



Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí

Biogas production potential for energy use in the rural context of Manabí

Isaac Gregorio Castro Morales¹, María Rodríguez Gámez¹

¹Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador

*Autor de correspondencia: maria.rodriguez@utm.edu.ec

Recibido: 6 de junio de 2022

Aprobado: 8 de septiembre de 2022

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ ABSTRACT

En la parte rural de la provincia Manabí la cocción de alimentos se realiza mediante la utilización de madera, con riesgo de degradación de los bosques y para la salud humana. El objetivo consiste en estudiar el potencial de biomasa derivada del ganado bovino para su aprovechamiento en el contexto familiar. El trabajo pretende dar a conocer los resultados de una evaluación del potencial de biomasa derivada de la cría de ganado bovino, como parte del estudio en la etapa inicial de proyecto. El artículo se integra por una introducción, materiales y métodos, los resultados, su discusión y las conclusiones. Se aplicó el método deductivo y como técnicas de investigación la revisión bibliográfica y el análisis estadístico para definir el potencial de biogás en la zona estudiada. Se concluye que el aprovechamiento del biogás en el entorno familiar puede satisfacer las necesidades energéticas para la cocción de alimentos de la familia campesina.

Palabras clave: biodigestor anaeróbico; biogás; biomasa residual del ganado bovino; reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

In the rural part of the Manabí province, cooking food is done using wood, with the risk of forest degradation and human health. The objective is to study the potential of biomass derived from cattle for use in the family context. The work aims to present the results of an evaluation of the biomass potential derived from cattle breeding, as part of the study in the initial stage of the project. The article is integrated by an introduction, materials and methods, the results, their discussion and the conclusions. The deductive method was applied and the literature review and statistical analysis as research techniques to define the biogas potential in the studied area. It is concluded that the use of biogas in the family environment can meet the energy needs for cooking food of the peasant family.

Key words: anaerobic digester; biogas; residual biomass of cattle; reduction of greenhouse gas emissions.

INTRODUCCIÓN

El ritmo acelerado de desarrollo del motor de vapor y la industria a partir de la Revolución Industrial, supuso un incremento progresivo en la demanda de energía. La madera que había sido el recurso energético más utilizado comenzó a escasear en las Islas Británicas. En adelante el carbón mineral y luego el petróleo comenzaron a desempeñar un rol determinante para satisfacer las necesidades de combustibles que requería el acelerado ritmo de crecimiento industrial. Hasta los momentos actuales el uso global de la energía se ha incrementado exponencialmente y entre el carbón, el gas natural y el petróleo cubren entre el 75% y el 85% de la demanda de combustibles, pero son recursos agotables y cada vez más limitados, lo que supone la búsqueda de nuevas soluciones para sustituir dichos combustibles [1]. Una de las soluciones apremiantes resulta el uso de los biocombustibles, que tienen un origen biológico y que se obtienen de modo renovable mediante el aprovechamiento de residuales orgánicos. Estos tienen gran diversidad de procedencia y su uso adecuado permite reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, que constituye uno de los gases del efecto invernadero [2-5]. Actualmente a escala mundial son varias las investigaciones encaminadas a desarrollar las fuentes renovables de energía, con el objetivo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles. En ese escenario la biomasa constituye una fuente renovable de energía que ofrece muy buena proyección [6].

Cómo citar este artículo:

Isaac Gregorio Castro Morales y María Rodríguez Gámez. Potencial de producción de biogás para su aprovechamiento energético en el contexto rural de Manabí. Ingeniería Energética. 2022. 43(3), septiembre/diciembre. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Los resultados de algunas investigaciones demuestran que la sociedad humana aprovecha el 1% del total de la radiación solar que incide sobre el plano horizontal terrestre y tiene lugar dado el proceso de fotosíntesis con capacidad de generar 220.000 Mt de biomasa en base seca, lo que equivale a $2 \times 10^{15} MJ$, cerca de diez veces la energía global consumida durante un año en la tierra [7]. Los biocombustibles comprenden al biodiesel, bioetanol, biomasa y biogás, todos ellos con posibilidad de ser utilizados como recursos energéticos baratos, amigables con el ambiente y la propiedad de ser renovables que los hacen muy competitivos con el resto de los recursos energéticos tradicionales. El biogás se obtiene de la digestión anaerobia que es un proceso biológico complejo mediante el cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica se transforma en un gas rico en metano y anhídrido carbónico [8; 9]. Los países asiáticos y algunos europeos figuran entre los que muestran más avances en la tecnología de biodigestores, China, India y Nepal constituyen un ejemplo en la aplicación de estas tecnologías. La voluntad gubernamental se ha centrado en introducir los programas en las comunidades. En China se trabaja en la introducción de la tecnología desde los años ochenta. Recientemente en algunos países latinoamericanos se impulsa la producción del biogás [10-12].

