

Evaluación del potencial energético de la biomasa, para el aprovechamiento de la generación de gas metano (CH₄).



Evaluation of the energy potential of biomass, for the development of the generation of methane (CH₄).

Ing. MSc. William Armando Hidalgo Osorio.¹, Ing. MSc. Paco Jovanni Vásquez Carrera.², Ing. MSc. Diego Fernando Jácome Segovia.³ Henry Mauricio Chanatasig Toapanta⁴ & Norma Rocío Rodríguez Pazmiño.⁵

Recibido: 18-12-2017 / Revisado: 14-02-2018 Aceptado: 06-03-2018/ Publicado: 01-04-2018

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i2.11>

The aim of this research is to evaluate the energy potential of the biomass generated at the Cynthia Elizabeth poultry farm in Pujilí city, for the production and use of methane gas CH₄ as alternative energy, for which the biomass generated in the Poultry farm was placed in an experimental biodigester degrading the biomass in absence of oxygen O₂ in a determined time obtaining the biogas, for this we applied field research techniques, bibliographical and experimental, that allowed to obtain results of characterization of the biomass, Biol, biogas, biogas production results and, finally, biogas application results. With these results we made a proposal to design a biodigester for the production and use of methane gas as an alternative energy.

Obtaining as a result for each 45m³ of biomass generated in the poultry farm produces.

Keywords: Biodigester, Biogas, Biomass, Alternative Energy, Methane Gas, Energy Potential

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador, william.hidalgo7885@utc.edu.ec

²Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador, paco.vasquez@utc.edu.ec

³Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador, diego.jacome@utc.edu.ec

⁴Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador, chanatagsih@utc.edu.ec

⁵Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador, nrodriguez@utc.edu.ec

Resumen.

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo evaluar el potencial energético de la biomasa generada en la granja avícola Cynthia Elizabeth de la ciudad de Pujilí, para la producción y aprovechamiento del gas metano CH_4 como energía alternativa, para lo cual se utiliza la biomasa generada en la granja avícola la misma que fue colocada en un biodigestor experimental degradando la biomasa en ausencia del oxígeno O_2 en un determinado tiempo obteniendo el biogás, para esto se aplicó técnicas de investigación de campo, bibliográfica y experimental, que permitieron obtener resultados de caracterización de la biomasa, biol, biogás, resultados de producción de biogás y por último resultados de aplicación del biogás. Con estos resultados se realizó una propuesta de diseño de un biodigestor para la producción y aprovechamiento del gas metano como energía alternativa.

Obteniendo como resultado por cada 45m^3 de biomasa generado en la granja avícola produce $0,61\text{ m}^3$ de biogás para su aprovechamiento.

Palabras Claves: Biodigestor, Biogás, Biomasa, Energía Alternativa, Gas Metano, Potencial Energético.

Introducción.

El desarrollo de la biotecnología para obtener productos útiles para el ser humano y de su entorno, ha demostrado ser una alternativa viable y competitiva con respecto de otras tecnologías para obtener energía, entre otras aplicaciones, a través de la utilización de los desechos animales contribuye a la reducción de la contaminación ambiental. (Hiler & Stout, 1985)

Durante los últimos años la población ha crecido de manera considerable por lo que se tiene como consecuencia un requerimiento mayor de combustibles para la generación de energía tanto para el transporte como para el uso en viviendas, industrias, fábricas, hospitales entre otros, puesto que estos forman parte fundamental para el desarrollo de las mismas.

Básicamente los combustibles de hoy en día son los derivados del petróleo como lo son las gasolinas, los aceites, el gas LP, entre muchos otros. De estos combustibles el gas es uno de los más requeridos para la vida diaria de las personas.

El biogás, como fuente de energía renovable, ha despertado un gran interés en los últimos años, siendo tal vez una de las tecnologías de más fácil implementación, sobre todo en sectores rurales. Su potencial desarrollo, no solo considerando la producción de biogás, sino que como ayuda a la obtención de biofertilizante y tratamiento de problemas sanitarios en

algunos casos, hacen que replicabilidad y difusión en los sectores con abundancia de materia orgánica de desecho sea atractivo. (MINENERGIA / PNUD / FAO /GEF, 2011)

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio. (Perez Medel, 2010)

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.

Tabla 1. Caracterización de diferentes sustratos.

Sustrato	TS (% kg de sustrato)	oTS(% de TS)	C/N	m ³ de biogás por kg de oTS	L de biogás por kg de sustrato
Estiércol de vacuno	7-10	77-85	10-20	0.18-0.4	9.7-34.0
Estiércol de cerdo	5-7	77-78	8-15	0.3-0.52	11.6-28.4
Estiércol de gallina	18-32	75-83	7-10	0.33-0.65	44.6-172.6
Estiércol ovino/cabra	25-35	72	12-25	0.16-0.42	28.8-105.8
Estiércol de caballo	28		18-25	0.2-0.35	
Hojas de remolacha	16	78.5	14-18	0.5-0.73	62.8-91.7
Plantas de papas	25	79	17-25	0.55-0.7	108.6-138.3
Lodos de aguas servidas	65-80	10		0.31-0.65	20.2-52.0
Cascaras de manzanas	2-3	95	6-7	0.45-0.65	8.6-18.5
Cascaras de papas	12-15	90	13-19	0.4-0.7	43.2-94.5
Cascaras de trigo	6-8	87-90	10-11	0.6-0.8	31.3-57.6
Restos de verdura	10-20	76	15	0.5-0.62	38.0-94.2
Restos de frutas	45	93	50	0.5-0.62	209.3-259.5
Restos de comida	9-18	90-95	15-20	0.6-0.81	48.6-138.5
Basuras orgánicas	60-75	30-70	40-80	0.29-0.8	52.2-420.0
Lodos flotantes	5-24	83-98		0.7-1.0	29.1-235.0
Contenido estomacal (cerdos)	12-15	80-84	17-21	0.3-0.45	28.8-56.7
Contenido ruminal (vacunos)	11-19	80-88	17-21	0.4-0.57	35.2-95.3
Sebos	35-70	96		0.8-1.1	268.8-739.2
Oleaginosas y tortas	88	93	50	0.5-0.76	409.2-622.0

