

EVALUACION DE LA PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE POLLINAZA

Amado González, Eliseo, Prada Luna, Sonia.

Grupo de investigación, transformación química y medio ambiente. Instituto de Biocombustibles, Energías Alternativas y Renovables (IBEAR). Convenio No 193, Distraves S.A. Universidad de Pamplona

Resumen: Una serie de diseños experimentales en condiciones mesofílicas fueron realizados en biodigestores con agitación, alimentados con diferentes mezclas de pollinaza y gallinaza diluidos preparados a partir de sustratos producidos por DISTRIVES. Se desarrollaron cinco diseños experimentales donde se evaluó: 1. El tiempo necesario para producir 250 ml de biogás; 2. El porcentaje de inóculo para producir el biogás; 3. La producción de biogás en 12 horas con un inóculo al 10%; 4. El volumen de biogás producido en 192 horas y el efecto de la mezcla 90/10 pollinaza – gallinaza; 5. La significancia del tamaño de grano del sustrato en la producción de biogás. Se realizó una caracterización fisicoquímica de la pollinaza y gallinaza. Se evaluó la producción de biogás bajo distintas condiciones. Los inóculos se prepararon partiendo de aguas residuales de la PTAR. Se evaluaron los parámetros DBO, DQO y microbiológicos para entrada y salida de descarga.

Palabras claves: Pollinaza, biogás, industria avícola.

1. INTRODUCCION

En el ámbito nacional, la avicultura es una de las ramas de la producción animal de mayor importancia porque contribuye a satisfacer las necesidades proteicas de la población. Durante los últimos 20 años, ha aumentado continuamente el consumo de carne de pollo, lo que equivale al incremento de la producción anual de estas aves; inevitablemente al aumentar la producción avícola, es mayor la cantidad de excretas convirtiéndose estas en un foco importante de contaminación cruzada (FENAVI, 2004).

En las granjas de engorde de pollos de la empresa DISTRIVES se generan grandes volúmenes mensuales de pollinaza; los cuales tienen un impacto negativo asociado al manejo y almacenamiento de estos residuos y a la contaminación ambiental que generan. En la presente investigación se pretende dar una solución a las grandes acumulaciones de pollinaza que por su bajo contenido orgánico no se comercializa como abono.

Dado que DISTRIVES compra gas natural para generar la calefacción en los procesos de crecimiento y supervivencia de los pollos de engorde, con altos costos para la empresa, se plantea la posibilidad de evaluar la producción de biogás a partir de POLLINAZA, lo que permitirá la reducción de olores producidos por la acumulación de este residuo, disminución del riesgo de contaminación de suelos y aguas por virus, bacterias, ácaros y sustancias tóxicas persistentes. A su vez este sistema permitiría cumplir con las normas ambientales vigentes sobre el manejo de este tipo de residuos sólidos.

El biogás es una fuente renovable limpia de energía muy apropiada en el sector rural como sustituto del diesel o del kerosene. A pesar, de los problemas que presenta su producción, como son: entre 30 a 50 días de retención hidráulica y la disminución de la producción por efecto de bajas temperaturas (Yadvika, et.al., 2004), el biogás se postula como una fuente interesante de energía en procesos industriales.

Se ha comprobado a través de diversos estudios que la gallinaza es una materia prima apta para la producción de biogás por lo cual se utilizó como punto de comparación para la ejecución de este proyecto (Converse et al., 1980 ; Morrison et al., 1980 ; Neelakantan y Singh, 1992).

En la presente investigación se evaluó el uso de muestras procedentes de las lagunas de oxidación No 2 de la planta de DISTRIVES como activador de los procesos de metanogénesis en distintos tipos de mezclas de materia orgánica. Se evaluaron los parámetros de producción de biogás, demanda de oxígeno químico (DOQ) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a la entrada y salida del proceso.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción de biogás a partir de pollinaza de acuerdo a los parámetros de la planta de beneficio de Distraves. Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron elaborar un proyecto para el diseño y evaluación técnica de una planta piloto para la generación de biogás a partir de los residuos procedentes de las granjas de engorde de la industria avícola.

2. MARCO TEORICO

El BIOGAS es un producto combustible que se obtiene como resultado de la fermentación anaeróbica de sustratos orgánicos biodegradables, y su composición varía de acuerdo con el origen. (Bujoczek, et.al., 2000):

- Metano (CH_4): 40-70 % vol.
- Dióxido de carbono (CO_2): 30-60 % vol.
- Hidrogeno (H_2): 0-1 % vol.
- Sulfuro de hidrogeno (H_2S): 0-3 % vol.

El BIOGAS es más liviano que el aire y tiene una temperatura de combustión de aproximadamente 700 °C y la temperatura de la llama alcanza 870 °C. El poder calorífico es de 1290 kJ/m³ (Cofré, 2001). La producción de BIOGAS depende del tiempo de retención (RT). Las plantas de producción de biogás, además de producir energía disminuyen la contaminación y pueden actuar como un banco de nutrientes. En la actualidad, sólo se quema el metano dentro del programa de “Certificaciones de Reducciones de Emisiones de Carbono” como resultado del Protocolo de Kyoto. El rendimiento de biogás obtenido es ampliamente afectado debido a las bajas temperaturas en climas fríos, donde parte del gas producido deberá utilizarse para mantener la temperatura en el digestor (Hashimoto, A., 1984).

El biogás se produce por descomposición de materia orgánica en un proceso de tres etapas: hidrólisis, Fermentativa, y metanogénesis, punto final del proceso, donde actúan las bacterias metanogénicas, degradando estos ácidos y alcoholes, para producir metano (CH_4), CO_2 , y trazas de H_2O , NH_3 y biomasa (Angelidaki, 1997).

