

Estudio comparativo de la factibilidad técnica de la producción de biogás a partir residuos de la técnica de cama profunda en la producción intensiva de la engorda de cerdos

César Alejandro Escudero-González¹, Pauljna Marlene Casas-Jiménez¹, Tania Zulema Martínez-Guerrero², Mariel del Carmen Mendoza-Díaz¹, Cristina Ramírez-Barroso¹, Dra. Norma Leticia Gutiérrez-Ortega³, Dra. Esthela Ramos-Ramírez⁴, Dr. Santiago Gutiérrez-Vargas

1 Licenciatura en Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías del Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato

2 Licenciatura en Ingeniería Ambiental, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato

3 Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato

4 Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato

Resumen

Actualmente en el estado de Guanajuato, México, la industria porcícola ha incrementado considerablemente, debido a la demanda de carne de cerdo que existe en la población, generando con ello un aumento de criaderos que en ocasiones no cuentan con las condiciones climáticas adecuadas generando problemas de hipotermia en los puercos, sobre todos los pequeños, afectando su desarrollo que se traduce en una pérdida económica debido a la mortandad. Una de las alternativas que se ha popularizado en los últimos años es la denominada cama profunda, en donde utilizando pacas de rastrojo de maíz se controla que los puercos mantengan una temperatura interna óptima, reduciendo así el tiempo de retención y el alimento utilizado en el área de engorda. Sin embargo, al utilizar la técnica de cama profunda al cabo de 3 meses se produce un residuo que en su mayoría contiene rastrojo de maíz, purines y orina de cerdo, cal, arena y agua. El objetivo del presente trabajo de investigación es la evaluación de la producción de biogás en reactores anaerobios de digestión anaerobia seca y húmeda a partir de la ingesta de una mezcla homogénea sintética de residuos de rastrojo de maíz, purines y orina de cerdo.

Palabras clave: Industria porcícola; cama profunda; biogás; reactores anaerobios; rastrojo de maíz; purines de cerdo.

Introducción

Industria Porcícola

En la actualidad, la demanda de carne de puerco se ha visto en constante crecimiento, generando que los métodos actuales se centran en la rápida crianza de cerdo.

En el mundo existen 2 tipos de granjas de cerdos, las de ciclo cerrado o industriales y las granjas de acabado. Las granjas de ciclo cerrado son aquellas en donde los procedimientos de reproducción, transición y crecimiento final se realizan dentro de las mismas instalaciones; y las granjas de acabado son aquellas donde los procesos se llevan a cabo en diferentes lugares, por lo que los animales deben ser transportados entre una etapa y otra (Ética Animal, 2020).

Dentro de las granjas se encuentran diferentes tipos de instalaciones destinadas a las distintas etapas de la cría de cerdos (Gómez, 2021) las cuales son:

- **Gestación:** Las puercas son encerradas en jaulas durante el periodo de gestación, el cual tiene una duración aproximada de 114 días. Las áreas destinadas a esta etapa pueden tener dos zonas: la denominada zona de apareamiento, donde las cerdas son inseminadas artificialmente y la zona de pre-alumbramiento, donde las cerdas pasan el resto del período de gestación hasta alrededor de una semana antes de dar luz.
- **Maternidad:** Antes de proceder al labor de parto las cerdas son trasladadas a unas parideras donde darán a luz.
- **Destete:** Los lechones tras cumplir de 42 a 63 días de nacidos son separados de la madre para que comiencen a alimentarse por sí mismos.
- **Engorda:** Tras ser destetados los lechones se trasladan a una zona destinada a la ganancia de peso antes de ser llevados a la zona de acabado.
- **Zona de acabado:** Cuando se cumple un tiempo de retención de 70 días en la fase de engorda los puercos finalmente son sacrificados cuando tienen menos de cuatro meses si están destinados a la producción de carne de lechón o cuando tienen alrededor de siete meses si están destinados a la producción de carne de cerdo estándar.

