55	38.56
<b>D</b>	43.39	38.58	40.98	11.5667	3.40099	38.58	43.39
<b>X PROMEDIO</b>			38.00				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 29**

VARIANZA DE C/N AL FINALIZAR EL PROCESO DE DEGRADACION EN LA OBTENCION DE BIOGAS EN LA BIOMASAS A,B,C,D.

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	51.75	48.48	50.12	5.36994	2.31731	48.47692	51.75
<b>B</b>	48.84	47.71	48.28	0.63427	0.79641	47.71429	48.84
<b>C</b>	63.34	60.38	61.86	4.38862	2.09490	60.37736	63.34
<b>D</b>	47.87	47.82	47.85	0.00159	0.03984	47.81690	47.87
<b>X PROMEDIO</b>			52.02				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 30**

VOLUMEN ACUMULADO DE BIOGAS OBTENIDO EN ml EN LAS BIOMASA A, B,C Y D EN EL PRIMER Y SEGUNDO ENSAYO.

TRATAMIENTO	M1	M2	PROMEDIO	VARIANZA	DESV. ESTANDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>A</b>	350	352	351.00	2.00	1.41	350	352
<b>B</b>	327	333	330.00	18.00	4.24	327	333
<b>C</b>	380	377	378.50	4.50	2.12	377	380
<b>D</b>	281	273	277.00	32.00	5.66	273	281
<b>X PROMEDIO</b>			334.13				

Nota: Responsable del estudio

**Tabla 30**

VARIANZA EN EL VOLUMEN OBTENIDO DE BIOGAS AL FINALIZAR EL PROCESO DE DEGRADACION DE BIOMASAS A,B,C,D.

DÍA	BIOMASA A		BIOMASA B		BIOMASA C		BIOMASA D	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>8</b>	50	47	30	30	60	41	30	30
<b>15</b>	70	69	46	45	85	83	56	46
<b>22</b>	100	120	130	91	90	89	93	142
<b>29</b>	140	184	169	163	195	170	153	191
<b>36</b>	164	200	210	216	230	250	160	252
<b>43</b>	250	237	258	279	267	309	240	260
<b>50</b>	320	325	282	285	350	320	273	267
<b>57</b>	345	350	320	330	370	350	278	270
<b>60</b>	350	352	327	333	380	377	281	273