A partir del año 1994 en Cuba se desarrolla toda una voluntad encaminada a impulsar el uso del biogás a partir del aprovechamiento de residuales domésticos y de la actividad agropecuaria en las zonas rurales. Ello ha posibilitado que un sector cada vez más amplio de la población pueda acceder al uso del biogás para contribuir a mejorar sus condiciones de vida en un escenario energético sostenible [13; 14]. En el año 2015 en México se comenzó el desarrollo de proyectos para el aprovechamiento del estiércol de cerdo para generar energía renovable y revertir los impactos ambientales, como una alternativa sostenible para las granjas porcícolas de Chiapas. Dicho proyecto identificó 39 granjas tecnificadas distribuidas en 14 municipios del estado [15]. En Ecuador la producción de biogás en el ámbito familiar es muy pobre. Especialmente en las zonas rurales del País resulta una costumbre tradicional realizar la cocción de alimentos con leña. El uso de los recursos maderables como combustible contribuye a la degradación y extinción de la flora silvestre, además que los gases piroleñosos que se generan producto de la quema de la biomasa afectan la salud de las personas, especialmente de las amas de casas que son las que normalmente realizan la cocción y preparación de los alimentos [16]. No se conoce que en la provincia de Manabí exista algún biogás operando para suministrar energía en el ámbito familiar. A pesar de contar con reservas importantes de biomasa residual de labores agrícolas y agropecuarias

En el artículo 15 de la Constitución del Ecuador se establece que el Estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. La bioenergía ofrece un amplio campo de acción y oportunidades en la provincia de Manabí. Constituye una fuente renovable que se obtiene por la transformación química de la biomasa. El carácter eminentemente agrario de las relaciones socioeconómicas del territorio le confiere a la bioenergía una importancia de primer orden para ser aprovechada en el marco del desarrollo local sostenible [17; 18]. El trabajo se enmarca como parte de la fase inicial del proyecto para valorar el potencial de biomasa derivada de la cría de ganado bovino en la comunidad San Andrés del municipio de Chone en la provincia de Manabí Ecuador, de modo que permita adoptar una decisión informada en interés de introducir la tecnología del biodigestor para el aprovechamiento energético del residual bovino que se genera en la zona estudiada. El objetivo del trabajo consiste en analizar el potencial de producción de biogás para su aprovechamiento en el contexto familiar en la zona rural de San Andrés del Municipio Chone en la provincia de Manabí Ecuador, en el marco de los estudios de la fase inicial de proyecto, de modo que se consiga reducir el impacto ambiental y se logre suministrar energía para garantizar las necesidades domésticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo partió del método deductivo [19], que permitió examinar el problema de investigación y analizar las teorías generales relacionadas con la gestión energética de los residuales bovinos. Se partió de la premisa que en el territorio rural de la provincia de Manabí existe la posibilidad de aprovechar una parte de los residuales de la crianza de bovinos para generar biogás con fines energéticos, al propio tiempo que se logra evitar el consumo de otros recursos naturales agotables y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La investigación es de tipo descriptiva pues, se describe el potencial de biogás derivado de la crianza de ganado bovino en la provincia de Manabí, la problemática asociada con su aprovechamiento energético y se analizan sus impactos ambientales. El biogás está integrado básicamente por metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 , ambos son propiciadores del calentamiento global. El potencial de calentamiento global del CH_4 es 21 veces superior al del CO_2 . Es por ello que la recolección eficiente y la combustión del metano son procesos que contribuyen a la protección de la atmósfera y al ambiente [20].