La hidrólisis depende de variables como pH, temperatura, concentración de biomasa hidrolítica, tipo de materia orgánica y tamaño de partícula. En general la tasa de hidrólisis aumenta con la temperatura independiente del sustrato utilizado, y disminuye cuando existe en la composición del sustrato una alta cantidad de lignina. Compuesto que es altamente refractario a la degradación anaerobia, afectando la biodegradabilidad del sustrato (Veeken *et al.*, 2002).

En la etapa **Acidogénica o Fermentativa**, las moléculas orgánicas solubles son fermentadas, formando compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas. Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y CO_2 por un grupo de bacterias que aportan aproximadamente el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de la digestión anaerobia es ser donantes de hidrógeno, CO_2 y acetato para las bacterias metanogénicas (Bonmanti *et al.*, 2001). La fermentación se puede representar con los modelos cinéticos de Monod y Contois para el caso de un sustrato poco hidrolizado como la pollinaza (Barthakur, et.al., 1991).

La **metanogénesis** es el punto final del proceso, donde actúan las bacterias metanogénicas, degradando estos ácidos y alcoholes, obteniéndose como productos finales del proceso metabólico, gas metano (CH_4), CO_2 , y trazas de H_2O , NH_3 y biomasa. Según Bouallagui et.al., (2004), esta etapa constituye el paso limitante del proceso de degradación anaerobia.

METODOLOGIA:

2.1. MATERIA PRIMA

La pollinaza es el material que se forma al mezclar las deyecciones, se utiliza como cama (cáscara de arroz, viruta de madera, cascarilla de café, bagazo de caña, heno molido y otros). La pollinaza, en función del material original de la cama, de la densidad de las aves utilizadas, así como de la duración y número de la crianzas en que se utilizan, además de la altura inicial de la cama y de la dieta suministrada, pueden contener entre 11 y 30 % de proteína bruta (PB), fibra con digestibilidad (esta varía según el tipo de material utilizado como cama), calcio (Ca), fósforo (P), vitaminas y otros minerales. Los análisis bacteriológicos de la pollinaza se realizaron en el laboratorio de control de calidad de Distraves.

La gallinaza se forma en las camas avícolas de gallinas ponedoras de aproximadamente un año. Aunque la gallinaza es utilizada como fertilizante de alta efectividad, también se ha encontrado que presenta problemas de eutroficación de los suelos y contaminación de las aguas freáticas (Gungor-Demirci, Demirer, 2004).

Las muestras suministradas por Distraves de pollinaza y gallinaza fueron almacenadas a 4 °C. Las muestras fueron previamente sometidas a un proceso de sanitización estandarizado por la empresa. El contenido de N fue determinado por el método de Kjeldahl. El P total y S se determinaron por combustión sobre muestras secadas a 70 °C (Fujiwara, S., Narasaki, 1968; Callan, T., 1941). Se utilizó una bomba calorimétrica Parr 6200. Los análisis calorimétricos se realizaron en una bomba calorimétrica Parr 6200. Calcio se determinó por peso como $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Harris, D, 1992). Mg, K y Na se determinaron por absorción atómica (Gorsuch, T., 1970).

Métodos estandarizados para el análisis de aguas fueron utilizados por la determinación del DBO y DBQ (APHA, 1992).

2.2. AGUAS RESIDUALES AVICOLAS

DISTRAVES produce aguas residuales como resultado de las operaciones de sacrificio y lavado de las aves. Esta corriente contiene plumas, sangre, heces y materia orgánica e inorgánica. En los momentos en que se produce el sacrificio, la descarga alcanza un volumen aproximado de 25 L /min y se descargan en las lagunas de oxidación. El componente orgánico del agua residual conduce a la aparición y crecimiento de microorganismos, que utilizan los desechos orgánicos como fuente de alimentación. Como inóculo se utilizó agua residual proveniente de la laguna de oxidación N°2; para el blanco o control se utilizó agua potable. Se evaluaron inóculos preparados al 10% y 20%. El volumen total preparado fue de 10 L para cada diseño experimental, el volumen del inóculo de 2800 mL. En el diseño experimental No. 5, se realizó un pretratamiento mecánico a las muestras de pollinaza y gallinaza que consistió en moler las muestras, tamizarlas hasta un tamaño de grano de 4.75 mm y luego se pesaron.

2.3. PREPARACION DE LA MEZCLA SUSTRATO-INOCULO EN EL BIODIGESTOR.

Para cada biodigestor se realizó una mezcla sustrato-inoculo como se indica la Figura 1.



Figura 1. Preparación de la mezcla sustrato-inoculo

En los resultados de cada experimento se especifican las cantidades de sustrato e inóculo adicionadas a cada biodigestor.

El pH se midió directamente de cada biodigestor después de realizar la mezcla sustrato – inóculo y al obtener el lixiviado. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) se midieron en el contenido inicial y final de los biodigestores utilizados en el diseño experimental No. 5. Los experimentos se realizaron por triplicado. Se utilizó un termostato de agua de 121.5 L. de capacidad, el cual se aisló térmicamente conectado a un termostato VWR Scientific Products (ver Figura 2).

La temperatura interna de los biodigestores se estableció a $43\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se realizó un control de temperatura durante el tiempo de cada experimento; cada biodigestor se conectó mediante una manguera a la columna de agua del gasómetro (Kaparaju, P., Angelidaki, 2008). Después de inocular la mezcla sustrato-inóculo en cada biodigestor la tapa se selló completamente para crear anaerobiosis y evitar fugas. En el centro de cada tapa se abrió un orificio en el cual se introdujo una manguera plástica como sistema de salida del gas producido.