Nota: Responsable del estudio

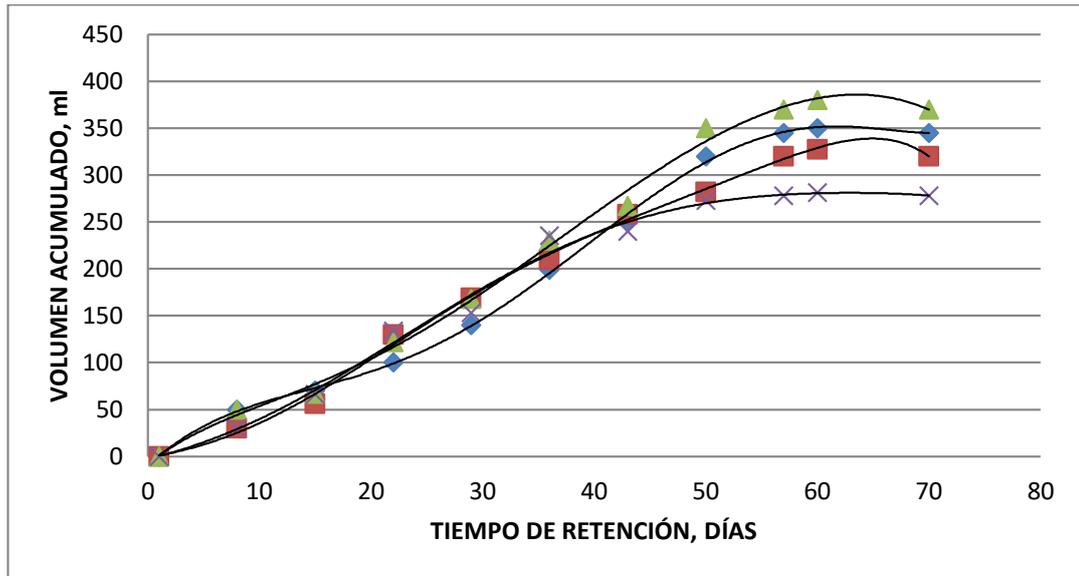


Figura 18 : Comparación del volumen de biogás acumulado durante el tiempo de retención en la primera prueba. Responsable del estudio.

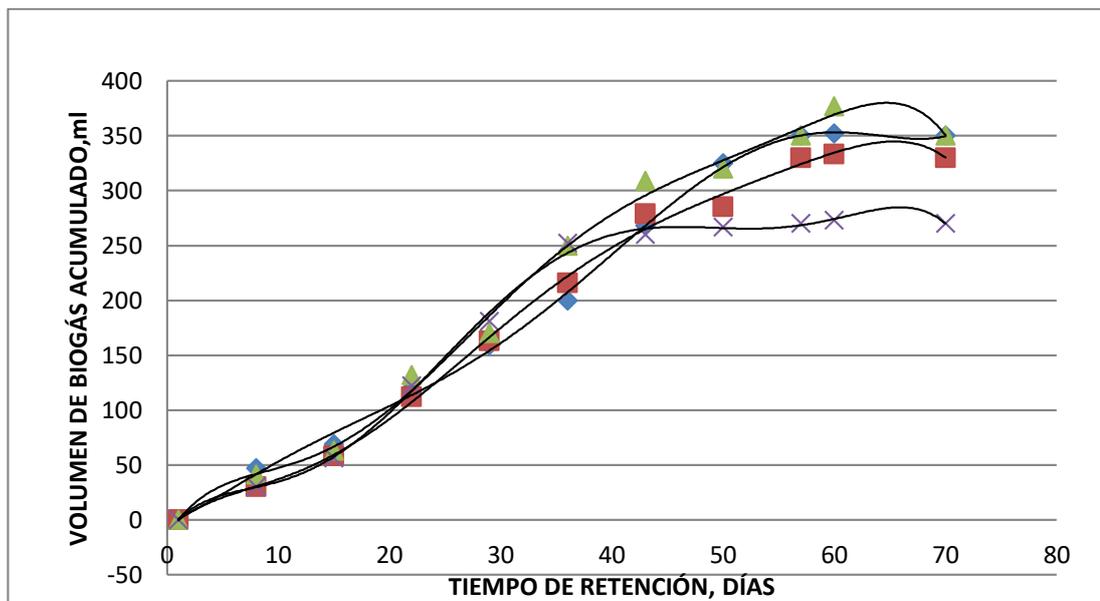


Figura 19: Comparación del volumen de biogás acumulado durante el tiempo de retención en la segunda prueba. Responsable del estudio.

## ANALISIS ESTADISTICOS DE LOS RESULTADOS

Para el estudio de los efectos de dos o mas factores el diseño factorial es la mejor herramienta estadística para este tipo de experimento. El diseño factorial es cuando en cada experimento se investiga las combinaciones posibles de los niveles de los factores. En este experimento se estudian dos factores con dos niveles cada uno, que combinados se obtendrían 4 resultados, que para este estudio se denominaron como A, B,C y D.

		pH	
		6.0	8.0
TEMPERATURA	30	A	B
	40	C	D

Los ensayos se realizaron durante 70 días y durante este periodo se evaluó la producción del volumen de biogas. De los resultados obtenidos según el grafico del primer ensayo, se han tomado los máximos valores alcanzados en la producción a los 60 días. Estos valores se analizaron estadísticamente con el QiMacros 2019, obteniendo los resultados siguientes:

## Experimento 1

### Análisis estadístico con QiMacros 2019

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		PH6	PH8	F-Test Two-Sample for Variances		$\alpha$	0.05								
2		T35	350	327											
3		T40	380	281		PH6	PH8	95% Confidence Interval							
4				Mean	365	304									
5				Variance	450	1058	0.004	1523.0							
6				Observations	2	2									
7				df	1	1									
8				F	2.35										
9				P(F<=f) one-tail	0.368	0.736	Two-tail								
10				F Critical one-tail	161.45										
11				One-tail	Cannot Reject Null Hypothesis because $p > 0.05$ (Variances are the same)										
12				Two-tail	Cannot Reject Null Hypothesis because $p > 0.05$ (Variances are the same)										
13					La hipótesis nula no puede ser rechazada debido a que $p > 0.05$										
14					Esto es para un nivel máximo de riesgo aceptable de 0.05, con un nivel de confianza (p) predeterminado de 0.95										
15															
16															
17															
18															
19															

En el experimento 1 se observa que la mayor producción de biogas es de 380 mililitros durante 60 días, trabajando a pH 6 y 40°C de temperatura. Para la estadística se pre determinó un nivel de confianza de 95% ( $p = 0.95$ ) con un nivel de riesgo aceptable de 5% ( $\alpha = 0.05$ ). Los resultados indican que con dos grados de libertad, un factor crítico de 5.33,  $P = 0.26$  y 0.521 respectivamente para ambos ensayos. El análisis reportó un  $P > 0.95$  y  $\alpha > 0.05$ , que llevan a decidir que la hipótesis nula no puede ser rechazada, esto significa que se aceptan que los factores temperatura y pH influyen en la producción de biogas.

## Experimento 2

### Análisis estadístico con QiMacros 2019

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		PH6	PH8	F-Test Two-Sample for Variances		$\alpha$	0.05							
2		T35	352	333										
3		T40	378	273		PH6	PH8	95% Confidence Interval						
4				Mean		365	303							
5				Variance		338.000	1800.000	0.008	3449.764					
6				Observations		2	2							
7				df		1	1							
8				F		5.33								
9				P(F<=f) one-tail		0.260	0.521	Two-tail						
10				F Critical one-tail		161.45								
11				One-tail		Cannot Reject Null Hypothesis because $p > 0.05$ (Variances are the same)								
12				Two-tail		Cannot Reject Null Hypothesis because $p > 0.05$ (Variances are the same)								
13						La hipotesis nula no puede ser rechazada debido a que $p > 0.05$								
14						Esto es para un nivel máximo de riesgo aceptable de 0.05, con un nivel de confianza (p) predeterminado de 0.95								
15														
16														

En el experimento 2 se observa que la mayor producción de biogas es de 378 mililitros durante 60 días, trabajando a pH 6 y 40°C de temperatura. Para un nivel de confianza de 95% ( $p = 0.95$ ) y un nivel de riesgo aceptable de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), los resultados indican que dos grados de libertad, un factor crítico de 5.33,  $P = 0.26$  y 0.521 respectivamente para ambos ensayos. El análisis reportó un  $P > 0.95$  y  $\alpha > 0.05$ , que llevan a decidir que la hipótesis nula no puede ser rechazada, esto significa que se aceptan que los factores temperatura y pH influyen en la producción de biogas.