El municipio de Chone figura como el territorio más ganadero de la provincia y hasta el momento no existen experiencias del aprovechamiento energético de los residuales bovinos, lo que al propio tiempo constituye una medida de gestión ambiental significativa para la ganadería en el territorio. Como técnicas de investigación se utilizó la revisión bibliográfica de artículos científicos, manuales, libros y leyes vinculadas con el aprovechamiento energético de los residuales bovinos, la producción de biogás y el impacto ambiental derivado. Se utilizó el análisis estadístico para realizar los cálculos y estimaciones de la generación de biogás a partir de la cantidad de residuales bovinos aprovechables, así como el cálculo energético y las cuantías de los impactos ambientales derivados. Para la realización de los cálculos y el sistema de ecuaciones utilizadas se partió de las experiencias derivadas de la guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares publicada por Corporación Técnica Alemana GTZ en el año 2008 [2].

Para determinar la cantidad de residuales bovinos aprovechables en un día, la cantidad de biogás diario que se puede producir, la cantidad de energía diaria que se puede generar y el CO₂equivalente evitado se utilizan cuatro ecuaciones de primer grado, las que se desarrollan en la parte de los resultados del trabajo [2; 3].

Para el trabajo se consideraron las siguientes equivalencias [3]:

Tiempo de retención de 20 días a una temperatura de 30°C.

Cada cabeza de ganado genera el 8% de su peso en estiércol.

0,06 m³ de biogás producidos por m³ de estiércol fresco cargado diariamente al biodigestor.

1 m³ de biogás es equivalente a 1,3 kg de madera.

1 m³ de biogás es equivalente a 0,65 l de gas-oíl.

1 m³ de biogás es equivalente a 0,6 m³ de gas natural.

1 m³ de biogás es equivalente a 0,7 kg de carbón.

1 m³ de biogás es equivalente a 2,4 kWh

RESULTADOS y(o) DISCUSIÓN

La preparación y cocción de alimentos es una actividad que requiere el consumo de energía. En la provincia de Manabí la leña y el carbón vegetal constituyen una tradición del arte culinario en el territorio rural. Pero desde principios del presente siglo se ha extendido el uso del gas licuado del petróleo y a partir del 2015 el uso de la electricidad con la introducción de las cocinas de inducción impulsada por el Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en sustitución del gas licuado de petróleo en el sector residencial-PEC [21], que constituyen alternativas energéticas que resultan más eficientes y confortables para la sociedad, al propio tiempo que contribuyen a la preservación de las riquezas forestales del territorio, el ahorro de petróleo y la disminución de gases de efecto invernadero. En la figura 1, se puede apreciar un gráfico que refleja un análisis comparado relacionado con la evolución del consumo de leña como fuente energética en la provincia de Manabí, en el periodo comprendido entre el año 2000 y el 2019.

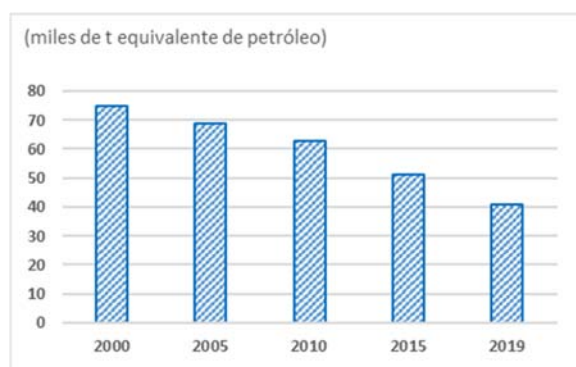


Fig. 1. Análisis de la evolución temporal del consumo de leña como fuente energética en la provincia de Manabí.

Fuente: a partir de los informes anuales del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables de los años 2018, 2019, y 2020

Entre los años 2000 al 2019 se experimentó una tendencia a la disminución del uso de la leña como fuente energética en la provincia de Manabí, aunque se mantiene un nivel significativo en el uso de este recurso. En el imaginario de las personas que residen en las zonas rurales de Manabí el uso de la leña para la cocción de alimentos garantiza un sabor y aroma únicos a los platos típicos que se ofertan en el territorio. Ello propicia que se mantenga una demanda importante de leña como recurso energético. Además de las fuentes analizadas anteriormente para asegurar la cocción de alimentos y el calentamiento de agua, existe otra fuente energética que puede ser usada de modo sostenible en el marco del desarrollo local, como es el uso del biogás derivado de la gestión de residuales orgánicos [22].