Fuente: (Forget, 2011)

Producción de biogás por kg de sustrato, para diversos sustratos. Relación C/N (Forget, 2011)

TS Alemán *Trockensubstanz*: *substancia seca*

oTS Alemán *organische Trockensubstanz: substancia orgánica seca*
C/N Relación carbono/nitrógeno

Metodología.

El presente proyecto se enmarco en investigaciones del tipo: documental, bibliográfico, experimental enfocadas en la aplicación de la información recolectada referente al problema. La presente investigación va a ser con Modalidad de Campo debido a que el investigador va a estar en contacto en forma directa con el objeto de estudio y se va a realizar mediciones para determinar la cantidad actual del objeto de investigación. En la investigación se realizará evaluaciones de tal forma de documentar las características de la biomasa. Como referencia se utilizará tablas, resultados de otras investigaciones con el fin de extraer los datos comparativos tratando de llegar a los valores referenciales. Además de la utilización de un diseño de un biodigestor experimental con el fin de obtener resultados en la generación de gas metano para el aprovechamiento en la granja avícola.

Metodología para el diseño del biodigestor .

El estiércol animal genera un gran potencial energético si se trata mediante la tecnología de fermentación anaeróbica en biodigestores, plantas de biogás, según **Martínez, C. (2003)** “en la actualidad muchos de los biodigestores construidos no son explotados debido a su mala ubicación o mal diseño” (P. 54).

En su investigación menciona **Gil. E, (1982)** “La experiencia ha demostrado, que una de las dificultades que se presenta para la construcción de los biodigestores, es la determinación de sus parámetros constructivos (P.35). Además, expresa **Grundey. K. (1983)** “El cálculo resulta una tarea compleja ya que de ellos depende el correcto funcionamiento y eficiencia del biodigestor” (P. 76)

En el caso particular del cálculo, el problema está dado, en la determinación de los parámetros de altura y diámetro del tanque de fermentación, para obtener el volumen deseado en correspondencia con el volumen de la cúpula, según el objetivo para lo cual se va a diseñar la planta.

Elementos que se compone el biodigestor

Tanque de digestión: Es el que define la denominación del biodigestor. El mismo está compuesto por la cámara de fermentación y la cúpula. En la cámara de fermentación anaeróbica el material a descomponer permanece un determinado tiempo, llamado tiempo de retención, en el cual ocurre la degradación y liberación del biogás. Su geometría es

cilíndrica y su capacidad está dada por el volumen de material a degradar. La función de la cúpula es almacenar el gas en los momentos que no existe consumo, pues la producción de gas es ininterrumpida a lo largo de todo el día. La capacidad de almacenaje de la cúpula depende del volumen de la cámara de fermentación.

Laguna de compensación: En ella se acumula el material ya fermentado (digerido), donde puede recogerse. La capacidad de la laguna está en dependencia del volumen del biodigestor (un tercio del mismo) y puede tener diferentes formas (cuadrada, circular, rectangular) y construirse encima de la cúpula o al lado del tanque de fermentación.

Registro de carga: Puede tener variadas formas y su tamaño depende del diseño del digestor. En el mismo se introduce el material a fermentar, mezclándose con agua en las proporciones adecuadas y homogenizándose.

Conducto de carga: Comunica al registro de carga con el tanque de fermentación.

Principales parámetros para el cálculo de una planta de biogás

- Volumen del digestor: Volumen de la materia orgánica más el agua
- Volumen de la cámara de fermentación
- Volumen de la campana: Valor máximo de almacenamiento de gas
- Volumen de carga: Se refiere al volumen total de materia ya diluido que penetra dentro del digestor por día
- Tiempo de retención: Este parámetro indica la cantidad de tiempo en días que permanece el material dentro del digestor.

Diseño del equipamiento experimental

Construcción de los biodigestores experimentales

Se construyó tres biodigestores, para lo cual se utilizó tachos plásticos cilíndricos con una capacidad de 220 litros, en la parte superior se encuentran acoplados el conducto de salida de ½” que comunica con la cámara de reacción, en el cual se acopló una válvula de ½” para el control de la salida del biogás.

En la parte lateral a la altura de la tercera cuarta parte de los tachos se instaló una salida de 2” comunicada en su interior a 45° hasta el fondo del mismo y una salida al costado inferior de 1” para su drenado.

En la parte superior se instaló un envase plástico para la captación y almacenamiento del biogás, además de la entrada de alimentación de biomasa al biodigestor.

Se comprobó la hermeticidad del biodigestor colocando agua y revisando si hay presencia de fugas en sus acoples asegurando la no presencia de oxígeno en el interior del mismo.

Este diseño se lo tomo de la investigación “Biodigestores a pequeña escala” que prácticamente es un manual de biodigestor ya que cuenta con la experiencia de su construcción y montaje en una escuela rural “José San Martín” de la provincia Santa Fe Colombia.