Figura 2. Montaje utilizado para la medición de producción de biogas

Al terminar el proceso de producción de biogas, se desmontaron los biodigestores, se registraron los datos necesarios para hacer el balance de materia del proceso; Igualmente se tomaron muestras para realizar análisis de pH, DBO y DQO para evaluar la efectividad de la fermentación de acuerdo a la metodología propuesta por McCabe, et.al., 1994. Los datos se analizan estadísticamente por ANOVA utilizando SPSS. Se utilizó la prueba Fisher con nivel de significancia del 5%.

3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan las características fisicoquímicas comparativas de la pollinaza y la gallinaza, donde se observan notables diferencias en calcio, fósforo, CIC y pH. En la Tabla 2 se compara los resultados de análisis microbiológico de la pollinaza antes y después del proceso de metanogénesis donde se observa un efecto importante de la metanogénesis en los primeros seis factores analizados.

Tabla 1. Comparación de las características fisicoquímicas de la pollinaza y la gallinaza.

| PARAMETRO | GALLINAZA | POLLINAZA |
|-------------|-----------|-----------|
| pH | 7.29 | 7.9 |
| CIC | 1.78 | 2.19 |
| N, Total | 5.46 % | 4.57 % |
| N, orgánico | 5.38% | 4.21 % |
| FOSFORO | 4.31 % | 0.37% |
| CALCIO | 11.01% | 0.50% |
| MAGNESIO | 0.17% | 1.57% |
| POTASIO | 3.21% | 1.31 % |
| S | 1.38 % | 1.20 % |

Los resultados obtenidos en la Tabla 1 muestran que las concentraciones de los elementos analizados se encuentran dentro de los rangos esperados (Reeves, 2001)

Tabla 2. Análisis bacteriológico de la pollinaza (base seca).

| MICROORGANISMOS | METANOGENESIS | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| | Antes | Después |
| Aerobios Mesófilos, Colon / g | $1,6 \times 10^9$ | $3,2 \times 10^6$ |
| Mohos, Colon / g | 6,000 | 200 |
| Levaduras (Mycosel), Colon / g | 15,400 | 8,000 |
| Índice Coliformes, Colif / g | 24,000 | 110 |
| Actinomyces | + | - |
| Streptococcus | + | - |
| Hongos | + | + |
| Cándida | + | + |
| Levaduras | + | + |
| Staphylococcus | + | + |
| Coliformes | + | + |
| Bacillus | + | + |
| Pseudomonas | + | + |
| (*) + = Presencia; - = Ausencia | | |

En la Tabla 3 se presenta la hoja de cálculo propuesta a DISTRATES para el cálculo de biogás y condiciones mínimas de económicas de producción con base a Chen, 1983. Sin embargo, la eficiencia en la producción de biogas depende de las condiciones de operación del bioreactor, es decir, anaeróbicas, volumen de dilución de la muestra con relación al caldo microbiano, volumen del reactor, agitación, temperatura interna, salida de gases, etc. (Levenspiel, 2006).

Tabla 3. Hoja de cálculo para la viabilidad económica del proyecto de producción biogás.

| | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|--|
| FUENTE | <input type="text"/> | | | |
| TIPO DE SUSTRATO | #N/A | | | |
| NUMERO | 1 | | | |
| PESO | #N/A | kg | | |
| PESO TOTAL | #N/A | kg | | |
| | | | | |
| PRODUCIDO | | | | |
| Total | #N/A | kg per 1000 kg L/W per day | | |
| ST | #N/A | kg per 1000 kg L/W per day | | |
| SOLIDOS VOLATILES (sv) | #N/A | kg per 1000 kg L/W per day | | |
| | | | | |
| SALIDA | | | norma | |
| TOTAL DESPERDICIO | #N/A | kg (/dia) | 2540 E | |
| TOTAL SOLIDOS | #N/A | kg (/dia) | 2540 E | |
| SOLIDOS VOLATILES | #N/A | kg (/dia) | 2540 E | |
| N (Kjeldahl Nitrogeno) | #N/A | kg (/dia) | 4500 N-B | |
| P (Total P) | #N/A | kg (/dia) | | |
| K (Potasio) | #N/A | kg (/dia) | 3500 K-B | |
| | | | | |
| Gas | | | | |
| Eficiencia en la conversión | 26 | % sv destruido | | |
| CH4/kg sv | 0,50 | m ³ / kg sv destruidos | | |
| CH4 | #N/A | m ³ / /dia | | |
| % CH4 | 70,00 | | | |
| CO ₂ | #N/A | m ³ /día | | |
| Biogas | #N/A | m ³ /dia | | |
| energía métrica (metano) | 39,00 | kJ/m ³ | | |
| TOTAL Energia | #N/A | kJ /día | | |
| TOTAL Power | #N/A | kW | | |
| Electricidad | #N/A | kW(% eficiencia =) | | |
| Precio electricidad | n,00 | c/kWhr | | |
| Valor anual | #N/A | \$ /año | | |
| | | | | |
| BIODIGESTOR | | | | |
| Rata dilución | #N/A | | | |
| Efluente Volumen | #N/A | m ³ /día | | |
| factor de seguridad | 4 | recomendado | | |
| tiempo de retención | 106,4 | días | | |
| | | | | |
| volumen biodigestor | #N 15 | m ³ | | |
| temperatura operación | | °C | | |
| conc. Sólidos volatiles | #N/A | kgm ⁻³ (g/L) | | |

DISEÑO EXPERIMENTAL No. 1

En este experimento se evaluó el tiempo necesario para que se produzcan 250 cm³ de biogas a una temperatura de 43±2 °C .