Posibilidades de aprovechamiento del biogás

La biomasa constituye la masa de organismos en cualquier nivel trófico de un ecosistema expresada en peso por unidad de área o de volumen, que puede ser utilizada para producir energía mediante la combustión u otras sustancias de interés industrial a través de procesos de fermentación [23-25].

En los momentos finales de la existencia de la materia orgánica determinadas bacterias se encargan de la descomposición, a lo que se le denomina proceso de fermentación anaeróbica, ya que se produce en ausencia de oxígeno y constituye un mecanismo que se da de manera natural como parte del ciclo de existencia de la materia [26]. El biogás se obtiene como resultado del proceso de aprovechamiento bioenergético de residuales orgánicos. Está considerado como un combustible renovable, que además propicia la gestión de modo sostenible de los residuales que se producen como consecuencia de los procesos de producción en las actividades agropecuarias. Sin embargo, en la provincia de Manabí no existen experiencias sobre la obtención de biogás como un proceso controlado para el aprovechamiento energético de la biomasa residual, aun cuando en el territorio rural se generan residuales orgánicos derivados de la producción agropecuaria [22]. En los residuales de la ganadería bovina se localiza uno de los mayores aportes para la producción de biogás. En la tabla 1, se expone un análisis relacionado con la cantidad de productores de ganado vacuno que existen en Manabí entre el año 2000 al 2019.

Tabla 1. Cantidad de productores y de ganado vacuno en la provincia de Manabí

Concepto	Período analizado				
	2000	2005	2010	2015	2019
Cantidad de productores	14.232	15.430	16.570	12.980	13.582
Cantidad de ganado vacuno	988.629	979.415	947.510	912.310	934.454

Fuente: a partir de [27]; [28]

La provincia de Manabí es la mayor productora de ganado vacuno del País. Existe un promedio de 69 cabezas de ganado por productor. Entre los años 2000 y 2005 se experimentó un incremento en la masa ganadera. Entre los años 2010 y 2015 disminuyó como consecuencia de la crisis económica del año 2014, pero en el año 2019 se puede observar una recuperación que permite apreciar la posibilidad de una tendencia al incremento de este tipo de producción. La crianza del ganado vacuno en la provincia se realiza en régimen semiestabulado, lo que implica que sólo se puede recuperar una parte de los residuales (45%) para su utilización en la producción de biogás, un 55% queda en las áreas de pastoreo.

Se deben crear las condiciones para que la recolección y aprovechamiento del estiércol se realice de manera fácil en un punto focalizado, mediante el aprovechamiento de las características de la estabulación, en lo que resulta importante el tiempo de estación del ganado en el establo, que en la Provincia es de 10 horas al día aproximadamente. En la tabla 2, se muestra un análisis sobre la relación entre la cantidad de ganado vacuno y el peso por actividad zootécnica.

Tabla 2. Relación entre la cantidad de ganado vacuno y el peso de los animales por actividad zootécnica

Actividad zootécnica	Cantidad de ganado vacuno	Peso promedio por animal (kg)	Peso total (t)
Ganado para producción de	27.099	350	9.485
Ganado de ordeño y cría	69.150	550	38.032
Ganado de trabajo	27.099	800	21.679
Ganado de engorde	275.664	1.000	275.664
Sementales para reproducción	54.198	800	43.359

Fuente: a partir de [3]

Como promedio diario por cada cabeza de ganado vacuno se pueden generar 45 kilogramos de residuales orgánicos, de los cuales se pueden recolectar en el régimen de crianza semiestabulado 20 kilogramos [3]. Del análisis se puede deducir que en la provincia de Manabí existe potencial de biomasa derivada de la cría de ganado vacuno que puede ser aprovechada para satisfacer una parte de las necesidades energéticas en el medio rural del territorio, especialmente para las necesidades familiares de los productores. Un kilogramo de estiércol es capaz de generar 0,06 centímetros cúbicos de biogás utilizable [29]. En la provincia como promedio cada productor posee 69 cabezas de ganado. En la tabla 3, se expone un análisis estadístico que muestra la relación entre la cantidad de ganado vacuno promedio por productor en la provincia de Manabí y las posibilidades de generación de biogás.