En la siguiente figura se muestra el ensamblaje del biodigestor con sus elementos y las herramientas utilizadas

Gráfico 1. Construcción del biodigestor.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

En los anexos evidenciamos el plano del diseño experimental del biodigestor para la degradación de la biomasa en ausencia del oxígeno y obtener biogás para el aprovechamiento del mismo.

Descripción metodológica del experimento

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se realizó tres experimentos en biodigestores de las mismas características, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

Biodigestor N°1, 2 y3

- Cantidad de biomasa 80 kg.
- Cantidad de agua 50 litros.
- Tiempo de degradación 40/45 días.

Se procedió a selección de la biomasa, posteriormente se pesó la cantidad requerida de biomasa, para su posterior colocación en el tanque biodigestor., finalmente se colocó el agua para obtener una mezcla uniforme. Se procedió a sellar herméticamente el biodigestor, para semanalmente tomar datos de la cantidad de biogás generado

Descripción del experimento para la producción de biogás

Una vez colocada la biomasa dentro de los reactores, inicia su degradación en ausencia del oxígeno empezando a producir biogás, en el transcurso de 40/45 días existe una acumulación de biogás en el interior de los reactores (cámara de presión), para la captación del mismo se lo hace abriendo la válvula de desfogue la cual se encuentra conectada a una bolsa graduada obteniendo así el biogás para realizar las pruebas.

Gráfico 2. Captación del biogás.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Descripción del experimento para la caracterización de la biomasa y biol

Se recolecto muestras directamente de la fuente para él envío al Laboratorio AQUALAB para su respectivo análisis.

Medición de Ph.

Consta de un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia, y un dispositivo de compensación de temperatura. Un circuito se completa a través del potenciómetro cuando los electrodos se sumergen en la solución de ensayo. Muchos medidores de pH son capaces de leer el pH o milivoltios y algunos tienen expansión de la escala que permite la lectura a 0,001 unidades de pH, pero la mayoría instrumentos no son tan precisos.

Determinación de Conductividad.

El límite de cuantificación para Conductividad eléctrica es de 10,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el límite de cuantificación de sólidos totales disueltos es de 10,00 mg/L. El rango de medición comprende de 9,95-9982 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de C.E, que se aplica para las matrices de aguas naturales, residuales y lixiviados.

El rango de medición para solidos totales disueltos es de 6.63-6655 mg/L de STD, que se puede aplicar para las matrices de aguas naturales, de consumo y aguas industriales negras y grises.

Determinación de metales pesados.

Describe la sistemática para la determinación de elementos metálicos mediante Espectrometría de Absorción Atómica (AAs, siglas en inglés). Así como los procedimientos de preparación, extracción y digestión de los analitos de interés.

El método es simple, rápido y aplicable a gran número de muestras ambientales incluyendo a aguas subterráneas, muestras acuosas, extractos, lixiviados, desechos industriales, suelos, lodos, sedimentos, y descargas similares.

Este procedimiento específico se aplica al equipo: Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer Analyst 300 EFQ/061 a utilizarse en el laboratorio para análisis de aguas subterráneas, muestras acuosas, extractos, lixiviados, desechos industriales, suelos, lodos, sedimentos, y descargas similares.

Todas las muestras requieren una previa digestión, a excepción del análisis de los constituyentes disueltos.

El análisis de elementos disueltos no requiere digestión si las muestras han sido filtradas y acidificadas.

Determinación de sólidos totales.

Es un método aplicable a muestras de aguas naturales, descargas industriales y de consumo. El rango de trabajo comprende desde 100,00-20000,00mg/L.

El agua muy mineralizada con una concentración significativa de calcio, magnesio, cloruros y/o sulfatos pueden ser higroscópicos y requerir un secado prolongado, una desecación apropiada, y peso rápido. Elimínese gran parte de partículas flotantes, o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos, para la muestra si este es determinado si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final.

Dispersar los aceites flotantes visibles y grasa con una agitadora antes de retirar una porción de muestra para el análisis. Porque un residuo excesivo en un plato puede formar una trampa de agua incrustada.

Análisis de fósforo.

Extracción de fosfatos con sodio bicarbonato y determinación colorimétrica, según Olsen.

La determinación colorimétrica de fosfatos en base del complejo azul de molibdeno se aplica también en la determinación de fosfatos en muestras de aguas y para la determinación del fósforo en el análisis foliar de plantas.

Análisis de carbono.

Carbono orgánico total, C_{org} , en suelos se puede determinar

- Fotométricamente después de oxidación de la materia orgánica con potasio dicromato (según Walkley-Black);
- Gravimétricamente en base de la pérdida de peso después de calcinar de la muestra.

La gravimetría se aplica también para la determinación de cenizas en el análisis bromatológico.

La sustancia orgánica se calcula en base del C_{org} asumiendo que la materia orgánica de los suelos contiene 58% de carbono.

En el análisis de plantas y foliares, la incineración y determinación gravimétrica sirve para determinar cenizas.

Determinación de humedad.

Determinación gravimétrica de sustancia seca y contenido de humedad, respectivamente, en muestras sólidas, tales como suelos, sedimentos, plantas, balanceados.

El valor de sustancia seca se necesita en todos los cálculos de resultados de otros parámetros.

Debido a que el contenido de agua en muestras sólidas puede variar considerablemente, todos los resultados se deben relacionar a sustancia seca como base común para poder comparar datos.

Descripción del experimento para la caracterización del biogás.