La alimentación de los cerdos consiste principalmente en la ingesta de granos de cereales, ya sean maíz, sorgo, arroz, trigo, cebada o quinoa. También se pueden utilizar subproductos como el salvado de trigo, papa cocida, plátano maduro y melaza de caña. De igual manera se pueden emplear fuentes de proteínas como la harina de alfalfa y el gluten de maíz. El alimento suministrado para las puercas en gestación es de 1.5 kg a 3 kg por día, después del alumbramiento se debe proporcionar un alimento rico en proteínas debido a la gran demanda fisiológica que exige la producción de leche. Para los puercos en engorda se debe suministrar aproximadamente de 2.5 kg de materia seca por día lo que representa aproximadamente 10 Kg de materia verde (Roma, 2000).

Referente a los corrales o encierros estos se catalogan como sistemas al aire libre y sistemas confinados. Los sistemas al aire libre son construcciones que deben garantizar las ventilaciones y flujos de aire agradables para los animales en verano y protección contra las bajas temperaturas y fríos externos en invierno. Por otro lado, los sistemas confinados tienen por objetivo el proporcionar el máximo confort, físico, social y climático, que les permita a los cerdos ahí alojados alcanzar el nivel de producción deseada. El diseño y la ubicación en sistemas confinados son un elemento fundamental en la industria porcina, ya que cualquier alteración de las condiciones conllevará a un estado de estrés en los animales, lo cual se manifiesta en una disminución de la eficiencia productiva y en la aparición de cuadros clínicos de enfermedad (Perfumo, 2019).

Dentro de los sistemas confinados el tipo de suelo utilizado influye en la difusión de calor entre el animal y el suelo. Los suelos de hormigón y de slat de cemento o hierro, son más fríos a comparación de los slats de plástico facilitan la limpieza y proporcionar mejor bienestar térmico (Perfumo, 2019).

Cama Profunda en la cría de cerdos

El Sistema de Cama Profunda (SCP) fue desarrollado como una alternativa de bajo costo en la producción porcícola originada en China y Hong Kong; actualmente es utilizada en Estados Unidos, la Unión Europea, Venezuela, México, Colombia y Brasil, ya que emplea materiales disponibles localmente y que en su mayoría pueden ser generados como residuo de la producción agrícola (Brunori, 2012). Además, es un proceso amigable con el medio ambiente debido al ahorro del agua,

la baja generación de residuos líquidos, la reducción de malos olores y la presencia de moscas (Pulles, 2010).

Este sistema se basa en el cambio del piso de cemento por una capa vegetal absorbente, con alto contenido de celulosa de 50 a 60 cm de altura (Pulles, 2010). Dicha capa puede estar compuesta por heno, aserrín, cascarilla de arroz, hojas de maíz, bagazo de caña de azúcar, paja de trigo, entre otros (Alcívar, 2019). Cabe resaltar que el uso de esta técnica puede ser empleado en cualquier etapa de crecimiento del animal (Brunori, 2012).

Los SCP permiten que el cerdo manifieste su habilidad natural de selección y modificación de su ambiente a través del uso del material de la cama (Brunori, 2012). Además, al utilizar este sistema se presenta un menor consumo de alimento en comparación con los animales que se encuentran en piso firme. Esta conducta está relacionada a que los cerdos criados en piso de cemento llegan a producir mayor calor metabólico a comparación de los criados bajo la técnica de cama profunda donde el calor es brindado por la capa vegetal colocada. Por lo antes mencionado los SCP se pueden considerar como una alternativa viable para medianos y pequeños poricultores, ya que al permitir al animal modificar su habitad, este llega a consumir menos alimento y se favorece la producción de carne de cerdo (Cruz, 2010). Además, al finalizar la técnica se genera un residuo con altos niveles de nitrógeno y fósforo el cual puede aprovecharse como fertilizante orgánico (Alcívar, 2019).

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia (DA) es un proceso biológico donde los microorganismos anaerobios transforman los sustratos orgánicos biodegradables en biogás y en digerido. El biogás es una mezcla de dos gases principalmente, el metano (CH₄) cuya composición oscila entre el 50 y 70% y el dióxido de carbono (CO₂) con una composición del 30 al 50% según el sustrato utilizado y las condiciones del proceso. También puede contener pequeñas cantidades de otros gases como el ácido sulfhídrico (H₂S), amoníaco (NH₃) o hidrógeno (H₂). El digerido es un producto estabilizado al cual se le puede aplicar un proceso de separación y obtener una fracción sólida que puede utilizarse en el compostaje donde se termina el proceso de estabilización e higienización para ser utilizado como abono en la agricultura (Moreno, 2020).