En dependencia de las condiciones ambientales y la dieta un novillo de 450 kg produce un promedio de 45 kg de excrementos húmedos por día, con una variación del 25% dependiendo del clima, el consumo de agua y el tipo de dieta [30]. Se puede calcular que en las condiciones de la provincia de Manabí como promedio por cabeza de ganado bovino se pueden producir 45 kg de residuales húmedos diariamente.

Tabla 3. Relación entre la cantidad de ganado vacuno promedio por productor en la provincia de Manabí y las posibilidades de generación de biogás

Conceptos	Diario
Cantidad de ganado	69
Peso promedio por bovino (kg)	683
Peso total estimado (kg)	47.127
Residuales generados (m ³)	3,8
Residuales aprovechables (m ³)	1,71
Posibilidad de generación de biogás (m ³)	0,1026

Fuente: a partir de [3] y el desarrollo de las ecuaciones (1) y (2)

Para determinar la cantidad de residuales bovinos aprovechables en un día (RbaD) se utilizó la ecuación (1), [2; 3].

$$\begin{aligned}
 RbaD &= (PtrD)(Ia) \\
 RbaD &= \left(\frac{3,8}{1}\right)\left(\frac{45}{100}\right) \\
 RbaD &= 1,71 \text{ (m}^3 \text{ / día)}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Donde:

RbaD→ cantidad residual bovino aprovechable en un día (m³/día)

PtrD→ producción total de residuales en un día (m³/día)

Ia→ indicador de aprovechamiento de los residuales bovinos en sistema de cría semiestabulado (45%)

La cría de ganado bovino por una familia campesina puede generar 1,71m³/día de residuales bovinos aprovechables.

Para estimar la cantidad de biogás diario que se puede generar se utilizó la ecuación (2), [2; 3].

$$\begin{aligned}
 BpD &= (CeD)(IpB) \\
 BpD &= \left(\frac{1,71}{1}\right)(0,06) \\
 BpD &= 0,1026 \text{ (m}^3 \text{ / día)}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Donde:

BpD→ biogás producido en un día (m³/día)

CeD→ carga de estiércol fresco diario (m³/día)

IpB→ indicador de producción de biogás por m³ de estiércol fresco diario (0,6 m³)

El potencial de biogás que puede generar una familia campesina promedio dedicada a la cría de ganado bovino en la provincia de Manabí tiene una equivalencia diaria de 0,1026m³/día de biogás.

Si se conoce que el año tiene 365 días y que la producción de biogás se realiza de modo ininterrumpido, se puede calcular que en un año se pueden generar 37,449m³/año de biogás.

Para estimar la equivalencia de energía eléctrica en un año se utilizó la ecuación (3), [2; 3].

$$\begin{aligned} Ed &= (Xa)(BpD)(IpE) \\ Ed &= (365) \left(\frac{0,1026}{1} \right) \left(\frac{2,4}{1} \right) \\ Ed &= 89,88 \text{ (kWh / año)} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

Ed → Energía generada en un año (kWh)

Xa → Un año (365 días)

IpE → Indicador de producción de energía por 1 m³ de biogás día (2,4 kWh/m³)

La generación de biogás por la familia campesina en un año equivale a 89,88 kWh/año.

El producto gaseoso llamado biogás se compone de varios gases, entre los cuales se encuentran el nitrógeno molecular con un 3%, dióxido sulfhídrico 2%, dióxido de carbono 40%, siendo el metano el más abundante con un 55%. El beneficio ambiental derivado del aprovechamiento energético del relleno sanitario consiste en la cantidad de CO₂equivalente evitado. El metano (CH₄) tiene un efecto para el calentamiento global 21 mayor que el CO₂ cuando es emitido directamente a la atmósfera. Para determinar el CO₂equivalente evitado se utilizó la ecuación (4), [2].

$$\begin{aligned} Ce &= (RbaD)(Ecm)(Me) \\ Ce &= \left(\frac{1,71}{1} \right) \left(\frac{45}{100} \right) \left(\frac{21}{1} \right) \\ Ce &= 16,16 \text{ (m}^3\text{CO}_2\text{equivalente / día)} \end{aligned} \quad (4)$$

Donde:

Ce → CO₂equivalente evitado (m³ día)

Ecm → equivalencia de contaminación del metano (21 m³CO₂/1 m³CH₄)

Me → Porcentaje de metano evitado (45%)

La producción del biogás familiar puede evitar las emisiones de 16,16 m³CO₂equivalente día.