Una vez transcurrido el tiempo de degradación de la biomasa dentro del digestor y obtenido el biogás de este proceso anaerobio, el biogás se almacena en una bolsa graduada, como en el interior del digestor existe una cámara de presión al abrir la válvula podemos notar la presencia de biogás para esto utilizamos los siguientes equipos:

- Una bolsa graduada 1 a 1000ml para almacenamiento y cuantificación de biogás producido.
- Un acople de cocina a gas para la prueba calórica del biogás.
- Fósforos para la prueba de encender el biogás.
- Tanque hermético para la transferencia de biogás.
- Compresor para la captación y transferencia del biogás.

Descripción de la transferencia del biogás al tanque de almacenamiento.

Para la transferencia del biogás obtenido de los biodigestores experimentales a un tanque hermético utilizamos el compresor de un equipo de refrigeración, el mismo que es conectando a la salida del biodigestor y al tanque hermético, producimos un vacío con el mismo compresor al tanque de almacenamiento, luego traspasamos el biogás del biodigestor

al tanque además se acopla una manguera y el dispositivo de cocina para realizar la prueba de combustión

Fuente: Hidalgo W. (2017).



Gráfico 3. Traspaso del biogás.

Descripción del proceso de combustión.

Para la prueba de combustión del biogás luego de la transferencia del biogás al tanque de almacenamiento obteniendo la suficiente presión (1,5 psi aproximadamente) en el interior del mismo y acoplado el sistema de combustión se realiza la prueba de combustión, acoplando una hornilla en un recipiente con un litro de agua se procede a tomar el tiempo hasta que el agua ebullicione, obteniendo en un tiempo de 16 minutos la ebullición del litro de agua.

Gráfico 4. Prueba de combustión.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Poder calórico.

Poder calorífico es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa, es decir cuando el carbono pase a anhídrido carbónico

UNIDADES (kcal/ /kg); (kcal /m³); (BTU/ /m³); (BTU/lb); (BTU/pie³)

El poder calorífico de un combustible puede ser:

- Poder Calorífico Superior (PCS)
- Poder Calorífico Inferior (PCI)

Poder calorífico superior .

El poder calorífico superior se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0°C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0°C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado.

Vapor de agua que proviene de:

- la humedad propia del combustible
- el agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible.

De esta manera al condensar el vapor de agua contenido en los gases de combustión tendremos un aporte de calor de: 597 kcal / kg vapor de agua condensado.

Poder calorífico inferior .

El poder calorífico inferior considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa.

Por lo tanto, no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua.

Solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible, al cual por definición se denomina: Poder Calorífico Inferior del Combustible

Aplicación del biogás en la granja avícola .

Una vez obtenido el biogás del aprovechamiento de la degradación de la biomasa se utilizará en la calefacción del interior de la granja avícola, el biogás será transmitido por una manguera plástica a un calentador a combustión.

Resultados y Discusión:

Caracterización de la biomasa y biol

Los resultados, métodos y parámetros de la caracterización de la biomasa y del biol obtenidos del laboratorio son los siguientes:

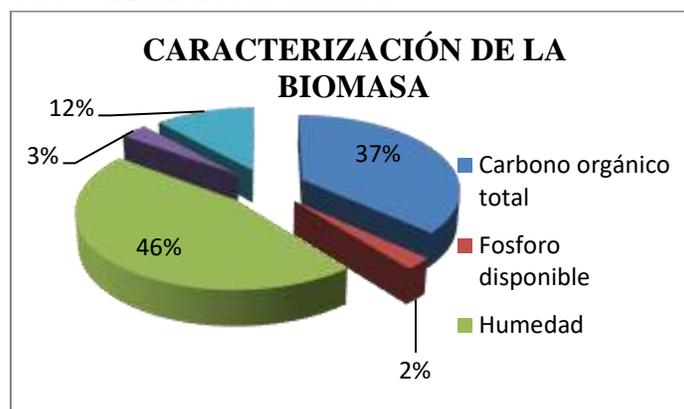
Tabla 2. Parámetros, métodos y resultados Biomasa.

Parámetros	Método de ensayo	Referencia	Unidad	S 0515	Incertidumbre (K=2)
Carbono orgánico total	ITE-AQLAB-54	EPA 9060	%	36.35	~
Potasio	ITE-AQLAB-04/44	SM 3030 B,3131 B	Mg/Kg	39180	~
Conductividad eléctrica	ITE-AQLAB-53	EPA 9050 ^a	uS/cm	11660	~

Fosforo disponible	ITE-AQLAB-51	Booker Tropical Soil Manual	%	2.49	~
Humedad	ITE-AQLAB-57	ASTM D3976-92	%	45.32	~
Nitrógeno Total	ITE-AQLAB-59	KJELDAHL, EPA351.2	%	3.13	~
Potencial de Hidrogeno	ITE-AQLAB-52	EPA9045 D	-	8.07	~
Relación C/N	ITE-AQLAB-54	EPA 9060	%	11.60	~

Fuente: Laboratorio AQLAB

Gráfico 5. Caracterización de la biomasa.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Como se demuestra en la tabla y figura anterior se expresa el resultado analizado en el laboratorio de la biomasa, su composición química de la gallinaza que en nuestro caso es la biomasa generada en la granja avícola deduciendo un parámetro fundamental que a diferencia de otras biomosas orgánicas esta presenta un valor de humedad del 45,32%, el cual para su degradación no necesita mayor cantidad de agua.

Tabla 3. Parámetros, métodos y resultados Biol.