## CAPITULO IV

### 4.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

1. Los resultados de la presente investigación mostraron que existe influencia de la temperatura y el pH del sustrato en la biodigestión para producir biogás. Se realizaron dos experimentos con resultados muy similares de producción de biogás (380 y 378 mililitros de biogás respectivamente) con una mezcla de alimentación de 0.074 Kg de bagazo, 0,74 Kg de estiércol y 3.7 litros de agua. Este resultado concuerda con los estudios de Bautista y Aznar en sus ensayos con la pulpa de café y las aguas mieles que concluyen en la importancia de los parámetros de la biodigestión, destacando la importancia de pH, temperatura y el mezclado de la materia dentro del biodigestor, lo que reveló que estos parámetros son importantes para los microorganismos degradativos. Según el tipo de sustrato para Varnero y Arellano (1991), el estiércol de equino tiene una proporción de C/N de 50:1 y el rango óptimo de porcentaje de carbono es de 50-30; la muestra C en el primer tratamiento es de 34.71:1.10 podemos asegurar la degradación o descomposición de materia orgánica.
2. En este estudio se combinaron las variables pH de 6 y 8, para material lignocelulosido con temperatura de 35°C y 40°C. Se determinó que si el pH no fuera el adecuado la temperatura nos facilitara la degradación de material orgánico para la producción y acondicionamiento de nuevos

microorganismos. De manera similar Parra (2014) concluyó en su estudio, que el Potencial Bioquímico de Metano se desarrolla mejor con pH neutro, obteniéndose la mayor producción de metano con un pH cercano a la neutralidad (6,6 y 8,0). Veeken et al., logró las mejores producciones de metano durante la digestión anaeróbica con pH entre 6,5 y 7,7. La regulación de pH se puede manejar con soluciones ácidas y/o básicas teniendo en cuenta que la proporción de excreta y agua, también influyen en el proceso de fermentación anaerobia en producción de biogás.

3. El pH es una condición de operación importante para llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica, debido a que influyen en la actividad de las enzimas hidrolíticas y de los microorganismos activos que intervienen en el proceso (Angelidaki & Sanders, 2004). Algunos autores hacen referencia que el pH óptimo para la generación de metano debe estar entre 6 y 8 unidades (Shama et al., 1999, Chernicharo, 2007). En el presente estudio se realizó un experimento factorial para combinar los parámetros de pH de 6 y 8, y temperatura de 35°C y 40°C; ensayando con dos grupos de muestras denominados A, B, C y D. En la muestra 1 de la biomasa C, se obtuvo 380 mililitros de biogás y en la muestra 2 se obtuvo 377 mililitros de biogás, con un tiempo óptimo de estabilidad en la digestión anaeróbica de 60 días en temperaturas de operación mesófila.
4. Si comparamos con Barrera (2006) y Tortarolo et al. (2008), ellos mantuvieron lo pH de 6 y 8 establecidos con soluciones de NaOH y HCL, y logrando mayores resultados de desarrollo con el pH de 6; en las muestras con temperatura de 35°C y 40°C. Siendo la temperatura otro factor importante en el desarrollo de bacterias degradativas. Obtuvieron 352 ml de biogás con 35°C y pH 6, y 380 ml de biogás con 45°C, pH 6, respectivamente, lo que indica mayor desarrollo en la muestra C, con mayor temperatura de proceso.

5. Otro aspecto que confirma los resultados obtenidos en el presente trabajo es el resultado de la digestión anaerobia realizada con pH entre 7.0 y 8.0 unidades para favorecer la formación del metano que fue realizada por Pesta (2007).

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

1. La humedad juega un papel importante en la digestión anaeróbica, puesto que de ello depende que tipo de digestión anaeróbica se está empleando pueden diferenciarse entre sistemas húmedos y secos. Se estableció la proporción de mezcla para la biomasa de caña y estiércol de equino para la producción de biogás en la siguiente proporción 0.1:1:5 de bagazo, estiércol y agua respectivamente. En base a los fundamentos teóricos, para residuos con mayor porcentaje de sólidos encontrados ; la proporción de agua convenientes mayor a la del sustrato. El bagazo se utilizó como co-fermentador por la cantidad de sacáridos que aun pueda contener.

2. Coveniente al estudio previo se optó por un contendor con una capacidad de cuatro litros empleado como digestor batch, llevándose acabo el diseño factorial de dos pH y dos temperatura mediante dos ensayos comparativos. Es asi como microorganismos metanogénicos y acetogénicos encuentran su pH óptimo alrededor de 7,0 y pueden ser inhibidos en un ambiente ácido dado que son muy sensibles a éste tipo de medios (Angelidaki et al.,2003 Juanga,2005).Siendo el 7 pH optimo en el estudio de degradación anaeróbica, se decidió por escoger 6 y 8 como medidas de estudio, y lograr la producción de biogás; manteniendo estable este rango.

