

□



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.

“Carlos Rafael Rodríguez”.

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

Título: Análisis de utilización de excretas de búfalo para la generación de biogás y obtención de energía eléctrica en la minindustria cárnica de la UEB Integral Aguada

Autor: Dayron González Borroto

Tutora: DraC. Jenny Correa Soto

Consultante: DrC. José Pedro Monteagudo Yanes

Curso 2022

□

Pensamiento

Sin electricidad no hay desarrollo

□

Dedicatoria

*A mi familia, a mi novia, en especial a mi mamá que siempre me ha apoyado
y quiero dedicarle este logro.*

□

Agradecimientos

A mis amistades a todos los que me apoyaron en este proyecto: Leyanet Sarduy, Mileidis Antunez e Ismael Muñoz.

A todos mis profesores en especial a mi tutora DraC Jenny Correa Soto, por su paciencia y apoyo. Al DrC José Monteagudo Yanes por su incondicionalidad, y a todos los que contribuyeron a mi formación.

□

Resumen:

En el presente trabajo de diploma se llevó a cabo una investigación analizando en primer lugar los fundamentos de la tecnología de producción de biogás, sus beneficios, los parámetros de operación de los sistemas de generación de esta fuente de energía, tipos de biodigestores y el potencial de esta fuente renovable en el país. El objetivo general de la investigación se basa en realizar un análisis en cuanto a la utilización de excretas de búfalo para la generación de biogás en la minindustria cárnica de la UEB Integral Aguada. Proponiéndose una metodología del uso del biogás a partir de grandes volúmenes de ganado mayor (bufalino) con el fin de generar energía eléctrica mediante fuentes limpias contribuyendo así al sistema electroenergético nacional y a su vez disminuir la contaminación de los suelos, agua y aire; y de un biodigestor a partir de las excretas de búfalo contribuirá a la disminución de consumo de energía eléctrica generada por fuentes convencionales en la minindustria cárnica de la UEB Integral Aguada.

Palabras claves: biodigestor, biogás, energía, ganado bufalino, tecnología

□

Summary:

In this diploma work, an investigation was carried out analyzing first the fundamentals of biogas production technology, its benefits, the operating parameters of the generation systems of this energy source, types of biodigestor and the potential of this renewable source in the country. The general objective of the research is based on carrying out an analysis regarding the uses of buffalo excreta for the generation of biogas in the meat mini industry of the UEB Integral Aguada. Proposing a methodology for the use of biogas from large volumes of large cattle (buffalo) in order to generate electricity through clean source, thus contributing to the national electro-energy system and in turn reducing the contamination of soil, water and air and of a biodigestor from buffalo excreta, will contribute to a reduction in the consumption of electrical energy generated by conventional source in the meat mini-industry of the UEB Integral Aguada.

Keywords: biogas, technology, livestock, biodigestor, energy, buffalo

□
Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1 Marco Teórico de la investigación.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Fundamentos de la tecnología de producción de biogás.....	4
1.3 Beneficios obtenidos en la aplicación de la tecnología del biogás.....	5
1.4 Parámetros de operación de los Sistemas de Generación de biogás.....	6
1.5 Proyección de los sistemas de generación de biogás.....	8
1.6 Colección de Biomasa.....	9
1.7 Tipos de Biodigestores.....	10
1.8 Almacenamiento del efluente.....	17
1.9 Manejo del Gas.....	18
1.10 Usos del biogás.....	19
1.11 Potencial del biogás en Cuba.....	23
1.11.1 Tecnologías que se utilizan.....	23
1.11.2 Utilización del biogás.....	24
1.11.3 Pequeños biodigestores.....	24
1.11.4 Grandes biodigestores.....	25
1.11.5 Estado actual en el sector agropecuario.....	25
1.12 Conclusiones parciales.....	26
Capítulo 2: Metodología basada en el biogás para grandes volúmenes de ganado.....	27
2.1 Introducción.....	27
2.2 Caracterización UEB Integral Agropecuaria Aguada.....	27
2.3 Caracterización de la masa ganadera.....	29
2.3.1 Ganado bufalino sus características.....	30
2.4 Minindustrias cárnica de la UEB Integral Aguada.....	35
2.6 Metodología evaluativa para el cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado.....	36
2.6 Aplicación de la metodología evaluativa para el cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino en la UEB Integral Aguada.....	40
2.6.1 Cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino. Potencialidad.....	40

2.6.2 Cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino a partir de las excretas recuperadas.....	46
2.7 Conclusiones parciales	50
Capítulo 3 Diseño de un biodigestor para la utilización de excretas de búfalo en la generación de biogás.....	51
3.1 Introducción.....	51
3.2 Caracterización energética de la minindustria Cárnica	51
3.3 Metodología para determinar el potencial de excretas y el volumen total del biodigestor.....	57
3.3 Cálculo de los parámetros constructivos del biodigestor.....	60
3.4 Ubicación del biodigestor.	66
3.5 Materiales de Construcción.....	67
3.6 Evaluación económica del biodigestor propuesto.....	68
3.7 Turbina gas para la generación de energía eléctrica a partir de biogas	72
3.8 Conclusiones parciales	77
Conclusiones Generales	78
Recomendaciones.....	79
Bibliografía	80

□

Introducción

El mundo hoy en día se mueve con energía, en la actualidad todo es energía y cada vez se buscan más fuentes y vías para transformarla. La humanidad utiliza las energías renovables y las no renovables. Se denomina energía renovable aquellas fuentes energéticas basadas en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal entre otros. (Calderon & Aguirre, 2019)

La energía renovable se caracteriza por no utilizar combustibles fósiles como sucede con las energías convencionales sino recursos capaces de renovarse ilimitadamente. Su impacto ambiental es de menor magnitud dado que además de no emplear recursos finitos no generan contaminantes. Sus beneficios van desde la diversificación de la matriz energética del país hasta el fomento a la industria nacional y desde el desarrollo de las economías regionales hasta el impulso del turismo. (Calderon & Aguirre, 2019)

Una de las más importantes y objeto de estudio de este proyecto es la biomasa y el biogás. Se denomina biomasa a toda porción orgánica proveniente de las plantas, los animales y diversas actividades humanas. (Calderon & Aguirre, 2019)

El término biomasa abarca una variada serie de fuentes energéticas: desde la simple combustión de la leña para la calefacción hasta las plantas térmicas para producir la electricidad, usando como combustible residuo forestal, agrícola, ganadero o incluso cultivos energéticos, pasando por el biogás de los vertederos o lodos de depuradoras. Cualquier tipo de biomasa proviene de la reacción de la fotosíntesis vegetal, que sintetiza sustancias orgánicas a partir del CO₂ del aire y de otras sustancias simples aprovechando la energía del sol. (Calderon & Aguirre, 2019)

El biogás, aunque también sea biomasa nos referimos a este fluido como el producto gaseoso que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica como son los desechos humanos y de animales, residuos agrícolas, aceite de palma y plantas acuáticas. Este gas es empleado fundamentalmente en la generación de energía eléctrica, como combustible para motores que mueven una bomba de agua, en la cocción de alimentos y equipos de refrigeración. El tratamiento de excremento de animales y humanos mejora las condiciones de saneamiento para los propietarios de la planta, sus familias y la comunidad entera ya que el contenido inicial de patógenos del excremento se reduce apreciablemente debido a los procesos de fermentación. (Calderon & Aguirre, 2019)

Desafortunadamente en la implementación de la tecnología del biogás se han presentado dificultades relativas al manejo y operación de los biodigestores, pobre selección de los reactores, escasas de aceptación sociocultural entre otros. Estas dificultades han conllevado al mal uso de la tecnología e inclusive al abandono en algunas regiones (Calderon & Aguirre, 2019).

Uno de los objetivos principales para el establecimiento de los biodigestores es que ellos constituyen una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos presentes en las aguas residuales ya que previene la contaminación de los cuerpos de agua y al mismo tiempo suministra un gas combustible, fundamentalmente metano que puede emplearse para satisfacer la demanda de energía de una comunidad y un efluente que puede ser utilizado como fertilizante. En Cuba los biodigestores son ampliamente utilizados en el sector de la agricultura no solo para la protección del medioambiente sino también para lograr soberanía alimentaria. (Calderon & Aguirre, 2019)

En Grupo Empresarial de Ganado Menor (GEGAM) gestiona el Proyecto genético bufalino de la UEB Integral Agropecuaria y Urbana Aguada el reviste especial importancia a nivel nacional en la producción de alimentos para suplir la demanda creciente de la población. Son reconocidas y demostradas las bondades de esta especie en la producción de carne de elevada calidad, con 40% menos de colesterol y 12% menos de grasa que la vacuna; y leche con un alto contenido de grasa y calcio.

En este contexto el excremento generado como residuo de la ganadería de esta especie no se le da tratamiento lo cual provoca contaminación en los suelos, agua y aire, sin embargo, puede emplearse en la producción de biogás con destino a las minindustrias cárnicas y lácteas de la UEB Integral Aguada; además de contribuir a las viviendas de la comunidad. Lo que constituye la **Situación Problemática**, de ahí que se enuncie el siguiente **Problema de Investigación**: ¿Cómo utilizar el excremento de la masa bufalina en la generación de energía mediante el empleo de fuentes renovables de energía?

Enunciándose la siguiente **Hipótesis de investigación**: La realización de un análisis en cuanto a potencialidades y capacidades reales de utilización de biogás a partir de las excretas de búfalo contribuirá a la disminución consumo de energía eléctrica generada por fuentes convencionales en la minindustria cárnica de la UEB Integral Aguada.

De ahí que el **Objetivo general** de la investigación sea: Realizar un análisis en cuanto a la utilización de excretas de búfalo para la generación de biogás en la minindustria cárnica de la UEB Integral Aguada.

Del cual se deslindan los siguientes **Objetivos específicos**:

1. Realizar una revisión bibliográfica referente al uso y beneficios de la tecnología del biogás.
2. Aplicar la metodología basada en el biogás para grandes volúmenes de ganado.
3. Proponer un biodigestor para la utilización de excretas de búfalo en la generación de biogás.

Justificación

La ganadería sostenible engloba distintos sistemas de producción de carne y otros productos provenientes de animales con un uso mucho más eficiente de los recursos para no hipotecar los de las generaciones futuras como parte de la solución para frenar la crisis climática. Actualmente, garantizar dietas saludables a tantas personas y respetar el medio ambiente al mismo tiempo es un reto mayúsculo recogido en el ODS 2: acabar con el hambre, alcanzar la seguridad alimentaria y mejorar la alimentación. “Para lograrlo, es necesario reorientar los sistemas de producción de alimentos”, alerta la FAO. En este contexto el excremento generado como residuo de la ganadería de esta especie puede emplearse en la producción de biogás con destino a las viviendas de la comunidad, mientras que otra parte para la generación de energía eléctrica para el Sistema Electroenergético Nacional.

La investigación se estructura, en resumen, summary, introducción, tres capítulos, conclusiones generales y recomendaciones.

Capítulo 1 Marco Teórico de la investigación

1.1 Introducción

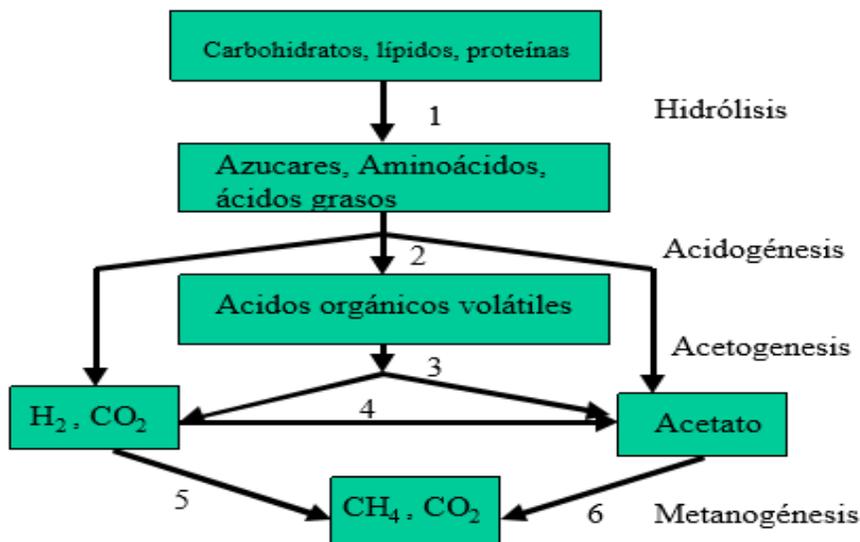
En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica referente a los fundamentos de la tecnología de producción de biogás, sus beneficios, los parámetros de operación de los sistemas de generación de biogás, tipos de biodigestores y el potencial de esta fuente renovable en el país.

1.2 Fundamentos de la tecnología de producción de biogás

El mecanismo predominante para la producción de biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado biodigestor. La biomasa se mezcla en digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir ácidos y alcoholes. Seguidamente en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y alcoholes para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico. Figura 1.1

Figura 1.1 Esquema de la digestión anaerobia



Nota: (Silva Vinasco, 2002)

El biogás obtenido en esta transformación, lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación.

El biogás contiene aproximadamente un 60% de metano y un 40% de dióxido de carbono; la pequeña cantidad de ácido sulfhídrico da al gas un olor a huevos podridos. El valor calorífico del biogás 20 a 30 MJ de energía calórica por m³ de gas. (Silva Vinasco, 2002)

Tabla 1.1 Composición bioquímica del biogás

COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	% VOLUMEN
Metano	CH ₄	60-70
Gas Carbónico	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Acido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Nota: (Silva Vinasco, 2002)

1.3 Beneficios obtenidos en la aplicación de la tecnología del biogás

Las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biogás son:

- Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica o sistemas de gas convencionales.
- Reducción de olores: los sistemas de biogás reducen los olores ofensivos especialmente en aquellas zonas donde se producen y manejan grandes cantidades de estiércol debido a la explotación de ganado. Los sistemas de biogás reducen estos olores debido a que los ácidos orgánicos volátiles que causan los compuestos generadores de olor son consumidos por las bacterias productoras de gas.
- Fertilizante de alta calidad. En el proceso de digestión anaerobia, el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran proporción a amoníaco, el constituyente básico de fertilizante comercial, que es fácilmente disponible y utilizado por las plantas.
- Reducción de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. El efluente del digestor es un producto más uniforme y manejable que el estiércol no tratado. La alta cantidad de amoníaco permite una mejor utilización de los cultivos y permite mejorar las

propiedades físicas de los suelos. Una aplicación apropiada del efluente del digestor reduce la contaminación de aguas superficiales o subterráneas.

- Reducción de patógenos El calentamiento que ocurre en los digestores reduce las poblaciones de patógenos rápidamente en pocos días. (Silva Vinasco, 2002)

La recuperación de biogás mejora los rendimientos económicos mientras mejora la calidad del medio ambiente. Maximizando los recursos de la granja de tal manera que puede probarse que es competitiva y considerarse como una alternativa sostenible para la industria ganadera. (Silva Vinasco, 2002)

1.4 Parámetros de operación de los Sistemas de Generación de biogás

Los procesos bacterianos y enzimáticos de la digestión anaeróbica son sensibles a variación en temperatura, contenido de agua, y composición general de la mezcla en el biodigestor. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire del digestor de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica. En consecuencia, el tanque del digestor debe estar herméticamente cerrado. (Silva Vinasco, 2002)

- **Contenido de agua de la mezcla**

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al biodigestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada. (Silva Vinasco, 2002)

Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa a agua debe estar entre 1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 Kg. de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4. Es esencial proporcionar una buena mezcla en el digestor para promover una biodegradación efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso. (Silva Vinasco, 2002)

- **Temperatura y período de retención**

La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan mejor en el rango de 30 a 35°C y esta es temperatura óptima para la producción de biogás. La temperatura en el tanque

digestor siempre debe estar por encima de 20°C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10° C la digestión cesa completamente. (Silva Vinasco, 2002)

Períodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digestor son usuales para la mayoría de países tropicales. Si las temperaturas ambientes son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35° C, puede ser suficiente un período de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días. En el caso de desechos de ganado porcino que son ricos en ácidos volátiles se necesitan de 10 a 15 días; los excrementos de bovinos que contienen compuestos de difícil descomposición requieren mínimo de 20 días de digestión. (Silva Vinasco, 2002)

- **Acidez/Alcalinidad de la mezcla**

Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones en acidez/alcalinidad (pH) de la mezcla del digestor. Para un funcionamiento óptimo, el valor del pH de la mezcla debe mantenerse dentro del rango de 6.8 a 7.5, esto es, neutral a ligeramente alcalino. El valor del pH puede ser determinado con bastante precisión con una prueba de papel de litmus una muestra del agua. Durante el proceso de digestión, se producen ácidos orgánicos, y no se controlan, la mezcla en el tanque puede gradualmente tornarse acida, lo que puede inhibir los procesos bacterianos y enzimáticos en el biodigestor. La regulación del pH en el rango deseado se logra agregando regularmente a la mezcla materiales alcalinos, tales como cal o cenizas. (Silva Vinasco, 2002)

- **Nutrientes**

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y la actividad de las bacterias. La materia prima que contiene una baja razón carbono/nitrógeno es digerida fácilmente, pero los residuos agrícolas leñosos tales como la paja de trigo o de arroz (ver tabla 1.2), requieren un suministro de nitrógeno para una digestión eficiente. (Silva Vinasco, 2002)

Tabla 1.2: Relaciones Carbono/Nitrógeno de materias primas de sistemas de biogás:

MATERIA PRIMA	RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO
Paja de trigo	87:1
Paja de arroz	67:1
Estiércol fresco de ganado	25:1
Heces humanas frescas	3:1

Nota: (Silva Vinasco, 2002)

El alto contenido de celulosa de los pastos y residuos agrícolas hace que sean difíciles de digerir. Las heces humanas y orines, y también los desechos de animales son ricos en nitrógeno y nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de las bacterias anaeróbicas. Para una producción óptima de biogás, se deben alimentar los diversos tipos de biomasa en proporciones cuidadosamente balanceadas y mezcladas. Se recomienda que la razón carbono/nitrógeno de los materiales combinados de alimentación sea mantenida menor de 30:1. Un resumen de los rangos óptimos de los parámetros para la producción de biogás está dado en la tabla 3. El alto contenido de celulosa de los pastos y residuos agrícolas hace que sean difíciles de digerir. Las heces humanas y orines, y también los desechos de animales son ricos en nitrógeno y nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de las bacterias anaeróbicas. Para una producción óptima de biogás, se deben alimentar los diversos tipos de biomasa en proporciones cuidadosamente balanceadas y mezcladas. Se recomienda que la razón carbono/nitrógeno de los materiales combinados de alimentación sea mantenida menor de 30:1. Un resumen de los rangos óptimos de los parámetros para la producción de biogás está dado en la tabla 1.3. (Silva Vinasco, 2002)

Tabla 1.3: Rangos óptimos de los parámetros de producción del biogás

PARÁMETRO	RANGO ÓPTIMO
Temperatura(° C)	30-35
PH	6.8-7.5
Relación C/N	20-30
Tiempo de Retención (días)	10-25*
Relación agua/Sólidos	6-10

* Países tropicales temperaturas en rango óptimo.

Nota: (Silva Vinasco, 2002)

1.5 Proyección de los sistemas de generación de biogás

En la fase de planeación de los sistemas de generación de biogás deben chequearse aspectos relacionados con la continuidad en el suministro de biogás, la calidad, el uso, la operación y mantenimiento del sistema.

La continuidad y calidad se relacionan directamente con el tipo, la cantidad y el manejo de la biomasa disponible para alimentar el sistema, una cantidad insuficiente de biomasa limita la eficiencia de generación de biogás.

Las necesidades de energía deben establecerse para determinar el uso potencial del biogás generado y optimizar el aprovechamiento del sistema.

Aspectos relacionados con la operación y mantenimiento tales como el tiempo diario que se debe dedicar a la revisión del sistema, monitoreo periódico etc., deben ser tenidos en cuenta pues de ellos depende el éxito del sistema. (Silva Vinasco, 2002)

La implementación de sistemas de generación de biogás implica la planeación y proyección de los siguientes aspectos:

- Colección de biomasa
- Digestor anaeróbico
- Almacenamiento del efluente
- Manejo del gas
- Uso del gas y de subproductos del proceso.

Obviar algunos de estos aspectos puede hacer fracasar el proyecto y llevar a cuestionar el uso de la tecnología.

1.6 Colección de Biomasa

Quizás el primer interrogante a resolver al proyectar una instalación de generación de biogás es determinar si se cuenta con biomasa en la cantidad y frecuencia suficiente que provea la carga orgánica necesaria para mantener de manera continua la operación del biodigestor.

Una vez establecida la disponibilidad de biomasa esta debe ser colectada en alguna parte del sistema de generación de biogás, con el propósito de adecuarla (diluir la o concentrarla, adicionarle nutrientes) o simplemente conducirla al biodigestor.