Parámetros	Método de ensayo	Referencia	Unidad	S 0515	Incertidumbre (K=2)
Calcio	ITE-AQLAB-35	SM 3030 B, 3111 B	mg/L	1218.5	~
Conductividad eléctrica	ITE-AQLAB-02	SM 2510 B	uS/cm	48200	~
Cobre	ITE-AQLAB-36	SM 3030 B, 3111B	mg/L	<0.20	~
Fosforo	ITE-AQLAB-51	HACH 8048	mg/L	23.22	~
Hierro	ITE-AQLAB-39	SM 3030 B, 3111B	mg/L	10.0	~
Manganeso	ITE-AQLAB-41	SM 3030 B, 3111B	mg/L	3.73	~
Nitrógeno amoniacal	ITE-AQLAB-12	HACH 8038	mg/L	6325.0	~
Potasio	ITE-AQLAB-44	SM 3030 B, 3111B	mg/L	4813.5	~
Potencial Hidrogeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H B	~	8.27	+ - 0,05
Sodio	ITE-AQLAB-47	SM 3030 B, 3111B	mg/L	958	~
Solidos Totales	ITE-AQLAB-03	SM 2540 B	mg/L	51296.31	~
Zinc	ITE-AQLAB-49	SM 3030 B, 3111B	mg/L	6.88	~

Fuente: Laboratorio AQULAB

Como se expresa en la tabla es el resultado del análisis del laboratorio del biol presenta un gran poder nutritivo para ser utilizado como fertilizante natural que proveerá de nutrientes ricos en la aplicación a cultivos.

Resultados de producción de biogás

Para la producción de biogás partimos del volumen de materia orgánica que produce la granja avícola es 40m³ cada mes y medio que realizan su evacuación, la cantidad de desecho orgánico diario es 0,89 m³ /días de un total de 6000 aves y cada una produce 0,15 kg/día.

Para determinar la cantidad de biogás generado en el biodigestor experimental partimos de la colocación de 80kg de biomasa, con el transcurso de tiempo de degradación obtuvimos los siguientes resultados:

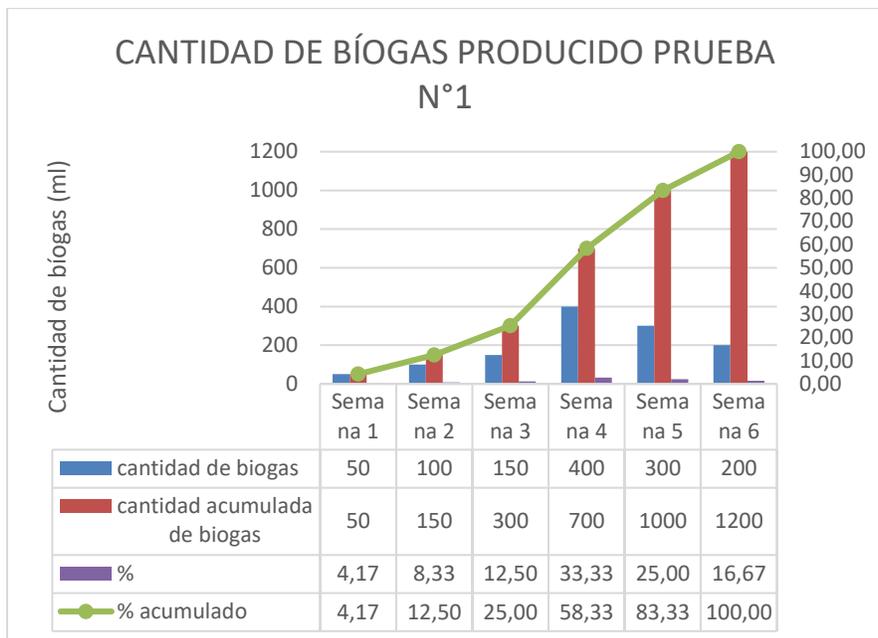
Resultados experimento N° 1

Tabla 4. Cantidad de Biogás obtenido experimento N°1.

TIEMPO DE DEGRADACIÓN	CANTIDAD DE BIOGÁS (ml)	CANTIDAD ACUMULADA DE BIOGÁS (ml)	% ACUMULADO	% SEMANAL
Semana 1	50	50	4,17	4,17
Semana 2	100	150	12,5	8,33
Semana 3	150	300	25	12,5
Semana 4	400	700	58,33	33,33
Semana 5	300	1000	83,33	25
Semana 6	200	1200	100	16,67

Fuente: Hidalgo W. (2017)

Gráfico 6. Cantidad de biomasa prueba N° 1



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Como expresa el cuadro y figura anterior en la semana cuarta y quinta tenemos un aumento mayor de biogás de 300 ml en los 30 / 40 días de degradación con un valor de 33.33% y 25%.