Se puede analizar que el potencial de biogás del productor medio agropecuario en Chone es capaz de proporcionar energía térmica para satisfacer las necesidades de la cocina familiar, así como su utilización para otros fines asociados como el acondicionamiento energético del establo y otras instalaciones productivas.

Los residuales orgánicos que no se gestionan ambientalmente representan un potencial de impactos capaces de acelerar el cambio climático, contaminar el suelo y las aguas debido a sus altos contenidos de materia orgánica y elementos minerales, así como metales pesados, fito toxinas, patógenos vegetales y animales que son contaminantes. La introducción del biogás en el marco de la familia campesina dedicada al trabajo agropecuario en la provincia de Manabí, puede contribuir a la protección ambiental mediante la gestión controlada de los residuales orgánicos convertidos en energía útil, así como obtener abono de alta calidad para los cultivos varios.

En la Provincia resulta factible la introducción del biogás, de los cuales existen varios diseños en dependencia del tamaño necesario para procesar los residuales bovinos. Las instalaciones son sencillas, poco costosas, fáciles de construir y pueden ser construidas con recursos propios de la familia campesina.

CONCLUSIONES

Desde el método deductivo el trabajo permitió analizar el problema de investigación y examinar las teorías más generales asociadas con el aprovechamiento de los residuales bovinos para la generación de biogás y su posible utilización con fines energéticos. Se partió de la premisa que en el territorio rural de la provincia de Manabí existe la posibilidad de aprovechar una parte de los residuales de la crianza de bovinos para generar biogás con fines energéticos, al propio tiempo que se logra evitar el consumo de otros recursos naturales agotables y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

El desarrollo del objetivo de investigación permitió verificar que actualmente en la provincia se consume la leña como combustible para la cocción y preparación de alimentos, con una equivalencia que representa más de 40.000 t equivalente de petróleo, situación que atenta contra el adecuado manejo de la flora en el territorio, especialmente en las áreas rurales. Se pudo conocer que existen 13.582 familias productoras de ganado bovino, que poseen entre todas 934.454 cabezas de ganado, por lo que vale para que la provincia de Manabí sea la de más agropecuaria del País. Como promedio cada familia posee 69 cabezas de ganado, que diariamente pueden generar 3.800 kg de residuales de los que se pueden aprovechar 1.710 kg para generar 0,1026 m³ de biogás diariamente. Ello puede representar 89,88 kWh de energía eléctrica en un año. Desde el punto de vista ambiental se dejan de emitir diariamente a la atmósfera 16,16m³ de CO₂equivalente.

El trabajo permitió definir que el potencial de biogás del productor medio agropecuario en la Provincia es capaz de proporcionar la energía térmica necesaria para abastecer las necesidades de la cocina familiar y su utilización para otros fines asociados con el acondicionamiento energético del establo y otras instalaciones productivas. Se concluye que la aplicación del biogás para la generación de energía eléctrica es baja, siendo la mejor opción aplicarlo a la generación de energía térmica, con los consecuentes beneficios ambientales en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, eliminación de focos de contaminación, y producción de fertilizante. Todo ello permite afirmar que el resultado del estudio de fase inicial de proyecto posibilita adoptar una decisión informada, para la introducción de biodigestores que proporcionen el aprovechamiento adecuado de los residuales orgánicos de la crianza de ganado bovino con fines energéticos y ambientales en la provincia de Manabí.