Actualmente existen diferentes formas de categorizar las tecnologías utilizadas para la digestión anaerobia. Estas categorías dependen de los diferentes procesos a los que son sometidos. Las tecnologías de DA son clasificadas por su función, ya sea por sólidos totales, mediante la alimentación del digestor, las etapas a las que se llevará a cabo, o por la materia prima con la que se alimente (Llata, 2020).



Figura 1. Clasificación de la tecnología de la digestión anaerobia (Llata, 2020).

Digestión anaerobia húmeda y seca

Dentro de la clasificación por el contenido de sólidos totales se cuenta con dos clases: La digestión anaerobia húmeda y la digestión anaerobia seca. En la primera, los sólidos totales no llegan a superar el 20%, por lo que este tipo de digestión es ideal para fines prácticos debido a que el crecimiento de los microorganismos se promueve a partir de un alto contenido de humedad; sin embargo, el proceso requiere de un mayor volumen en el reactor, un alto contenido de agua y un tratamiento posterior (Rico, 2020). En cambio, en los procesos de digestión secos los sólidos se encuentran entre 20 y 40%, reduciendo los costos operativos, no obstante, cuentan con una alta demanda de inóculo y el tiempo de retención llega a ser alto, además este tipo de procesos presentan acumulación de ácidos grasos volátiles (Zhang, 2017).

En este trabajo de investigación se realiza un estudio comparativo de la factibilidad técnica de la producción de biogás a partir residuos de la técnica de cama profunda en la producción intensiva de la engorda de cerdos.

Materiales y Métodos

Caso de Estudio

Se selecciono una granja con más de 300 puercos en el área de engorda, la cual cuenta con 3 corrales grandes con la capacidad de cría de 100 puercos por corral durante un tiempo de retención de 3 meses. Los corrales destinados al área de engorda son estructuras techadas diseñadas para que los puercos se desarrollen y aumenten su peso corporal a partir de una alimentación por fases la cual depende de la edad del animal. Estos encierros tienen dimensiones de 15 m de largo, 8 m de ancho y 2.5 m de alto; cuentan con un suelo firme de cemento y poseen espacios en las paredes laterales los cuales están destinados a la ventilación del encierro; y el techo es de lámina a dos aguas. Para el descanso de los puercos y como medida para conservar su temperatura corporal se utiliza dentro del corral la técnica de cama profunda, la cual consiste en cubrir el piso con una capa de cal, seguida de una capa de arena y por último una cama de rastrojo de maíz de aproximadamente 20 cm de espesor. En la figura 2 se muestra uno de los corrales destinado a la cría de puercos en etapa de engorda.



Figura 1. A) Cámara preparada para la etapa de engorda; B) Día cero de la etapa de engorda.

Toma de muestra

Para poder realizar las digestiones se deben recolectar aproximadamente 20 Kg del residuo generado por el uso de la técnica de cama profunda recolectados de uno de los encierros de la

granja (figura 3), donde los cerdos cuentan con un tiempo de retención de 3 meses y un peso aproximado de 130 Kg. Dichas muestras contienen en su mayoría rastrojo de maíz y purines de cerdo las cuales servirán como inóculo para comenzar con los procesos de digestión.



Figura 2. Toma de muestras.

Digestión anaerobia

Diseño de reactor: Digestión anaerobia húmeda

Para realizar la digestión anaerobia húmeda se utiliza un reactor tipo Batch previamente diseñado y construido con paneles de vidrio y reforzado con un armazón hecho con solera de metal de 1" de espesor. El reactor de dimensiones: 31 x 21 x 38 cm, puede contener un volumen de aproximadamente 25 L. Al ser un reactor de tipo Batch, no cuenta con flujos de entrada ni salida, por lo que la ingesta del sustrato debe ser por la parte superior, después se tapa con una placa de metal sujeta por una serie de tornillos lo que permite que el reactor este completamente cerrado y hermético.