3. La temperatura es uno de los factores ambientales fundamentales que incide en el crecimiento de los microorganismos, afectando principalmente la tasa de

crecimiento de bacterias. El tratamiento de los residuos en procesos anaerobios se lleva a cabo generalmente en dos rangos de temperatura 25-40 °C rango mesofílico y 44-57°C rango termofílico; considerándose 35 y 55°C temperaturas óptimas. Garantizando la uniformidad en el proceso degradativo de materia en los biodigestores, se mantuvieron operativo a temperatura de 35°C y 40°C, entre los meses de primavera, se dispuso de dos incubadoras para mayor estabilidad de la temperatura, evitando la variación térmica que el medio externo podría haber causado.

4. En el experimento 1 se observa que la mayor producción de biogás es de 380 ml durante 60 días, trabajando a pH 6 y 40°C de temperatura. Para la estadística se pre determinó un nivel de confianza de 95% ( $p = 0.95$ ) con un nivel de riesgo aceptable de 5% ( $\alpha = 0.05$ ). Los resultados indican que con dos grados de libertad, un factor crítico de 5.33,  $P = 0.26$  y  $0.521$  respectivamente para ambos ensayos. El análisis reportó un  $P > 0.95$  y  $\alpha > 0.05$ , que llevan a decidir que la hipótesis nula no puede ser rechazada, esto significa que se aceptan que los factores temperatura y pH influyen en la producción de biogás. En el experimento 2 se observa que la mayor producción de biogás es de 378 mililitros durante 60 días, trabajando a pH 6 y 40°C de temperatura. Para un nivel de confianza de 95% ( $p = 0.95$ ) y un nivel de riesgo aceptable de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), los resultados indican que dos grados de libertad, un factor crítico de 5.33,  $P = 0.26$  y  $0.521$  respectivamente para ambos ensayos. El análisis reportó un  $P > 0.95$  y  $\alpha > 0.05$ , que llevan a decidir que la hipótesis nula no puede ser rechazada, esto significa que se aceptan que los factores temperatura y pH influyen en la producción de biogás.

5. Se obtuvieron excelentes resultados en el laboratorio en el estudio de caracterización de biomasa y obtención de biogás, permitiendo combinar el estiércol de equino y bagazo, logrando reunir las propiedades establecidas según la literatura reunida asegurando la factibilidad en el proceso. Detallando una biomasa C, siendo la muestra 1 con mayor rendimiento en obtención de biogás con un 65 % de metano y su caracterización fue de 79.36% materia orgánica, 1.10% nitrógeno, 34.71% carbono; rango compatibles con estudios antes realizados con otros tipos de

biomasa. Se obtuvo 380 mililitros mayor de biogás durante el tiempo de retención 60 días. Al finalizar el proceso de fermentación anaeróbica se obtuvo un lodo en la biomasa C de la muestra 1 con la siguiente caracterización : 49,57% materia orgánica 0.5% nitrógeno y 31.67% carbono; asegurando su uso como fertilizante.

6. La digestión anaeróbica se fundamenta por ser un proceso de degradación metabólica, siendo la temperatura el principal parámetro de influencia en el aspecto físico, su control logro un equilibrio en las comunidades microbianas, favorecido por un pH del sustrato aceptable para la etapa metanogénica, etapa limitante y decisiva para la producción de biogás. Durante el desarrollo de investigación se noto mejor rendimiento con una temperatura de 40°C y un pH de 6 .