Tabla 4. Tiempo necesario para que se produzcan 250 cm³ de biogas

| BIODIGESTOR | TIEMPO NECESARIO PARA QUE SE PRODUZCAN 250 ml. |
|------------------------------|--|
| 1. gallinaza + agua residual | 126 minutos |
| 2. pollinaza + agua residual | 19 minutos |
| 3. 50/50 + agua residual | 20 minutos |

El experimento No. 3 muestra que la mezcla de 50/50 no mejora el rendimiento en la producción de biogás.

DISEÑO EXPERIMENTAL No. 2

En este experimento se evaluó el efecto del aumento de porcentaje de inoculo en la producción de biogás. Se utilizaron 4 biodigestores con las características descritas en la Tabla 5. Se realizaron observaciones a las 48 horas.

Tabla 5. Características del diseño experimental No. 2

| BIODIGESTOR | INOCULO x % | SUSTRATO | pH | RESULTADO | |
|-------------|------------------|--|-------|-----------------------|-----------|
| 1 | 2800 mL | 280 g. de gallinaza | 10 | NEGATIVO | AL |
| | | | | 15%, 20 % POSITIVO | AL 10% |
| 2 | 2800 mL | 280 g. de pollinaza | 10,5 | NEGATIVO | AL |
| | | | | 15%, 20 % POSITIVO | AL 10% |
| 3 | 2800 mL | 140 g. de gallinaza+ 140 g. de pollinaza | 10,01 | NEGATIVO | AL |
| | | | | 15%, 20 % POSITIVO | AL 10% |
| 4 | 2800 mL. de agua | 280 g. de pollinaza | 7.3 | NEGATIVO | AL |
| | | | | 15%, 20 % POSITIVO | AL 10% |

Se encontró que un aumento en el porcentaje de inoculo y el pH afectan el proceso de forma negativa. La posibilidad de utilizar una solución buffer no se realizó debido a los costos que esto implicaría.

DISEÑO EXPERIMENTAL No. 3

Este diseño experimental se realizó para evaluar el volumen de biogás que se produce en 12 horas con un inoculó del 10 % a 43 °C

La fermentación se realizó en 4 biodigestores con las siguientes características (Tabla 6)

Tabla 6. Características del diseño experimental No. 3

| BIODIGESTOR | INOCULO (Slm. 10%) | SUSTRATO | pH |
|-------------|--------------------|---|------|
| 1 | 2800 mL | 280 g. de gallinaza | 8,73 |
| 2 | 2800 mL | 280 g. de pollinaza + agua residual | 7,99 |
| 3 | 2800 mL | 140 g. de gallinaza + 140 g. de pollinaza + agua residual | 8,37 |
| 4 | 2800 mL de agua | 280 g. de pollinaza | 8,12 |

Se realizó el montaje de los biodigestores en el termostato de agua - gasómetro a una temperatura de $43\pm 2^{\circ}\text{C}$; Se realizaron observaciones cada hora durante 12 horas; los resultados se muestran en la Tabla 7. De acuerdo con los resultados los biogestores 2 y 4 presentaron el mayor rendimiento a las 12 horas. Sin embargo los biodigestores no se estabilizaron en este rango de tiempo.

Tabla 7. Resultados de volumen de biogás producido en función del tiempo en el diseño experimental No. 3

| TIEMPO (Horas) | VOLUMEN DE BIOGAS PRODUCIDO (cm ³) | | | |
|-------------------|--|--|---|----------------------------------|
| | BIODIG. 1 gallinaza + agua residual | BIODIG. 2 pollinaza + agua residual | BIODIG. 3 pollinaza + gallinaza + agua residual | BIODIG. 4 pollinaza + agua |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 30 | 50 | 80 | 20 |
| 2 | 50 | 100 | 100 | 40 |
| 3 | 100 | 100 | 100 | 40 |
| 4 | 100 | 100 | 100 | 50 |
| 5 | 120 | 120 | 100 | 60 |
| 6 | 130 | 120 | 130 | 130 |
| 7 | 150 | 290 | 150 | 280 |
| 8 | 170 | 550 | 170 | 750 |
| 9 | 190 | 1090 | 190 | 750 |
| 10 | 200 | 1100 | 220 | 850 |
| 11 | 230 | 1120 | 260 | 1000 |
| 12 | 270 | 1170 | 280 | 1060 |

El comportamiento de producción de biogás en un tiempo de 12 horas en los cuatro biodigestores se presenta en las Figuras 3-6.