REFERENCIAS

- [1] Vázquez-Pérez, A. y Rodríguez-Gámez, M. ``La energía fotovoltaica en la provincia de Manabí. Portoviejo, Ecuador``. Ed. Universidad Técnica de Manabí. 2018. ISBN 978-9942-948-20-5. [Consultado 7 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/328052221_LA_ENERGIA_FOTVOLTAICA_EN_LA_PROVINCIA_DE_MANABI
- [2] Martí, J. ``Biodigestores Familiares: Guía de diseño y manual de instalación``. La Paz: Corporación Técnica Alemana GTZ. 2008. ISBN 978-99954-0-339-3. [Consultado 4 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.bivica.org/files/biodigestores-familiares.pdf>
- [3] Pérez-Bravo, S. G. *et al.* ``Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la Zona Altamira, Tamaulipas``. Revista de Sistemas Experimentales. Marzo 2017, vol.4, n.10, p. 34-40. [Consultado 4 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num10/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N10_5.pdf
- [4] Torroba, A. ``Consumo mundial de biocombustibles aumentará hasta un 8% este año tras débil 2020``. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (IICA). 2021 Publicación en línea. [Consultado 7 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/consumo-mundial-de-biocombustibles-aumentara-hasta-un-8-este-ano-tras-debil-2020>
- [5] Roldán, G. *et al.* ``Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto – Ecuador``. Esferas 3, 2022, p. 134-153. [Consultado 29 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/esferas/article/view/2426/2916>
- [6] Coello, M. *et al.* ``Aprovechamiento energético de la biomasa residual: caso de estudio de los restos de comida de familias de estudiantes de la Universidad de Guayaquil, para producción de biogás``. Figempa: Investigación y Desarrollo. Diciembre 2021, vol. 12, n. 2, p. 15-25. ISSN 1390-7042. [Consultado 16 de abril de 2022]. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/3251>
- [7] Ávila-Hernández, Marianela, *et al.* ``Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago``. Tecnología en Marcha. Abril-junio 2018, vol. 31-2, p. 159-170. [Consultado 19 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n2/0379-3982-tem-31-02-159.pdf>
- [8] Lozano, L. ``Construcción de un biodigestor para desarrollar actividades tecnológicas escolares``. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, D.C. 2015. [Consultado 8 de abril de 2022]. Disponible en: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24304/LadinoCuervoBrandonEstivenLozanoYateLuisAntoni_o2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [9] Salazar, R. ``Diseño e implementación de un biodigestor en el Camal de Pacto, provincia de Pichincha``. Tesis de Ingeniería. Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE). 2018. [Consultado 9 de mayo de 2022]. Consultado en: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/18828>
- [10] Landeros-Gutiérrez, C.S., y Sánchez-Sánchez, O. ``De los fuegos fatuos al biogás``. Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana. 2012, vol. 15, n. 1, ISSN 0187-8786. [Consultado 15 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol25num1/articulos/fuegos/>