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

1. Es aconsejable tratar combinaciones de residuos orgánicos para aminorar en lo más posible los descartes menores propicios de malos olores , foco de enfermedades y contaminación . El tratar diferentes residuos lleva a controlar de manera mas exhaustiva los parámetros de procesos de degradación, por los diferentes contituyentes, pueden llevar a una inhibición de la degradación de la materia orgánica.

2.Las dilución de proporción de excreta y agua, es responsable de registros mayor y/o menor producción en volúmenes de biogás.En estudios se han tratado biomasa pastosas y como se vino desarrollando en el presente trabajo, la alimentación fue diluida en forma líquida, facilitando correcto manejo de parámetros como el pH y los componentes responsables de la formación de biogás.

3. El parámetro más fácil de estudio fue la temperatura, se controló de forma que no ocurriera varianza en 35°C y 40°C. El pH parámetro que influyen en el medio de cultivo de los microorganismos, su control es decisivo en la producción de biogás, debido a que las bacterias se activan o inhiben según su pH del medio.

4. Profundizar la investigación para mejorar el rendimiento producido de diferentes sustratos, de tal forma de llevar una degradación máxima o casi total de los componentes orgánicos, y obtener un biogás con mayor compuesto de metano y facilitando la depuración de las trazas de gases, por medios más rentables y sencillos.

5. Se debe fomentar la búsqueda de nuevas alternativas energéticas, en zonas rurales de nuestro departamento de Lambayeque, siendo una buena opción la implementación de biodigestores, aprovechando los residuos orgánicos de las diversas agroindustrias acompañadas de los residuos ganaderos; buscando contribuir al medio ambiente y mejor manejo de estos residuos fomentando el desarrollo.

## CAPITULO VII

### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Arce, J.(2011). *Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral.*(tesis de pregrado). Recuperado de <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS-GT000209.pdf>.
- [2] Allen, T.T., Lawrence Q. U., Meza C. V.(2013). Influencia de la fermentación láctica (abono bokashi) en el pre-compost para la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*.16(32).Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11322/10152>
- [3] Baltierra, E., Márquez, L., Sánchez, J. (2012).Modelo experimental de difusión de biogás en raíces vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, n°1,pp. 133-139.
- [4] Baker, J. (1967). *Biología e Investigación Científica*.Bogotá. Colombia. Fondo Educativo interamericano. S.A.
- [5] Barrena, M., Gamarra, O., Maicelo, J.( 2010).Producción de biogás en laboratorio a partir de residuos domésticos y ganaderos y su escalamiento. *Revista Aporte Santiaguino*, n° 1, pp. 86-92.
- [6] Cagua, K., Amell, A., Olmos, L. (2011).Estudio comparativo entre las propiedades de combustión de la mezcla biogás-aire normal y biogás-aire enriquecido con oxígeno. *Revista Ingeniería e Investigación*, N° 1 , pp. 233-241.

- [7] Campero Rivero ,O.(2012). Sistema integral tratamiento de residuos de granja lechera mediante la biodigestion anaerobia en el Peru. *Desarrollo Local Sostenible*, 5(14).
- [8] Cardona, C., Sánchez, O., Ramírez, J., Alzate, L.( 2004).Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, N° 2, pp. 78-89.
- [9] Castillo F, G.I.( 2012). *Evaluación de la codornaza y gallinaza de granjas avícolas para la producción de biogás y bioabono mediante digestión anaerónica*.(Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.Lima.
- [10] Cepero, L., Blanco, D., Díaz, R., Suárez, J., Palacios, A. (2012).Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. *Revista Pastos y Forrajes*, N°2, pp. 219-226.
- [11] Cersso, h. y Ortiz, A. (2012). *Estudio de pre-factibilidad para la recuperacion y produccion de energia en la region ica a traves de un sistema de biogas*. (tesis de grado).Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica.
- [12] Díaz, C., Amell, A., Cardona, L. (2012).Estudio experimental de la estabilidad de llama de biogás en un sistema de premezcla. *Revista Energética*, N° 39, pp. 35-42.
- [13] Dussan, J. (2009).Aproximaciones biológicas y fisicoquímicas en el tratamiento de contaminantes: un resumen del aporte de la Universidad de los Andes. *Revista de Ingeniería*, N° 3, pp. 100-111.
- [14] Fernández, J., Escalante, J. & Saavedra, C.(2007).Obtención de biogás a partir del bagazo de caña y estiércol. Liceo Bolivariano Libertador. Mérida. *Revista Científica Juvenil*. Vol. VI, pp. 105-118
- [15] Ferrer, I., Gamiz, M., Almeida, M., Ruiz, A. Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperatura in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management* 29 (1), 2009, pp.168-173.
- [16] Flores. M. (2006).*Evaluación de los parámetros físico-químicos en la producción de bioabono a partir de residuos sólidos de la actividad pesquera artesanal-Lambayeque*.(Tesis de grado).Lambayeque.
- [17] Gonzales,A (2003).*Viabilidad del uso de biodigestores para producción de energía en zonas rurales del departamento de Lambayeque*. (Tesis de grado). UNPRG. Lambayeque.