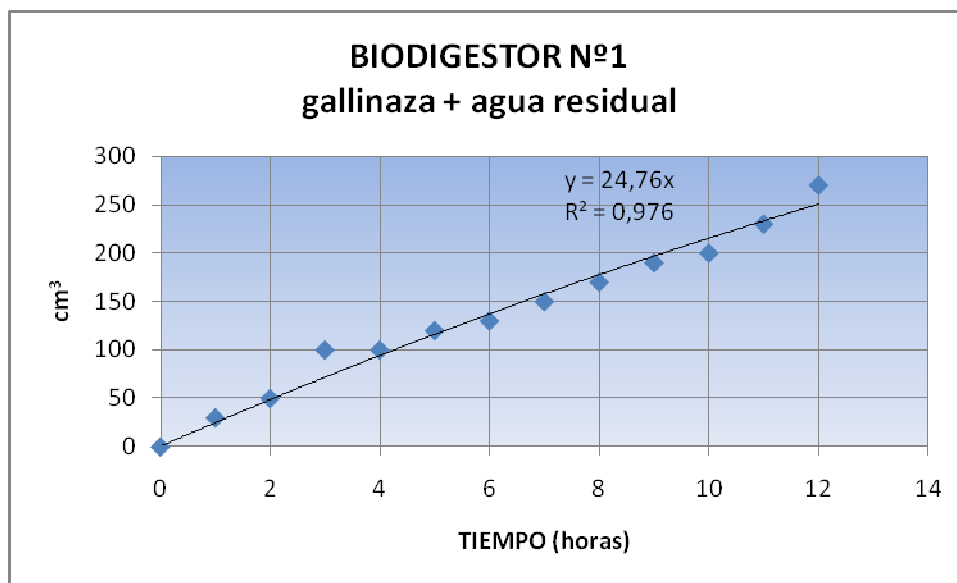


Figura 3. Volumen de biogás producido vs. tiempo

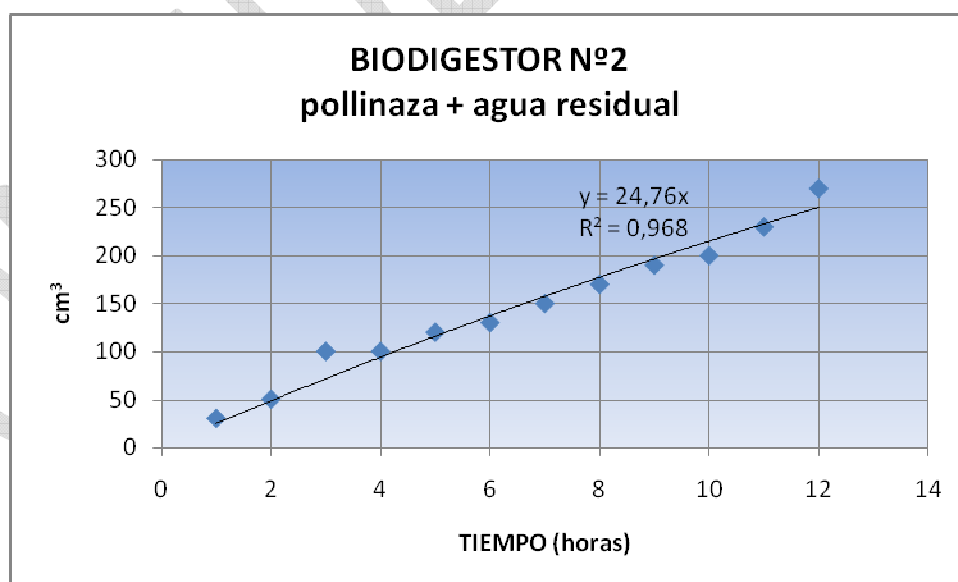


Figura 4. Volumen de biogás producido vs. tiempo

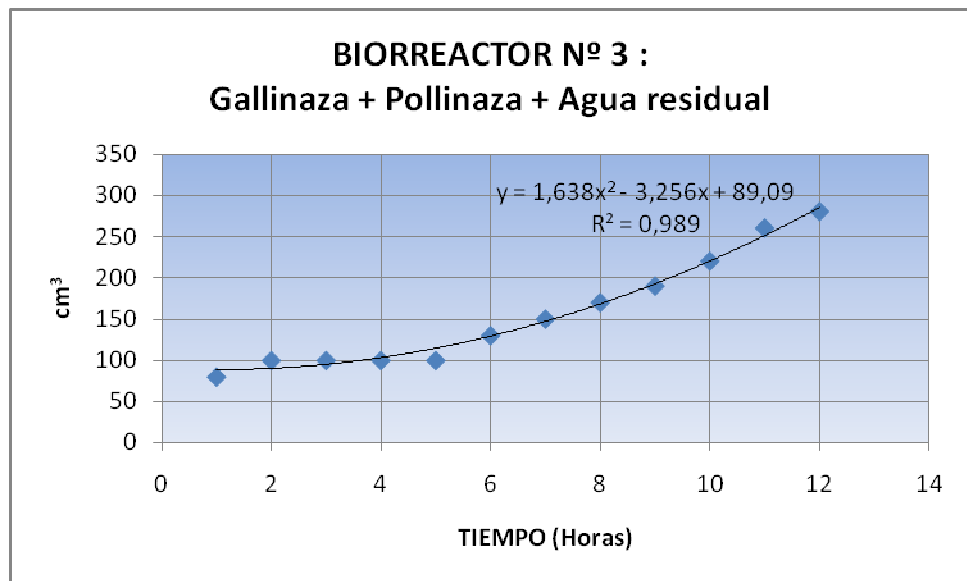


Figura 5. Volumen de biogás producido vs. tiempo

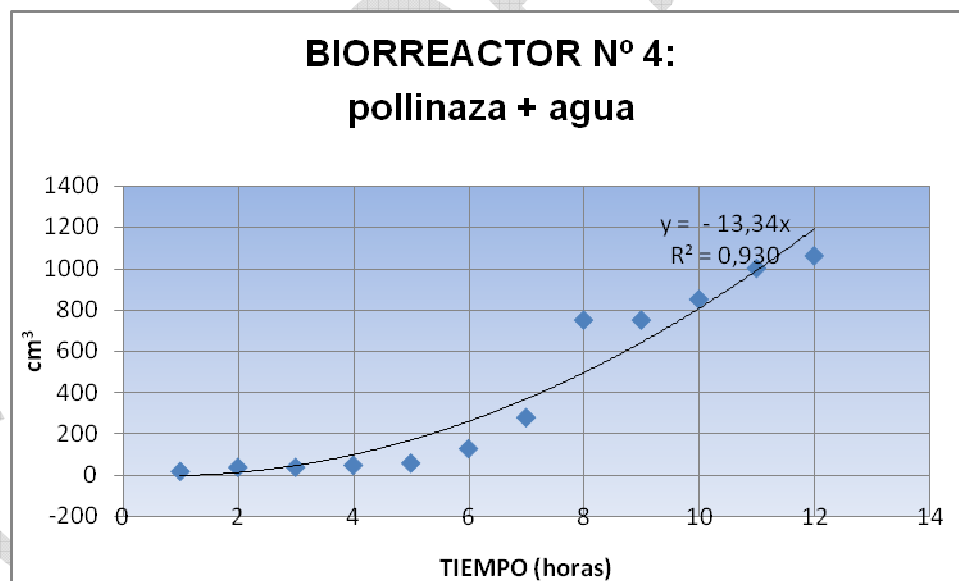


Figura 6. Volumen de biogás producido vs. tiempo

DISEÑO EXPERIMENTAL No. 4

Con este experimento se evaluó el volumen total de biogas producido en 8 días; así como la significancia que tiene la composición de la mezcla pollinaza-gallinaza en una proporción 90/10 usada como sustrato para el biodigestor No. 3.

El volumen total de biogas producido en los cuatro días y en promedio día se presenta en la Tabla 8. El montaje experimental se realizó en el termostato de agua - gasómetro a una temperatura de $43\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Tabla 8. Volumen de biogas producido en 8 días

| BIODIGESTOR | VOLUMEN PRODUCIDO /DIA cc/día | SV/DIA g/día | EFICIENCIA % | RELACION PESO SECO in/out g | RT DIAS | pH in/out | Energía total kJ/m3/día |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|------------|--------------|-------------------------------|
| 1. gallinaza + agua residual | 836 | 47 | 9.7 | 3250/3600 | 8 | 8.66/8.41 | 1.08 |
| 2. pollinaza + agua residual | 3306 | 56.2 | 12.5 | 3150/3600 | 8 | 7.9/8.02 | 4.26 |
| 3. 90/10 + agua residual | 5131 | 87.5 | 19.4 | 2900/3600 | 8 | 8.4/8.3 | 6.61 |
| 4. pollinaza + agua | 40 | 43.75 | 9.7 | 3250/3600 | 8 | 8.03/7.84 | 0.05 |

SV: Sólidos volátiles