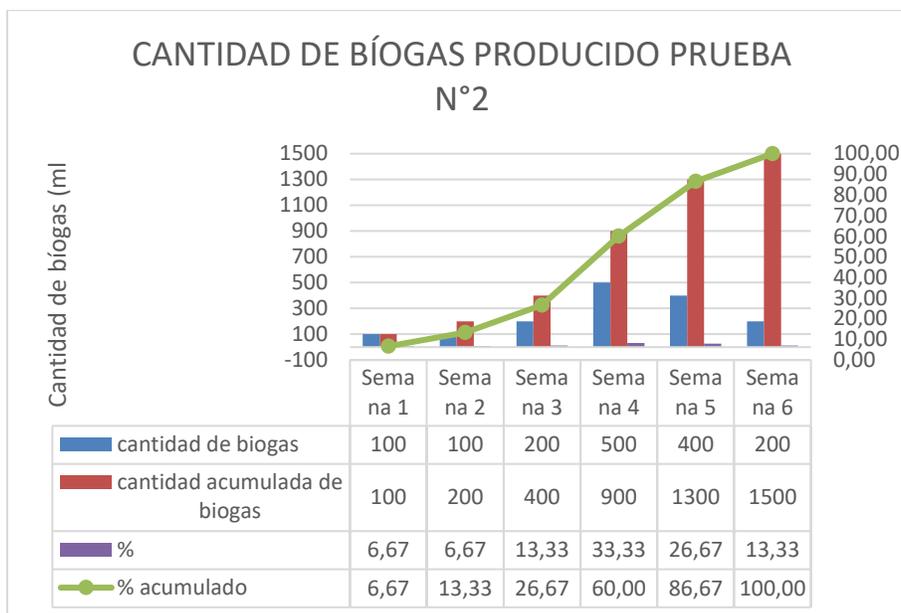
Resultado experimento N°2

Tabla 5. Cantidad de Biogás obtenido en el experimento N°2.

TIEMPO DE DEGRADACIÓN	CANTIDAD DE BIOGÁS (ml)	CANTIDAD ACUMULADA DE BIOGÁS (ml)	% ACUMULADO	% SEMANAL
Semana 1	100	100	6,67	6,67
Semana 2	100	200	13,33	6,67
Semana 3	200	400	26,67	13,33
Semana 4	500	900	60,00	33,33
Semana 5	400	1300	86,67	26,67
Semana 6	200	1500	100,00	13,33

Fuente: Hidalgo W. (2017)

Gráfico 7. Cantidad de biomasa prueba N° 2



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Como expresa el cuadro y figura anterior en la semana cuarta y quinta tenemos un aumento mayor de biogás de 500 ml en los 30 / 40 días de degradación con un valor de 60% y 86,67%.

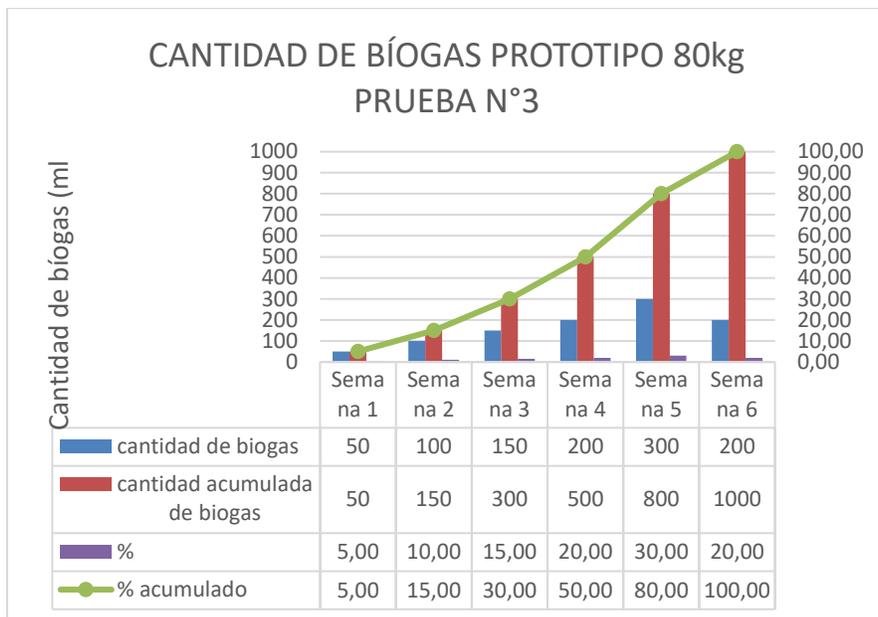
Resultados experimento N°3

Tabla 6. Cantidad de Biogás obtenido en el experimento N° 3.

TIEMPO DE DEGRADACIÓN	CANTIDAD DE BIOGÁS (ml)	CANTIDAD ACUMULADA DE BIOGÁS (ml)	% ACUMULADO	% SEMANAL
Semana 1	50	50	5,00	5,00
Semana 2	100	150	15,00	10,00
Semana 3	150	300	30,00	15,00
Semana 4	200	500	50,00	20,00
Semana 5	300	800	80,00	30,00
Semana 6	200	1000	100,00	20,00

Fuente: Hidalgo W. (2017)

Gráfico 8. Cantidad de biomasa prueba N° 3



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Como expresa el cuadro y figura anterior en la semana cuarta y quinta tenemos un aumento mayor de biogás de 200 y 300 ml en los 30 / 40 días de degradación con un valor de 50% y 80%.

Tabla 7. Cantidad de Biogás generado por experimento.

BIOGÁS GENERADO POR EXPERIMENTO			
Experimentos	Cantidad de biogás	Cantidad acumulada	Media
Experimento N°1	1200	1200	
Experimento N°2	1500	2700	12333
Experimento N°3	1000	3700	

Fuente:

Hidalgo W. (2017)

Gráfico 9. Cantidad de biogás por experimento.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

De acuerdo a los tres experimentos realizados podemos deducir que en el segundo experimento se obtiene la mayor cantidad de biogás, pese a utilizar la misma cantidad de biomasa en las mismas condiciones ambientales existe variaciones en la cantidad de biogás generado, siendo importante para el cálculo de la propuesta tomar la media de los tres experimentos.