El sistema de colección esta predeterminado por un inventario de la cantidad de desechos orgánicos a emplear, características de los mismos (biodegradabilidad), estado físico en que se manejan (líquido o sólido), frecuencia de recolección de la biomasa, transporte al biodigestor, de la calidad de esta información básica depende el éxito del sistema. (Silva Vinasco, 2002)

Al emplear como flujo principal de biomasa en el sistema de generación de biogás el estiércol de animales debe tenerse en cuenta que el contenido de sólidos limitan su uso y manejo. La tabla 1.4 sugiere una clasificación de las diferentes formas en que se puede encontrar el estiércol a usar en un sistema de generación de biogás. (Silva Vinasco, 2002)

Tabla 1.4 Clasificación del estiércol aplicado a los sistemas de biogás

CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Estiércol crudo	Contenido de Sólidos de 8-25% depende del tipo de animal; se diluye o espesa de acuerdo a las necesidades
Estiércol Líquido	Contenido de sólidos <3%;es lavado con agua de donde esta depositado ; producción de biogás en clima calido; asociado a la producción de cerdos.
Estiércol Slurry	Contenido de Sólidos de 3-10%;es bombeado al sistema y se almacena en tanques; se mezcla con algo de agua.
Estiércol Semisólido	Contenido de Sólidos 10-20%;Puede ser usado si tiene menos de una semana; no requiere adición de agua.
Estiércol Sólido	Contenido de sólidos >> a 20%; No es deseable para la producción de biogás al envejecer o secarse.

Nota: (Silva Vinasco, 2002)

1.7 Tipos de Biodigestores

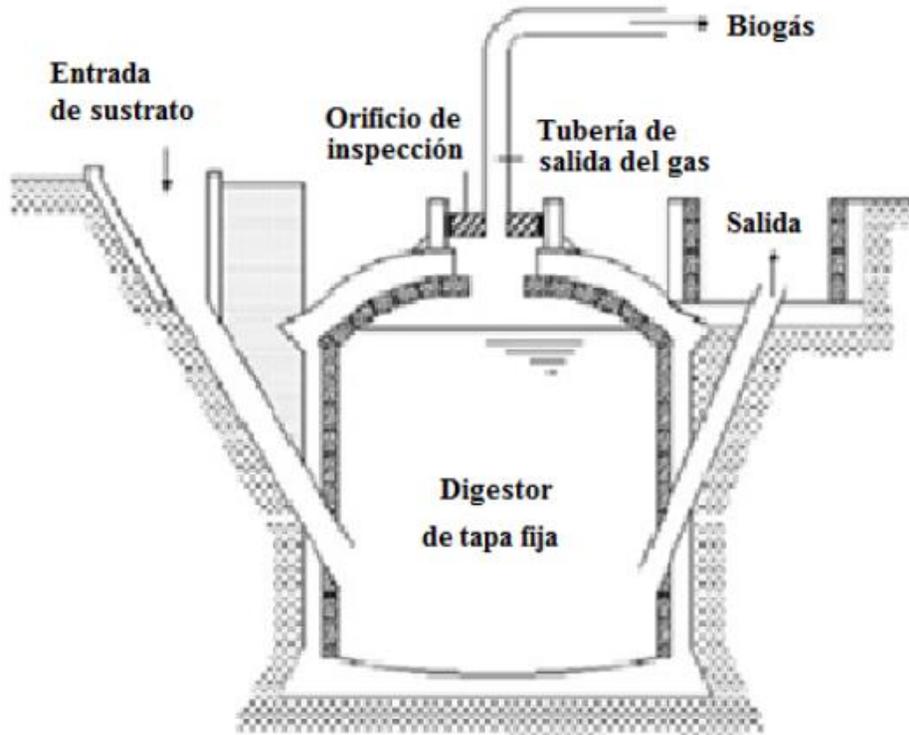
El biodigestor es la estructura física o reactor que favorece en un proceso natural anaeróbico la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos y la generación del biogás.

- **Biodigestor de tapa fija o de tipo chino:**

Los biodigestores de tipo chino (figura 1.2) consisten en un sistema cerrado, construido usualmente de mampostería y bajo el nivel de la tierra. Estos biodigestores de pequeño formato (minidigestores) poseen una tapa fija en forma de domo que contiene al biogás en su interior, una entrada para alimentar el sustrato y una salida del digestor que usualmente actúa como tanque de compensación. El espacio que contiene al gas debe ser hermético, por lo cual se aplican pinturas sintéticas u otras que garanticen la hermeticidad requerida. La construcción de este tipo de biodigestores requiere de excesivo trabajo y de una rigurosa supervisión de especialistas. Su estructura de mampostería es propensa a la porosidad y agrietamiento (a veces irreparables) dificultando la necesaria hermeticidad y requiriendo el uso de materiales para el sellado. Existen varios diseños de biodigestores de tapa fija como son el modelo de la India Deebandhu, el Akut y el CAMARTEC cada uno de los cuales tiene un domo de forma

esférica como característica central. En Cuba se han desarrollado varios modelos adaptados a los recursos existentes, entre los que se destaca el modelo GBV. Según el último censo realizado por el Grupo Nacional de Biogás (GNB) en el 2015, en Cuba existen aproximadamente 400 plantas de este tipo. (Barrera-Cardoso, 2020)

Figura 1.2 Esquema general de un biodigestor de tapa fija o de tipo Chino.



Nota: (Barrera-Cardoso, 2020)

Principio de funcionamiento:

Este tipo de biodigestor puede ser operado de forma continua o discontinua. Cuando la producción de gas comienza, el líquido que se encuentra en el interior del biodigestor se desplaza hacia el tanque de compensación (salida) mientras que el biogás producido se almacena en el domo. Cuando el biogás es extraído, una cantidad proporcional de líquido regresa hacia el interior del biodigestor. Por tal motivo, la presión de gas dentro del biodigestor no permanece constante, incrementándose con la cantidad de biogás almacenado y con la diferencia de alturas entre el nivel interior y exterior del líquido. La fluctuación de esta presión puede complicar el uso final del biogás. (Barrera-Cardoso, 2020)

Parámetros de operación:

Los biodigestores de tipo chino pueden manejar sustratos de alto contenido de fibra, de conjunto con excremento animal de hasta 500 cerdos. Poseen una vida útil estimada entre 15 y 20 años; y pueden llegar a alcanzar de 6 a 91 m³ en aplicaciones domésticas y hasta 740 m³ en aplicaciones industriales. En Cuba sus máximos volúmenes a escala doméstica se reportan en el orden de los 70 m³ y no se conocen experiencias de su aplicación a escala industrial. Su productividad volumétrica oscila entre 0,2 y 0,5 m³ de biogás por m³ de biodigestor al día, la cual constituye la más baja reportada para minidigestores.

Una vez concluida su construcción se procede a cubrirlos con tierra hasta el tope, para su aislamiento térmico y para contrarrestar la presión interna. Las experiencias en Cuba reportan presiones de trabajo entre 75 y 90 mm de columna de agua para su uso directo en la cocción de alimentos. La eficiencia de remoción de materia orgánica es también una de las más bajas reportadas (máximo 50%) debido a su forma cilíndrica que no garantiza el recorrido uniforme del sustrato dentro del biodigestor, originando cortos circuitos hidráulicos. El TRH que alcanza es de 21 días, con una COV de hasta 2 kg sólidos volátiles (SV) m⁻³ d⁻¹. Sus costos de inversión pueden variar en función del escenario, la fuente de adquisición de los recursos y la necesidad de contratación de mano de obra.

Los efluentes tratados en biodigestores de cúpula fija pueden ser dispuestos en una laguna de oxidación y empleados para el riego de cultivos, debido a su bajo porcentaje de sólidos totales. (Barrera-Cardoso, 2020)

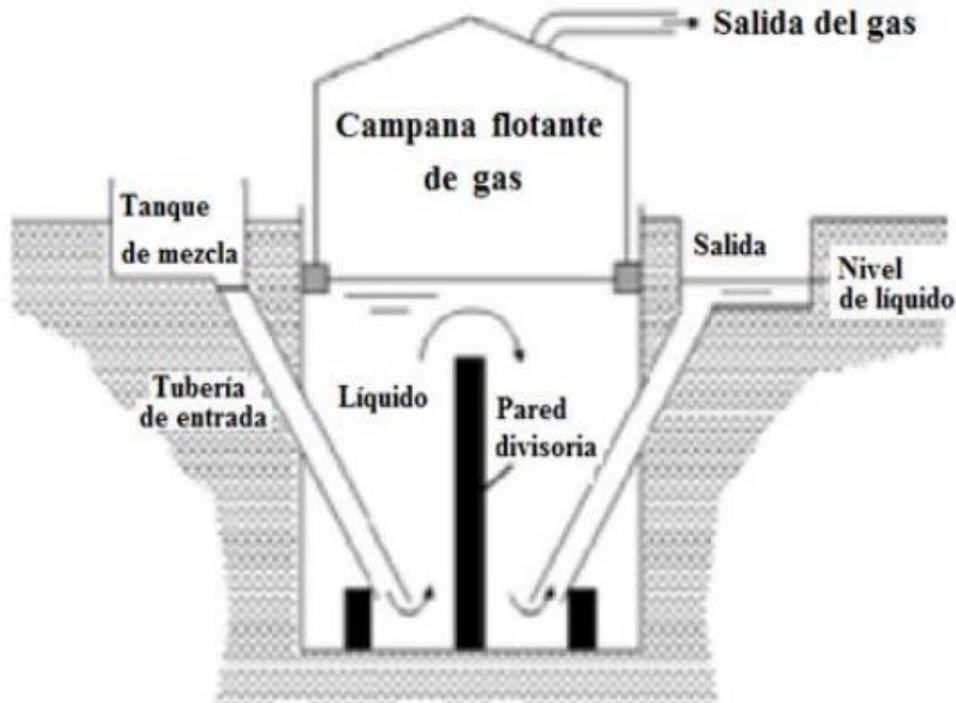
- **Biodigestor de campana flotante o de tipo Hindú**

Los biodigestores de campana flotante o de tipo hindú (figura 1.3) están formados por un cilindro de mampostería en su parte inferior (con un tope para apoyar la campana) y

una campana flotante que almacena el gas en la parte superior (30) La campana de gas es usualmente construida de metal con planchas de acero, de entre 2 y 2,5 mm de espesor, siendo soldadas algunas abrazaderas en su interior como un medio de ruptura de la espuma cuando se procede a su rotación. Luego de la eliminación de las suciedades y la corrosión en la superficie del metal, la campana debe ser cubierta con pintura de aceite o sintética para protegerla de la corrosión. (26) Por tanto, es recomendable aplicar mantenimiento a la campana anualmente para lograr una vida útil de la misma de entre 8 y 12 años. Algunos materiales

recomendables son las planchas de acero galvanizado, los plásticos (fibra de vidrio reforzada y planchas de plástico) y el ferrocemento con recubrimiento para garantizar la hermeticidad del gas. (Barrera-Cardoso, 2020)

Figura 1.3 Esquema general de un biodigestor de campana flotante o de tipo Hindú.



Nota: (Barrera-Cardoso, 2020)

Principio de funcionamiento:

Los biodigestores de tipo Hindú son fáciles de entender y operar. Ellos proporcionan gas a una presión relativamente constante ($\approx 0,1 \text{ atm}$) y el volumen de gas almacenado se identifica por la posición de la campana. A medida que la producción de gas aumenta, la campana metálica se desplaza hacia arriba indicando un incremento de la cantidad de biogás contenida en el biodigestor. La campana se encuentra guiada por un marco de mampostería que le proporciona estabilidad y la mantiene erecta, pudiendo estar flotando dentro del líquido que se encuentra en el interior del biodigestor o en una chaqueta de agua separada (figura 1.3). En este último caso se ha estimado una mayor vida útil de la campana ya que permite que se apliquen capas de aceite usado. (Barrera-Cardoso, 2020)

Parámetros de operación:

Los biodigestores de tipo Hindú alcanzan tamaños de entre 5 y 70 m³ a escala doméstica, mientras que volúmenes de hasta 248 m³ han sido reportados como de uso industrial. En Cuba no se conocen experiencias de su aplicación a escala industrial. Su productividad volumétrica es ligeramente superior (0,3-0,6 m³ de biogás por m³ de biodigestor al día) a la de los biodigestores de tipo chino, lo cual se debe a la forma uniforme en que fluye la materia orgánica dentro del biodigestor, además de presentar al igual que el biodigestor de tapa fija una COV de hasta 2 kg SV m⁻³ d⁻¹. Al igual que los de tipo chino, los costos de inversión pueden variar en función del escenario, la fuente de adquisición de los recursos y la necesidad de contratación de mano de obra.

- **Biodigestor tubular o de bolsa de polietileno**

Los biodigestores tubulares o de bolsa de polietileno (figura 1.4), están formados por una bolsa “resistente a las condiciones ambientales”. La bolsa es considerada como frágil y susceptible a daños mecánicos y a los cambios de la temperatura ambiental, por lo que su vida útil se considera de entre 2 y 5 años. La exposición extrema a temperaturas bajas puede reducir considerablemente la producción de biogás debido a su insuficiente aislamiento con el medio exterior, mientras que las altas temperaturas ambientales pueden catalizar la producción de otros compuestos volátiles diferentes del metano. Este tipo de plantas requiere, por lo tanto, de protección y posible aislamiento térmico contra condiciones climáticas extremas lo cual incrementa los costos de instalación de los mismos. Aun así, los recursos necesarios para construir las bolsas de polietileno son considerados menores que los que se necesitan para construir biodigestores de tipo chino e hindú. (Barrera-Cardoso, 2020)

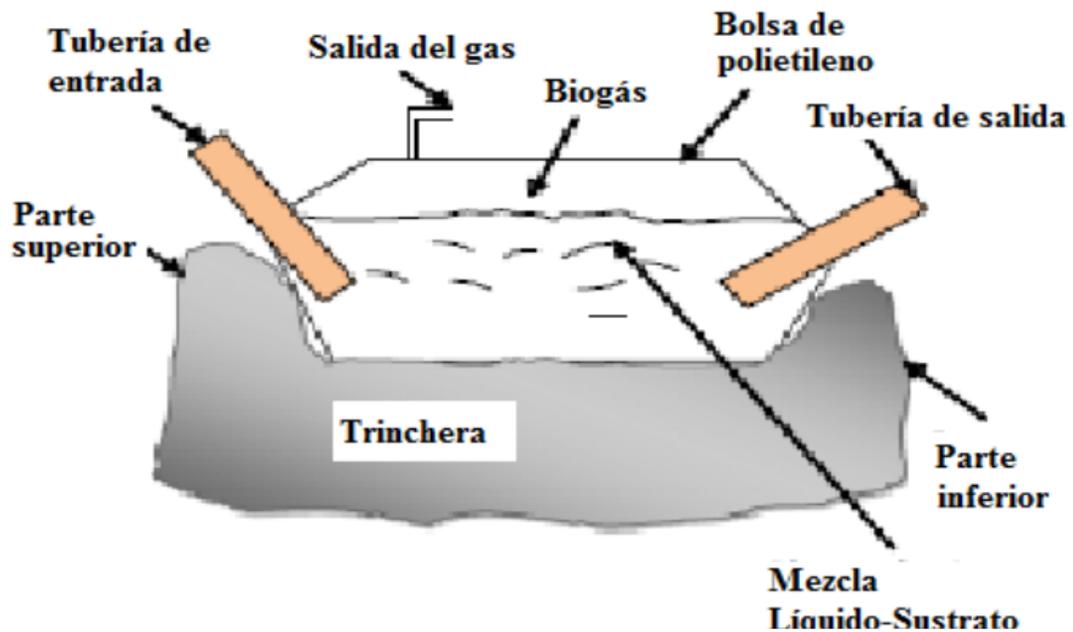
Principio de funcionamiento:

El principio de funcionamiento es muy sencillo, los sustratos son alimentados por la tubería de entrada y ocupan la parte inferior de la bolsa mientras que el tope sirve como contenedor del biogás generado durante la operación. La presión de trabajo es usualmente alcanzada colocando pesos sobre la bolsa. Una vez digerido el sustrato alimentado, el digestato abandona la bolsa por la tubería de salida. (Barrera-Cardoso, 2020)

Parámetros de operación:

A diferencia de los de tipo chino e hindú, este tipo de biodigestor no admite residuales fibrosos, están diseñados fundamentalmente para el tratamiento de excretas. Los volúmenes máximos que pueden alcanzar oscilan entre los 5 y 20 m³ por lo que su aplicación se ve limitada a escenarios con baja disponibilidad de sustratos (ejemplo., centros porcinos de 150 cerdos equivalentes). Estos biodigestores pueden producir entre 0,3 y 0,8 m³ de biogás por m³ de biodigestor al día, con eficiencias de remoción de DQO de entre 65 y 70%. El TRH alcanza hasta 14 días y la COV hasta 4 kg SV m⁻³ d⁻¹, además de presentar ambos un régimen de trabajo semicontinuo. Son muy útiles para soluciones rápidas por sus cortos períodos de instalación y se puede reciclar el material plástico una vez culminada su vida útil. (Barrera-Cardoso, 2020)

Figura 1.4 Esquema general de un biodigestor tubular o de bolsa de polietileno.



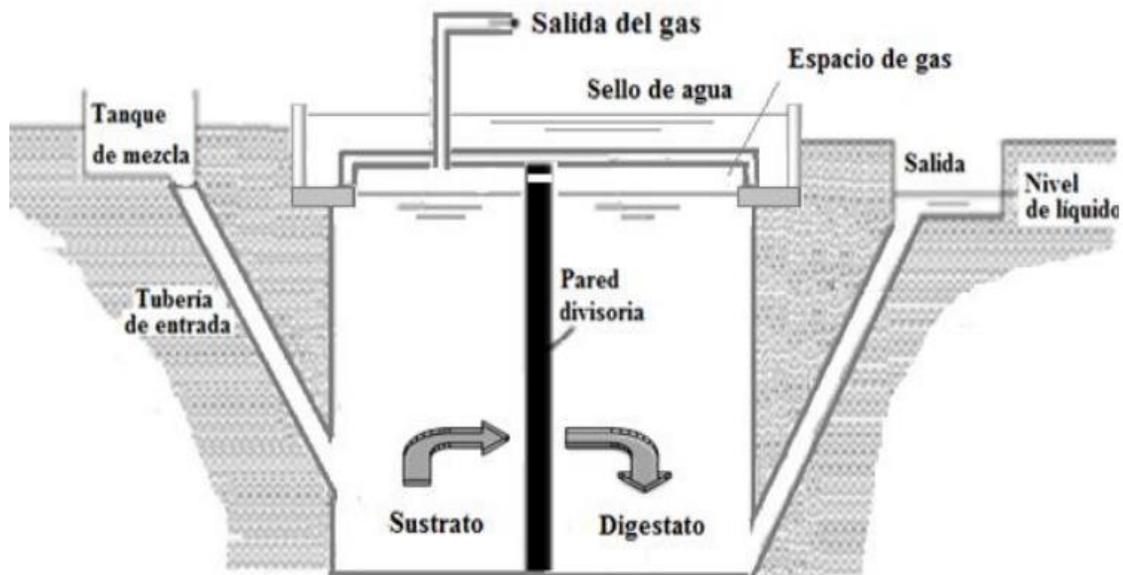
Nota: (Barrera-Cardoso, 2020)

- **Biodigestor híbrido cubano**

Los biodigestores híbridos, también conocidos y patentados como biodigestor híbrido cubano (figura 1.5), han sido difundidos en Cuba a escala doméstica e industrial con resultados satisfactorios. Al igual que los de tipo chino consisten en un sistema cerrado, construido

usualmente de mampostería y bajo el nivel de la tierra. Estos biodigestores poseen una tapa fija, que a diferencia de los de tipo chino, tiene una forma plana. Como todos los demás, poseen una entrada para alimentar el sustrato y una salida de digestato que a escala doméstica actúa como tanque de compensación. Para garantizar la hermeticidad de estos biodigestores y evitar salideros de gas se coloca un sello de agua en la parte superior de su tapa que forma un estanque que puede ser utilizado para la acuicultura o para otros usos. (23) Debido a la forma plana de sus estructuras, su construcción no requiere de excesivo trabajo o de una rigurosa supervisión de especialistas. (Barrera-Cardoso, 2020)

Figura 1.5 Esquema general de un biodigestor híbrido cubano.