RT: tiempo de retención.

Al realizar la prueba de combustión se observó la formación de una llama azul de gran intensidad.

Tabla 9. Nivel de significancia 0.5% en el diseño experimental No. 4

| BIODIGESTOR | NIVEL DE SIGNIFICANCIA 5 % |
|---|-------------------------------|
| 1. gallinaza + agua residual | 0.495 |
| 2. pollinaza + agua residual | 0.077 |
| 3. pollinaza + gallinaza + agua residual | 1.086 |
| 4. Pollinaza + agua | 0.005 |

De acuerdo con los resultados la mezcla pollinaza-gallinaza en una proporción 90/10 usada como sustrato para el biodigestor No. 3 presenta una eficiencia 19.4%. La mezcla 90/10 mejoro la producción de biogás en un 55 % en comparación con el producido por la mezcla pollinaza agua residual.

En experimentos de mezclas molliga vacuna con gallinaza se logró mejorar la producción de biogás en un 40 % (Gelegenis, J., et.al., 2007).

DISEÑO EXPERIMENTAL No. 5

Este diseño experimental se realizó para comparar el efecto de la operación de molienda del sustrato sobre el volumen de biogas producido.

En la Figura 7 se realiza una comparación en el volumen de biogás producido para la pollinaza molida y sin moler. La molienda de la pollinaza incrementa la producción de biogás en un 19.4%. Aunque el efecto de la molienda en la gallinaza es menor al 1%, se observa un efecto negativo de 48 horas entre los dos picos máximos de producción (ver Figura 8).

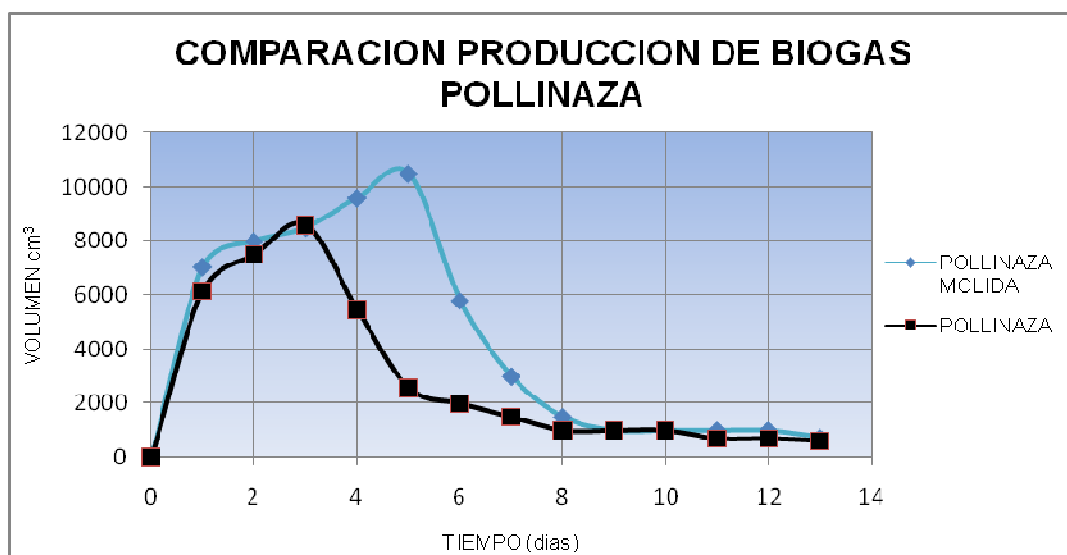


Figura 7. Comparación del efecto de la operación de molienda sobre la producción de biogas pollinaza