Para el aprovechamiento continuo de biogás se propone un sistema de dos biodigestores con el cual, el primero se aprovechará el biogás a partir de los 40 días, continuo a este aprovechamiento se llenará el segundo biodigestor con la biomasa generada en el mencionado tiempo, iniciará su degradación por los 40 días y luego se aprovechará el biogás del segundo biodigestor.

Una vez aprovechado el biogás generado en el primer biodigestor e iniciado el aprovechamiento del biogás del segundo biodigestor, se obtiene el biol y se procede a cargar nuevamente el primer biodigestor con la biomasa generada en la granja para que inicie su degradación.

Caracterización del biogás.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la siguiente tabla.

Los resultados de la caracterización del biogás producido en el biodigestor son:

Tabla 8. Composición del Biogás obtenido.

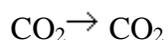
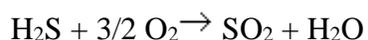
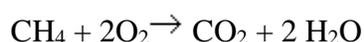
Parámetros	Método de ensayo	Referencia	Unidad	S 0515	Incertidumbre (K=2)
Composición	ITE-AQLAB-35	SM 3030 B, 3111 B	CH ₄	59.34	~
Contenido energético	ITE-AQLAB-02	SM 2510 B	CO ₂	30.95	~
Equivalente de combustible	ITE-AQLAB-36	SM 3030 B, 3111B	kWhm ³	6.0	~
Límite de explosión	ITE-AQLAB-51	HACH 8048	L petróleo/m ³	0.60	~
Temperatura de ignición	ITE-AQLAB-39	SM 3030 B, 3111B	%	7	~
Presión crítica	ITE-AQLAB-41	SM 3030 B, 3111B	°C	670	~
Temperatura crítica	ITE-AQLAB-12	HACH 8038	atm	76	~
Densidad normal	ITE-AQLAB-44	SM 3030 B, 3111B	°C	-82.5	~
Potencial Hidrogeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H B	Kg m ³	1.2	~
olor	ITE-AQLAB-47	SM 3030 B, 3111B	~	~	~
Masa molar	ITE-AQLAB-03	SM 2540 B	Kg kmol ⁻¹	16.043	~

Fuente: Laboratorio AQULAB

El metano, es el compuesto del carbono más simple, cuya composición se basa en un carbono y cuatro hidrógenos, con fórmula CH₄. Se trata de un gas inodoro y sin color, y además es muy poco soluble en agua. Cada uno de los átomos de hidrógeno se encuentra unidos a carbonos por medio de un enlace de tipo covalente. Es un compuesto no polar, el cual se presenta en forma de gas, a una temperatura y presión normales. Hay enormes cantidades de este gas, conocido comúnmente como gas natural.

Resultados de aplicación del biogás .

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos descomponiéndose principalmente en CO₂ y H₂O. La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las siguientes ecuaciones químicas:



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

La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior).

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta, 43 cm/seg y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores.

Con la aplicación del biogás obtenido en el biodigestor a partir de la biomasa generada en la granja avícola su principal aplicación la vamos a realizar en el uso de calefacción combustionando el biogás con un calentador a gas, así obtendremos un calentamiento ambiental en el interior del galpón.

Tabla 9. Poder calorífico del metano.

PODER CALORÍFICO DEL GAS METANO						
PODER CALORÍFICO						
SUSTANCIA	FORMULA	MASA	SUPERIOR kcal/kg	INFERIOR Kcal/kg	SUPERIOR kW.h/kg	INFERIOR kW.h/kg
METANO	CH ₄	16,04	13,249	11,94	15,4	13,88

Fuente: (Fernandez, 2010)

La composición química del biogás depende primordialmente de dos factores: los materiales empleados en la digestión y la tecnología utilizada para el proceso.

Entre sus características el biogás posee un poder calorífico entre 14 y 15 kWh/kg, su equivalente en combustible es de 0,6 - 0,65 L de petróleo por metro cúbico de biogás.

Resultados de la combustión para calentamiento de agua

Los resultados obtenidos en la prueba en la ebullición del agua por la diferencia del peso del tanque y su volumen obtenemos los siguientes resultados

Tabla 10. Datos de ebullición del agua.

DATOS DE EBULLICIÓN DEL AGUA			
Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
0 min	20 °C	9 min	77 °C
1 min	24 °C	10 min	79 °C
2 min	31 °C	11 min	81 °C
3 min	41 °C	12 min	87 °C
4 min	48 °C	13 min	94 °C
5 min	53 °C	14 min	98 °C
6 min	59 °C	15 min	100 °C
7 min	64 °C	16 min	100 °C
8 min	71 °C		

Fuente: Hidalgo W. (2017)

Gráfico 10. Tiempo de ebullición del agua.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Para obtener la cantidad de biogás utilizado en el calentamiento de un litro de agua se procedió a pesar el tanque de almacenamiento de biogás al inicio y al final de la prueba obteniendo los siguientes valores:

Tabla 11. Cantidad de biogás utilizado en la prueba de ebullición del agua.

	PESO DEL TANQUE	VOLUMEN DEL TANQUE
Peso inicial del tanque	4,8 kg	0,25 m ³
Peso final del tanque	4,4 kg	0,23 m ³
Diferencia	0,4 kg	0,02 m ³

Fuente: Hidalgo W. (2017)

Como se expresa en el cuadro anterior por la diferencia de volúmenes para ebullicionar un litro de agua se utilizó 0,02 m³ de biogás.

Cantidad de biogás resultante de toda la biomasa generada en la avícola

Con los resultados del experimento para obtener biogás, se partió con una cantidad de 80kg de biomasa en el diseño experimental, obteniendo 1200ml de biogás en un promedio de 42 días de degradación en el biodigestor.