Nota: (Barrera-Cardoso, 2020)

Principio de funcionamiento:

Los biodigestores híbridos combinan en su principio de funcionamiento el de los biodigestores de tipo chino, pues son de tapa fija, el de los de bolsas de polietileno pues en su interior funcionan como biodigestores secuenciales o de flujo pistón y el de los de tipo Hindú ya que tienen en su interior un laberinto marcado por paredes verticales, además como geometría de circulación horizontal poseen semejanzas con el reactor de flujo ascendente de manto de lodos (UASB). En ellos los sustratos son alimentados por la tubería de entrada y ocupan la parte inferior del biodigestor mientras que, en el tope, un espacio de unos 30 cm sirve como contenedor del biogás generado durante la operación (figura 1.5). La presión de trabajo es

usualmente alcanzada según el tanque de compensación a escala doméstica (al igual que los de tipo chino). (Barrera-Cardoso, 2020)

Parámetros de operación:

Estos biodigestores pueden ser utilizados para tratar una gran variedad de residuales, ya sean diluidos o concentrados y han sido aplicados en el país a residuales de la industria azucarera, excretas bovinas, porcinas y residuos vegetales (ej., restos de la producción del tomate). A escala doméstica sus volúmenes oscilan entre los 3 y 50 m³ mientras que a escala industrial alcanzan volúmenes de hasta 763 m³, pudiéndose tratar los residuales generados por 10 cerdos por cada m³ de reactor, a diferencia del reactor tipo “chino” donde solo se logra tratar los residuales de 3 cerdos por cada m³ de reactor. La productividad volumétrica de gas de estos biodigestores oscila entre 1,0 y 1,2 m³ de biogás por m³ de biodigestor al día, siendo la mayor reportada dentro de los minidigestores existentes en Cuba. (23) Además, la remoción de carga orgánica alcanza valores de hasta 60% de la DQO, el TRH de 2,5 días, alcanzando una COV de diseño de hasta 6 kg SV m⁻³ d⁻¹ y la calidad del biogás reportado por diseño logra 60% de metano trabajando en régimen continuo. Este hecho permite la asimilación de mayores cargas orgánicas para lograr iguales eficiencias de remoción. Otro aspecto importante es el aprovechamiento del espacio constructivo, permitiendo la utilización de la cubierta del reactor en construcciones propias de los escenarios (ejemplo. naves de cerdos, secaderos, aljibe de agua). (Barrera-Cardoso, 2020)

1.8 Almacenamiento del efluente

Los productos de la digestión anaerobia son el biogás y el efluente líquido. El efluente es una solución orgánica estabilizada que tiene valor como fertilizante y por ello puede ser utilizado en irrigación de pastos y cultivos. Una evaluación de la presencia de organismos patógenos es recomendable para disminuir los riesgos a la salud pública en el momento de la aplicación (Silva Vinasco, 2002).

El efluente del biodigestor también puede ser aprovechado en la generación de biomasa que puede servir de alimento potencial de ganado. Esto se logra combinando el sistema de tratamiento del biodigestor con lagunas ducweed (lenteja de agua). La lenteja de agua es una macrofita con un alto contenido de proteína, una tasa elevada de crecimiento y con capacidad de remover nutrientes de las aguas residuales (N y P). Estas características la potencializan para la recuperación de biomasa. Dependiendo del tamaño de la instalación y de la cantidad de

efluente obtenido se requiere proveer en el sistema un sitio para su almacenamiento esto con el propósito de usarlo o comercializarlo posteriormente. (Silva Vinasco, 2002)

1.9 Manejo del Gas

El biogás debe removerse del biodigestor y transportarse hacia el sitio donde se hace su aprovechamiento. Un sistema de manejo del biogás incluye: Tuberías, bombas o sopladores de gas; medidor de flujo de gas; regulador de presión, drenajes de condensado y sistema de remoción de ácido sulfhídrico (Silva Vinasco, 2002).

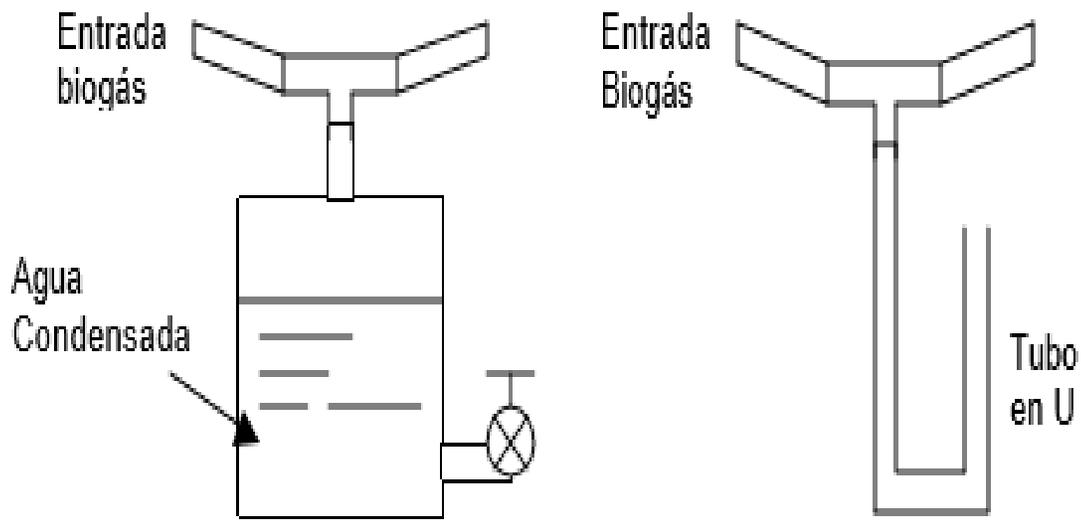
El biogás debe ser manejado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas (Silva Vinasco, 2002).

Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener presente que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Mientras más larga sea la tubería de gas mayor será la caída de presión presentándose la necesidad de adaptar a la línea un soplador. La tubería de gas debe estar provista de un sistema que permita eliminar el agua de condensación ya que generalmente el biogás está saturado con agua, diversos sistemas de este tipo se presentan en la figura 1.6. (Silva Vinasco, 2002)

El ácido sulfhídrico generado en la digestión anaerobia al mezclarse con agua condensada forma ácidos corrosivos por lo que deben tomarse precauciones ya que equipos como los refrigeradores y artefactos para agua caliente son sensibles a estos ácidos. Una solución que eleva los costos del sistema es considerar que la cámara de combustión y los quemadores deben estar hechos de acero colado, de acero especial o esmalte (Silva Vinasco, 2002).

Con ayuda de un filtro a base de óxido de hierro se puede purificar el biogás, eliminando el azufre ($\text{FeO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{FeS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{S}\downarrow$). En el caso de grandes instalaciones de generación de biogás los costos de operación y mantenimiento de esta alternativa son elevados, por lo que no es recomendable su aplicación. El sistema más sencillo y común para remover el H_2S es el de reducir este compuesto pasando el biogás por una trampa de limadura de Hierro o una esponjilla de brillo convencional. (Silva Vinasco, 2002)

Figura1.6 Eliminación de agua de condensación en la tubería de biogás, separador de agua con válvula de drenaje, trampa de agua con tubo en U



Nota: (Silva Vinasco, 2002)

1.10 Usos del biogás

El biogás obtenido en los digestores contiene de 60 a 80% de Metano y su poder calorífico es de aproximadamente 6 kWh/m³ (800 BTU/pie³), lo que permite emplearlo con propósitos de generación de energía; en iluminación y medio de calentamiento para cocción de alimentos; como combustible para una caldera; para calentar un espacio o en equipos de refrigeración. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los equipos que funcionan a base del biogás (Silva Vinasco, 2002).

- **Estufas de biogás**

Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, de bajos costos y alta eficiencia en el uso del combustible. En la mayoría de las viviendas se cocina en dos fogones, por ello se da preferencia a quemadores de dos llamas. Los quemadores deben ser graduados al principio y a continuación deben ser fijados, así se mantiene un alto rendimiento. El rendimiento es bueno, si p.ej. un litro de agua hierve rápidamente (entre 8-12 minutos). Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado, en tal caso, el rendimiento es bajo. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 hasta 20 centímetros de columna de agua es la más apropiada para cocinar (Silva Vinasco, 2002).

- **Alumbrado**

En pueblos no conectados a una red eléctrica, la iluminación es una necesidad básica y un símbolo de "status". Bajo esta situación el uso de lámparas de biogás se hace adecuado para este tipo de comunidades. La luz brillante reflejada por las lámparas de biogás se debe al intenso calor que induce la luminosidad de metales especiales como son el Torio, Cerio y Lantano a temperaturas de 1000-2000 oC. Alrededor de 400 -500 lumen los flujos de luz alcanzados son equiparables con los obtenidos con lámparas de bulbo de 25-75 W (Silva Vinasco, 2002).

Un buen funcionamiento de una lámpara de biogás depende de la calibración óptima de llama y del cuerpo incandescente, que debe ser rodeado por la llama con el mínimo consumo de gas. Las lámparas a biogás poseen un bajo rendimiento, por eso se calientan extremadamente. Si se cuelgan muy cerca del techo, existe peligro de incendio, ya que las camisas incandescentes no duran mucho. Por eso, en muchos casos, las lámparas de biogás no pueden ser utilizadas de manera eficaz. Las lámparas necesitan unos 10 cm. de columna de agua de presión. (Silva Vinasco, 2002)

- **Refrigeradores**

Las máquinas de refrigeración tipo absorción, operados con amoniaco y agua, el termosifón de circulación automática son equipos típicos que pueden funcionar con biogás. La variación diaria en la composición y presión del biogás afecta el funcionamiento de los refrigeradores. Aún en plantas con campana flotante la presión del gas varía mucho según la cantidad de gas almacenado. Por eso se requieren boquillas de inyección especial y resistente a la incandescencia, sobre todo, si el refrigerador posee un regulador con termostato y la llama enciende solo cuando es necesario. En cada arranque existe el peligro de que la llama sea interrumpida, entonces fluye el gas sin ser quemado, por eso, la alimentación del biogás debe ser interrumpida automáticamente si la llama se apaga. Al utilizare biogás en refrigeradores se debe consultar en todo caso a un experto en aparatos a gas. (Silva Vinasco, 2002)

- **Motores que usan biogás como combustible**

Los motores con ignición por chispa pueden funcionar solamente con biogás mientras que los motores diésel requieren algunas modificaciones para permitirles que funcionen principalmente con biogás suplementado con combustible diésel. Esto es una operación de "combustible" dual con hasta el 60% del requerimiento de combustible diésel reemplazado por biogás. La experiencia demuestra que no es práctico reemplazar una mayor proporción del requerimiento

de diésel, debido a las limitaciones operacionales de los motores diésel. La temperatura de la cámara de combustión del motor es mayor (aproximadamente 700° C) al final de la carrera de compresión, pero esto es menor que la temperatura a la cual la mezcla biogás/aire hace ignición espontáneamente. De esta forma, siempre se requiere inyección de un pequeño suplemento de combustible diésel para asegurar la ignición fácil de la mezcla de biogás/aire (Silva Vinasco, 2002).

La mayoría de los motores diésel pueden ser modificados para su operación con combustible dual. En muchos casos, el arreglo más sencillo es el de conectar el tubo del suministro de biogás directamente al tubo de admisión de aire de motor, después del filtro. Para asegurar una operación satisfactoria con combustible dual, el ácido sulfhídrico del biogás debe ser removido por purificación. La potencia pico de salida de un motor diésel modificado que funciona con biogás es del 25 al 35 % menor que cuando se usa combustible diésel exclusivamente. En principio, los motores de gasolina también pueden funcionar con biogás, usando un poco de gasolina para arrancar. Se puede utilizar un carburador estándar para alimentar el biogás, pero los carburadores diseñados exclusivamente para gas generalmente darán mejores resultados. Para la utilización del gas en motores no es necesario filtrar el biogás. La presión del gas puede ser baja porque los motores succionan el gas (Silva Vinasco, 2002).

La tasa de producción de biogás depende del material de biomasa y el tipo de planta usados. La tabla 1.5 da una indicación aproximada de la tasa de producción para varios tipos de desechos animales. En términos generales, se puede estimar la tasa de producción de gas entre 10 y 30 % del volumen del digestor por día, dependiendo del material de alimento, tipo de digestor, temperatura ambiente, y otras condiciones de operación. (Silva Vinasco, 2002)

Todas las proyecciones de producción de biogás deben comenzar con una estimación de la biomasa disponible y los requerimientos de energía que se desean cubrir, esto permitirá establecer preliminarmente si adelantar la implementación de la tecnología de biogás es factible o no. En el caso de una planta de tamaño familiar, proyectada inicialmente como una fuente de energía, la implementación debe recomendarse, solo si la planta cubre la demanda de energía proyectada (Silva Vinasco, 2002).

Tabla 1.5 Tasas de producción de Biogás

Tipo De Desecho o estiércol	Cantidad Disponible (Kg / Día)	Tasa De Producción De biogás (M ³ / Día)
Bufalo	10-15	0.50-0.75
Vaca Cebú	8-10	0.25-0.40
Ternero		0.15-0.25
Cerdo	25	.05-0.1
Gallinas		0.02-0.04
Oveja o cabra		0.02-0.04
Usuario de Letrina	1	0.02-0.03

Nota: (Silva Vinasco, 2002)

En cualquier situación lo que se pretende con la implementación del sistema es que la producción de energía por biogás (P) debe ser mayor que la demanda de energía (D). Esta condición fundamental limita la aplicación de la tecnología en sitios donde la disponibilidad de biomasa es escasa (pocas cabezas de animales por ejemplo). En el caso de un balance negativo, entre la producción y la demanda el planificador debe chequear ambos aspectos – producción y demanda – con el propósito de buscar un equilibrio entre ellos. Los siguientes criterios pueden emplearse con tal fin (Silva Vinasco, 2002):

- **Demanda de energía:**

- ✓ Disminuir los tiempos de uso del biogás, ejemplo, disminuir el tiempo de encendido de lámparas.
- ✓ Omitir ciertas aplicaciones, ejemplo, calentamiento radiante, lámparas secundarias. • Reducción a un nivel de suministro de energía parcial que podría probablemente hacer la operación de una planta de biogás más valiosa.

El alcance de estas consideraciones busca reducir la demanda de energía, pero únicamente a tal extensión que esto no disminuya el grado de motivación por usar la tecnología del biogás. (Silva Vinasco, 2002)

- **Suministro de energía – producción de biogás (P)**

Examine/ calcule las siguientes opciones/factores

- ✓ El grado en el cual el volumen de biomasa puede ser aprovechado completamente (mejores métodos de recolección, uso de estiércol de otros inventarios de ganado, incluir

residuos agrícolas, residuos de alcantarillas, etc.), cualquier forma de biomasa que pudiera incrementar la labor necesaria debe evitarse.

- ✓ El grado en que se puede incrementar el tiempo de retención, por ejemplo un gran volumen de digestor puede incrementar la producción de biogás, por ejemplo el biogás producido de estiércol de ganado vacuno puede ser incrementado de 200l/KgSV para un período de tiempo de retención de 40 días a valores tan grandes como de 320 l/KgSV para un RT de 80 – 100 días.
- ✓ El grado en el que la temperatura de digestión puede incrementarse modificando la estructura. (Silva Vinasco, 2002)

El alcance de tales medidas es determinar el máximo nivel de producción de biogás que se puede alcanzar para una cantidad razonable de trabajo y un aceptable costo de inversión.

1.11 Potencial del biogás en Cuba

En 2018 se presentó el Atlas Nacional de Bioenergía en el sector agropecuario y forestal, elaborado por el proyecto GEF/NUD Bioenergía, liderado por la Estación Experimental Indio Hatuey (EEIH) y Cubaenergía. Dicho Atlas incluyó la metodología para la evaluación del potencial del biogás, que identifica un importante potencial de producción y utilización de biogás en el sector agropecuario cubano, por provincia, especie y sistema de producción. Considerando la masa porcina estatal y de los convenios, las aves del sector estatal y las vacas lecheras de unidades estatales, cooperativas y privadas, en Cuba existe un potencial de producción de biogás ascendente a 136 533 211 m³ anuales, con un valor energético de 75 289 tep/año y un potencial de generación de electricidad de 245 760 MWh/año (Hernández, Chacón, & Casas, 2021).

Con estas cifras, el sector ganadero puede autoabastecerse y generar electricidad en todas las provincias excepto Artemisa, Mayabeque, Matanzas, Cienfuegos y La Habana. Las provincias con el mayor potencial de producción de biogás son: Camagüey, Pinar del Río, Artemisa, Villa Clara y Santiago de Cuba. Actualmente se trabaja en la segunda edición de este Atlas, que incluye información de MINFAR, MININT, MINAL y AZCUBA, así como incorporar el rebaño que posee el Grupo Empresarial Agrícola. (Hernández, Chacón, & Casas, 2021)

1.11.1 Tecnologías que se utilizan

Los biodigestores que se usan en Cuba generalmente no superan los 90 m³ de capacidad. Las principales tecnologías difundidas son los de cúpula fija o modelo chino y los tubulares plásticos. Los biodigestores de cúpula fija se construyen con ladrillos, arena, grava, cemento y

acero, tienen una vida útil de más de 40 años, alta eficiencia y una presión que permite distribuir el biogás obtenido a viviendas situadas hasta un kilómetro de distancia. Han sido promovidos por proyectos internacionales y autoconstrucción. Los biodigestores tubulares plásticos son menos costosos y rápidos de instalar, pero tienen menor vida útil y presión.

Otra tecnología que se ha comenzado a introducir son los biodigestores de laguna cubierta, apropiada para grandes masas de animales estabulados y para la generación de electricidad. Aunque requieren una mayor inversión inicial, tienen menor costo de inversión por metro cúbico de capacidad de digestión. Estos biodigestores, que superan los miles de metros cúbicos, requieren geomembranas sintéticas, generadores de electricidad y otros equipos y componentes auxiliares importados. Se trabaja en crear capacidades en la industria nacional para la fabricación de parte de estos componentes. (Hernández, Chacón, & Casas, 2021)

1.11.2 Utilización del biogás

El principal uso del biogás en Cuba es en cocinas de GLP adaptadas a biogás. Hay experiencias en cocinas, ollas arroceras, refrigeradores, lámparas de alumbrado y calentadores de agua diseñados para utilizar biogás, así como pequeños generadores de electricidad importados, principalmente a través de proyectos como Biomasa-Cuba, pero el aprovechamiento del biogás no supera el 10-20 %. Un ejemplo exitoso de difusión y uso del biogás es el municipio Cabaiguán, donde existen 100 biodigestores y cuatro redes de distribución a comunidades rurales; ello ha posibilitado la reducción del consumo eléctrico en viviendas entre 40 y 70 %. (Hernández, Chacón, & Casas, 2021)

1.11.3 Pequeños biodigestores

A partir de 2009, durante las primeras fases del proyecto Biomasa-Cuba y en el proyecto UE Agroenergía, se construyeron 189 biodigestores, menores de los 90 m³ en Matanzas, Sancti Spíritus, Las Tunas y Holguín. Desde el 2010 el Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD (PPD-PNUD), entregó 633 biodigestores tubulares de geomembrana de PVC, con un programa de capacitación, en 54 cooperativas agropecuarias de 29 municipios, donde se destacan Placetas, Contramaestre, Los Palacios, Santiago de Cuba, Sancti Spíritus y Cumanayagua. Estos biodigestores tratan los residuales de 61 000 cerdos y evitan la emisión de 9,3 Mt CO₂eq. Además, reducen la carga contaminante en 12 412 t (DBO₅), ahorran 310 t/año de petróleo y 50 kWh/familia, con una reducción de la tarifa eléctrica de 25 %, y la consecuente mejora de en la calidad de vida. Asimismo, en Cabaiguán existe una notable experiencia de redes de distribución de biogás a comunidades rurales, con cuatro redes, apoyadas por Biomasa-Cuba.

Estas redes abastecen a 53 viviendas, benefician a 272 personas y permiten ahorrar 72,2 MW/año, además de eliminar el consumo de leña. Existen además más de 50 pequeñas redes, donde el PPD-PNUD juega un papel clave. (Hernández, Chacón, & Casas, 2021)

1.11.4 Grandes biodigestores

En el municipio Martí, en la provincia de Matanzas, hay dos biodigestores de laguna cubierta en operación. El mayor tiene una capacidad de 4 000 m³ y se ubica en un centro porcino de AGROFAR. Este equipo, apoyado por Biomas-Cuba, da tratamiento a los residuales de 11 000 cerdos y cuenta con un generador de 120 kW; el otro biodigestor en operación, con 1 700 m³, está en un centro porcino de GEGAN y tiene asociado un generador de 80 kW; ambos entregan la electricidad generada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Se encuentra en construcción otro biodigestor con dicha tecnología, con similar diseño y apoyo de los proyectos Biomas y Bioenergía, liderados por la EEIH, a un 85% de ejecución de la obra. (Hernández, Chacón, & Casas, 2021)

1.11.5 Estado actual en el sector agropecuario

En un diagnóstico realizado conjuntamente en el año 2020 entre el Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB) y la EEIH se identificó la existencia de 3 441 biodigestores en Cuba, de los cuales funciona el 83 % y un 90 % son privados. Se destacan las provincias de Villa Clara, Santiago de Cuba, Pinar del Río, Sancti Spíritus, Holguín, Granma y Cienfuegos (Hernández, Chacón, & Casas, 2021).