- [11] CEPAL. "Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador". Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Publicación de las Naciones Unidas LC/MEX/TS.2019/26. Impreso en Naciones Unidas, Ciudad de México, 2019-040. [Consultado 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45026>
- [12] Sánchez, M. A. *et al.* "El biodigestor como medida ecológica para la generación de gas en las empresas de cría de animales". FIPCAEC. Enero-marzo 2020, año 5, vol. 5, n. 16, p. 39-57. [Consultado 17 de abril de 2022]. Disponible en: <https://fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/159/242>
- [13] Guardado-Chacón, J. A. "Biogás para la familia campesina. Proyecto Tierra Viva, soberanía alimentaria". 2014. [Consultado 3 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://cerai.org/wordpress/wp-content/uploads/2016/01/BIOGAS-PARA-LA-FAMILIA-CAMPESINA-version-web.pdf>
- [14] Oliva, D. Pereda, I. "Biogás y sostenibilidad en Cuba". Universidad y Sociedad. Cienfuegos mar.-abr. 2022, vol.14, n. 2. Epub. ISSN 2218-3620. [Consultado 13 de mayo de 2022]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202022000200597
- [15] Venegas-Venegas, J. A. *et al.* "Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas". Anál. econ. Ciudad de México ene./abr. 2019, vol.34, n. 85. ISSN 2448-6655. [Consultado 5 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-66552019000100169
- [16] Espinosa, K. G. "Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable Análisis del potencial de la ciudad de Quito". Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo. Universidad Andina Simón Bolívar. Sede Ecuador. Código: T-3670. 2021, p. 99. [Consultado 8 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8410/1/T3670-MCCSD-Espinosa-Biogas.pdf>
- [17] Vargas, Y. E. Pazmiño, J. A. Dávila, J.A. "Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión". Revista Politécnica, vol. 48, n. 2, p. 7-20. [Consultado 9 de mayo de 2022]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/1019
- [18] Mohamed, M. A., *et al.* "An overview on cellulose-based material in tailoring bio-hybrid nanostructured photocatalysts for water treatment and renewable energy applications". International Journal of Biological Macromolecules, vol. 103, p. 1232-1256. [Consultado 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.181>
- [19] Hernández, R. Fernández, C. Collado, P. "Metodología de la Investigación". 5ta Edición. Ed. McGraw-Hill Companies, Inc. México D.F. 2010 ISBN 978-607-15-0291-9. [Consultado 11 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- [20] Blanco, Gabriel, *et al.* "Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico". Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. Marzo 2017. Nota técnica IDB-TN-1260. [Consultado 13 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13967/generacion-de-electricidad-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos>
- [21] MEER. "Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en sustitución del gas licuado de petróleo en el sector residencial-PEC". Ministerio de Electricidad y Energía Renovable Ecuador. Registro Oficial N° 359, miércoles 22 de octubre de 2014. [Consultado el 15 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu154827.pdf>
- [22] Vázquez-Pérez, A. "Un modelo para el desarrollo energético sostenible. La universidad, la geografía y los recursos endógenos". Tesis doctoral. Jornadas de Investigación Filosofía y Letras 2022 - IX. Investigaciones en Desarrollo Local, Vulnerabilidad y Gestión de Riesgos. Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Alicante, España. [Consultado 26 de abril de 2022]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/123348>
- [23] Martínez, S. "Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña". Tesis doctoral Universidad de Girona. Dipòsit legal: GI-910-2009. [Consultado 21 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.tesisred.net/handle/10803/7920#page=1>
- [24] Quintero, J., y Quintero, L. "Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente". Revista 13+, 2015, vol. 2, n. 2, p. 28-44. [Consultado 11 de abril de 2022]. Disponible en: <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/109>
- [25] Nogar, A. G. *et al.* "Las potencialidades bioenergéticas del Arundo donax L. en Argentina". Letras Verdes, septiembre-febrero 2021, n. 30. [Consultado 3 de abril de 2022]. Disponible en: <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/4607>
- [26] Huerga, I. *et al.* "Generación de biogás. Experiencia del tambo La Natividad". INTA ediciones. Colección Investigación, Desarrollo e innovación. Ministerio de Agroindustria. 2016. ISBN 978-987-521-730-0. [Consultado 27 de abril de 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/49674663-Generacion-de-biogas-experiencia-del-tambo-la-natividad-coronel-dorrego-buenos-aires.html>

- [27] Castillo, M. J. ``Análisis de la Productividad y Competitividad de la Ganadería de Carne en el Litoral Ecuatoriano (Resultados de Consultoría para RIMISP – Parte I)``. Serie Documentos de Trabajo N° 144. Grupo de Trabajo: Desarrollo con Cohesión Territorial. Programa: Impactos a Gran Escala. Rimisp, Santiago, Chile. Febrero 2015. [Consultado 11 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.rimisp.org/wp-content/files_mf/1437665697GanaderiaCarne_DocResultados_Final_editado.pdf
- [28] CFN. ``Ficha sectorial: Cría y reproducción de Ganado``. Corporación Financiera Nacional, Ecuador. Información en línea. 2019. [Consultado 11 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2020/ficha-sectorial-3-trimestre-2020/FS_Ganaderia_3T2020.pdf
- [29] FAO. ``Residuos agrícolas y residuos ganaderos``. Manual de usuario. Módulo de recursos naturales. [Consultado 21 de abril de 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>
- [30] Pasinato, A. ``Manejo de Efluentes y estiércol en el engorde a Corral``. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Uruguay. 2015. [Consultado 16 de mayo de 2022]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_manejo_de_efluentes_en_feed_lot_resumen_0.pdf

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Isaac Gregorio Castro Morales: <https://orcid.org/0000-0002-2079-5213>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesarios, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.

María Rodríguez Gámez: <https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesarios, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.