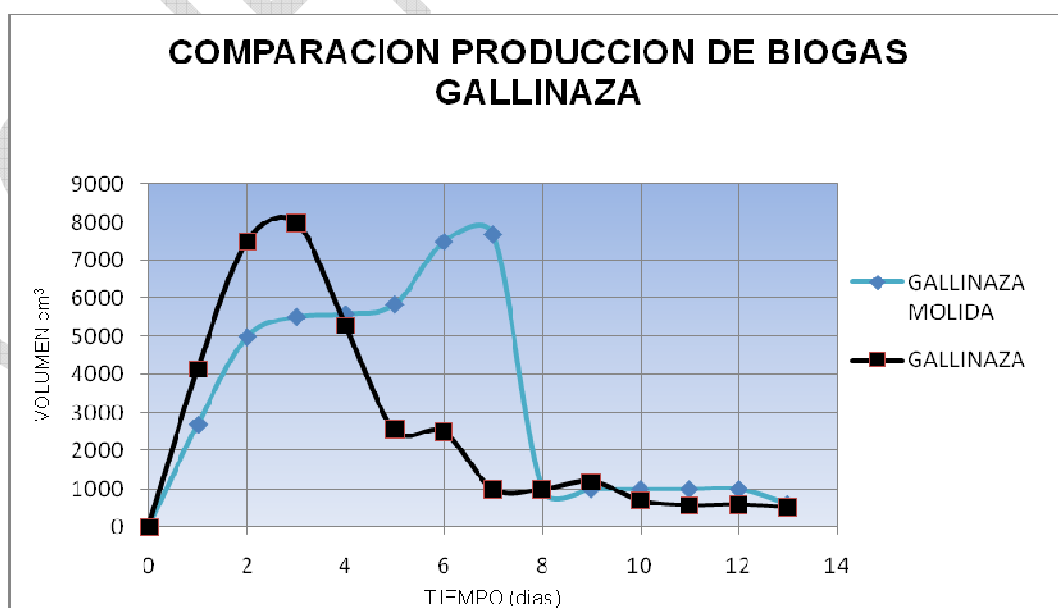


Figura 8. Comparación del efecto de la operación de molienda en la gallinaza sobre la producción de biogás.

En la Tabla 10 se determinó el nivel de significancia del 5% de los datos obtenidos para los cuatro biodigestores

Tabla 10. Nivel de significancia 5%

| BIODIGESTOR | NIVEL DE SIGNIFICANCIA 5 % |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. pollinaza molida + agua residual | 0.6303 |
| 2. gallinaza + agua residual | 0.7482 |
| 3. 90/10 no molida+ agua residual | 0.2039 |
| 4.90/10 molida + agua | 0.6513 |

En la Tabla 11 se compara la producción de biogás en los cuatro biodigestores. Se observa que el efecto de la molienda es del 61.5 % y 98.5 % para la pollinaza molida en agua residual y agua

Tabla 11. Comparación del efecto de la molienda del material sobre la producción de biogás para un inóculo 10 %. agitación mecánica 30 rev/min .Volumen de biogas producido en 11 días.

| BIODIGESTOR | VOLUMEN PRODUCIDO /DIA cc/día | SV/DIA g/día | EFICIENCIA % | RELACION PESO SECO in/out g | RT DIAS | pH in/out | Energía total kJ/m3/día |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|---------|-----------|-------------------------|
| 1. gallinaza molida + agua residual | 3240 | 63.7 | 19.4 | 2900/3600 | 9.1 | 7.9/7.02 | 4.08 |
| 2. pollinaza molida + agua residual | 4190 | 82 | 25 | 2700/3600 | 10.2 | 8.56/7.41 | 5.40 |
| 3. 90/10 no molida + agua residual | 5150 | 87.4 | 19.3 | 2900/3600 | 10.0 | 8.4/7.3 | 6.60 |
| 4.90/10 molida + agua residual | 8130 | 91.1 | 23.5 | 2750/3600 | 10.0 | 8.03/7.04 | 10.48 |

SV: Sólidos volátiles

RT: tiempo de retención.

En el diseño experimental No. 5 se realizó un análisis de DBO, DQO, pH, a las mezclas al inicio de la fermentación y al terminar (ver Tablas 12 y 13). De acuerdo con los resultados no existen variaciones notables en los parámetros medidos DBO y DQO.