- Estado actual en el sector agropecuario

En un diagnóstico realizado conjuntamente en el año 2020 entre el Movimiento de Usuarios del Biogás (MUB) y la EEIH se identificó la existencia de 3 441 biodigestores en Cuba, de los cuales funciona el 83 % y un 90 % son privados. Se destacan las provincias de Villa Clara, Santiago de Cuba, Pinar del Río, Sancti Spíritus, Holguín, Granma y Cienfuegos (Hernández, Chacón, & Casas, 2021).

Tabla 1.6 Cantidad de biodigestores por provincias en Cuba

Provincia	Total de biodigestores	Biodigestores en funcionamiento
Pinar del Rio	386	292
Artemisa	200	150
Habana	39	28
Mayabeque	38	38
Matanzas	239	149
Cienfuegos	219	219
Villa Clara	712	687
Sancti Spíritus	329	308
Ciego de Ávila	76	48
Camagüey	38	31
Las Tunas	82	33
Holguín	255	250
Granma	234	215
Guantánamo	156	149
Santiago de Cuba	438	272
TOTAL	3441	2869

Nota: (Hernández, Chacón, & Casas, 2021)

1.12 Conclusiones parciales

1. El uso de los biodigestores es extendido a nivel mundial con varios tipos que fundamentan por sus tecnologías, beneficios y sus características hacen que su selección sea viable para el tratamiento de residuos de diversos tipos.
2. En Cuba existe un gran potencial de biogás por tipo de ganado tanto en el sector estatal, privado como en las cooperativas.

Capítulo 2: Metodología basada en el biogás para grandes volúmenes de ganado

2.1 Introducción

En este capítulo se realiza la caracterización UEB Integral Agropecuaria Aguada y su masa de ganado mayor, además de proponer una metodología del uso de biogás para grandes volúmenes de ganado con el fin de generar energía eléctrica mediante fuentes limpias y disminuir la contaminación de los suelos, agua y aire, contribuyendo al uso de energía renovables en la producción de alimentos.

2.2 Caracterización UEB Integral Agropecuaria Aguada

La provincia de Cienfuegos cuenta con la UEB Integral Agropecuaria Aguada, está ubicada en el Batey Perseverancia del Municipio Aguada de Pasajeros Provincia de Cienfuegos a 10 Km de la cabecera municipal, a los 20°21'20" de latitud Norte y los 80°40'20" de longitud Oeste en la llanura de Cienfuegos.

Posee una superficie geográfica de 11513,96 ha con área agrícola de 26451.65 ha, de ellas cultivos varios 1529,8 ha, en ganadería 9571.98 ha, en forestal 1941,98 ha, de ellas forestada 1380,7 ha. Cuenta con dos minindustrias una dedicada a la venta al turismo, Centro Cárnico "La Larguita" y otra fundamentalmente a otras empresas y a la población que es la de Minindustria Láctea que cuenta también con una línea de Dulces y Conservas.

Sus principales actividades están dedicadas a las producciones agropecuarias enfrascándose principalmente en el desarrollo bufalino y ganadero en la producción de leche, carne y sus derivados. Para el desarrollo de sus funciones cuenta con un total de 310 trabajadores de ellos 8 dirigentes, 67 técnicos, 32 de servicio y 203 obreros, 29 graduados de nivel superior, con un total de 58 mujeres, distribuidas en todas las actividades.

Su misión se encamina a facilitar el proceso de producción y comercialización de las producciones agropecuarias, tanto en carne, como leche, con costos competitivos aprovechando al máximo las capacidades potenciales, propiciando el desarrollo del proceso de innovación con una adecuada capacitación, contribuir a elevar el nivel de vida del pueblo, sin contaminar el medio ambiente, teniendo en cuenta:

- El uso, conservación y mejoramiento de los suelos, la propiedad y posesión de la tierra agropecuaria y forestal.
- La Medicina Veterinaria.

- La conservación, manejo, utilización racional y desarrollo sostenible de los recursos del patrimonio forestal y de flora y fauna silvestres.
- La protección e incremento del patrimonio ganadero
- La mecanización y riego de los programas de producción que le competen.
- Las actividades de producción ganadera y forestal.
- Producción de alimento.
- Potenciar el uso de las Fuentes Renovables de Energía.

La integración de la UEB es la siguiente:

- Granja Genética Bufalina
- Granja Desarrollo Vacuno
- Grupo Transporte y Servicio Técnico
- Grupo de Gestión del Conocimiento
- Grupo Servicio Veterinario
- Grupo de Comercialización y Compra
- Brigada de Servicio.
- Centro Cárnico “La larguita”
- Minindustria láctea con línea de Dulces y Conservas
- Taller

Formas productivas:

- UBPC Aguada.
- 9 CCS

Para el desarrollo agropecuario se identifican como fortalezas:

1. El decidido respaldo del Estado y Gobierno cubano al desarrollo del sector agropecuario.
2. La existencia de capital humano preparado como consecuencia de la obra educacional de la Revolución, ingenieros, técnicos y obreros experimentados, lo que facilita la introducción de nuevas tecnologías.
3. El nivel de organización de la base productiva.
4. La permanencia de la tierra en poder del Estado, y la no existencia de mercado de tierra, facilita la toma de decisiones con respecto a su tenencia y uso.

5. La infraestructura productiva creada por la Revolución para el desarrollo agropecuario del país propicia que las inversiones se ejecuten a menos costo, realizando reparaciones o modernizaciones de las mismas.
6. El aparato estatal de la agricultura se ha perfeccionado y extendido su influencia hasta el municipio, donde su papel es más relevante por estar en contacto directo con la base productiva.
7. Las empresas a las que se vinculan las cooperativas que gestionan las tierras del Estado, igualmente están en proceso de perfeccionamiento y fortalecimiento.
8. Contamos con el acompañamiento de los sindicatos Agropecuario Forestal y Tabacalero, Asociación Nacional de Agricultores Pequeños y de las organizaciones de profesionales de las que el organismo es órgano de relación (ACTAF, ACPA), lo que constituye una fortaleza invaluable.

2.3 Caracterización de la masa ganadera

La UEB tiene ganado vacuno y búfalo, la composición de esta masa ganadera se muestran en la Tabla 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1 Composición de del ganado vacuno



EXISTENCIA MASA ESTATAL

Vacuno



Categoría Machos	<u>Cbz</u>	Categoría Hembras	<u>Cbz</u>
Terneros	39	Terneras	54
Añojos	54	Añojas	77
Toretos	18	Novillas	147
Toros	139	Vacas	214
Buey	38	Subtotal	492
Sementales	18		
Subtotal	304	Total General	764

Nota: (Grupo Empresarial de Ganado Menor, Cienfuegos)

Tabla 2.2 Composición de del ganado búfalo



EXISTENCIA MASA ESTATAL



Búfalos

Categoría Machos	Cbz	Categoría Hembras	Cbz
Bucerros	91	Bucerras	132
Buñojos	71	Buñojas	186
Butoretas	66	Buvillas	299
Búfalos	73	Búfalas	160
Sementales	7	Subtotal	777
Subtotal	308	Total General	1 085

Nota: (Grupo Empresarial de Ganado Menor, Cienfuegos)

La investigación que se desarrolla en la UEB Integral Agropecuaria Aguada, tendrá el alcance de determinar el potencial de generar energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino. Para ello es necesario conocer el comportamiento de este tipo de ganado.

2.3.1 Ganado bufalino sus características

Los rebaños bufalinos en Cuba se encuentran distribuidos en las 14 provincias y en el municipio especial Isla de la Juventud con más de 50 000 cabezas, lo que significa que en 22 años la población tuvo un crecimiento de 21,7%, lo que ubica a esta especie entre las de mayor tasa de crecimiento en el país.

- Características de la especie:

El búfalo de pantano se caracteriza por su color gris purpúreo, cuello inclinado, con cuernos macizos echados hacia atrás. Es utilizado fundamentalmente como animal de trabajo, para la producción de carne y muy raras veces para la producción de leche; mientras que el búfalo de río generalmente es negro o gris oscuro, dotado de cuernos estrechamente enrollados y produce más leche que el de pantano. Los búfalos de río, representados en el país por el Buffalypso, presentan indicadores fisiológicos semejantes a los del bovino, pero la presencia de agua es vital para su comportamiento y lucha contra el estrés térmico o en su lugar deben disponer de abundante sombra.

Las ventajas con relación a los bovinos son las siguientes:

1. Su alta natalidad y su larga vida productiva (25 años y más).
2. Gran rusticidad y baja mortalidad, son resistentes a las garrapatas y otros parásitos.
3. Produce leche con un alto contenido de grasa y carne de elevada calidad, con 40% menos de colesterol y 12% menos de grasa.
4. Las crías tienen un crecimiento más rápido.
5. Su adaptación a condiciones difíciles de alimentación y explotación.
6. Su producción se considera casi orgánica.

Entre sus desventajas con respecto a los bovinos se pueden citar:

1. Presentan esto estacional principalmente en el período de septiembre y diciembre, y los partos ocurren de forma concentrada entre julio y octubre. Esto determina una producción inestable, que dificulta la comercialización de la leche y los productos lácteos. En Cuba se ha observado que el 65% de los partos tienen lugar entre los meses de agosto-octubre, con el consiguiente perjuicio que esto acarrea para la organización pecuaria.
2. Son tímidos por naturaleza y se asustan fácilmente, por lo que deben ser tratados con tranquilidad y calma; a medida que avanzan en edad, se hace difícil la convivencia pacífica entre los machos en presencia de las hembras, por la característica de buscar liderazgo.
3. Tienen un fuerte instinto de supervivencia y si se quedan sin alimentos, rompen las cercas; esta es una de las razones por las que caminan incesantemente y destruyen los cercados y siembras, además de tener una marcada tendencia a rascarse en los árboles causándoles desconchados y graves daños. Otra forma de dañarlos se relaciona con sus hábitos de ramonear y mordisquear la corteza.
4. Los partos fuera de época, a partir de diciembre, reducen la producción y acortan las lactancias.
 - Alimentación:

Se informan diferencias en algunos indicadores de la fisiología digestiva y la nutrición a favor del búfalo, comparado con el vacuno, al analizar su buen aprovechamiento de la fibra, así como una mayor capacidad de ingestión de alimentos. El búfalo presenta una alta eficiencia en la utilización de los nutrientes, lo que se manifiesta en un crecimiento acelerado desde edades tempranas, aunque se insiste en que es determinante suministrar a los animales una dieta que cubra los requerimientos de la especie y en particular de cada categoría; así los animales crecen y muestran su potencial productivo y reproductivo.

También se plantea que en los búfalos es mayor la digestibilidad de la grasa, el calcio, el fósforo y el nitrógeno no proteico cuando se alimentan con pastos naturales o cultivados. Su resistencia natural evita que se presenten problemas de enfermedades de tipo nutricional, lo que permite utilizar insumos y equipos más simples y baratos. Las dietas deben ser formuladas evitando el exceso de almidón y proteína. Los mejores resultados se han obtenido utilizando forrajes verdes y limitando el consumo de concentrados, ya que el búfalo al consumir dietas carentes de carbohidratos utiliza el nitrógeno de forma más eficiente. En este sentido los búfalos para utilizar mejor la proteína proveniente de la dieta debido a una mayor actividad microbiana; además la población microbiana del rumen de los búfalos es mayor que la de los vacunos.

Se ha demostrado que los granos de cereales enteros son pobremente digeridos. La excreción de granos de cereal no digeridos en las heces se incrementa con el aumento del tamaño de las partículas; las necesidades de agua son de 45 L para el mantenimiento y 43 L para la producción láctea. (Simon & Galloso, 2011)

- Producción láctea:

Los productos bufalinos son una importante y reconocida fuente de alimentación en muchos países en vías de desarrollo y se han ido transformando en una buena oportunidad de negocios. Las búfalas presentan una gran habilidad materna y esto produce un efecto positivo en la liberación de la leche, lo que se debe al gran celo por su cría. De acuerdo con esta condición, se recomienda que después del ordeño debe permanecer por lo menos 30 minutos con la cría.

Un elemento que ha influido en el énfasis que se le está dando al desarrollo del búfalo para la producción láctea y de carne está dado, entre otros aspectos, por la similitud de algunas de sus características con las del vacuno, por lo que es necesario hacer pequeñas adaptaciones para ajustar las condiciones de explotación de una a otra especie. En este sentido el búfalo es un animal que tiene rendimientos comparables con sus competidores comerciales vacunos.

En Cuba los principales indicadores de producción láctea en dos rebaños de vacas Siboney 5/8 Holstein x 3/8 Cebú y hembras Buffalypso, con similares características de manejo y explotación; los resultados se muestran en la tabla 2.3 (Simon & Galloso, 2011)

Se encontró una mayor producción de leche por hembra lactante en las vacas, pero con un porcentaje inferior en el contenido de grasa en la leche, lo que equilibró la producción individual de ambas especies (corregida al 3% de grasa). En cuanto a la producción por hectárea, indicador que expresa el nivel de intensificación de los sistemas, la producción de leche entera y corregida de las vacas superó en cinco y tres veces, respectivamente, la de las búfalas.

De acuerdo con la carga (1,6 vacas/ ha y 0,6 búfalas más las crías/ha), la producción histórica de estos rebaños fue de 108 175 kg promedio en ocho años en las vacas y de 38 325 kg en las búfalas en tres años. (Simon & Galloso, 2011)

Tabla 2.3 Producción de leche entera y corregida al 3% de grasa por animal y por hectárea.

Indicador	Vacas	Búfalas	Relación vacas-búfalas
Producción de leche diaria (kg/hembra)	6,78	3,50	1,9 vs 1,0
Grasa de la leche (%)	4,10	7,10	1,0 vs 1,7
Leche corregida (kg/hembra/día)	7,94	8,28	1,0 vs 1,0
Producción de leche entera (kg/ha)	10,84	2,10	5,0 vs 1,0
Producción de leche corregida (kg/ha)	12,70	4,97	1,0 vs 1,0

Nota: (Simon & Galloso, 2011)

Hay que señalar que los resultados mostraron un grado de intensificación productiva muy superior en la producción de leche bovina, las búfalas no recibieron en ese tiempo ningún tipo de suplementación con concentrado. (Simon & Galloso, 2011)

La composición láctea, y en especial los porcentajes de grasa que son los que determinan la calidad de la leche, pueden variar en las búfalas de acuerdo con la raza, la época del año, el estado de la lactancia, el número de partos, la edad, la alimentación y las condiciones climáticas.

Los contenidos de calcio y fósforo tienen un gran valor nutricional y hacen que la cuajada para el queso ocurra rápidamente. La leche de búfala tiene más calorías y vitamina A que la leche de vaca. Estas características de la leche bufalina la hacen muy buena para elaborar yogurt y excelentes cremas, mantequilla y queso, dándole especial textura y consistencia a los derivados lácteos. La leche de búfala, al igual que la de cabra y oveja, se utiliza casi exclusivamente para la elaboración de quesos en algunos países, debido especialmente al elevado rendimiento quesero y al alto contenido de sólidos; con 100 litros de leche de búfala se pueden obtener 25 kg del legítimo queso mozzarella. Las principales características de la leche de búfala, comparada con otras especies, se muestran en la tabla 2.4. (Simon & Galloso, 2011)

- Producción de carne:

La potencialidad del búfalo para producir carne es una práctica que ha tomado auge en los últimos años; el búfalo de agua se comporta mejor que el ganado vacuno en iguales condiciones de manejo y explotación. La perspectiva de los países en desarrollo en la cría

bufalina para carne es la de sacrificar los animales con la menor edad posible, que tiene como ventaja la eficiencia en la conversión de los alimentos y una menor acumulación de tejido adiposo con relación a los animales de mayor edad. En esta particularidad el búfalo tiene ventaja sobre el bovino, ya que alcanza la plenitud del desarrollo en poco tiempo, lo cual se manifiesta en más carne en menor tiempo y a menor costo. (Simon & Galloso, 2011)

Tabla 2.4 Comparación de la leche bufalina con la de otras especies (%).

Tipo	Grasa	Proteína	Lactosa	Sólidos totales
Búfala	7,64	4,36	4,83	17,96
Vaca europea	3,90	3,47	4,75	12,82
Cebú	4,97	3,18	4,59	13,45
Humana	3,90	1,30	7,00	12,45

Nota: (Simon & Galloso, 2011)

Las características organolépticas y las propiedades físico-químicas de las carnes de ambas especies no difieren significativamente, aunque la del búfalo tiene menos grasa y el contenido proteínico es mayor (tabla 2.5). (Simon & Galloso, 2011)

Tabla 2.5. Comparación de la carne de búfalo con la del bovino.

Indicador (%)	Búfalo/bovino
Colesterol	- 40
Grasa	- 12
Calorías	- 50
Proteína	+ 11
Minerales	+ 11

Nota: (Simon & Galloso, 2011)

En la comparación del rendimiento cárnico aprovechable entre el ganado vacuno y el búfalo (tabla 2.6 y 2.7).

Tabla 2.6 Rendimiento cárnico aprovechable

No. de animales	PV (kg)	Rendimiento (kg)	%	Hueso (kg)	%	Otras (kg)	%	Total (kg)	Diferencia %
42 Cebúes	435,0	120,9	27,8	64,6	14,8	46,4	10,5	53,3	46,7
42 Búfalos	437,5	120,5	27,6	64,9	14,8	41,8	9,5	51,8	48,2

Nota: (Simon & Galloso, 2011)

Tabla 2.7 Composición de la canal (kg).

Animales	Peso canal	Carne de 1ra.	%	Carne de 2da.	%	Huesos	%
Cebúes	92,8	40,4	43,5	20,1	21,7	32,3	34,8
Búfalos	92,7	38,5	41,5	21,8	23,5	32,5	35,0

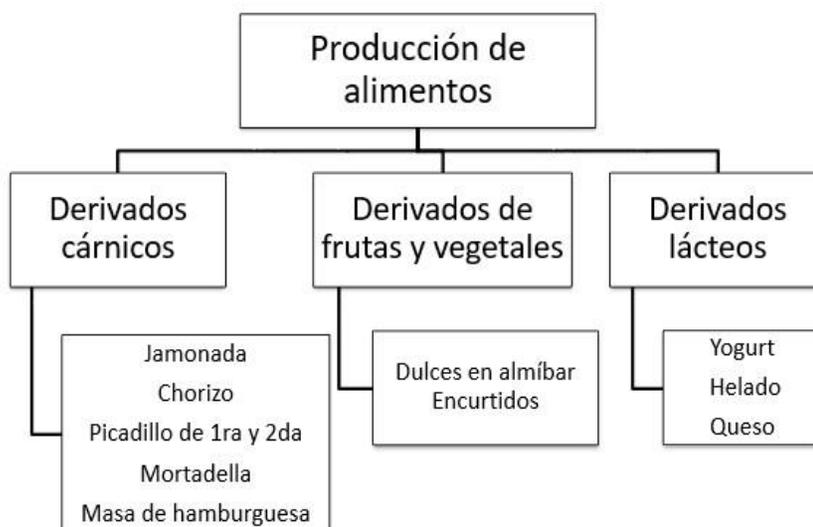
Nota: (Simon & Galloso, 2011)

2.4 Minindustrias cárnica de la UEB Integral Aguada

Dentro de los procesos claves de la UEB Integral Aguada se halla la producción de alimentos relacionado íntimamente con las minindustrias que manufacturan derivados de la leche, cárnicos y emplean las frutas y vegetales para producir dulces y conservas.

La producción de alimentos engloba tres subprocesos producción de derivados cárnicos, lácteos y de dulces y conservas; que a su vez estos abarcan distintos procesos esenciales para la organización (figura 2.1). La producción de derivados cárnicos comprende la elaboración de jamonada, chorizo, picadillo (1ra y 2da), mortadella y masa de hamburguesa; así como la de derivados lácteos: yogurt, queso y helado. Por otra parte, también se producen dulces en almíbar y encurtidos empleando como materias primas frutas y vegetales cultivadas en las Unidades Empresariales de Base (UEB) de la empresa. (Quiñones, 2019) El plano esquemático de la minindustria cárnica se muestra a continuación en la figura 2.2.