El reactor cuenta con un sistema en la parte superior que consta de dos válvulas de 1" de diámetro, la primera de ellas se utilizará para monitorear los valores de pH y temperatura en el reactor, y la segunda válvula permite contener el biogás dentro del reactor al momento de retirar la bolsa de almacenaje de biogás para su posterior medición. En la figura 4 se puede observar un esquema con los componentes utilizados para realizar la digestión húmeda.

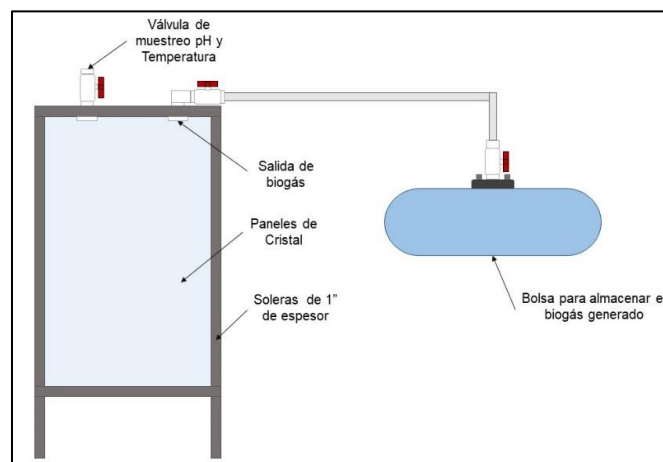


Figura 4. Modelo esquemático del reactor de digestión anaerobia húmeda. Fuente: Elaboración propia.

Los factores de operación se establecieron tomando como base al trabajo realizado por Sonda-Hernández, 2020. Dichos factores de operación son los siguientes: una relación de C/N 30:1, un pH en un rango de 6.7-7.2, un tamaño de partícula menor a 5 cm de diámetro, un rango de ST de 8-12%, una dilución en agua de 1:3, un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 40 días, una temperatura mesofílica de 25 a 35 °C y un área superficial máxima con una agitación nula.

Alimentación

Las ecuaciones 1, 2 y 3 estiman la carga diaria de sólidos para un tiempo de retención de 40 días, la carga única de sólidos para 15 días y el volumen de agua respectivamente. (Sonda-Hernández et al., 2020)

$$C. \text{ diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Volumen digerado (Kg)}}{\text{TRH (días)} + (\text{dilución de agua} + 1)} \quad (1)$$

$$C. \text{ única (Kg)} = C. \text{ diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \cdot \text{TRH (días)} \quad (2)$$

$$\text{Volumen de agua (Kg)} = \text{Carga diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \cdot \text{TRH (día)} + \text{disolución de agua} \quad (3)$$

Donde volumen digerado corresponde a las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total del biodigestor: $\frac{3}{4}$ de 25 litros. TRH es el Tiempo de Retención Hidráulica, el cuál es de 40 días. La dilución de agua es la relación de dilución, el cuál es de 3 litros de agua por cada kilo de material sólido. La carga diaria corresponde a los kilogramos por día para una alimentación continua y la carga única a los kilogramos totales para una alimentación semicontinua. (Sonda-Hernández et al., 2020)

Diseño de reactor: Digestión anaerobia seca

Para llevar a cabo la digestión anaerobia seca se utiliza de igual forma un reactor tipo Batch con la diferencia de que este cuenta con un sistema de bombeo del digerido para mantener el agua en movimiento en el sistema.

Debido al sistema de bombeo el reactor cuenta con 2 válvulas de 1", una en la parte inferior y otra en la parte superior conectadas mediante una manguera de plástico transparente de $\frac{1}{2}$ ". A su vez la manguera se encuentra conectada a una bomba hidráulica hecha a partir de un pequeño motor de 12 volts. Esta bomba hidráulica "casera" permite el re-circulamiento del digerido dentro del reactor. En la figura 5 se observa el modelo esquemático del reactor con los componentes utilizados para realizar la digestión seca.