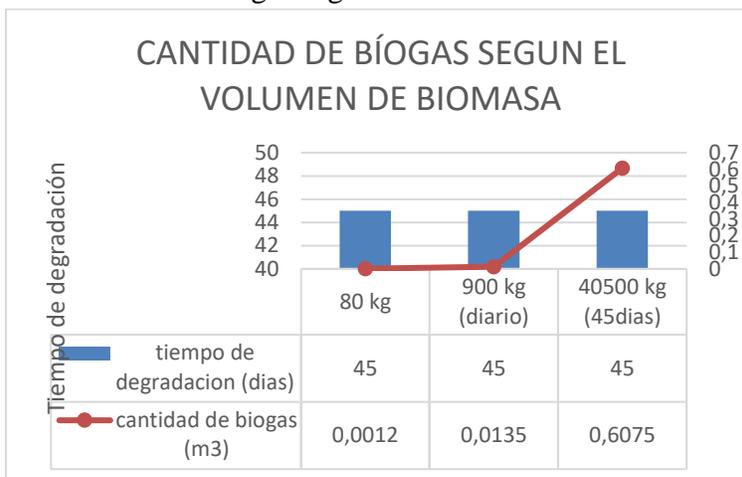
La cantidad total de generación de biomasa en la avícola es de 900 kg/día en donde es recolectado cada mes y medio (45 días) dándonos un total de 40500 kg de biomasa, en la siguiente tabla se interpreta la cantidad de biogás que se obtendrá con el volumen total de generación de biomasa.

Tabla 12. Cantidad de biogás con el volumen total de biomasa.

CANTIDAD DE BIOMASA	TIEMPO DE DEGRADACION (días)	CANTIDAD DE BIOGAS (m ³)	CANTIDAD DE BIOGAS (ml)
80 kg	45	0,0012	1200
900 kg (diario)	45	0,0135	13500
40500 kg (45 días)	45	0,6075	607500

Fuente: Hidalgo W. (2017)

Gráfico 11. Cantidad de biogás según el volumen de la biomasa.



Fuente: Hidalgo W. (2017)

Como se expresa en la tabla y figura anterior se deduce que en el diseño experimental con 80kg de biomasa en un tiempo de 40 /45 días obtenemos 0,0012 m³ de biogás, con el respectivo análisis deducimos que con 900 kg de biomasa generada diariamente en la granja avícola obtendremos 0,0135 m³ de biogás y con 40500 kg de biomasa que se obtiene en 45 días nos da como resultado 0,6075 m³ de biogás todos estos valores son con 45 días de degradación dentro de un biodigestor.

Conclusiones

- La biomasa de los desechos orgánicos obtenidos de la granja avícola “Cynthia Elizabeth” constituyen una fuente viable para la producción de biogás tomando en consideración que, por su fácil biodegradabilidad y características, favorecen notablemente el proceso de digestión anaerobia.
- Se define que la biomasa de la granja “Cynthia Elizabeth en las proporciones adecuadas logradas en el diseño experimental se obtiene una producción de gas metano viable para el aprovechamiento y utilización de su potencial energético.
- Con el diseño experimental implementado se logró verificar el potencial energético de la biomasa según su volumen y la cantidad de biogás producido en la degradación

de la misma, obteniendo con los cálculos respectivos un volumen de 40m³ de biomasa se logró determinar la cantidad de producción en 0,61 m³ de biogás para ser aprovechado su potencial energético, en base a este valor se pudo plantear una propuesta sostenible que pueden ser aplicadas para darle un uso a este importante recurso que no está siendo aprovechado.

- Las experiencias realizadas a nivel experimental bajo condiciones controladas, permitieron conocer el potencial máximo de producción de biogás permitiendo determinar los parámetros y condiciones de operación para la obtención de datos que permitan realizar el diseño de un biodigestor y aprovechar el potencial energético de los residuos orgánicos en la granja “Cynthia Elizabeth”.

Agradecimiento

A la Granja avícola Cynthia Elizabeth por el financiamiento del proyecto de investigación “Evaluación del potencial energético de la biomasa, para el aprovechamiento de la generación de gas metano (CH₄),” del que es parte esta investigación.

Referencias bibliográficas.

Fernandez, J. (2010). *MÁQUINAS TÉRMICAS*. . Cuba.

Forget, A. (2011). *Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares* . Lima Peru.

Gil, E. (2007). *Energía y biofertilizantes, Manual de producción y utilización*. Buenos Aires, Argentina.

Grundey, K. (2003). *Tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos*. Madrid, España: Editorial GEA.

Hiler , E., & Stout, B. (1985). *Biomass Energy. A Monograph*. Texas: Texas A&M University Press.College Station.

Minenergia / Pnud / Fao /Gef. (2011). *Manual De Biogás*. Santiago de Chile: CHI/00/G32 ISBN 978-95-306892-0.

Perez Medel, J. A. (2010). *Estudio Y Diseño De Un Biodigestor Para Aplicacion En Pequeños Ganaderos Y Lecheros Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Mecánica*. Santiago de Chile.

Varnero, M. T., & Arellano, J. (1990). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago de Chile.



Para citar el artículo indexado.

Hidalgo W., Vásquez P. & Jácome D. (2018). Evaluación del potencial energético de la biomasa, para el aprovechamiento de la generación de gas metano (ch₄). *Revista electrónica Ciencia Digital* 2(2), 473-496. Recuperado desde: <http://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/114/105>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