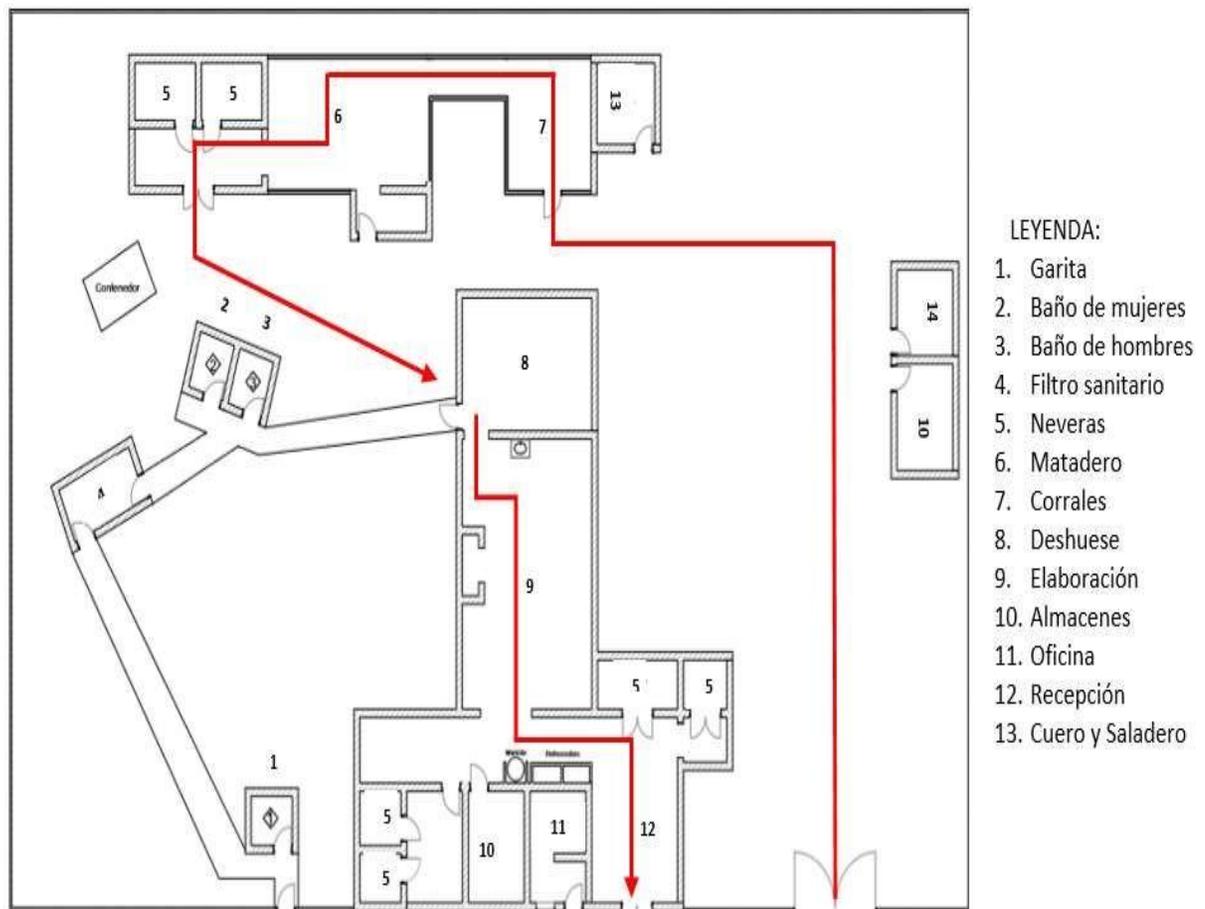
Figura 2.1. Procesos que conforman el macroproceso de producción de alimentos.



Nota: (Quiñones, 2019)

La minindustria Cárnica tiene según el Balance de energía presenta un consumo total diario de 424,8 kWh para un total de 11551,3 kWh mensual. Por lo que se evidencia como una oportunidad la utilización de energía eléctrica mediante biogás a partir de las excretas del ganado bufalino. Para ello se necesita evaluar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado y el real a partir del porciento de excretas que pueden ser recuperadas.

Figura 2.2. Plano esquemático de la minindustria cárnica.



Nota: (Quiñones, 2019)

2.6 Metodología evaluativa para el cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado

La metodología a emplear evaluar el potencial de generación de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino es la propuesta que plantea que para el desarrollo de la metodología se debe tener como datos la cantidad de animales, manejando con precisión la edad para la estimación correcta de la cantidad de excreta que se puede producir, ya que es a

partir de la excreta que se puede calcular el volumen de biogás obtenible en el proceso de biodigestión anaerobia. Es una metodología propuesta para el ganado porcino, pero con las modificaciones en a partir de las características del ganado bufalino. (Lozano, 2015)

En la tabla 2.8 muestra esta clasificación por edad del animal

Tabla 2.8: Categoría de búfalos

Categoría Machos	Edad	Categoría Hembras	Edad
Bucerros	0-12 meses	Bucerras	0-12 meses
Buñojos	12-18meses	Buñojas	12-18 meses
Butoretas	18-24 meses	Buvillas	18-24 meses (puede tener 30 meses y seguir siendo buvillas hasta la edad de parto)
Búfalos	A partir de 24 meses	Búfalas	A partir de 24 meses (a partir del primer parto)
Sementales	+24 meses		

Nota: Elaboración propia.

La división porcentual propuesta según las características de cultivo de este tipo de ganado, se evidencia en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Clasificación por edad.

No	Clasificación tipo	División porcentual (%)
1	Bucerros/ Bucerras	20.55
2	Buñojos / Buñojas	23.68
3	Butoretas / Buvillas	33.64
4	Búfalos / Búfalas	21.48
5	Sementales	0.65

Nota: Elaboración propia.

Se plantea en la metodología que a partir de la edad, es posible estimar la cantidad de excreta diaria que produce un búfalo, se obteniéndose los datos clasificados por edad, como los muestra la tabla 2.8. Estos datos contabilizan la cantidad de excreta diaria en kg/día. Esa excreta para ser descompuesta en un biodigestor anaerobio, debe estar con alto contenido de agua, para lo cual se mezcla con una proporción de 1:1 de agua/excreta. El agua a emplear, no tiene que ser limpia y puede ser la procedente del proceso de limpieza del corral o de otros subprocesos de la granja o externos. Incluso, para mejorar la eficiencia del biodigestor, se mezcla con otros elementos residuales de origen animal o vegetal e incluso basura orgánica generada por humanos. Según Marsh (2005) se determinan la cantidad de excretas por la calificación de búfalos (Krich, y otros, 2005).

Tabla 2.10: Producción promedio de estiércol de acuerdo al tiempo de estación

No	Clasificación tipo	Producción de excretas diarias (kg/día)
1	Bucerros/ Bucerras	12
2	Buñojos / Buñojas	19.3
3	Butorettes / Buvillas	28
4	Búfalos / Búfalas	37.8
5	Sementales	37.8

Nota: Elaboración propia.

Adicionalmente, la producción de biogás depende de varios factores de control dentro del biodigestor, como la temperatura del proceso, el contenido de agua y aditivos. La cantidad precisa de biogás que se produce en un biodigestor planteando un valor estimado.

Para el estiércol de búfalo algunas características evaluadas se obtuvieron valores de pH de 8.05, porcentaje de sólidos de 5,67 y sólidos volátiles de 42,17 g/l; además de contener 1.99 de nitrógeno y alcalinidad de 4,37 g/K. Por otra parte, el estiércol de búfalo contiene los siguientes porcentajes de elementos: N (0.6 %) , C (30.14 %), O (29.34 %), H (4.55 %) relación C/N de 15 e inorgánicos SI (1.1 %), Ca (0.4 %), P (0.3%), K (0.7 %) y Mg (0.2 %). (Calderon & Aguirre, 2019)

Cada tipo de estiércol animal tiene un potencial específico en la producción de metano, donde la cantidad de un kilogramo de estiércol vacuno a lo cual se traduce también el generado por los búfalos, produce entre 0.26-0.28 m³ de biogás que tiene 50-60 % (0.14 m³/kg) de metano y el resto en CO₂ (ver tabla 2.11) (Calderon & Aguirre, 2019)

Tabla 2.11. Producción de Biogás por edad del animal

No	Clasificación tipo	Producción de Biogás (m ³ /kg)	Producción de Biogás (m ³ /día)
1	Bucerros/ Bucerras	0.28	3.36
2	Buñojos / Buñojas	0.28	5.40
3	Butoretas / Buvillas	0.28	7.87
4	Búfalos / Búfalas	0.28	10.58
5	Sementales	0.28	10.58

Nota: Elaboración propia

El biogás obtenido necesita convertirse de energía química a energía calorífica, para poder tener un uso actual (en calderas, estufas o motores de combustión interna). Asumiendo un control de las variables del proceso de biodigestión, se podría considerar que en media el contenido energético de dicha mezcla es de 20 MJ/m³, lo cual mediante un cambio de unidades significa 5.56 kWh/m³, o de manera similar, cada m³ de biogás representa 0.0033 barriles equivalentes de petróleo (BEP) o 305.8 m³ de biogás poseen el contenido energético de un BEP. A partir de esos datos, se pueden estimar los potenciales energéticos ante una explotación masiva de biomasa animal (porcina), mediante biodigestores anaeróbicos.

Si se estima un uso como combustible para generar electricidad, se deben considerar algunos aspectos adicionales como el tipo de máquina que se empleará para la conversión química -térmica-mecánica-eléctrica. Como el ciclo de conversión es largo, la eficiencia a considerar es baja. Existe una primera alternativa económica para dicha conversión, que es empleando motores de combustión interna de gas y acoplarles un generador eléctrico; el otro caso, para producción en mayor escala, es el empleo de una turbina de gas. En ambos casos, las eficiencias máximas no sobrepasan del 30%. Por tanto, se tomará este número como un buen aproximado para la estimación correspondiente. Eso implica que por cada metro cúbico de biogás, se pueden obtener 1.67 kWh de electricidad. (Kimbutu, 2017)

Una última variable de interés desde el punto de vista de análisis es las emisiones de CO₂, la combustión de biogás produce CO₂, esta forma parte del ciclo de carbono, por lo que no se adiciona al atmosférico, sino que forma parte de este. Por ello, podría considerarse analíticamente como una fuente con cero emisiones de CO₂. Se plantea que para producir 1 kWh de electricidad con las energías primarias (fuentes convencionales) actualmente empleadas se genera 0.675 kg de CO₂. Por lo que con cada kWh generado con biogás, hay un ahorro equivalente en CO₂. (Lozano, 2015) (Kimbutu, 2017)

Es necesario considerar que acompañado a la aplicación de la metodología debe realizarse el análisis de la tecnología a instalar teniendo en cuenta las características del lugar, así como el estudio de factibilidad por constituir inversiones.

2.6 Aplicación de la metodología evaluativa para el cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino en la UEB Integral Aguada

La aplicación de la metodología evaluativa para el cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino en la UEB Integral Aguada, a partir de la adaptación de la metodología expuesta en epígrafe anterior, requiere un orden de pasos, para ellos se procederá a calcular las potencialidades de este recurso energético renovable. (Lozano, 2015)

2.6.1 Cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino. Potencialidad

Se procede a aplicar la metodología para toda la masa bufalina presente en la UEB Integral Aguada, en función mostrar la potencialidad energética en la utilización de biogás para la generación eléctrica.

- Clasificación por edad de la población bufalina de la UEB Integral Aguada

La población bufalina utilizar serán por los datos aportados por la Dirección Provincial el Grupo Empresarial de Ganado Menor (GEGAM), la población igual a 1085 cabezas de ganado. Procediéndose a establecer la clasificación por edades (ver tabla 2.12 y figura 2.3)

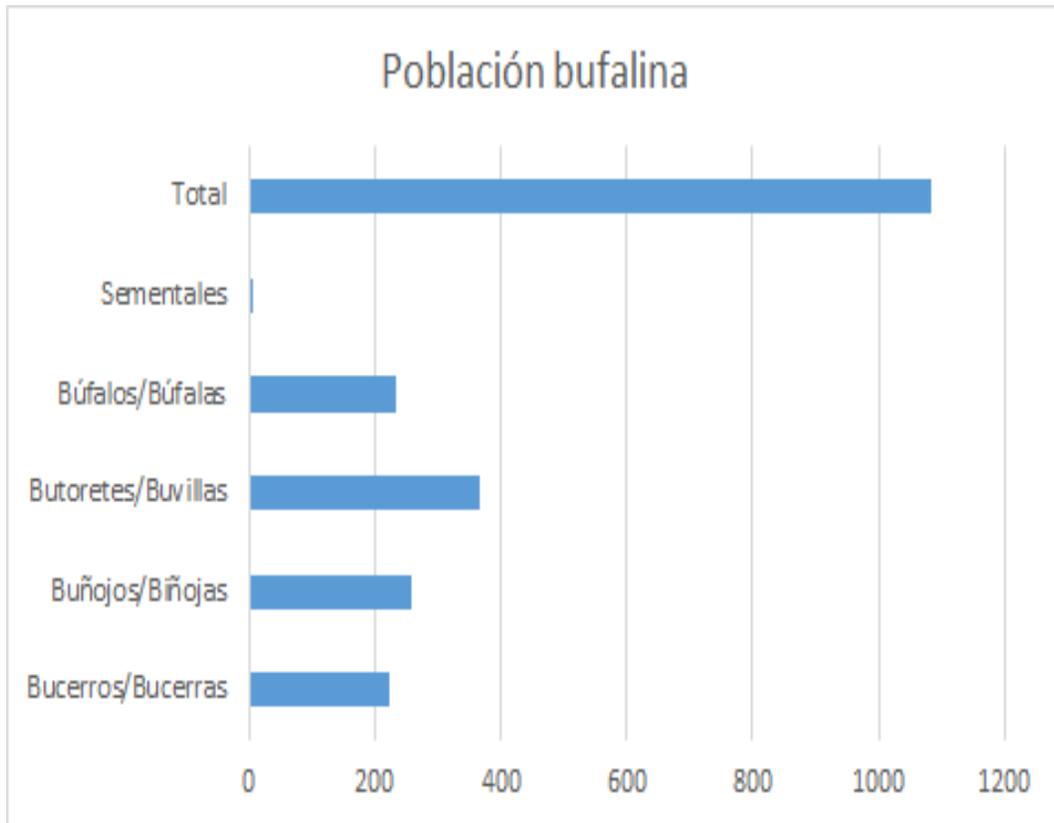
Tabla 2.12: Clasificación por edad de la población bufalina de la UEB Integral Aguada.

Categoría Machos	Cantidad	Categoría Hembras	Cantidad
Bucerros	91	Bucerras	132
Buñojos	71	Buñojas	186

Butoretos	66	Buvillas	299
Búfalos	73	Búfalas	160
Sementales	7		

Nota: Elaboración propia.

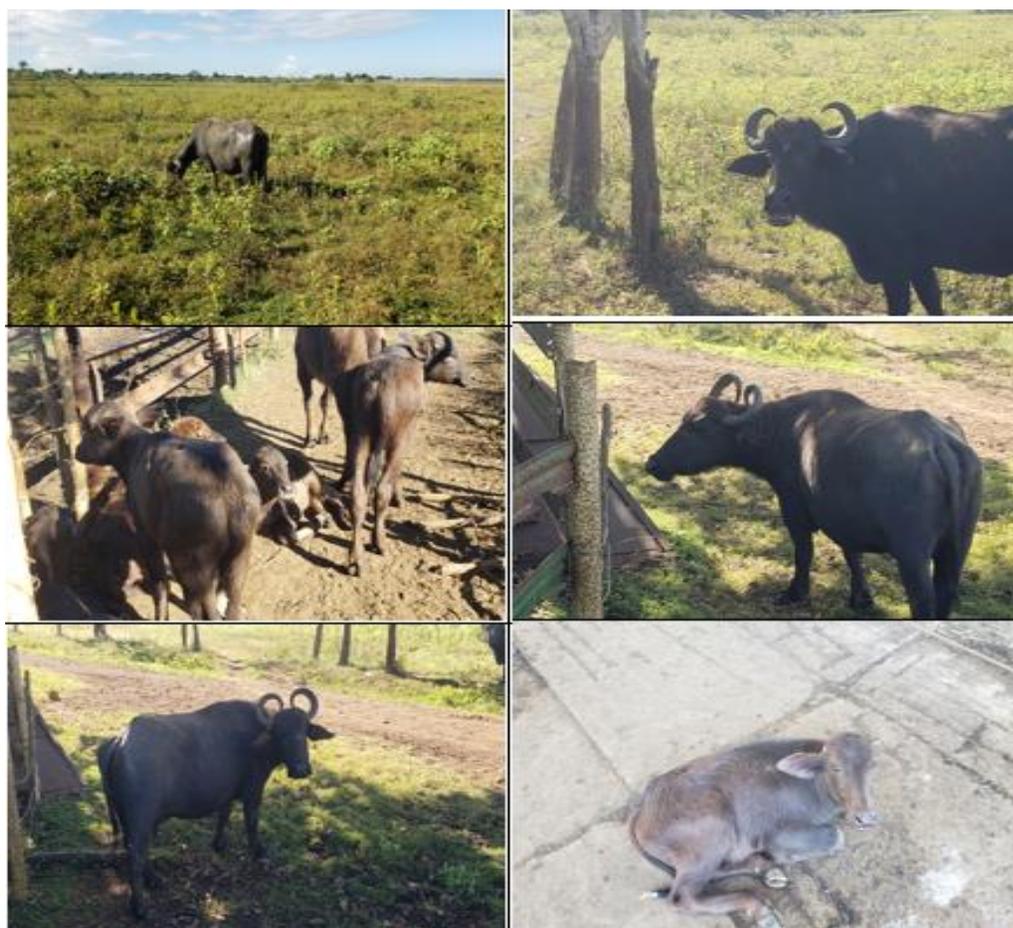
Figura 2.3: Clasificación por edad de la población bufalina de la UEB Integral Aguada



Nota: Elaboración propia.

La población bufalina se muestra en la figura 2.4

Figura 2.4: Población bufalina de la UEB Integral Aguada



Nota: Elaboración propia

- Contabilización de las excretas generadas diarias y anual por edad y totales

Posteriormente se realiza a contabilización de las excretas generadas diarias y anual por edad y totales, la tabla 2.13 y figura 2.5 muestran los resultados

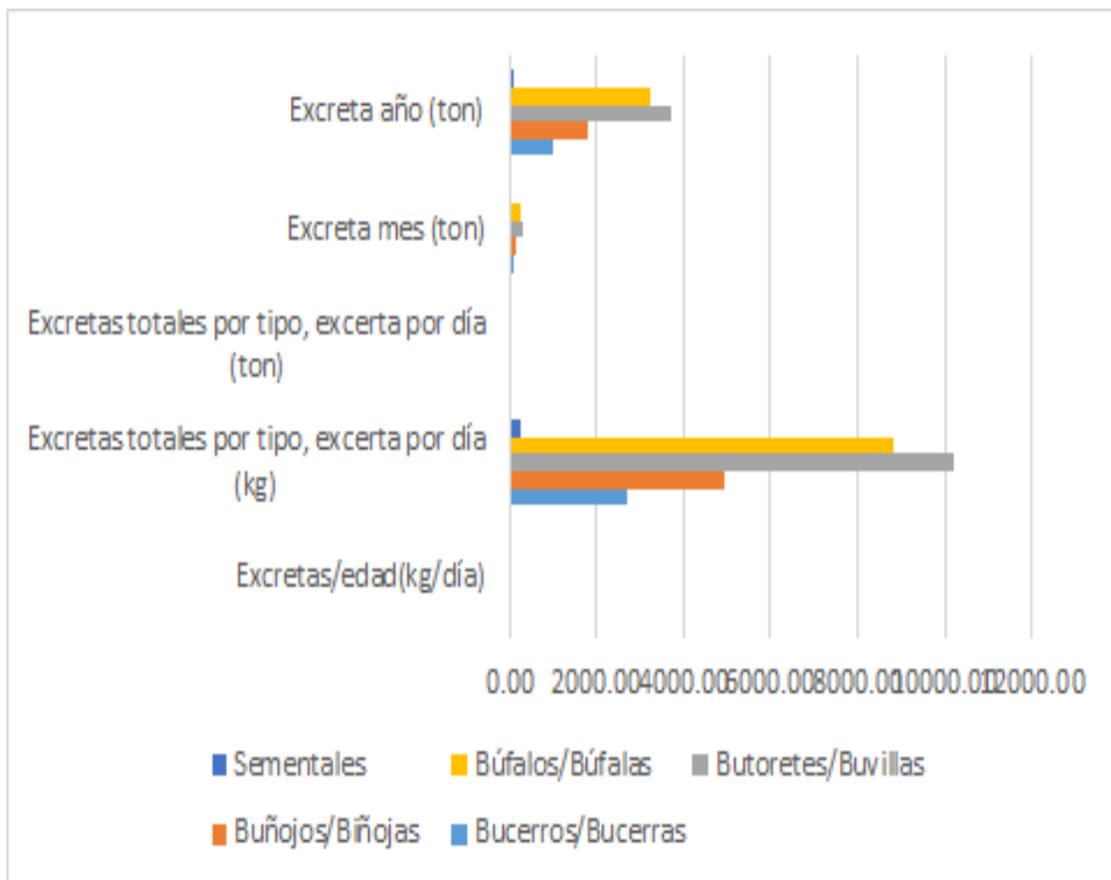
Tabla 2.13: Contabilización de las excretas generadas diarias, mensuales y anual por edad y totales

Clasificación por edad de la población bufalina	Excretas/edad (kg/día)	Excretas totales por tipo, excerta por día (kg)	Excretas totales por tipo, excerta por día (ton)	Excreta mes (ton)	Excreta año (ton)
Bucerros/Bucerras	12.00	2676.00	2.68	80.28	976.74
Buñojos/Buñojas	19.30	4960.10	4.96	148.80	1810.44

Butoretos/Buvillas	28.00	10220.00	10.22	306.60	3730.30
Búfalos/Búfalas	37.80	8807.40	8.81	264.22	3214.70
Sementales	37.80	264.60	0.26	7.94	96.58
Total	134.90	26928.10	26.93	807.84	9828.76

Nota: Elaboración propia.

