

Original**Diseño preliminar de un biodigestor en la finca “La Palmita”.****I design preliminary of a biodigestor in the property "The Palm."**

Ing. Grisel Lisbet García Sánchez. Profesora. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. [ggarcias@udg.co.cu] 

Ing. Reiler Vicente Ortiz Anaya. Profesor. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. [rortiza@udg.co.cu] 

Ing. Raúl Arturo Jiménez Rodríguez. Profesor. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. [rjimenez@udg.co.cu] 

Recibido: 14/04/2020 | **Aceptado:** 21/10/2020**Resumen**

Debido a la creciente importancia del uso sostenible de los recursos naturales en los sistemas agropecuarios, hoy se aprecia el papel de los biodigestores en una perspectiva mucho más amplia por su aplicación potencial para el aprovechamiento energético y el reciclaje de los desechos orgánicos. El objetivo de este trabajo es el diseño preliminar de un biodigestor a partir de la biomasa agropecuaria generada en la finca “La Palmita” ubicada en el municipio Yara. Los principales resultados de esta investigación muestran que la biomasa agropecuaria producida en dicha finca en el año 2017 fue de 31,59 t de residuos aprovechables como recurso energético renovable, de los cuales se estima que se pudieron generar 2529,3 m³ de biogás a partir de la digestión anaerobia. Además, se realizaron los cálculos de diseño de un biodigestor proponiendo la construcción de uno con una capacidad de 5 841 l en el que se utilizan materiales económicos.

Palabras claves: biodigestor; biomasa; biogás; digestión anaerobia.**Abstract**

Due to the growing importance of the sustainable use of the natural resources in the agricultural systems, today the paper of the biodigestores is appreciated in a much wider perspective by its potential application for the energy use and the recycling of the organic waste. The objective of this work is the preliminary design of a biodigestor starting from the agricultural biomass generated in the property "The Palm" located in the municipality Yara. The main results of this investigation show that the agricultural biomass taken place in this property in the year 2017 was of 31,59 t of profitable residuals as renewable energy resource, of which he/she is considered that 2529,3 biogas m³ could be generated starting from the digestion anaerobia. Also, they were

carried out the calculations of design of a biodigester proposing the construction of one with a capacity of 5 841 l in which economic materials are used.

Keywords: biodigester; biomass; biogas; digestion anaerobe.

Introducción

El aprovechamiento energético de los residuos de biomasa se ha incrementado a lo largo de los últimos años en el planeta. El principal motivo de este incremento es la necesidad de cumplir los objetivos energéticos a nivel global, estos objetivos están directamente relacionados con las limitaciones sobre la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que establece metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, se reconoce que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años. En este sentido el Protocolo tiene un principio central: el de la responsabilidad común y diferenciada Marco (2016).

Otros factores externos como la tendencia en el consumo internacional de recursos de origen fósil, el incremento de precios de las materias primas y la aparición de nuevas legislaciones favorable al desarrollo de las energías renovables (ER), y en concreto, al fomento de la energía generada a partir de biomasa, promueven el aprovechamiento energético de este recurso de diversos orígenes (forestal, industrial, agrícola y cultivos energéticos) para la producción de electricidad y/o calor González (1997).

En el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba se definen los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, para actualizar el modelo económico cubano. Varios lineamientos se refieren a concebir las nuevas inversiones, el mantenimiento constructivo y las reparaciones capitalizables con soluciones para el uso eficiente de la energía, instrumentando adecuadamente los procedimientos de supervisión. Las prioridades del desarrollo sostenible se definen en el Lineamiento 118, mientras que del 240 al 254 definen la política energética, diez de ellos son aplicables al territorio y en el 246 y 247 se potencia el empleo de las fuentes renovables de energía, particularizando lo relacionado con el fomento de su aprovechamiento, priorizadas aquellas que tengan el mayor efecto económico PCC (2011).

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa es una solución que contribuye a cubrir necesidades energéticas de una forma sostenible. La biomasa, que mediante el proceso de digestión anaerobia genera biogás, se caracteriza por tener un bajo contenido en carbón y un elevado contenido en oxígeno y en compuestos volátiles. Los compuestos volátiles, con presencia de dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrógeno, son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. Su poder calorífico

depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su contenido de humedad. Estas características, junto con el bajo contenido en azufre, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente Míguez (2013).