Tabla 12. Medición DBO y DQO

| BIODIGESTOR | DBO (mg O2/litro) Entrada | DBO ₁₄ (mg O2/litro) Entrada | REMOCION DBO % | DQO (mg O2/litro) Entrada | DQO ₁₄ (mg O2/litro) Entrada | REMOCION DQO % |
|-------------|---------------------------|---|----------------|---------------------------|---|----------------|
| 1 | 5604 | 381 | 93 | 11702 | 1609 | 86 |
| 2 | 5690 | 4005 | 92 | 11735 | 1687 | 86 |
| 3 | 5742 | 446 | 92 | 11980 | 178 | 98 |
| 4 | 5730 | 325 | 94 | 12035 | 95 | 99 |

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

1. El sistema de digestión anaerobia tipo batch utilizado en este proyecto permitió la evaluación de la producción de biogás a partir de pollinaza.
2. El tiempo necesario para la producción de 205 mL fue de 10 min para pollinaza y de 20 min para la mezcla pollinaza-gallinaza
3. Se encontró que el porcentaje óptimo del inóculo era alrededor del 10 %.
4. Los biodigestores no se estabilizaron en un rango de tiempo de 12 horas.
5. La mezcla 90/10 mejoro la producción de biogás en un 55 % en comparación con el producido por la mezcla pollinaza agua residual.
6. El efecto de la molienda para todos los bioreactores tuvo un efecto superior al 100 %. En el caso de la mezcla 90/10 se incremento en un 235%. Lo cual podría implicar que la gallinaza sirve de alimento para iniciar el proceso. El tamaño de partícula se determinó con base en un parámetro suministrado por Distraves.

La presente forma parte de la investigación realizada para la evaluación de la pollinaza para la producción de biogás. Algunos resultados no se presentan por acuerdo con Distraves.

AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada con el convenio 193 DISTRAVES – UNIPAMPLONA otorgado al primer investigador del proyecto. 2007

5. BIBLIOGRAFIA

AFHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health association. Washington.

ANGELIDAKI I., AHRING B. K. 1992. Effects of free long-chain fatty acids on thermophilic anaerobic digestion. Appl. Microbiol. Biotech., 37, 808-812.

BARTHAKUR, A., BORA, M., SINGH, DEVENDRA.1991. Kinetic for substrate utilization and methane production in the anaerobic digestion of organic feeds. Biotechnol.Prog. 7,369-376.

BONMANTI, A., FLOTATS, X., MATEN, L., CAMPOS, E. 2001.Study of thermal hydrolysis as a pretreatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. Water Scien. Techn. 44:122-127.

BOUALLAGUI, H., TORRIJOS, H., FODON, J., MOLETTA, R., BEN CHEIKH, R., TOUHAMI, Y., DELGENES, J., HAMDI, M. 2004. Two phases anaerobic digestion of fruit and vegetable waste: bioreactors performance. J. Biochem. Eng., 21:193-197.

BUJOCZEK, G., OLESZKIEWICZ, R., SPARLING, R., CENKOWSKI, S. 2000. High solid anaerobic digestion of chicken manure. J. Agric. Eng. Res. 76:51-60

CALLAN, T. 1941. Determination of sulfur in organic compounds. Ind. Eng. Chem. Anal. 13, 450-455.

CHEN, Y.R. 1983. Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications. Ag. Wastes. 8, 65-81.

CONVERSE, J. C., EVANS, G.W., ROBINSON K.L., GIBBONS, W. AND GIBBONS, M. 1980. Methane production from a large-size on-farm digester for poultry manure. In Livestock Waste: A Renewable Resource. 4th International Symposium on Livestock Wastes. Proceedings. Am. Soc. Agric. Eng. pp. 122-125.

COFRE, H. 2001. Guía para la construcción de una planta de biogás: alimentado con lodos residuales de la industria cárnica. Tesis constructor civil. Valdivia, Univ. Austral de Chile. Fac. Cienc.Ing. 76 p.

FENAVI. Pollo estadísticas. En: <http://www.fenavi.org/mercapollo.htm>.198

FUJIRAWA, S., NARASAKI. 1968. Determination of trace elements in organic material by oxygen bomb method. Anal. Chem., 40, 2031-2033.

GELEGENIS, J., GEORGAKAKIS, D., ANGELIDAKI, I., MAVRIS, V. 2007. Optimization of biogás production by co-digesting whey with diluted poultry manure. Ren Energy. 32:2147-2160

GUNGOR-DEMIRCI, G., DEMIRER, G. 2004. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperatura and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. Bioresour. Technol. 93:109-117.

GORSUCH, T. 1970 The Destruction of organic Matter. Pergamon Press: New York.

HARRIS, D. 1992. Análisis Químico Cuantitativo. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

HASHIMOTO, A. 1984. Methane from swine manure: Effect of temperature and influent substrate concentration on kinetic parameter (K). Ag. Wastes. 9, 4:299-308 .

KAPARAJU, P., ANGELIDAKI, I.2008. Effect of temperatura and active biogás process on passive separation of digested manure. Biores.Tech. 99:1345-1352.

McCabe, W., Smith, J., Harriot, P. 1994. Operaciones unitarias de ingeniería química. McGraw Hill. Madrid.

MORRISON, S.R., VOHRA, P., SHUPE, W.L., HILLS, D.J. 1980. Biogas from poultry manure: Volatile solids loading rate and hydraulic detention time. In Livestock Waste: A Renewable Resource.

REEVES, J. 2001. Near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for the analysis of poultry manure. J. Agric. Food Chem. 49, 2193-2197.

YADVIKA, SANTOSH, SREEKRSHNAN, T., KOHLI, S., RANA, V. 2004. Enhancement of biogás production from solid substrates using different techniques – a review. Biores.Tech. 95:1-10.

VEEKEN, A., V. De WILDE., B. HAMELERS. 2002. Passively aerated composting of Straw-rich pig manure:effect of compost bed porosity. Compost Science and Utilization. 10,2 :114-128