Figura 2.5: Excretas generadas por la población



Nota: Elaboración propia.

- Análisis de Biogás generado por la población bufalina

Este análisis se realiza según los criterios mencionados con anterioridad para su realización, en la tabla 2.14 se evidencia las potencialidades de generación de biogás por las excretas del ganado bufalino.

Tabla 2.14: Potencialidades de generación de biogás.

Clasificación por edad de la población bufalina	Biogás excretas/edad animal (m3/kg)	Biogás excretas/edad animal día(m3/día)	Total de biogás día(m3)	Total de biogás mes(m3)	Total de biogás año(m3)
Bucerros/Bucerras	0.28	3.36	749.28	22478.40	273487.20
Buñojos/Buñojas	0.28	5.40	1388.83	162.12	506922.22
Butoretas/Buvillas	0.28	7.84	2861.60	235.20	1044484.00
Búfalos/Búfalas	0.28	10.58	2466.07	317.52	900116.28
Sementales	0.28	10.58	74.09	317.52	27042.12
Total			7539.87	23510.76	2752051.82

Nota: Elaboración propia.

- Cálculo de la pontencialidad de producción de energía eléctrica desde las potencialidades de generación de biogás

A continuación se realiza el cálculo de la pontencialidad de producción de energía eléctrica desde las potencialidades calculadas de generación de biogás, los resultados se muestran en la tabla 2.15 y figura 2.6.

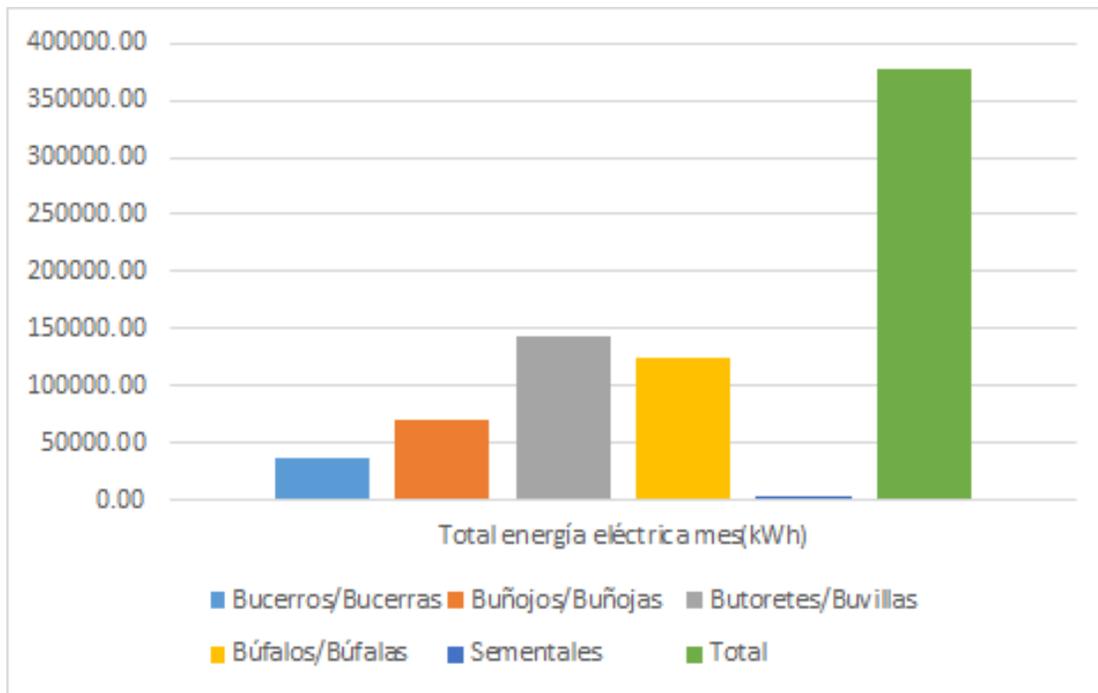
Tabla 2.15: Pontencialidad de producción de energía eléctrica desde las potencialidades calculadas de generación de biogás.

Total energía eléctrica día(kWh)	Total energía eléctrica mes(kWh)	Total energía eléctrica mes(MWh)	Total energía eléctrica año (kWh)	Total energía eléctrica año (MWh)	Total energía eléctrica año (GWh)
1251.30	37538.93	37.54	456723.62	456.72	0.46
2319.34	69580.28	69.58	846560.11	846.56	0.85
4778.87	143366.16	143.37	1744288.28	1744.29	1.74
4118.34	123550.21	123.55	1503194.19	1503.19	1.50

123.73	3711.81	3.71	45160.34	45.16	0.05
12591.58	377747.39	377.75	4595926.54	4595.93	4.60

Nota: Elaboración propia.

Figura 2.6: Potencialidades de generación de energía eléctrica



Nota: Elaboración propia.

- Ahorros proyectados por la generación de energía eléctrica a partir del biogás de la población bufalina del municipio.

En las tablas 2.16 y 2.17 se muestran los ahorros proyectados por la utilización del biogás para la generación de electricidad por el sector estatal.

Tabla 2.16: Potencialidad de ahorros de combustible fósil por potencialidad del biogás

Clasificación por edad de la población bufalina	BEP/día	BEP/mes	BEP/año
Bucerros/Bucerras	2.47	74.18	902.51
Buñojos/Buñojas	4.58	137.49	1672.84
Butoretas/Buvillas	9.44	283.30	3446.80

Búfalos/Búfalas	8.14	244.14	2970.38
Sementales	0.24	7.33	89.24
Total	24.88	746.45	9081.77

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2.16: Potencialidad de disminución de emisiones de GEI por potencialidad del biogás

Clasificación por edad de la población bufalina	Dejado de emitir día (kg)	Dejado de emitir mes (kg)	Dejado de emitir mes (ton)	Dejado de emitir año (kg)	Dejado de emitir año (ton)
Bucerros/Bucerras	844.63	25338.78	25.34	308288.45	308.29
Buñojos/Buñojas	1565.56	46966.69	46.97	571428.07	571.43
Butorettes/Buvillas	3225.74	96772.16	96.77	1177394.59	1177.39
Búfalos/Búfalas	2779.88	83396.39	83.40	1014656.08	1014.66
Sementales	83.52	2505.47	2.51	30483.23	30.48
Total	8499.32	254979.49	254.98	3102250.41	3102.25

Nota: Elaboración propia.

2.6.2 Cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado bufalino a partir de las excretas recuperadas

Se procede a aplicar la metodología para toda la masa bufalina presente en la UEB Integral Aguada, en función de la recuperación real de excretas la cual está determinada por una masa de 72 búfalas en lactancia que se ordeñan durante seis horas en la madrugada (1:00 am – 6:00 am), por lo que las excretas recuperadas representan el 1.65 % , según se muestra en la siguiente ecuación

- Contabilización de las excretas generadas por las búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño

Posteriormente se realiza a contabilización de las excretas generadas por las búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño (figuras 2.7, 2.8 y 2.9) , la tabla 2.17 muestran los resultados.

Figura 2.7: Búfalas en lactancia



Nota: Elaboración propia.

Figura 2.8: Cuartones de ordeño



Nota: Elaboración propia.

Las excretas serán recogidas luego de la hora de ordeño

Figura 2.8: Excretas de las búfalas en lactancia en tiempo de ordeño



Nota: Elaboración propia.

Tabla 2.17: Contabilización de las excretas generadas por las búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño

Búfalas en lactancia (cbz)	Excretas en 6 horas (1-6 am) (kg/tiempo)	Excretas totales por tipo, excreta por día (kg) recuperada	Excertas totales por tipo, excreta por día (ton) recuperada	Excreta mes (ton) recuperada
72	9.45	680.40	0.68	20.41

Nota: Elaboración propia.

- Análisis de Biogás generado a partir de las excretas de búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño

Este análisis se realiza según los criterios mencionados con anterioridad para su realización, en la tabla 2.18 se evidencia las generación de biogás por las excretas de las búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño

Tabla 2.18: Generación de biogás a partir de las excretas recuperadas.

Clasificación	Biogás excreta/edad animal día(m³/día) recuperado	Total de biogás día(m³) recuperado	Total de biogás mes(m³) recuperado	Total de biogás año(m³)recuperado
Búfalas en lactancia	2.65	25.00	79.38	9126.72

Nota: Elaboración propia.

- Cálculo estimado de producción de energía eléctrica a partir del biogás generado por las excretas de búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño

A continuación se realiza el cálculo estimado de producción de energía eléctrica a partir del biogás generado por las excretas de búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño, los resultados se muestran en la tabla 2.19.

Tabla 2.19: Producción de energía eléctrica desde la generación de biogás a partir de las excretas recuperadas.

Clasificación	Total energía eléctrica día(kWh) recuperado	Total energía eléctrica mes(kWh) recuperado	Total energía eléctrica mes(MWh) recuperado	Total energía eléctrica año (kWh) recuperado	Total energía eléctrica año (MWh) recuperado
Búfalas en lactancia	41.76	1252.74	1.25	15241.61	15.24

Nota: Elaboración propia.

- Ahorros proyectados por la generación de energía eléctrica a partir del biogás generado por las excretas de búfalas en lactancia en el tiempo de ordeño

En las tablas 2.19 y 2.20 se muestran los ahorros proyectados por la utilización del biogás para la generación de electricidad y en la disminución de emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

Tabla 2.19: Ahorros de combustible fósil mediante el biogás a partir de las excretas recuperadas

Clasificación por edad de la población bufalina	BEP/día recuperado	BEP/mes recuperado	BEP/año recuperado
Búfalas en lactancia	0.08	2.48	30.12

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2.20 Disminución de emisiones de GEI por utilización de biogás a partir de las excretas recuperadas

Clasificación por edad de la población bufalina	Dejado de emitir día (kg)	Dejado de emitir mes (kg)	Dejado de emitir mes (ton)	Dejado de emitir año (kg)	Dejado de emitir año (ton)
Búfalas en lactancia	28.19	845.60	0.85	10288.09	10.29

Nota: Elaboración propia.

2.7 Conclusiones parciales

1. La masa ganadera representada por búfalos en la UEB Integral Aguada es de 1085 cabezas de ganado, la cual posee gran potencialidad para la generación de biogás al ser evaluado por la Metodología evaluativa para el cálculo de energía eléctrica a partir de las excretas de ganado.
2. La evaluación de la propuesta de un biodigestor a partir de la recogida de excretas de las búfalas en lactancia en tiempo de ordeño arroja los siguientes resultados, 680.40 kg/día de excretas generadas de las cuales se obtendría 79.38 m³/ mes de biogás, con una potencialidad para generar 1252.74 kWh mes, lo que representa un ahorro de 2.48 BEP/mes y dejado de emitir al medioambiente 845.60 kg de CO₂.

Capítulo 3 Diseño de un biodigestor para la utilización de excretas de búfalo en la generación de biogás.

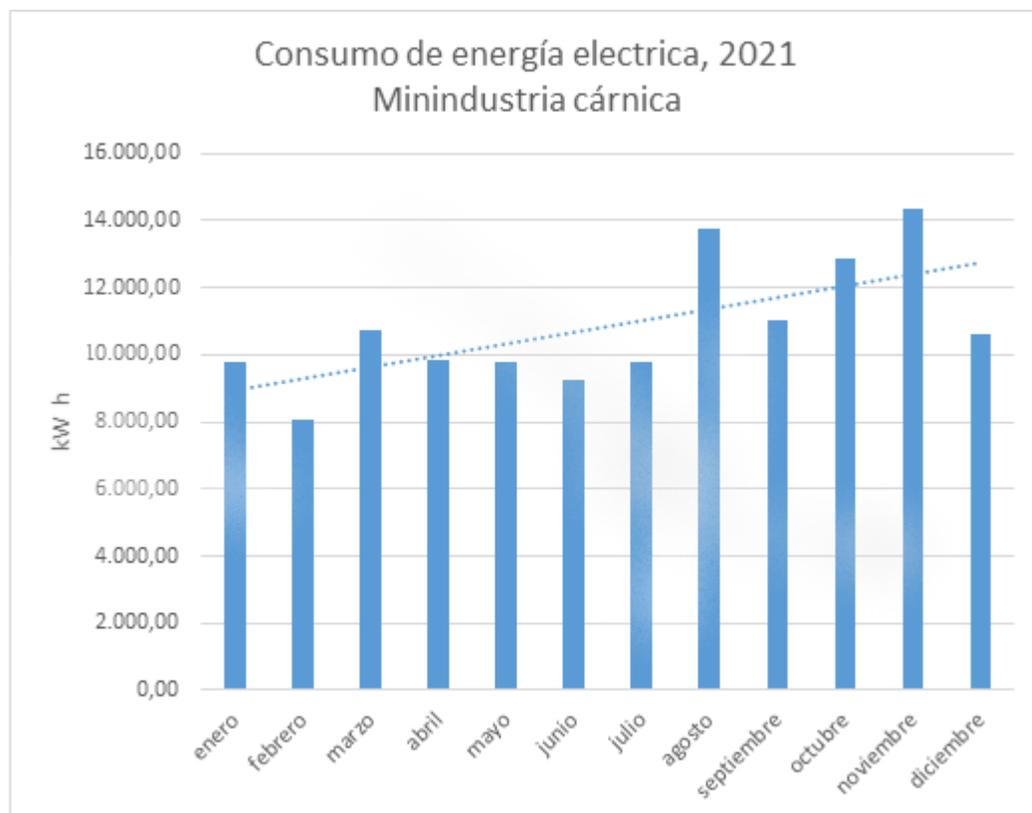
3.1 Introducción

En este capítulo se realiza la caracterización de la minindustria cárnica, la propuesta de un biodigestor en función de las excretas a recolectar, su diseño, ubicación y evaluación económica.

3.2 Caracterización energética de la minindustria Cárnica

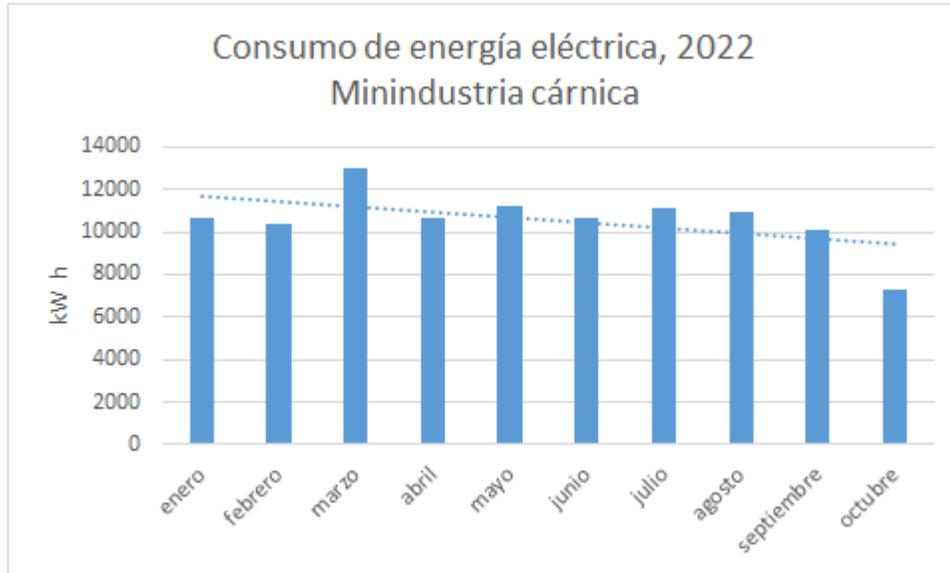
El portador energético fundamental de la minindustria cárnica es la energía eléctrica la cual se encuentra contratada con la Empresa Eléctrica mediante una tarifa M1A. El consumo en el año 2021 fue de 129 968 kWh, promediando 10 831 kWh con una tendencia al aumento (figura 3.1), el año 2022 que representado en la figura 3.2, muestra un consumo de 105 844 kWh, promediando 10 584 kWh con una tendencia al decrecimiento.

Figura 3.1 Comportamiento del consumo de energía eléctrica minindustria cárnica, año 2021



Nota: Elaboración Propia.

Figura 3.2 Comportamiento del consumo de energía eléctrica minindustria cárnica, año 2022



Nota: Elaboración Propia.

Los equipos instalados son los siguientes

1) Equipos de climatización y refrigeración

Los equipos de climatización y refrigeración representan el 71% del consumo eléctrico total de la minindustria. Los cuales son 3 cámaras frías y 4 Split: 1 cámara fría de la marca Carrier, 1 (figura 3.3) cámara fría de la marca TECHNOBLOCK (figura 3.4) y 1 cámara fría de la marca RIVACOLD (ver figura 3.5). 3 Split de la marca TCL (ver figura 3.6) ,1 Split de la marca MIDEA.

Figura 3.3 Cámara fría de la marca Carrier, Modelo: 69NT40-541-301.



Nota: Elaboración propia

Figura 3.4 Cámara fría de la marca TECHNOBLOCK, Modelo: CBM-200 BY.



Nota: Nota: Elaboración propia

Figura 3.5 Cámara fría de la marca RIVACOLD Modelo: STM022Z014/41.



Nota: Elaboración propia

Figura 3.6 Split de la marca TCL



Nota: Elaboración propia

2) Equipos de oficina

Los equipos de oficina están determinados por una computadora y un ventilador pequeño como se muestra en la figura 3.7.

Figura 3.7 Computadora y ventilador



Nota: Elaboración propia

3) Equipos de producción y luminarias

Los equipos de producción se encuentran la embudidora, la revolvedora (figura 3.8), la marmita (figura 3.9) y el molino (figura 3.10); otros equipos de apoyo a la producción son la bomba de agua y la grúa de riel. La iluminación la conforman las luminarias para la iluminación interior y la iluminación exterior.

Figura 3.8 Revolvedora



Nota: Elaboración propia

Figura 3. 9 Marmita (artesanal)



Nota: Elaboración propia

Figura 3.10 Molino



Nota: Elaboración propia

3.3 Metodología para determinar el potencial de excretas y el volumen total del biodigestor.

En función de determinar el potencial de excretas y el volumen total del biodigestor se consideran los criterios de (Ing. Yovany Oropesa Márquez, 2019). Sobre las características y principales ventajas de los biodigestores de cúpula fija, para ello se hace necesario realizar el cálculo exacto del volumen de los residuales a tratar.

En este cálculo se consideran los datos primarios obtenido en el capítulo 2 epígrafe 2.6

La tabla 3.1 muestra las principales ecuaciones empleadas para obtener los resultados de este estudio.

Tabla 3.1. Ecuaciones para el cálculo de los principales parámetros a tener en cuenta para el diseño de biodigestores de cúpula fija.

Parámetro determinado	Ecuaciones Empleadas
Cantidad de excreta disponible	$C_E = Na \times E_d$
Cantidad de agua necesaria	$CH_2O = CE \times PE(H_2O)$
Cantidad de biomasa para el biodigestor	$CBM = CE + CH_2O$
Volumen diario de biomasa	VBM
Tiempo de retención de la biomasa	t_R (seleccionado por tabla)
Volumen del biodigestor	$Vd = VBM \times tR$

Nota: Elaboración propia

Donde:

- C_E - cantidad de excretas, kg/día.
- Na - número de animales.
- E_d - índices de excretas diarias por animal en kg/día.
- C_{H_2O} - cantidad de agua necesaria, kg/día.
- $P_{E(H_2O)}$ - proporción agua excretas
- C_{BM} - Cantidad de biomasa para el biodigestor, kg/día.

- VBM – Volumen diario de biomasa. Para el tratamiento se recomienda emplear un m³ de capacidad en el biodigestor por cada 1 000 kg de biomasa, pues se considera que la biomasa, formada en sus tres cuartas partes por agua, posee una densidad equivalente a la de esta.
- t_R– Tiempo de retención en días.
- f– Coeficiente factor de retención hidráulica es de 1,3
- Vd– Volumen de biodigestión de la biomasa en m³.

Los cálculos se muestran a continuación:

- Cantidad de excreta disponible

$$C_E = N_a \times E_d$$

$$C_E = 680 \text{ kg/día}$$

La Cantidad de excreta disponible en este estudio es de 680 kg/día, dado a que se trabaja con búfalas en lactancia y se consideran las seis horas de ordeño.

- Cantidad de agua necesaria

$$CH_2O = C_E \times PE (H_2O)$$

$P_{E(H_2O)}$ – proporción agua excretas búfalo 1: 1 (tomando referencia ganado vacuno, ver tabla .3.2)

Tabla 3.2. Cantidad de excreta por tipo de animal, cantidad de biogás, proporción excreta agua y tiempo de retención.