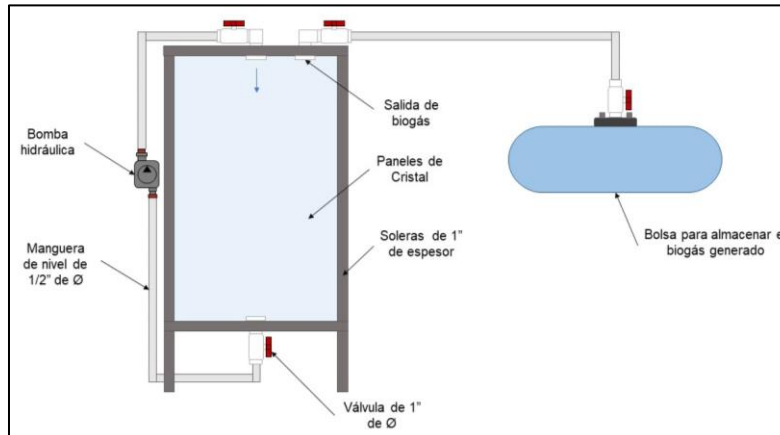


Figura 5. Modelo esquemático del reactor de digestión anaerobia seca. Fuente: Elaboración propia.

Alimentación

Las ecuaciones 4 y 5 estiman la carga diaria de sólidos para un tiempo de retención de 40 días y la carga única de sólidos para 40 días respectivamente.

$$C. \text{ diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Volumen digerado (Kg)}}{TRH \text{ (días)}} \quad (4)$$

$$C. \text{ única (Kg)} = C. \text{ diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \cdot TRH \text{ (días)} \quad (5)$$

Donde volumen digerado corresponde a las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total del biodigestor: $\frac{3}{4}$ de 25 litros. TRH es el Tiempo de Retención Hidráulica, el cuál es de 40 días. La carga diaria corresponde a los kilogramos por día para una alimentación continua y la carga única a los kilogramos totales para una alimentación semicontinua (Sonda-Hernández et al., 2020).

Captura de biogás

Una vez que los reactores comiencen con la generación de biogás este es almacenado en pequeñas bolsas de geomembrana desmontables del reactor las cuales permiten posteriormente cuantificar el biogás producido en un periodo de 24 horas.

Medición de biogás

Para medir la producción de biogás se utiliza un recipiente circular con un volumen de 15 L y 20.4 cm de diámetro, el cual tiene adaptada una probeta de plástico graduada con una capacidad de 100 mL que a su vez está conectada a un sistema de válvulas y sumergida por completo; esto con la intención de que el gas desplace el agua dentro de la probeta y así medir el volumen del gas contenido en el reactor. En la figura 6 se puede observar el sistema planteado para la medición de biogás.

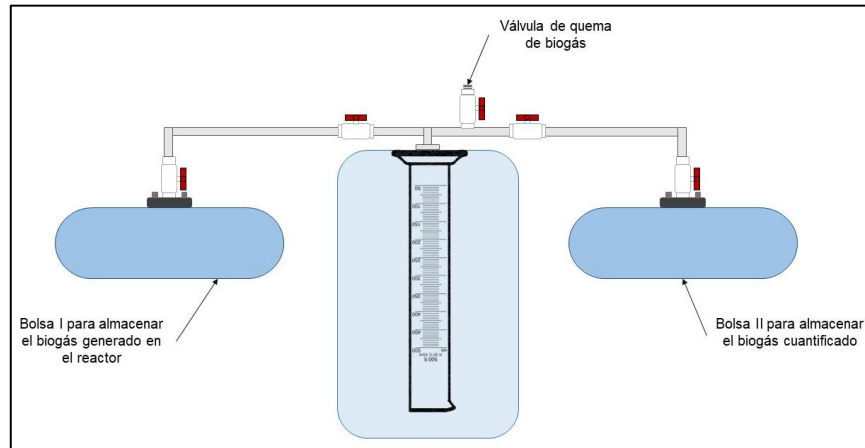


Figura 6. Sistema de medición de biogás. Fuente: Elaboración propia.