- [18] Kiss, G., Flores, S., Encarnación, G., Solórzano, G. Caracterización del biogás generado en trece sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México. *Revista Gaceta Ecológica*, N° 82, 2007, pp. 25-35.
- [19] Merchán, S, y Parra Luz . (2010). *Producción de Metano a partir de Bagazo de fique pretratado con NaOH*. (Tesis de grado). Recuperado de :<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6604/2/133786.pdf>
- [20] Miranda, T. (2012). La innovación y la transferencia de tecnologías en la Estación Experimental «Indio Hatuey»: 50 años propiciando el desarrollo del sector rural cubano (Parte II). *Pastos y Forrajes*, Vol.35, n° 1.
- [21] Novoa Duarte, A.A. (2014). *Importancia de la implementación de biodigestores para la generación de bio-abonos y energía a base de excretas en un establo lechero*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.Lima.
- [22] Parra Alexis.(2014). *Producción de Metano a partir de la Digestión Anaerobia de Biorresiduos de origen Municipal*. (Tesis de grado). Recuperado de :<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6604/2/133786.pdf>
- [23] Paz, A. y Cristóbal, S. (2008). *Estudio de biogás en biodigestores tubulares unifamiliares de bajo costo en el departamento de Cajamarca*, Proceedings III Taller de Biodigestores, ITDG-Soluciones Prácticas, Cajamarca, Perú.
- [24] Pinto Cieza, L.N.(2012). *Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria*.(Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.Lima.
- [25] Reyes Aguilera, E. A.(2016). *Producción de biogás a partir de Biomasa. Adaptación al Cambio Climático*,17(11).Recuperado de <http://www.lamjol.info/index.php/FAREM/article/view/2610/2360>.
- [26] Sánchez. A (2012). *Diseño e implementación de un biodigestor para la producción de biogás y fertilizante a partir del estiércol de ganado*. XXI Programa de titulación por actualización profesional. UNPRG. Lambayeque.
- [27] Suárez, G.( 2011). Experiencias del proyecto Biomas-Cuba. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano. *Pastos y Forrajes* , Vol.34, n.o 4.

- [28] Varnero, M., Caru, M., Galleguillos, K., Achondo, P. Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica. *Revista Información Tecnológica*, n.o 2, 2012, pp. 31-40.
- [29] Vargas, S. R.A. (2012).Estudio técnico para la producción de biogas como combustible apartir de estiércol de cuy, vaca, cabra con chala de maíz y desechos sólidos urbanos. *Centro de Energías Renovables*. Lima.
- [30] Yerard,K.(1999).*Ingeniería Ambiental .Fundamentos, entornos tecnologías y sistemas de gestión* .Madrid, España: Mc Graw-Hill.
- [31] Zapata, S (2004).*Evaluación energética del sistema de biomasa energético “FIME”*. (Tesis de grado). UNPRG, Lambayeque.

## CAPITULO VIII

### 8. ANEXOS

#### ANEXO N°1 GALERIA DE FOTOS



Figura 20: Preperación de biomasa



Figura 21: Regulación de pH



Figura 22: Instalación de control de temperatura



Figura 23: Medición de biogás obtenido y purificación del mismo por medio de NaOH



Figura 24: Medición de pH en muestra



Figura 25: pesado de muestra de biomasa



Figura 26: preparación de titulación para determinar materia organica



Figura 27: Muestra en blanco y muestra para la determinación de materia orgánica



Figura 28: comparación de muestras en determinación de materia orgánica



Figura 29: Adición de agua destilada, ácido fosfórico y difenilamina



Figura 30: Titulación de sulfato ferroso amónico



Figura 31: Determnación de materia orgánica por titulación



Figura 32: Preparación de muestra para la determinación de nitrógeno



Figura 33: preparación de muestra en el balón Micro Kjeldahl



Figura 34: Adición de ácido bórico para proceder al proceso de digestión



Figura 35: Proceso de digestión en la determinación de nitrógeno



Figura 36: Proceso de destilación del ácido bórico hasta su viraje

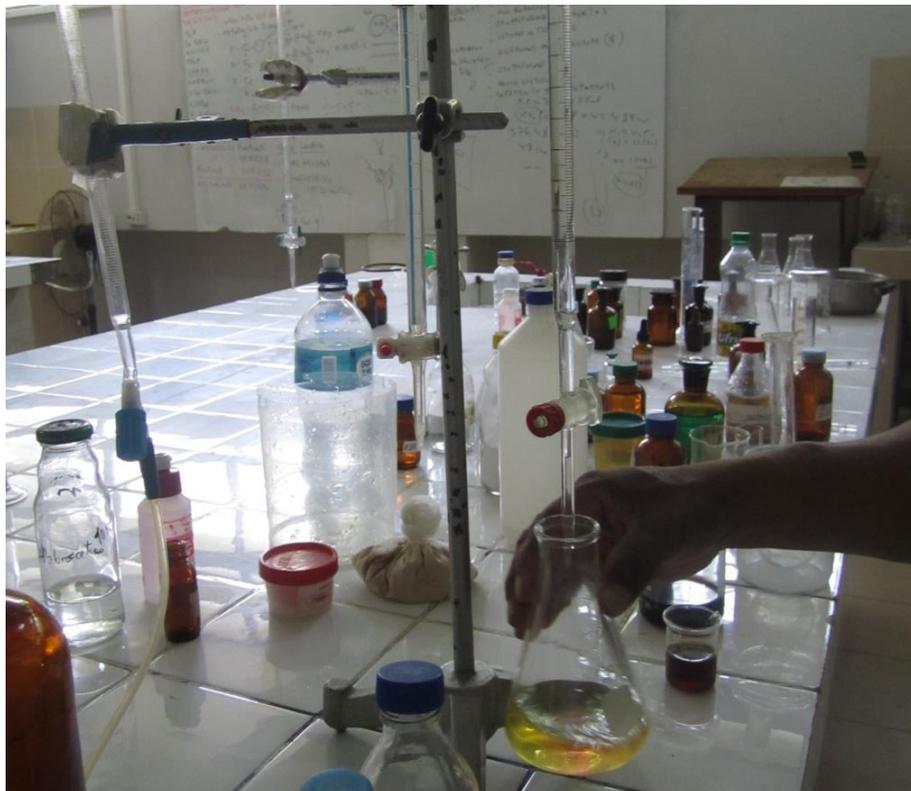


Figura 37: Valoración con ácido clorhídrico para la detreminación de nitrógeno



Figura 38: Preparación de muestra para la determinación de grasas



Figura 39: Proceso de extracción de grasa, mediante destilación de solvente



Figura 40 : Sequedad de muestra



Figura 41: Pesado de muestra para la determinación de masa por diferencia de peso