Procedencia heces	Excreta húmedo-diaria (kg)/animal.	m ³ de biogás/día*animal	Proporción excreta: agua.	Tiempo de retención ¹
Vaca	10	0,360	1:1	40 días
Toro	15	0,540	1:1	40 días
Cerdo (50kg)	2,25	0,101	1:1-3	40 días
Pollo	0,18	0,108	1:1-8	30 días
Caballo	10	0,300	1:1-3	30 días
Carnero	2	0,100	1:1-3	40 días
Ternero	5	0,200	1:1	40 días
Persona Adulta	0,40	0,025	1:1	60 días

Nota: (Yanes, 2021)

$$CH_2O = 680 \text{ kg/día}$$

- Cantidad de biomasa para el biodigestor

$$CBM = C_E + CH_2O$$

$$CBM = 680 \text{ kg/día} + 680 \text{ kg/día}$$

$$CBM = 1\,360 \text{ kg/día}$$

- Volumen diario de biomasa

VBM: es la relación entre la masa y el volumen y asumiendo para este ejemplo de cálculo que la densidad del sustrato (excreta de búfalo a partir de la referencia de la excreta vacuna) es igual a $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$, entonces:

$$VBM = 1.36 \text{ m}^3$$

- Tiempo de retención de la biomasa

$$t_R = 40 \text{ días}$$

Considerando el criterio de la tabla 3.2, al tomar el tiempo de retención semejante al ganado vacuno.

- Volumen del biodigestor

$$Vd = VBM \times t_R$$

$$Vd = 1.36 \text{ m}^3 \times 40 \text{ días}$$

$$Vd = 54.4 \text{ m}^3$$

Tabla 3.2. Resultados de los principales parámetros a tener en cuenta para el diseño de biodigestores de cúpula fija.

Parámetro determinado	Resultados
Cantidad de excreta disponible	680 kg/día
Cantidad de agua necesaria	680 kg/día

Cantidad de biomasa para el biodigestor	1 360 kg/día
Volumen diario de biomasa	1.36 m ³
Tiempo de retención de la biomasa	40 días
Volumen del biodigestor	54.4 m ³

Nota: Elaboración propia.

3.3 Cálculo de los parámetros constructivos del biodigestor

En el diseño del biodigestor de cúpula fija, se hace necesario el dimensionamiento de los parámetros constructivos.

- **Dimensionamiento de los parámetros constructivos del biodigestor**

Para la determinación del dimensionamiento de los parámetros constructivos se tuvo en cuenta el volumen total del biodigestor ($V_d = 54,4 m^3$). Las operaciones de cálculo contemplan la determinación de los parámetros constructivos que determinan la geometría de la cámara de fermentación y la cúpula.

El cálculo se basa en determinar los valores del diámetro d_{cf} y la altura h_{cf} de la cámara de fermentación y el volumen de la cúpula V_c , el volumen del biodigestor (V_d) y el volumen de la cámara de fermentación (V_{cf}) representa entre un 75% - 80% y la cúpula entre un 25% - 20% del digestor.

Tabla 3.3. Parámetros constructivos del biodigestor

Parámetros	Fórmulas
Volumen del digestor	V_d
Volumen de la cámara de fermentación	$V_{cf} = (0,75 \sim 0,80) \times V_d$
Altura de la cámara de fermentación	$h_{cf} = \sqrt[3]{\frac{3V_{cf}}{\pi X^2}}$

Diámetro de la cámara de fermentación	$d_{cf} = \sqrt{\frac{4V_{cf}}{\pi h_{cf}}}$
Radio de la cámara de fermentación	$r_{cf} = d_{cf}/2$
Radio de la cúpula.	$r_c = \sqrt{h_{cf}^2 + r_{cf}^2}$
Altura de la cúpula	$h_c = r_c - h_{cf}$
Volumen de la cúpula	$V_c = V_d \times (0,25 \sim 0,20)$

Nota: Elaboración propia.

Donde:

- V_d – Volumen del digestor
- V_{cf} –Volumen de la cámara de fermentación
- h_{cf} – Altura de la cámara de fermentación
- d_{cf} – Diámetro de la cámara de fermentación
- r_{cf} – Radio de la cámara de fermentación
- r_c – Radio de la cúpula.
- h_c – Altura de la cúpula.
- V_c – Volumen de la cúpula.

Mostrándose los cálculos a continuación:

- Volumen del digestor

$$V_d = 54,4 \text{ m}^3$$

- Volumen de la cámara de fermentación

$$V_{cf} = (0,75 \sim 0,80) \times V_d$$

$$V_{cf} = (0,75 \sim 0,80) \times 54,4 \text{ m}^3$$

$$V_{cf} = (40,8 \sim 43,52) \text{ m}^3$$

- Volumen de la cúpula

$$V_c = V_d \times (0,25 \sim 0,20)$$

$$V_c = 54,4 \text{ m}^3 \times (0,25 \sim 0,20)$$

$$V_c = (13,6 \sim 10,88) \text{ m}^3$$

En la investigación teniendo la dimensión del Volumen del digestor (V_d) y las expresiones del Volumen de la cámara de fermentación V_{cf} y Volumen de la cúpula V_c ; se le dan valores a X y así se determinan los parámetros constructivos del digestor. En función de determinar los valores óptimos de los parámetros para la construcción del digestor se busca la interrelación entre el volumen del digestor, la cámara de fermentación y la cúpula, según las condiciones preestablecidas siguientes:

$$V_{cf} = (40,8 \sim 43,52) \text{ m}^3$$

$$V_c = (10,88 \sim 13,6) \text{ m}^3$$

A continuación, se realiza el cálculo de los parámetros y su interrelación, los resultados se muestran en la tabla 3.4 y 3.5.

Las columnas de Volumen de la cámara de fermentación (V_{cf}) (columna 3) y Volumen de la cúpula (V_c) (columna 4) son las condiciones preestablecidas, y la columna 11 (V_d final) representa la interrelación entre V_d , V_{cf} y V_c . La columna 11 es la suma de la columna 3 y 10.

Los valores óptimos para la construcción del digestor se seleccionan en la fila donde el valor de V_d de la columna 11, es semejante al valor de la dimensión del Volumen del digestor (V_d)

En la tabla 3.4 se calculan los parámetros para el digestor de $54,4 \text{ m}^3$, cuando $V_{cf} = 0,75V_d$ y la tabla 3.5 cuando $V_{cf} = 0,80V_d$.

Tabla 3.4. Cálculo de los parámetros del digestor cuando $V_{cf} = 0,75V_d$.

X	V_d	V_{cf}	V_c	h_{cf}	d_{cf}	r_{cf}	r_c	h_c	V_c	V_d
(C 1)	(C 2)	(C 3)	(C 4)	(C 5)	(C 6)	(C 7)	(C 8)	(C 9)	(C 10)	(C 11)
2.10	54.4	40.8	13.6	2.068	5.014	2.507	3.250	1.182	13.644	54.444

2.12	54.4	40.8	13.6	2.055	5.030	2.515	3.247	1.193	13.820	54.620
2.13	54.4	40.8	13.6	2.048	5.037	2.519	3.246	1.198	13.907	54.707
2.14	54.4	40.8	13.6	2.042	5.045	2.523	3.245	1.204	13.995	54.795
2.15	54.4	40.8	13.6	2.035	5.053	2.527	3.244	1.209	14.084	54.884
2.2	54.4	40.8	13.6	2.004	5.092	2.546	3.240	1.236	14.527	55.327
2.25	54.4	40.8	13.6	1.975	5.130	2.565	3.237	1.263	14.975	55.775

Nota: Elaboración propia.

De la tabla 3.4 se puede escoger cualquier valor de las filas 1 - 5, dado a que el valor de la columna 11 es más cercano a V_d fijado ($54,4 \text{ m}^3$), dado a que el V_c está alrededor del 20%

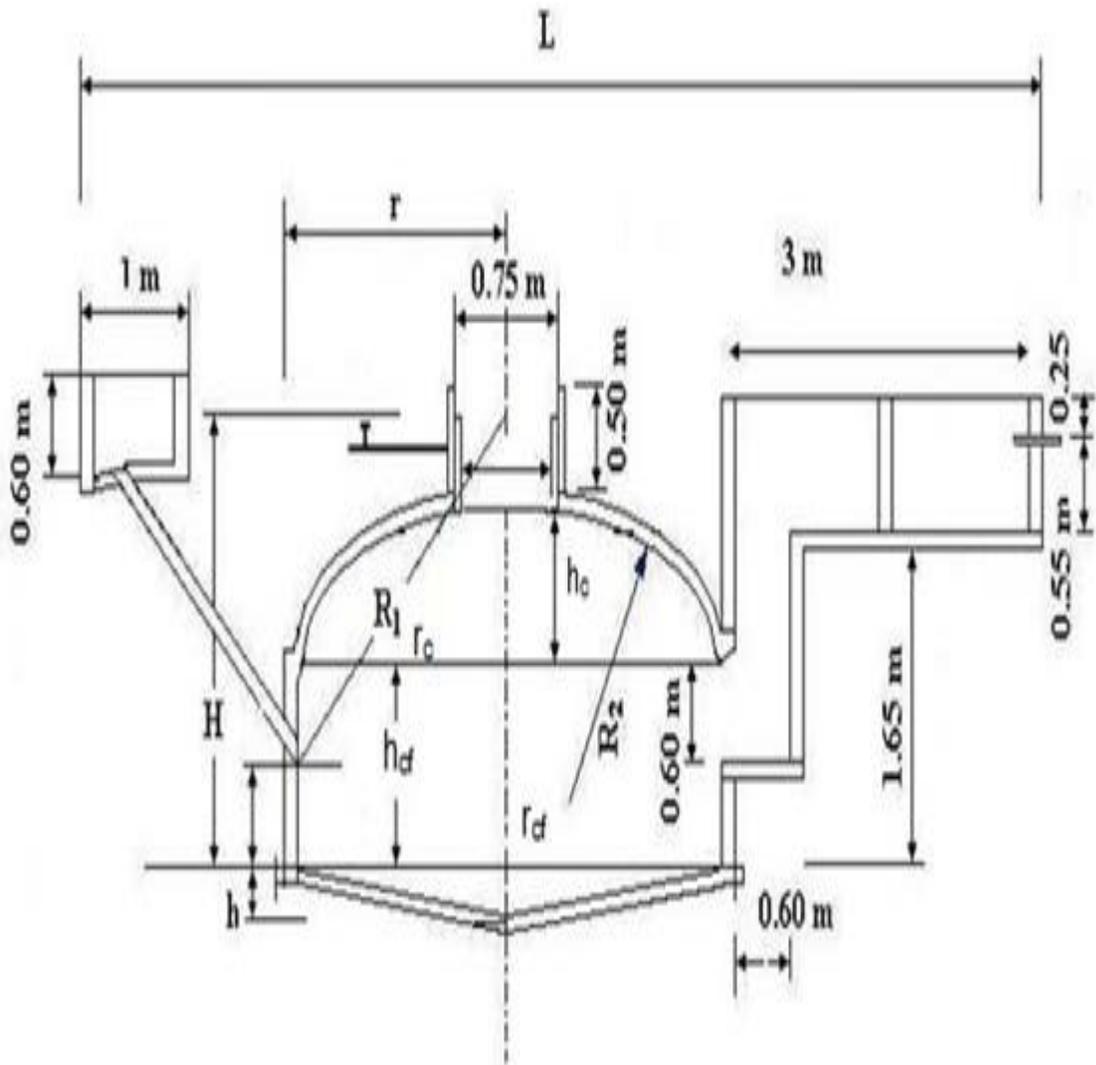
Tabla 3.5. Cálculo de los parámetros del digester cuando $V_{cf} = 0,80V_d$.

X	V_d	V_{cf}	V_c	h_{cf}	d_{cf}	r_{cf}	r_c	h_c	V_c	V_d
(C 1)	(C 2)	(C 3)	(C 4)	(C 5)	(C 6)	(C 7)	(C 8)	(C 9)	(C 10)	(C 11)
1.70	54.4	43.52	10.88	2.432	4.774	2.387	3.408	0.976	10.995	54.515
1.71	54.4	43.52	10.88	2.423	4.784	2.392	3.404	0.982	11.080	54.600
1.72	54.4	43.52	10.88	2.413	4.793	2.396	3.401	0.988	11.164	54.684
1.73	54.4	43.52	10.88	2.404	4.802	2.401	3.398	0.994	11.249	54.769
1.74	54.4	43.52	10.88	2.395	4.811	2.406	3.394	1.000	11.334	54.854
1.80	54.4	43.52	10.88	2.341	4.866	2.433	3.377	1.035	11.850	55.370
2.00	54.4	43.52	10.88	2.182	5.040	2.520	3.334	1.151	13.631	57.151

Nota: Elaboración propia.

De la tabla 3.5 no se deben escoger las filas 6 y 7 dado que no cumplen con las condiciones preestablecidas, ya que las cúpulas representan entre el 21% ~ 23% de V_d respectivamente. Con la obtención de los parámetros constructivos se logró realizar el plano del biodigestor ver figura 3.11

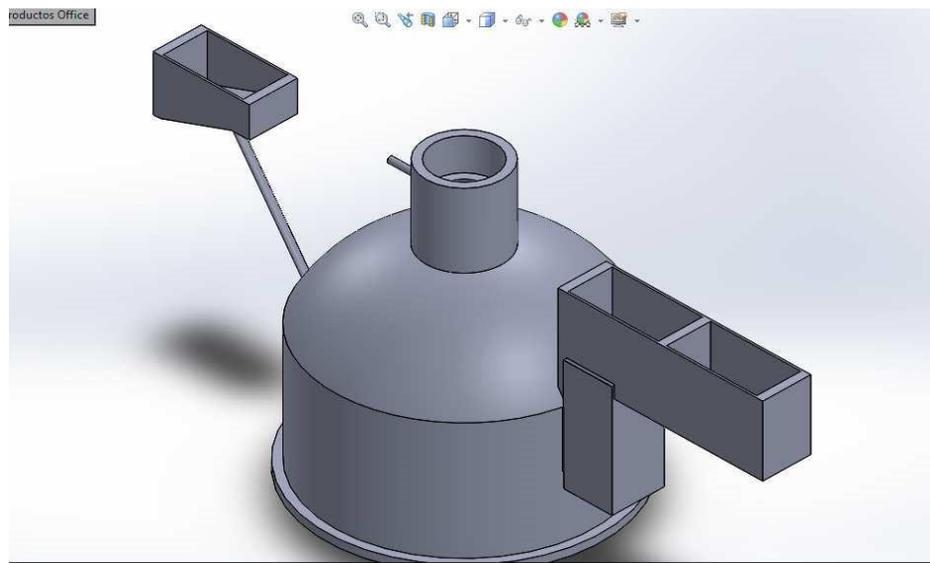
Figura 3.11 Plano del biodigestor de cúpula fija



Nota: Elaboración propia

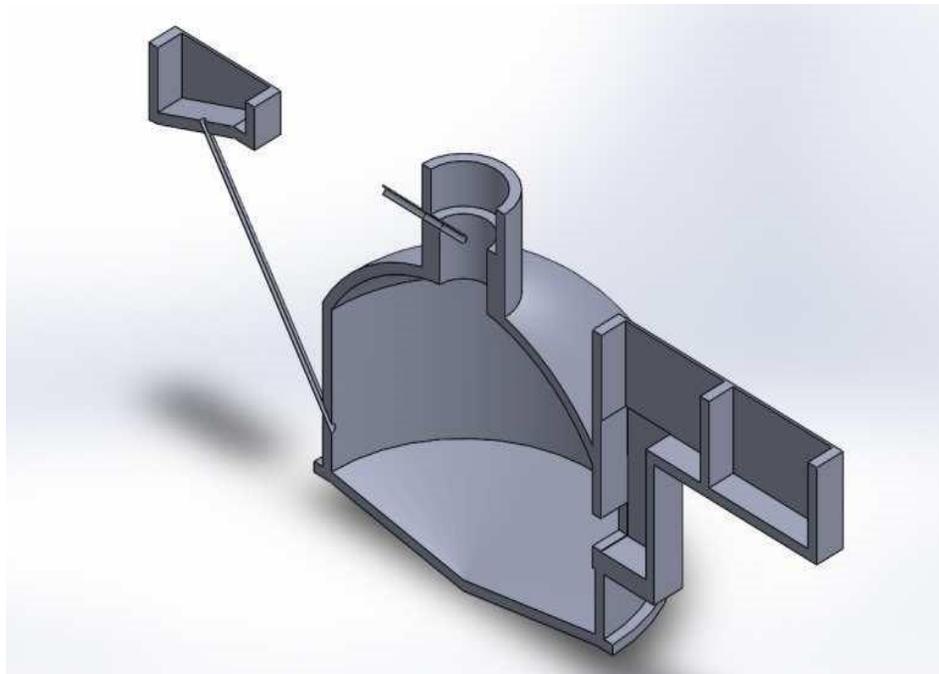
Mediante la utilización del software SOLIDWORKS I, PREMIUM, 2016, se muestran los detalles de parte del diseño lo cual se observa en la figura 3.12 y 3.13.

Figura 3.12 Biodigestor en su vista de conjunto.



Nota: Elaboración propia

Figura 3.13 Corte transversal del biodigestor.



Nota: Elaboración propia

3.4 Ubicación del biodigestor.

La ubicación del biodigestor diseñado es importante como la propia construcción, la adecuada ubicación juega un papel importante para el fácil manejo y operación del mismo. La ubicación se realiza en las inmediaciones de la minindustria cárnica situada en Perseverancia, 1ro de Mayo.

Los principales aspectos que se tuvieron en cuenta a la hora de la ubicación son los siguientes:

- La ubicación se realizará en la inmediación de la minindustria, debido a que la excretas se recolectan en las vaquerías donde se realiza el ordeño (búfalas en lactancia), ese traslado se realiza en carros de tracción animal.
- Existe una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.
- El biodigestor estará ubicado a menos de 200m de la minindustria cárnica
- Evitar el contacto con el manto freático para evitar filtraciones al interior o la contaminación del manto.

Para ellos se eliminará del área seleccionada para su construcción (figura 3.14) que se utilizará para la construcción la vegetación y otros elementos de que constituyan obstáculos.

Figura 3.14: Ubicación del biodigestor a satisfacer a la minindustria cárnica



Nota: Elaboración propia

3.5 Materiales de Construcción.

En este epígrafe se proponen los materiales para la construcción del biogás para la minindustria cárnica.

- Cimentación y vigas de cerramiento y zapata (anillo)

Elementos	Materiales
Losa de cimentación del Biodigestor	Hormigón Rbk=15-20Mpa
Losa de cimentación del tanque de compensación	Cemento P o PP-200,250
Losa de la ventana	Arena gruesa lavada, sin materia orgánica
Viga de amare reforzada (cerramiento de muros)	Grava gruesa
Tapa del cuello	acero en barras con R2k-200-300Mpa

- Mampostería

a) De bloque de hormigón

Elementos	Materiales
Bloques de hormigón de 15 a 20 Cm de espesor	Cemento P o PP-200,250
Mortero de cemento	Arena fina
Mortero para macizado (eventual)	Arena gruesa Cal apagada

b) De ladrillos

Elementos	Materiales
Ladrillos de barro cocido	Cemento P o PP-200,250
Mortero de cemento	Arena fina
	Cal apagada

- Acabados

Elementos	Materiales
Repellos de muros	Cemento P o PP-200,250
Repellos de cúpula	Arena fina

Estucado de cúpula	Cal apagada Pintura impermeabilizante En ocasiones se utiliza arena fina de mar para el repello fino y el estucado de la cúpula
--------------------	---

- Tubería y accesorios

Elementos	Materiales
Tubería de suministro de cieno a la planta	Tubos de PVC
Tubería de captación y conducción de Biogás	Accesorios (uniones, codo, etc.) Limpiador y pegamento para PVC Válvulas de cierre Pueden emplearse tuberías de otro tipo de material (hierro galvanizado, Polietileno, etc.).

Es necesario considerar la variación de los precios después de la implementación de la Tarea Ordenamiento en el país. Las cantidades de materiales a utilizar de acuerdo a la capacidad del digestor.

3.6 Evaluación económica del biodigestor propuesto

Teniendo en cuenta que el biodigestor puede generar 15 241.61 kWh al año lo que representa el 11.72 % del consumo de energía eléctrica para el año 2021 (129 968 kWh) por lo que no supe la demanda eléctrica de la minindustria cárnica en un mes, que es de aproximadamente 11 200 kWh. La minindustria cárnica tiene una tarifa contratada M1-A con un valor de 4,01 CUP (0,16 USD) por kWh según la Resolución 66/2021 en su Anexo 2 en la Gaceta Oficial de la República de Cuba No.26 Extraordinario de 13 de abril de 2021 (CUBA, 2021).

Se toma el valor del kW/h producido por el biodigestor a partir de la tarifa contratada, por lo cual sería 61 118.85 CUP por concepto de ahorro en la factura eléctrica de la minindustria cárnica.