Medición de pH y temperatura

El controlar los valores de pH y temperatura en un proceso de digestión anaerobia garantiza el crecimiento microbiano y la producción de biogás, por lo cual para monitorear estos parámetros se utiliza un potenciómetro digital conductronic de mesa pH120, que cuenta con un electrodo combinado y sensor de temperatura (Figura 7).



Figura 7. Potenciómetro digital conductronic de mesa pH120.

Estimación de la producción de metano

De forma teórica se puede calcular el volumen de metano que se obtendría con condiciones óptimas de funcionamiento de los biodigestores. Para esto se debe obtener primero el rendimiento de metano en base a la cantidad de biomasa que se utiliza. Este rendimiento se obtiene con la ecuación 6.

$$\eta_{CH_4} = \text{Sólidos volátiles (Kg)} \times \frac{\text{Producción de } CH_4 \text{ (L)}}{1 \text{ Kg de Sólidos Volátiles}} \quad (6)$$

Donde η_{CH_4} es el rendimiento del metano en litros.

Volumen del CH₄

El volumen total de metano esperado se calcula mediante la ecuación 7.

$$V_{CH_4} = A \cdot \eta_{CH_4} \quad (7)$$

Donde V_{CH_4} es el volumen del metano en litros; A es la alimentación del biodigestor y η_{CH_4} es el rendimiento del metano en litros.

Volumen de CO₂

Si la composición del biogás es del 70% metano y 30% dióxido de carbono (FAO, 2011), entonces el volumen de dióxido de carbono se calcula a partir de la expresión matemática 8.

$$V_{CO_2} = \frac{30\%}{70\%} \cdot V_{CH_4} \quad (8)$$

Donde V_{CO_2} es el volumen de dióxido de carbono en litros y V_{CH_4} es el volumen del metano en litros.

Volumen de biogás

Para determinar el volumen de biogás generado dentro de los reactores se emplea la ecuación 9.

$$V_{BG} = V_{CO_2} + V_{CH_4} \quad (9)$$

Donde V_{BG} es el volumen de biogás en litros; V_{CO_2} es el volumen de dióxido de carbono en litros y V_{CH_4} es el volumen del metano en litros.

Resultados

Alimentación Digestión Húmeda

Referente a la carga del sustrato para la digestión húmeda primero se deben diluir 7.792 Kg de material sólido en 63.85 kg de agua para posteriormente cargar el reactor con 18.75 Kg de la disolución. En las ecuaciones 10, 11 y 12 se muestran los cálculos realizados para conocer los valores de dilución y carga del digestor.

$$C. \text{ diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) = \frac{18.75 \text{ Kg}}{40 \text{ días} + (56.25 \text{ kg})} = 0.19 \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \quad (10)$$

$$C. \text{ única } (Kg) = 0.19 \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \cdot 40 \text{ días} = 7.792 \text{ Kg} \quad (11)$$

$$\text{Volumen de agua } (Kg) = 0.19 \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \cdot 40 \text{ días} + 56.25 \text{ kg} = 63.85 \text{ Kg} \quad (12)$$

Alimentación Digestión Seca

El reactor destinado a la digestión seca debe ser alimentado con 18.75 Kg de la muestra. Por las características del proceso este no cuenta con una disolución de agua por lo cual el único líquido presente en la carga será el agua con la que cuenta la muestra de la cama profunda. Dado que las muestras contienen un 40% de humedad, la carga de sólidos es de 7.5 Kg. En las ecuaciones 13 y 14 se muestran los cálculos referentes a la carga del reactor de digestión anaerobia seca.

$$C. \text{ diaria } \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) = \frac{18.75 \text{ Kg}}{40 \text{ días}} = 0.46 \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \quad (13)$$

$$C. \text{ única } (Kg) = 0.46 \left(\frac{Kg}{\text{día}} \right) \cdot 40 \text{ días} = 18.75 \text{ Kg} \quad (14)$$

Estimación de la producción de metano: Digestión Húmeda

El rendimiento típico de metano para los purines de cerdo se tiene que es 253 litros de CH₄ por kilogramo de sólidos volátiles. Además, conociendo que el porcentaje de sólidos volátiles en estos es de 10% (Gutiérrez, 2016), es correcto asumir que en 1 kilogramo de purines de cerdo hay 0.1 kilogramos de sólidos volátiles. Quedando el rendimiento de metano por kilogramo de biomasa de acuerdo con la ecuación 15.

$$\eta_{CH_4} = 0.1 \text{ Kg de SV} \times \frac{253 \text{ L de CH}_4}{1 \text{ Kg de SV}} = 25.3 \text{ L de CH}_4 \quad (15)$$

Volumen del CH₄

Los cálculos anteriores indican que por cada kilogramo de biomasa se genera 25.3 L de CH₄ ($\eta_{CH_4} = 25.3 \text{ L} \cdot \text{kg BM/}$). De tal forma que el volumen total de metano esperado sería el indicado en 16.

$$V_{CH_4} = (18.75 \text{ Kg}) \left(25.3 \frac{\text{L}}{\text{kg}} \right) = 474.975 \text{ L} \quad (16)$$

Volumen de CO₂

Si la composición del biogás es del 70% metano y 30% dióxido de carbono (FAO, 2011). Entonces el volumen de dióxido de carbono corresponde al cálculo 17.

$$V_{CO_2} = \frac{30\%}{70\%} (474.975 \text{ L}) = 203.303 \text{ L} \quad (17)$$

Volumen de biogás

Finalmente, con una biomasa inicial se obtiene un volumen de biogás (BG) marcado en 18.

$$V_{BG} = 203.303 \text{ L} + 474.975 \text{ L} = 678.278 \text{ L} \quad (18)$$

Estimación de la producción de metano: Digestión Seca

El rendimiento típico de metano para los purines de cerdo se tiene que es 253 litros de CH₄ por kilogramo de sólidos volátiles. Además, conociendo que el porcentaje de sólidos volátiles en estos es de 10% (Gutiérrez, 2016), es correcto asumir que en 1 kilogramo de purines de cerdo hay 0.1 kilogramos de sólidos volátiles. Quedando el rendimiento de metano por kilogramo de biomasa, de acuerdo con 19.

$$\eta_{CH_4} = 0.1 \text{ Kg de SV} \times \frac{253 \text{ L de CH}_4}{1 \text{ Kg de SV}} = 25.3 \text{ L de CH}_4 \quad (19)$$

Volumen del CH₄

Lo anterior indica que por cada kilogramo de biomasa se genera 25.3 L de CH₄ ($\eta_{CH_4} = 25.3 \text{ L} \cdot \text{kg BM}^{-1}$). De tal forma que el volumen total de metano esperado sería el descrito en 20.

$$V_{CH_4} = (7.5 \text{ Kg}) \left(25.3 \frac{\text{L}}{\text{kg}} \right) = \mathbf{189.75 \text{ L}} \quad (20)$$

Volumen de CO₂

Si la composición del biogás es del 70% metano y 30% dióxido de carbono (FAO, 2011). Entonces el volumen de dióxido de carbono corresponde al cálculo de 21.

$$V_{CO_2} = \frac{30\%}{70\%} (189.75 \text{ L}) = \mathbf{81.32 \text{ L}} \quad (21)$$

Volumen de biogás

Finalmente, con una biomasa inicial se obtiene el volumen de biogás (BG) calculado en 22.

$$V_{BG} = 81.32 \text{ L} + 189.75 \text{ L} = \mathbf{271.07 \text{ L}} \quad (22)$$

Conclusiones

Al comparar la digestión anaerobia húmeda y seca, esta última teóricamente genera menos litros de biogás que la digestión anaerobia húmeda. Esto puede deberse a su alimentación pues la cantidad de sólidos en la alimentación es menor. Otro punto de comparación es el consumo energético; si bien es cierto que la digestión seca disminuye el agua utilizada en un proceso convencional de digestión, este tipo de biodigestores requieren de un equipo de bombeo que ayude con el re-circulamiento del agua de la muestra dentro del reactor, lo cual se traduce en un costo energético extra a comparación del reactor de digestión anaerobia húmeda que no requiere de energía externa para su funcionamiento.

Una vez evaluados los dos tipos de digestión podemos destacar que para una granja porcícola en donde se capta el agua de lluvia y no existe un sistema de conducción de agua, la digestión seca es la mejor opción para el aprovechamiento de los residuos provenientes de la cama profunda, dado que estos contienen un 40% de agua lo cual permite la descomposición de la materia orgánica por la microflora y por ende una producción de biogás. Con este tipo tecnología una granja porcícola puede alejarse de la sociedad y ser autosustentable.

Limitaciones

La investigación se realizó durante la contingencia por SARS-CoV-2 (COVID-19), por lo que el acceso a laboratorios para la realización de caracterización de sólidos, medición de pH, temperatura y volumen exacto de biogás no fue posible; sin embargo, por lo cual se optó por métodos de aproximación que son menos exactos para la realización de estas mediciones, pero que aportan información valiosa para la investigación.

Agradecimientos

A la Dirección de Apoyo a la Investigación y Posgrados (DAIP) de la Universidad de Guanajuato por el financiamiento de las becas de investigación de los estudiantes dentro de la convocatoria de XXVI Verano de la Ciencia.

Referencias

- Sonda-Hernández, M., León-Galván, M. F., & Gutiérrez-Vargas, S. (2021). Generación de biogás como alternativa para aprovechamiento de heces caninas domésticas. RINDERESU, 5(2).
- Alcívar Cedeño, C. J., & Marcillo Cevallos, L. S. (2019). Inclusión de compost de cama profunda de cerdos en la alimentación de vacunas mestizas de doble propósito (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Brunori, J., Fazzoni, R., & Figueroa, M. E. (2012). Buenas prácticas pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar (No. Q02/4). Ministerio de Agricultura de la República Argentina, Buenos Aires (Argentina) FAOINTA..
- Cruz, E., & Mederos, C. (2010). Camas profundas en la crianza porcina. Una alternativa sostenible para la producción familiar. Revista ACPA, 1, 102-105.
- Ethics, A. (2020). Granjas de cerdos. Recuperado el 11 de julio de 2021, de <https://www.animal-ethics.org/explotacionanimal/animales-usados-comida-introduccion/granjas-cerdos/>
- Gomez, M. (2021). Diseño de un sistema de calefacción para granjas porcinas a partir de la recuperación de calor de gases de combustión de un incinerador (Tesis de Licenciatura). Universidad Politécnica de Guanajuato, 1-128.
- Grisales, R. S., Arellano, R. G. (2018). Análisis comparativo sobre las tecnologías de la digestión anaerobia húmeda y seca. Universidad Tecnológica de Bolívar
- Llata Torre, A. I. (2020). Estudio técnico sobre aplicabilidad de la tecnología de digestión anaerobia seca para la conversión de residuos de alimentos en biogás.
- Marjolaine. 2018. BIOGAS WORLD. Recuperado el 11 de julio de 2021 de: https://www.biogasworld.com/news/dry-wet-anaerobicdigestionsystems/?utm_content=buffer4588a&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer.
- "Millán, A. S., 2018. Estudio técnico sobre digestores anaeróbicos aplicado al tratamiento de la fracción orgánica de los residuos municipales. España (Cantabria): s.n."
- Moreno Simón, M. (2020). Dinámica de los polifenoles procedentes de aguas residuales de la industria vinícola durante el proceso de digestión anaerobia (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Perfumo, C. J., Quiroga, M. A., & Machuca, M. A. (2019). Compendio de clínica y sanidad de los cerdos. Libros de Cátedra.
- Pullés, M. R., Hernández, M. A., Arias, M. C., & Martínez, E. C. (2010). Evaluación microbiológica del sistema de cama profunda en la crianza porcina. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41, 1-10.
- R. (2000). Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares. Recuperado 11 de julio de 2021, de <http://www.fao.org/3/v5290s/v5290s00.htm#TopOfPage>
- Rico, C., 2020. Dry batch anaerobic digestion of food waste in a box-type reactor system: Inoculum preparation and reactor performance. Journal of Cleaner Production, Abril.Volumen 251.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Recuperado el 11 de julio de 2021 de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>
- "Zhang, J., 2017. Three-stage anaerobic digester for food waste. ELSEVIER, mayo, Volumen 194, pp. 287-295 ."