La producción de calor, electricidad, transformación de los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad, así como el mejoramiento de las condiciones higiénicas por la reducción de organismos patógenos, son algunas de las potencialidades del biogás Karekezi y Kithyoma, (2009). Una fuente alternativa para la obtención de energía que se impulsa en diversas naciones, entre estas Cuba. De acuerdo con un reciente informe publicado por la Oficina Nacional de Estadística e Información, en el año 2015 se reportó el uso de 580 digestores y 72 plantas de biogás instalados en el sector estatal, creciendo la energía sustituida por estos dispositivos en un 7,22%, comparado con el año 2014.

Como sustituto de combustibles fósiles, el biogás es utilizado como combustible en generadores eléctricos que, dependiendo de la cantidad de biogás producido, pueden generar pequeñas y medianas potencias, existiendo a su vez la posibilidad de reducir del impacto ambiental.

En Granma, el conocimiento existente sobre este recurso renovable ha ido aumentando en función de la implantación de experiencias sobre producción de energía con biomasa a escala local, y del trabajo conjunto entre distintas entidades que han evaluado la viabilidad del aprovechamiento energético de este recurso bajo criterios de sostenibilidad.

La Universidad de Granma ha participado a lo largo del período 2012 a 2017 en diversos proyectos de investigación junto con otras universidades y entidades estatales. Estos proyectos son los siguientes:

1. Mejorando el tratamiento de residuos en Moca mediante el refuerzo de las capacidades técnicas del personal responsable de la administración, la universidad y las organizaciones locales, y la realización de una campaña de sensibilización en materia ambiental.
2. Gestión de los residuos derivados del procesamiento cárnico en la UEB Cárnico Bayamo, Granma.
3. Gestión de los residuales líquidos derivados del proceso cervecero en la Empresa Santiago de Cuba "Hatuey".

El desarrollo de las energías limpias es imprescindible para combatir el cambio climático y limitar sus efectos más devastadores. El año 2016 fue el más caluroso del que se tenga registro, Naciones Unidas anunció que la temperatura mundial ha aumentado en 1,2°C desde el periodo preindustrial. En el marco del Acuerdo de París, adoptado en diciembre de 2015 y

vigente desde noviembre de 2016, el mundo se comprometió a limitar el aumento de la temperatura mundial a menos de 2°C para fines de siglo. En paralelo, unos 1,1 millones de habitantes, el 17% de la población mundial, no disponen de acceso a la electricidad. Igualmente, 2,7 millones de personas, el 38% de la población global utilizan biomasa tradicional para cocinar, calentarse o iluminar sus viviendas con grave riesgo para su salud (Elisabeth, 2017).

Las fuentes de energía renovables en Cuba

Cuba potencia desde hace varios años la explotación de las energías renovables en el afán de obtener portadores energéticos limpios y sostenibles. Desde el 2006, el país impulsa dentro de la Revolución Energética con la ejecución de diferentes programas enfocados a consolidar un desarrollo soberano en la prospección, conocimiento, explotación y uso de las fuentes nacionales de energía, sean convencionales o no.

En estos momentos, por la capacidad instalada, sólo se genera un 4%, para el 2030 debe alcanzar 7 245 GW anuales, con lo cual se dejarían de emitir a la atmósfera 4 463 000 t/año de CO₂, con lo cual se contribuye a mitigar los daños provocados por el cambio climático. Por otra parte, los molinos de viento del país aportan unos 633 MW, principalmente al sector agropecuario. Los beneficiados refieren lo provechoso de contar con una alternativa sana para disponer de agua, sobre todo en etapas de intensa sequía, con ahorro de combustible y sin perjuicio para el medio ambiente Aymara (2016).

Cuba está considerada una de las zonas del mundo con mayor irradiación solar, según expertos el archipiélago cubano recibe un promedio de radiación solar de más de 1,800 kW/m² al año, lo que lo convierte en una nación con potencial energético a partir del uso de las fuentes renovables León (2016). La instalación en el territorio nacional de parques solares fotovoltaicos responde a los Lineamientos 247 y 285 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, aprobados en el Sexto Congreso del Partido Comunista de Cuba, y actualmente existen 21 parques solares, además se reparan 1000 sistemas de bombeo solares en vaquerías.

Entre 2015 y 2016 pudieron acceder al servicio eléctrico 484 hogares mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos en el municipio de Niceto Pérez en Guantánamo. La energía hidráulica es la de mayor data en el país, sobre todo para generar electricidad en pequeñas proporciones de forma localizada donde hasta este año se han rehabilitado un total de 19 hidroeléctricas, destacándose la Central de Hanabanilla, la mayor del país con 43 MW y esperan por su construcción 34 más que ya cuentan con el financiamiento.

En la energía eólica hasta el 2016 existen más de 7 000 molinos de vientos, principalmente instalados para garantizar el abasto de agua en el sector de la ganadería. Además en la parte de la bioeléctrica que se obtiene a partir de la biomasa cañera forestal cuenta con 5 plantas de biogás con generadores eléctricos a partir del aprovechamiento de los desechos sólidos. Según metas trazadas por la alta dirección cubana para el 2030 Cuba debe contar con 108 parques solares que produzcan 700 MW, también debe tener 147 hidroeléctricas pequeñas de ellas 34 sincronizadas al sistema eléctrico nacional y 113 a las zonas aisladas (ver tabla 1). En la parte de energía eólica se aspira a 13 parques que produzcan 633 MW, por último se aspira a 19 bioeléctricos Delgado (2017)

A escala nacional, a pesar del crecimiento relativo de las fuentes de energía renovables en los últimos años, más del 90% de la energía primaria consumida en Cuba en 2015 procedió de recursos fósiles como muestra la figura 1. ONEI (2015).

Tabla 1. Utilización de las Fuentes Renovables de Energía en Cuba (Domínguez, 2017).

Tecnologías	Instalado (MW)	Instalaciones
Biomasa cañera	470	57 Centrales Azucareros
Eólica	11,1	14 Parques Eólicos
	35	21 Parques Solares Fotovoltaicos
	5543	Escuelas Rurales
Solar Fotovoltaica	467	Consultorios médicos
	1882	Salas TV Rurales
	1101	Viviendas aisladas
Hidroenergía	43	19 Hidroeléctricas
Biogás	0,82	5 Plantas
Biomasa no cañera	0,5	4 Plantas

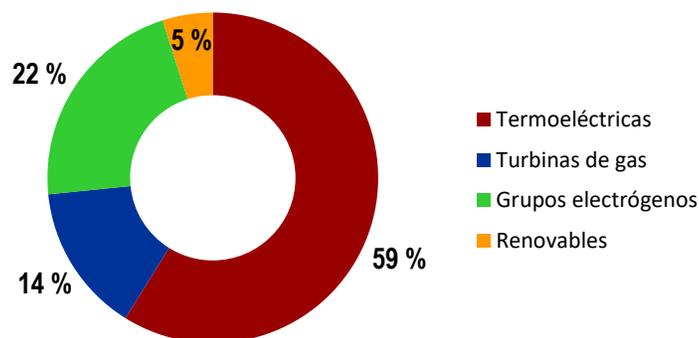


Figura 1. Consumo de energía primaria en Cuba en 2015 (ONEI, 2015).

La biomasa como fuente de energía renovable

Una forma de producir energía es a través de la biomasa, para esto es necesario recordar que si bien los recursos de biomasa más conocidos son la leña y el carbón vegetal, no son los

únicos. La biomasa comprende una extensa gama de materia biológica, cuya energía puede obtenerse en estado líquido mediante la fermentación de azúcares a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica Campero (2012).

El término biomasa incluye todos los materiales que producen energía provenientes de fuentes biológicas, tales como madera o residuos de madera, productos residuos de la pecuaria (cría de ganado), de la industria agroalimentaria, aguas residuales, residuos sólidos municipales (entre los que se encuentran los de mataderoS) y otros materiales biológicos. Cuando se usa la biomasa como fuente de energía se pueden obtener también beneficios sociales, económicos y ambientales. Si la biomasa proviene de residuos de productos (basura orgánica) los costos son usualmente bajos; esta fuente puede tener beneficios adicionales y evitar los costos de disposición de residuos da Rosa, (2005) y Sørensen (2004).

Clasificación de la biomasa.

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos.

- La biomasa natural

Es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques, es decir es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

- La biomasa residual

Es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.

- Los cultivos energéticos

Son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel).

Población y muestra

Ubicación geográfica y caracterización de la finca “La Palmita”

La finca “La Palmita” se encuentra ubicada en el municipio Yara en la provincia de Granma, limita al norte con la comunidad La Curva; al sur con la Terminal Ferrocarril; al este con la Fábrica de Conserva y al oeste con el Río Yara. La finca cuenta con un área de 5,63 ha y fue fundada en 1958. Los cultivos principales son el arroz, granos, cultivos varios, hortalizas y

módulo pecuario: la crianza de cerdos, aves, conejos y peces. Es una finca de excelencia nacional, donde participaron en fórum y eventos nacionales e internacionales en la aplicación de la agroecología, sirviendo de escuela a los demás campesinos.

En lo económico principalmente favorece a la familia. Participan en ferias municipales, aportan parte su producción al hogar materno, círculo infantil y hogar de ancianos. Desde el punto de vista agropecuario se destacan la agricultura con producciones de viandas, hortalizas y frijoles; la ganadería porcina, avícola, vacuna y la pesca.

Caracterización previa de la biomasa

La biomasa analizada en esta investigación es la procedente de los residuales agrícolas y ganaderos.

Se entiende por residuos agrícolas a la parte de la planta cultivada que no se va a utilizar, ni como alimento ni como materia prima en la industria. Se puede también denominar residuo agrícola a la planta o a la porción de ella, que es preciso separar para obtener el fruto, o para facilitar el cultivo propio o posterior.

La actividad agraria ejerce una presión muy importante en determinadas Comunidades Autónomas, donde las explotaciones ganaderas se concentran en zonas determinadas, dando lugar a las denominadas explotaciones intensivas. Estas explotaciones conllevan graves problemas medioambientales, dadas las composiciones altamente contaminantes de los residuos que se generan. Por otra parte, el hecho de que se produzcan de forma concentrada hace más factible su posible aprovechamiento.

Los residuos ganaderos se han venido utilizando como abonos en la agricultura, debido a sus propiedades nutrientes y contenido orgánico. Actualmente, dadas las grandes explotaciones ganaderas y la utilización cada vez más extendida de fertilizantes inorgánicos, se ha roto el equilibrio tradicional entre agricultura y ganadería.

Conceptos en el diseño de un biodigestor

El diseño de un biodigestor depende directamente de varios parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar. La temperatura marca la actividad de las bacterias que dirigen la biomasa y cuanto menor temperatura menor actividad de estas y por tanto será necesario que la biomasa esté más tiempo en el interior del biodigestor. De esta forma la temperatura marca el tiempo de retención.

Por otro lado, la carga diaria de biomasa determina la cantidad de biogás producido por día. La carga diaria, junto con el tiempo de retención (determinado por la temperatura) determina el

volumen del biodigestor. Una cualidad de esta tecnología es adaptable a muchas situaciones, y su diseño puede considerar diferentes criterios:

- Criterios de necesidad de combustible.
- Criterios de necesidades medioambientales (cuando se desea tratar toda la biomasa generada).
- Criterios de un fertilizante natural.
- Criterios de límite de biomasa disponible.

Según cuál sea el objetivo del biodigestor (de si proveer de combustible, generar un buen fertilizante o depurar residuos orgánicos) unos parámetros u otros serán los que definan la metodología de cálculo del biodigestor.

Temperatura y tiempo de retención

En el proceso de digestión anaerobia son las bacterias metanogénicas las que producen, en la parte final del proceso, metano. Existen diferentes poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas donde su mayor rendimiento es a 70°C de temperatura, pero para ellos habría que calentar el lodo interior del biodigestor. Hay otras poblaciones en que su rango óptimo de trabajo es de 30 °C a 35 °C, estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. La actividad de las bacterias desciende si está por encima o por debajo del rango de temperaturas óptimas de trabajo.

En biodigestores sin sistema de calefacción se depende de la temperatura ambiente que en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimo. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5 °C se puede decir que las bacterias quedan “dormidas” y ya no producen biogás. Por ello es necesario estimar un tiempo de retención según la temperatura a la que se trabaje. El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia, es el tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo y producir biogás. Este tiempo, por tanto, depende de la temperatura de la región donde se vaya a instalar el biodigestor (tabla 2). Así, a menores temperaturas se requiere un mayor tiempo de retención que será necesario para que las bacterias, que tendrán menor actividad, tengan tiempo de digerir el lodo y de producir biogás.

Tabla 2. Tiempo de retención según la temperatura ambiente.

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Tropical	30	15
Subtropical	20	25

Materiales y métodos

Diseño del biodigestor anaerobio para la producción de biogás

Los cálculos para el diseño del biodigestor anaerobio se realizaron con el empleo de la metodología expuesta en el capítulo anterior. Por tanto, y considerando que se realiza una dilución de la materia orgánica de 1:3 (una parte de residuo sólido y tres partes de agua) se tiene una cantidad de materia diaria aproximada de 346,19 l/día, con un tiempo de retención de 15 días (por estar en el trópico), el volumen total del biodigestor será de 6 923,84 l.

Una vez calculado el volumen total necesario para el sistema, se procedió a la selección del biodigestor con un volumen de 5 841 l, a partir de un tanque de PVC (ver figura 2). Se seleccionó este tipo de depósito (a pesar de que su volumen es un 16,35% menor que el volumen total del biodigestor calculado) porque está disponible en las tiendas de materiales de construcción del municipio Yara y resulta más económico que fabricar un biodigestor de cúpula fija.

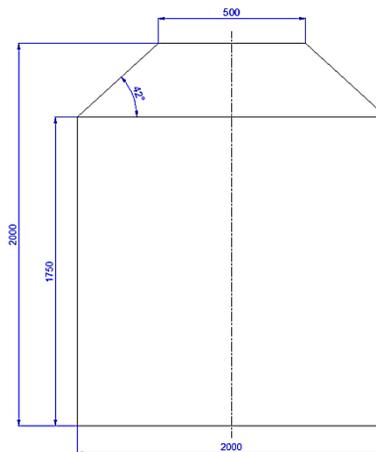


Figura 2. Tanque de PVC para la construcción del biodigestor.

En general, la cantidad aproximada de materiales necesarios para la construcción del biodigestor anaerobios de PVC de pequeña escala, se relacionan en la tabla 5.

Tabla 5. Componentes del biodigestor.

	U/M	Cantidad
Tanque de PVC (5 841 l)	U	1
Tubería de PVC (Ø 25,4 mm)	m	2
Tubería de PVC (Ø 50,8 mm)	m	4
Tubería de PVC (Ø 101,6 mm)	m	4
Válvulas (Ø 25,4 mm)	U	1
Válvulas (Ø 50,8 mm)	U	1
Tee de PVC (Ø 50,8 mm)	U	1
Codo (Ø 25,4 mm)	U	2
Pegamento plástico	U	1

El sistema anaerobio estudiado fue diseñado con el software Autodesk Inventor Professional 2014. El sistema estuvo compuesto por los materiales descritos en la tabla anterior. De esta forma se logró confeccionar el biodigestor mostrado en la figura 3. Todos los materiales necesarios para la construcción de un biodigestor están disponibles en los mercados de cualquier país. Las tuberías de entrada y salida del biodigestor son tuberías hidráulicas, normalmente de PVC. Se pueden emplear tuberías de cemento, pero son más pesadas y pueden romperse en su manipulación. El acoplamiento entre estas tuberías y el tanque se puede hacer con pegamento o con uniones roscadas. La conducción de biogás se realiza en tubería PED (politubo o manguera de riego de PVC), empleando codos y tees de plástico. Las llaves se recomienda que sean de bola, ya que otras normalmente están pensadas para conducciones de riego y no serán totalmente herméticas cerradas para el biogás. Si se emplea en la cocción de alimentos, los fogones de la cocina, se hacen con tuberías de hierro. No hace falta hornilla, ni nada para hacer la mezcla con el oxígeno de llama. Saliendo el biogás, combustionará si es que se le acerca una llama. También se pueden adaptar a cocinas normales a gas. Las herramientas necesarias para la construcción del biodigestor son típicas de conducciones de agua, como una tarraja para hacer rosca en la tubería que conducirá el biogás, o llaves de fontanero para apretar los accesorios de conducción.

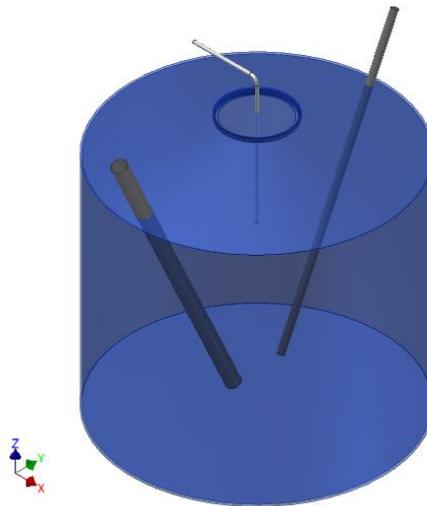


Figura 3. Biodigestor anaerobio diseñado en el Autodesk Inventos 2014.

Carga diaria

El desecho orgánico debe diluirse en agua para poder alimentar el biodigestor y facilitar la acción de las bacterias anaeróbicas para que se pueda producir biogás, y fertilizante. La dilución recomendada actualmente es de 1:3 a 1:4 para evitar natas en el digestor que dificulten o impidan la salida del gas.

$$CD = CE + \text{Agua}$$

Donde: CD: carga diaria (l/día)

CE: cantidad de biomasa utilizable (l/día)

Agua: cantidad de agua recomendada (l/día)

Volumen del biodigestor

El biodigestor se compone de dos zonas, la parte gaseosa donde se acumulará el biogás generado por la biodigestión y la parte líquida que corresponde a la biomasa o sustrato, estas dos secciones componen el volumen total del biodigestor. El 25% corresponde a la parte gaseosa del total del biodigestor, mientras que la parte líquida corresponde al 75% del mismo, de tal manera el volumen total será la suma de ambos:

$$VD = VL + VG$$

Donde: VD: volumen del biodigestor (l)

VL: volumen del líquido (l)

VG: volumen del gas (l)

Para calcular el volumen que corresponde a la parte líquida, se multiplica el tiempo necesario para la degradación del material orgánico por la carga diaria de biomasa, este tiempo de

retención depende exclusivamente de la temperatura y varía dependiendo el lugar donde se instale el biodigestor.

$$VL = CD \cdot TR$$

Donde: CD: carga diaria (l/día)

TR: tiempo de retención (día)

El volumen gaseoso se calcula a partir del volumen líquido, siendo una tercera parte de este último.

$$VG = \frac{VL}{3}$$

Análisis y discusión de los resultados

Generación de residuos totales en la finca “La Palmita”

En general la cantidad de residuos producidos en la finca “La Palmita” del sector agropecuario en el año 2017 fue de 31,59 t (tabla 3). Se destacan los residuos provenientes de la poda o corte de la planta después de su cosecha, estos representan el 19,1%, los residuos derivados de la producción el 7,0% y los residuos de la actividad ganadera el 73,9%.

Tabla 3. Generación total de residuos agropecuarios en la finca “La Palmita” en el año 2017.

Tipos de residuos	Cantidad de residuos (t)	Por ciento (%)
Residuos superficiales	6,03	19,1
Residuos de la producción	2,2	7,0
Residuos de la ganadería	23,36	73,9
TOTAL	31,59	100

Posible biogás producido por la biomasa

A partir de los residuos procedentes de la actividad agropecuaria en la finca “La Palmita” en el año 2017, se obtuvo el potencial de generación de biogás por la digestión anaerobia. Se estima que se pudieron generar 2529,3 m³ de biogás (ver tabla 4).

Tabla 4. Producción estimada de biogás según la fuente residual en la finca “La Palmita” en el año 2017.

Fuente de residuos	Biogás producido (m ³)	Por ciento (%)
Superficiales	768,6	30,4
De la producción agrícola	308	12,2
De la ganadería	1452,7	57,4
TOTAL	2529,3	100,0

Se observa que el 57,4% del biogás que se puede producir corresponde a la actividad ganadera debido a que una característica muy importante de estos residuos es su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, además de la existencia de microorganismos. A partir de los residuos agrícolas superficiales se pudo producir el 30,4% y de la producción agrícola se pudo producir el 12,2% del biogás de la biomasa agropecuaria generada en la finca “La Palmita” en el año 2017.

Producción estimada de biofertilizantes del digerido

Como resultado del proceso de digestión anaerobia, además del biogás, se obtiene un residual líquido y un lodo digerido, que son fuentes importantes de materias orgánicas estabilizadas y nutrientes, pudiendo emplear como biofertilizante. El valor fertilizante del digerido depende en su mayoría de la concentración de nutrientes del sustrato degradado, ya que durante el proceso de digestión no se introduce nada más en el reactor. Sin embargo, el digerido es el resultado de un proceso biológico, y por lo tanto tendrá características específicas de cada digester e incluso de cada momento del proceso de digestión (Lukehurst et al., 2010). Por ello se determinó que a partir de los subproductos de la producción de biogás se podría haber generado en el año 2017 aproximadamente 24,455 m³ de bioabono líquido y 8,395 t de bioabono sólido. Señalando que estos fertilizantes se pueden comercializar y contribuir a la economía del municipio.

Impactos de la utilización del biodigestor en la finca “La Palmita”

Este sistema se implementó para el tratamiento de los residuos agropecuarios, creando una fuente de energía alternativa, además se puede utilizarlo para la investigación de otros residuos agrícolas, aportando gran información para futuras implementaciones. Se realizó con materiales existentes en la región, además estos materiales cumplen con la norma establecida, haciendo que los costos de implementación sean bajos y accesible para los sectores.

Para la humanidad la preservación del medio ambiente es uno de los mayores desafíos, por ese motivo surge la necesidad de tecnologías alternativas que están en auge a nivel mundial, con la implementación de sistemas que trabajan amigablemente con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles,. estableciendo un entorno próspero para la inserción de los sistemas de generación de biogás, se obtiene un beneficio para el sector agropecuario. El diseño contribuye en la reducción de la contaminación ambiental con el tratamiento de los residuos, en el que se reducen los gases causantes de la contaminación, suplantado al anterior proceso que se realiza en la actualidad.

Conclusiones

1. La biomasa agropecuaria generada en la finca “La Palmita” en el año 2017 fue de 31,59 t de residuos aprovechables como recurso energético renovable.

2. Se estima que se generó 2529,3 m³ de biogás a partir de la digestión anaerobia de la biomasa agropecuaria contabilizada. A partir de los subproductos de este proceso se podrían producir aproximadamente 24,455 m³ de bioabono líquido y 8,395t de bioabono sólido.
3. Se realizó el diseño de un biodigestor anaerobio a través del Autodesk Inventor Professional 2014 con una capacidad de 5 841 l.

Referencias bibliograficas

- Aymara, M. M. (2016). *Energías Renovables y ahorro energético en Cuba*, . from www.cubahora.cu/ciencia-y.../energias-renovables-y-ahorro-energetico-en-cuba
- Campero. (2012). *Monitorización y evaluación comparativa de la tecnología de biodigestión anaerobia como fuente de energía renovable en dos ámbitos familiar e industrial en Bolivia*. , . ((Tesis Doctoral)), Universidad de Huelva, España., España.
- da Rosa, A. V. (2005). *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. United States of America: Elsevier Inc.
- Delgado, J. D. (2017,). *Energía renovable: ¿solución para Cuba?*. La Habana. Pueblo y Educación
- Domínguez, J. (2017). *Los sistemas de información geográfica en la planificación e integración de energías renovables*. (pp. 159). Madrid.
- González M. (1997). *Producción y recuperación del biogás en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: análisis de variables y modelización*. (doctoral), Universidad de Oviedo, Guijón.
- Karekezi, S., y Kithyoma, W. (2009). *Bioenergía y agricultura: Promesas y retos*. “La bioenergía y los pobres”. Enfoque 14, 11-14.
- León, N. B. (2016). *Potencia Cuba uso de fuentes renovables de energía*. La Habana. Pueblo y Educación
- Lukehurst, C. T., Frost, P., y Al Seadi, T. (2010). *Utilisation of digestates from biogas plants as biofertilizer* (pp. 37): IEA Bioenergy.
- Marco, G. E. y G. B. (2016). : *Dendroenergía en Argentina*. Organización delas Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). . De la Biomasa a la Energía Renovable, 21.
- Míguez, C. D. (2013). *La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética*. (Tesis Doctoral), Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

ONEI. (2015). *Anuario Estadístico*. Granma 2015 (pp. 114). Cuba.

Sørensen, B. (2004). *Renewable Energy* (Third ed.). Roskilde, Denmark: Elsevier Science.

PCC. (2011). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. La Habana, Cuba.