El listado y la cantidad de materiales a utilizar en la construcción del biodigestor para la construcción de un biodigestor de 54 m³ en la minindustria cárnica se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Listado y cantidad de materiales para la construcción de un biodigestor de 54 m³ en la minindustria cárnica

Materiales	U/M	Necesidad de materiales
		54 m ³
Cemento.	Bolsas.	143
Arena.	m3	16
Gravilla.	m3	12
Polvo de piedra.	m3	20
Bloque de 15".	Unidad	1650
Ladrillo.	Unidad	2250
Tubos de PVC de ¾".	metros	50
Codo de ¾".	Unidad	8
Tee de ¾".	Unidad	2
Nudos de ¾".	Unidad	10
Llaves de paso de 1".	Unidad	3
Cabilla de ½".	tm	0.085

Nota: Elaboración propia

Según lo aprobado por la Resolución 41 de 2022 del Ministerio del Comercio Interior, se toman los precios vigentes luego del reordenamiento monetario en Cuba. La Tabla 3.7 muestra los precios unitarios y el costo de la construcción del biodigestor.

Tabla 3.7 Precios unitarios y el costo de la construcción del biodigestor.

Materiales	U/M	Necesidad de materiales	Precio unitario (CUP)	Precio del material (CUP)
		54 m ³		
Cemento.	Bolsas.	143	140	20020
Arena.	m3	16	346	5536
Gravilla.	m3	12	469	5628
Polvo de piedra.	m3	20	564	11280
Bloque de 15".	Unidad	1650	21	34650
Ladrillo.	Unidad	2250	15	33750
Tubos de PVC de ¾".	5 metros	10	95	950
Codo de ¾".	Unidad	8	40	320
Tee de ¾".	Unidad	2	100	200
Nudos de ¾".	Unidad	10	25	250
Llaves de paso de 1".	Unidad	3	30	90
Cabilla de ½".	tm	0.085	198	16.83
				112 690.83

Nota: Elaboración propia

La mano de obra se representa por una brigada de 6 obreros con un salario mensual de 2 500 CUP por dos meses para un costo por mano de obra mensual 15 000 CUP. Lo que representa

con costo total de 142 690.83 CUP. Los gastos se estiman en un 30 000 CUP anual, en función del pago 2 500 CUP /mes de salario de un obrero para la recolección de las excretas, su traslado, operación y mantenimiento del biodigestor.

En cuanto a los valores de las tasas están dados en la tabla 3.1 según la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012.

El impuesto sobre la ganancia es de 35%, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.

Tabla 3.9: Tasas de interés anual.

Período tiempo	Tasa de interés anual (%)	Tasa mínima (%)	Tasa máxima (%)
Hasta 36 meses	7.5	6.5	8.5
Hasta 60 meses	8	7	9

Nota: Banco Central de Cuba

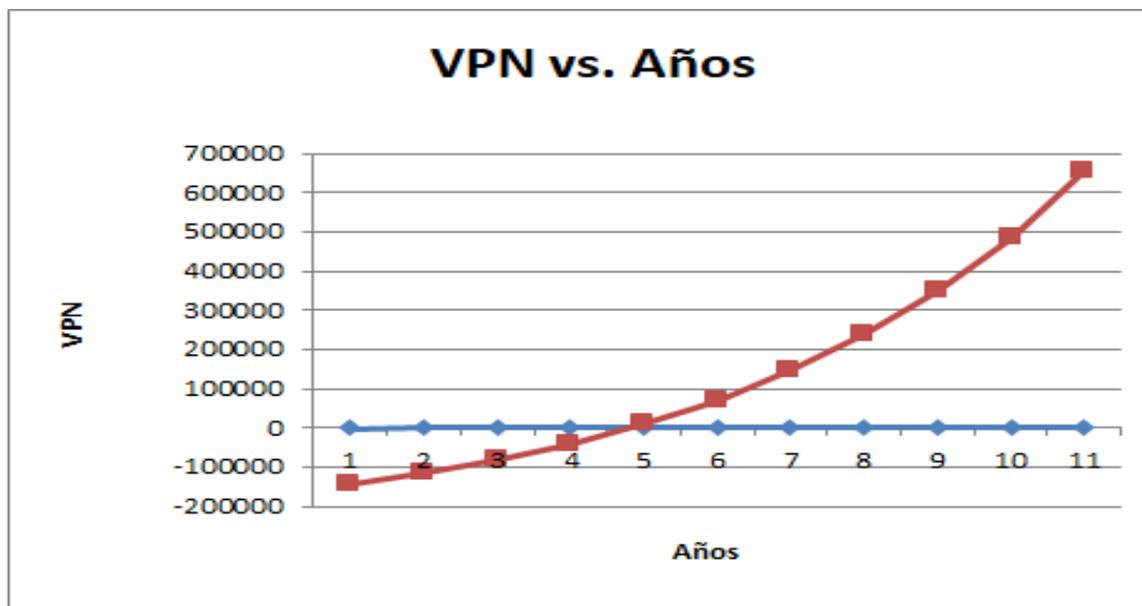
La tasa de inflación ha sido tomada de Trading Economic (Economics, 2022) y actual mente es de 37.24% con picos de 77% en los últimos. Se considera la tasa de descuento de 8% y el margen de riesgo de 3%.

Tabla 3.10 Evaluación económica del biodigestor propuesto

Nº Datos iniciales	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
1 Ingresos (I), \$		61118,9	61118,85	61118,85	61118,85	61118,9	61118,85	61118,85	61118,85	61118,85	61118,85
2 Gastos (G), \$		30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
3 Costo inversión (K ₀)	-142690,83										
4 Tasa de descuento (r), %		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5 Tasa de inflación (f), %		37,24	37,24	37,24	37,24	37,24	37,24	37,24	37,24	37,24	37,24
6 Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7 Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
8 Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Nota: Elaboración propia

Figura 3.15: Resultados de la evaluación económica para la inversión de 142 690.83 CUP con una tasa de inflación de 37,24%.



Nota: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos el proyecto tiene un VPN de 484 981,22 CUP al cabo de los 10 años, una Tasa Interna de Retorno (TIR) representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero, de 25 % y PRI de 5 años. Por tanto, se considera viable el proyecto, por lo que se aconseja realizar esta inversión de obtenerse los costos de inversión.

3.7 Turbina gas para la generación de energía eléctrica a partir de biogás

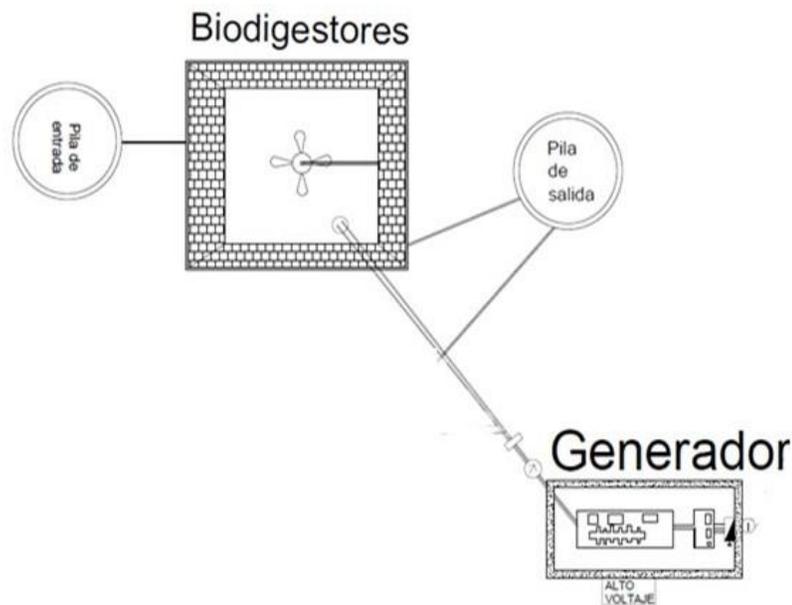
Las turbinas de gas pueden usarse en una variedad de configuraciones, en este estudio se propone las turbinas de gas de **operación en ciclo simple**, las cuales producen solamente energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica a partir de las turbinas de gas se consigue con el ciclo de Brayton y consiste en un compresor para comprimir el aire a alta presión, una cámara de combustión operando a alta presión, la turbina de gas y el generador. La sección de la turbina comprende una o más turbinas que extraen la energía mecánica de los productos de combustión calientes.

Parte de la energía se usa para accionar la etapa del compresor; la energía restante está disponible para accionar el generador eléctrico u otras cargas mecánicas. Para inyectar el combustible en la cámara de combustión presurizada, el combustible debe presurizarse.

La selección del tipo de turbina a utilizar para el biogás propuesto de 54.4 m^3 en esta investigación. Para la selección de este tipo de turbina influye el costo que para la minindustria cárnica la inversión estará a cargo de un proyecto con la Unión Europea. La figura 3.16 se puede observar la propuesta del diseño de la turbina conectada a la tubería de biogás.

Figura 3.16 Propuesta del diseño de la turbina conectada a la tubería de biogás para la minindustria cárnica



Nota: Elaboración propia.

Las especificaciones de turbina a gas y ventajas de su implementación

- 1) Potencia nominal de entre 10kw a 500kw.
- 2) Una vida más larga: motor de gas natural tiene una vida útil de varios años si está bien operado y mantenido.
- 3) Bajo costo de operación: el gas natural tiene una reserva de riquezas con un bajo costo y de alta tasas de retorno.
- 4) De alta rentabilidad: bajo costo de operación, el suministro de electricidad y energía térmica en el mismo tiempo, bajo costo de mantenimiento.
- 5) Junto con alternadores sin escobillas de leroy somer/engga.

- 6) Sistema de control perfectamente realizado, por un monitor de alta calidad; instrumento que con el sonido y dispositivos de alarma luz, de apagado automático.
- 7) La función de protección: más actualizada, bajo consumo de voltaje, tensión autorregulable o Potencia inversa.
- 8) Función de monitor: la velocidad, la temperatura del agua, lubricante- la temperatura del aceite, lubricante- oil. La presión, la temperatura de escape
- 9) El consumo de gas: menos de un metro cúbico 0.33m³/kWh.

En la siguiente tabla 3.11 se muestra más detalles de la turbina a gas.

Tabla 3.11 Detalles de la turbina a gas

tensión nominal	400/230 V(ajustable)
tipo de conexión	Fase 3,4 cables
factor de potencia	0.8(quedando)
grado de protección	Ip21/23
clase de aislamiento	/h h
regulación de voltaje	& ge; ± 5%
Regulación de voltaje, stead estado	& le; ± 1%
Tensión repentina de la urdimbre (repentina reducir)	& le; +20%
Tensión repentina de la urdimbre (aumento repentino)	& le; - 15%
Estable de voltaje tiempo (repentina reducir)	& le; 1.0s
Estable de voltaje tiempo (aumento repentino)	& le; 1.0s
Regulación de la frecuencia, stead estado	& le; 0.5%
Frecuencia agitando	& le; 0.5%
Frecuencia de tiempo de recuperación (repentina reducir)	& le; 1.0s
Frecuencia de tiempo de recuperación (aumento repentino)	& le; 1.0s

Nota: (Br. Oswaldo Moisés Payan García, 2017)

Los datos técnicos de las turbinas a gas o parámetros mencionados se muestran en la siguiente tabla 3.12 donde se muestran los diferentes tipos de turbinas.

Tabla 3.12 Diferentes tipos de turbinas

Grupo electrógeno	el primer poder		la velocidad	actual	método de enfriamiento	método de inicio	el gobernador	modelo del motor
	kW	kva	(rpm)	(un)				
Gh-10gfz	10	13	1500	18	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	yd480
Gh-20gfz	18	23	1500	36	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	4100q
Gh-30gfz	30	38	1500	54	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	4105q
Gh-50gfz	50	63	1500	90	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	6105q
Gh-75gfz	75	94	1500	135	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	wd615q
Gh-100gfz	100	125	1500	180	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	6140q
Gh-120gfz	120	150	1500	217	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	6140q
Gh-120gfz	120	150	1500	217	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	wd615zq
Gh-150gfz	150	188	1500	270	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	12v135q
Gh-200gfz	200	250	1500	361	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	12v138q
Gh-250gfz	250	313	1500	450	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	12v135zq
Gh-275gfz	275	344	1500	495	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	12v138zq
Gh-500gfz	500	625	1500	900	refrigerado por agua cerrado	eléctrica	esc	12v190zq

Nota: (Br. Oswaldo Moisés Payan García, 2017)

Para la selección del tipo de turbina se realizan diferentes cálculos para obtener la cantidad de energía eléctrica a generar la cual será directamente proporcional a la cantidad de biogás obtenido y del caudal de consumo de biogás (planta generadora), siendo estos:

Cantidad de biogás $V = 54.4 \text{ m}^3$

Consumo de biogás $Q = 0.33 \text{ m}^3/\text{kWh}$

Ec. (10) $E = V/Q$

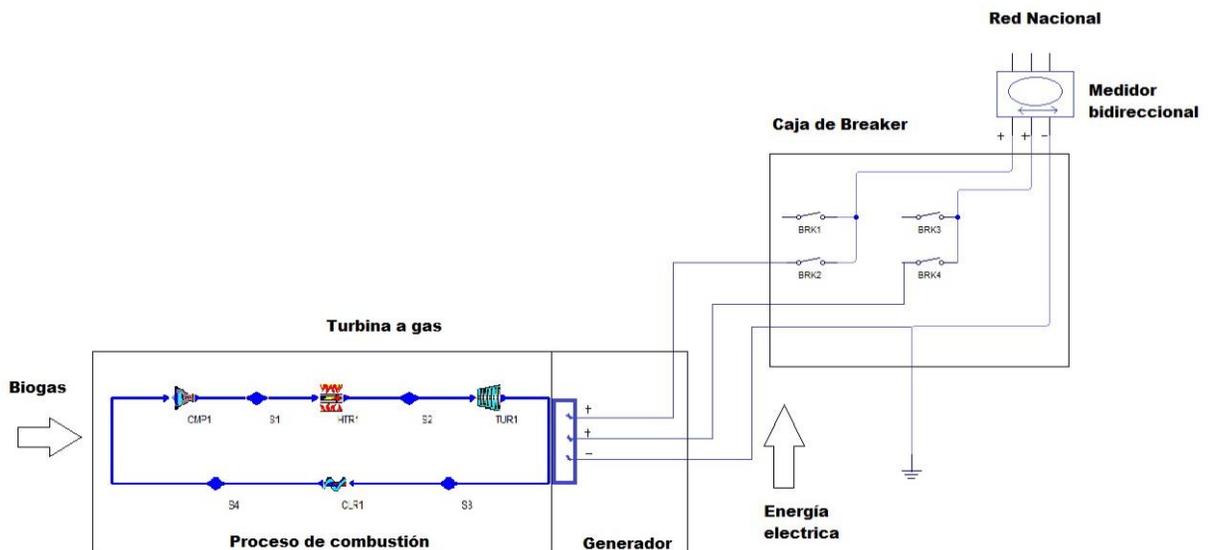
$E = (54.4 \text{ m}^3) / (0.33 \text{ m}^3/\text{kWh}) = 164.84 \text{ kWh}$

$P = E/\Delta t$

$P = E/\Delta t = 164.84 \text{ kWh}$

La siguiente figura 3.17 se muestra el diseño eléctrico de la planta generadora de energía eléctrica, a partir de biogás.

Figura 3.17 Diseño eléctrico de planta generadora de eléctrica



Nota: (Br. Oswaldo Moisés Payan García, 2017)

Otros elementos a tener en cuenta para la selección de la turbina de gas es el análisis de la unidad generadora a gas, el interruptor principal y el panel de control.

3.8 Conclusiones parciales

1. La caracterización energética de la minindustria permitió conocer su consumo de energía eléctrica en los últimos 22 meses, dando como resultado que el consumo en el 2021 fue de 129 968 kWh, promediando 10 831 10 584 kWh y el año 2022 de 105 844 kWh, promediando 10 584 kWh mensual.
2. Se propuso la construcción de un biodigestor de 54 m³ a partir de las excretas a recolectar y las 72 búfalas en lactancia en tiempo de ordeño, realizando su diseño, ubicación, materiales a emplear y la valoración económica que evidencia una recuperación de la inversión en 5 años.

Conclusiones Generales

1. El uso de los biodigestores es extendido a nivel mundial y su selección se basa en que sea viable para el tratamiento de residuos de diversos tipos, en Cuba existe un gran potencial de biogás en el sector estatal, privado y las cooperativas.
2. La masa ganadera representada por búfalos en la UEB Integral Aguada es de 1085 cabezas de ganado, la cual posee gran potencialidad para la generación de biogás sin embargo esta no puede ser utilizada en totalidad, solo el 2.5 % puede ser utilizado mediante la recogida de excretas de 72 búfalas en lactancia en tiempo de ordeño que tiene una potencialidad real de 680.40 kg/día de excretas generadas, 79.38 m³/mes de biogás para generar 1252.74 kWh mes representando un ahorro de 2.48 BEP/mes y dejado de emitir al medioambiente 845.60 kg de CO₂.
3. La caracterización energética de la minindustria permitió conocer sus consumo de energía eléctrica en los últimos 22 mes, dando como resultado que el consumo en el 2021 fue de 129 968 kWh, promediando 10 831 10 584 kWh y el año 2022 de 105 844 kWh, promediando 10 584 kWh mensual, proponiéndose la construcción de un biodigestor de 54 m³ a partir de las excretas a recolectar e las 72 búfalas en lactancia en tiempo de ordeno, realizando su diseño, ubicación, materiales a emplear y la valoración económica que evidencia una recuperación de la inversión en 5 años que puedo a suplir el 11 % del consumo eléctrico de la minindustria.

Recomendaciones

Hacer comparación entre diferentes tecnologías de biogás para grandes volúmenes de ganado y los costos asociados.

Seleccionar el generador de la turbina de biogás.

Bibliografía

- Acuña, M.(2010) Manual Técnico para Construcción y Mantenimiento de Biodigestores.
- Barrera-Cardoso, D. C. (2020). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural . 19.
- Botero R., Preston T.R.(2011). Low-cost biodigester for production of fuel and fertilizer from manure. Manuscrito no editado, Cali, pp 1-20
- Calderon, J. P., & Aguirre, J. P. (2019). Comparacion de estiércol bufalino y bovino como potenciales Inoculos en el proceso de digestion anaerobia . Bucaramanga.
- Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA). CITMA (2021). Dirección de Energía Renovable (MINEM)
- Chará, J.D.(2007). Material Flow in Pozo Verde Integrated Farm in Cauca Valley Province. Colombia Paper de discusión en la conferencia de análisis de flujo en sistemas biointegrados. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icbs>.
- Correa, J. (2011). Mejora de la eficiencia energética en la empresa Cereales Cienfuegos. (Tesis de Maestría Eficiencia Energética). Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios de Energía y Medioambiente. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos.
- Correa, J. (2014). Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011. Ingeniería energética., XXXV (1), 38–47.
- CUBA, G. O. (2021). Gaceta Oficial No. 26 Extraordinaria de 13 de abril de 2021.
- Economics, T. (2022). Trading Economics.
- Hernández, J. S., Chacón, J. A., & Casas, L. C. (2021). El estado del biogás en Cuba. Renewable.cu, 2-5.
- Oropesa Márquez, Y. (2019). Diseño de un biodigestor de cúpula fija para el manejo. Pinar del Río.
- Kimbutu, P. N. (2017). Potencialidades para el desarrollo de las fuentes renovables de energía en el municipio de Cienfuegos hasta el 2030. Cienfuegos.
- Krich, K., Augenstein, D., Batmale, J., Beneman, J., Salour, D., & Rutledge, B. (2005). Biomethane from Dairy Waste, a Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas. California.
- Lozano, M. M. (2015). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. Guanajuato.
- Moog, F. A, et al (2015) Promotion and utilization of polyethylene biodigester in smallhold farming systems in the Philippines. Paper de discusión en la conferencia de aplicaciones de sistemas bio integrados en cero emisiones 1998. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icbs>.
- ONEI. (2021). Anuario Estadístico de Cuba 2021
- Payan García, O. (2017). *Propuesta de generación de energía eléctrica a través de turbinas de 10KW usando biogás en la UNAN-Managua.*

- Proyecto GTZ-CVC-OEKOTOP (2014). Difusión de la tecnología del biogás en Colombia.Documentación del Proyecto. Cali
- Proyecto PESENCA.(2019). El biogás y sus aplicaciones. Documento del proyecto programa especial de energía de la Costa Atlántica GTZ-ICA-CORELCA.
- Quiñones, Y. C. (2019). Implementación de un sistema de HACCP para mejorar la gestión de la inocuidad alimentaria. Cienfuegos.
- ROSE, G.,(2018).Community-Based Technologies for Domestic Waste Water Treatment and options for urban agriculture. <http://www.ias.unu.edu/proceedings/icbs>
- Sasse, L (2011). La planta de Biogás. Eschborn: GTZ.
- Silva Vinasco, J. P. (2002). Tecnología del biogas. Gestión integral del tratamiento de aguas residuales.
- Simon, L., & Galloso, M. (2011). Presencia y Perspectiva de los búfalos en Cuba. Matanzas.
- Yanes, d. J. (2021). Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina.