

BIOGÁS, ENERGÍA AMIGABLE Y SOSTENIBLE PARA EL PEQUEÑO PRODUCTOR: ANÁLISIS DE COSTOS PARA UNA FINCA RURAL

Data de aceite: 05/03/2023

Telly Yarita Macías Zambrano

<https://orcid.org/0000-0002-5005-7967>

Tanya Beatriz Bravo Mero

<https://orcid.org/0000-0002-3437-8584>

Teresa Viviana Moreira Vera

<https://orcid.org/0000-0001-9868-3652>

Antonio Vásquez Pérez

<https://orcid.org/0000-0003-4738-7970>

Ricardo Fabricio Muñoz Farfán

<https://orcid.org/0000-0001-6960-6869>

Daniel David Carvajal Rivadeneira

<https://orcid.org/0000-0002-6648-8473>

Fabián Enrique Lozada Almendariz

<https://orcid.org/0000-0001-6960-6869>

BIOGAS, FRIENDLY AND SUSTAINABLE ENERGY FOR SMALL PRODUCERS: COST ANALYSIS FOR A RURAL FARM

agropecuario, teniendo como objetivo central el diseño y presupuesto de un sistema de generación de biogás para un predio rural, mediante una metodología práctica en finca con la biomasa producida por la cría de cuy y el cultivo de maní, aplicando un análisis de costos de implementación de un biodigestor, se pudo determinar el volumen, temperatura, presión y poder calorífico del biogás obtenido del proceso de biodigestión, y consecuentemente para la generación de energía eléctrica para el alumbrado de un gallinero; se analizaron los costos unitarios del sistema de generación de biogás y se determinaron los costos totales, teniendo una ventaja para el pequeño productor en cuanto a costos del sistema en comparación a los ofertados en el mercado, logrando estar en el rango financiable a corto plazo, considerando los materiales de calidad del sistema.

PALABRAS CLAVES: biomasa, costo unitario, energía renovable, gas natural, sostenibilidad.

RESUMEN: El estudio refiere al biogás como una forma de producción de energía sostenible para el pequeño productor

1 | INTRODUCCIÓN

Aunque las energías renovables han venido utilizándose desde hace varias décadas, sobre todo en las zonas rurales donde se ha palpado la carencia de la energía eléctrica para sus diversos usos, lo que ha hecho que para suplir esa necesidad el campesino deba utilizar combustibles como el diésel para alumbrar su hogar, para echar a andar motores y bombas de riego que se utilizan a diario en la agricultura (Alexander & Boyle, 2014), el cambio climático, el pico (o cénit) petrolero y la seguridad energética son las tendencias mundiales que empiezan a marcar el ritmo de la transición energética requerida para abastecer a la creciente demanda de energía mundial al tiempo que se abandona aquella que ha sido la principal fuente de energía hasta la actualidad: combustibles fósiles (Castro, 2011). Ante este reto, las tecnologías de fuentes de energía renovable están recibiendo fuertes incentivos y estímulos de desarrollo a nivel global (Kammen, 2014). Esto ha permitido que varias de ellas se vuelvan competitivas ante alternativas tradicionales de generación energética y empiecen a tener un despliegue y uso comercial (WEC, 2010).

En Ecuador, los últimos 25 años de inversión en fuentes de energía renovable han constituido una alternativa práctica y amigable con el medio ambiente, sobre todo en los actuales momentos en que el planeta atraviesa por cambios climáticos severos que afectan particularmente a los campos agrícolas y a los ecosistemas en general, permitiendo reducciones de costos en valores del 40% en tecnologías relacionadas con biomasa, del 70% en geotermia y del 90% en energías eólica, solar fotovoltaica y solar térmica. Se considera que para que estas tecnologías tengan potencial para ser utilizadas en Ecuador, se encuentren en la fase de despliegue y comercialización (Peláez & Espinoza, 2015).

Ecuador produce tanta biomasa potencialmente del sector agropecuario, un gran potencial técnico para la producción de biogás en las zonas rurales, siendo una oportunidad para la diversificación de la matriz energética, la cual depende del sistema hidrotérmico (Soria & Carvajal, 2016), tal como está contemplada en la legislación madre ecuatoriana, art. 43 que promueve la búsqueda de alternativas de diversificación de las fuentes de energía renovable para reducir el consumo de combustibles fósiles (Asamblea Constituyente, 2008).

Algunos proyectos a nivel de país han sido reportados, sobre todo como investigación de organismos oficiales, así el proyecto concebido por la empresa pública del municipio de Quito con la compañía privada trabaja el aprovechamiento de 2000 toneladas de basura del relleno sanitario en una planta de generación de energía eléctrica a partir del biogás capturado en el relleno y conectada a la red nacional de energía, la cual consta de 3 generadores con una producción de 40 MW/día que benefician a 20 000 familias de barrios

suburbanos (Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos EMGIRS - EP, 2016).

Por su parte también, instituciones como CTCN-CIMNE-IIGE-INIAP impulsan el Programa nacional de biodigestores, como parte de la política pública de sostenibilidad energética (Martí, y otros, 2018), el cual incentivó el aprovechamiento de todo tipo de biomasa y residuales, sean urbanos como los domiciliarios y de la industria, o rurales como los agrícolas, pecuarios y agroindustriales, proporcionando asistencia técnica a los beneficiarios, basado en el aseguramiento sostenible de un naciente sector tecnológico de biodigestores que aprovechen el potencial de biomasa que genera la producción agropecuaria en Ecuador (Beegroup, 2017).

El estudio de Martí (2019) a nivel de experiencias en Latinoamérica con el uso de biodigestores para la generación de biogás como una fuente de energía primaria proveniente de fuentes renovables, sostenible y enfocado como aporte a la realidad energética ecuatoriana (Vera, y otros, 2017), enfatiza en la resiliencia de los pequeños sistemas de producción agrícola ante el cambio climático basado en minimizar la dependencia de suministros que la finca no pueda producir, sino que se sustente en lo que si pueda producir, dando el valor agregado a su producción agropecuaria.

Para este grupo de productores, la concepción actual de una finca productiva y sostenible que propende a la utilización de fuentes de energía alternativa que coadyuven a la integralidad de la finca, aprovechando de mejor manera los desechos orgánicos que genera la producción agropecuaria en beneficio de la finca como tal (Macías T. , y otros, 2021) puede estar distante de la realidad, puesto que, las fincas agropecuarias tradicionales dedicadas a la producción de cultivos variados, a la cría de ganado vacuno y porcino, y aves de corral, generan diariamente cierto volumen de residuos orgánicos como hojarasca, tallos, frutos caídos, secos y húmedos, estiércol de vacuno, porcino, aves de corral, etc. que constituyen un obstáculo para el agricultor en cuanto al tiempo y al dinero, ya que la manera en que se han venido manejando los residuos dentro de la finca es con el apilamiento y la quema (Carreño et al., (2020).

En este sentido, el escaso aprovechamiento de los recursos naturales que se poseen, lo cual implica la flora endémica (arbustos, hierbas, etc.) y desechos de la producción (hojarasca, diversas fibras vegetales, estiércol de ganado, de aves de corral, etc.), las cuales son apiladas para posteriormente ser quemadas ocasionando consecuentemente contaminación al medio ambiente, constituye una de las limitaciones más frecuentes que se da a nivel de las fincas rurales, (Macías, Bravo, Palma, & Giler, 2020). La participación de las familias en las actividades cotidianas de la finca es fundamental para maximizar la productividad de la finca y minimizar los costos de producción, puesto que el pago en

jornaleros llega a representar un gran porcentaje de los ingresos que pueden obtenerse de la venta de los productos agropecuarios, limitando el hecho de propender hacia una finca más sostenible desde el punto de vista social, económico y ambiental; tendiendo además a afectar el bienestar y capacidad productiva de la tierra de la finca (Macías T. , Rodríguez, Moreira, Mera, & Bravo, 2020).

En tal virtud, para aprovechar todos los desperdicios que se generan dentro de la finca es precisa la utilización de las fuentes de energía renovable, como la generación de biogás a partir de toda la biomasa recolectada. Así, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar y presupuestar un sistema de generación de biogás auto sostenible para los pequeños finqueros productores de predios agropecuarios de las zonas rurales, tomando como referencia una finca apícola y agropecuaria, con el cual se brinda una alternativa sostenible a los agricultores y finqueros, como una forma de utilización de energías renovables que promuevan una conciencia más amigable con el medio ambiente, además de contribuir a la reducción de costos por uso de la energía eléctrica.

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca Mis 2 Principitos, localizado en la Comuna El Limón, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador, ubicada geográficamente en las coordenadas, 800 mm precipitación, 90% humedad relativa, temperatura entre 20-32° C según la estación invierno o verano. Los Materiales utilizados fueron de construcción, plásticos, tuberías, entre otros.

Análisis y discusión de los resultados

La finca estudiada es una finca apícola y agropecuaria, posee un apiario conformado por 40 colmenas de abejas de la especie (*Apis melífera*), un pequeño meliponario de abejas nativas sin aguijón (ANSA), cultivos de ciclo largo como palma de coco (*Cocos nucifera*), plátano (*musa paradisiaca*), limón (*citrus limon*), fréjol de palo (*Cajanus cajan*), frutales como mango (*Mangifera indica*), grosella (*Phyllanthus acidus*), guayaba (*Psidium guajava* L.), anona (*Annona squamosa* L.), granada (*Punica granatum*; L.), maracuyá (*Passiflora edulis*), un huerto familiar de hortalizas y legumbres, cría de aves de corral como gallinas, patos y palomas, cría de cerdos y de cuyes. La finca se localiza gráficamente en la figura 1.

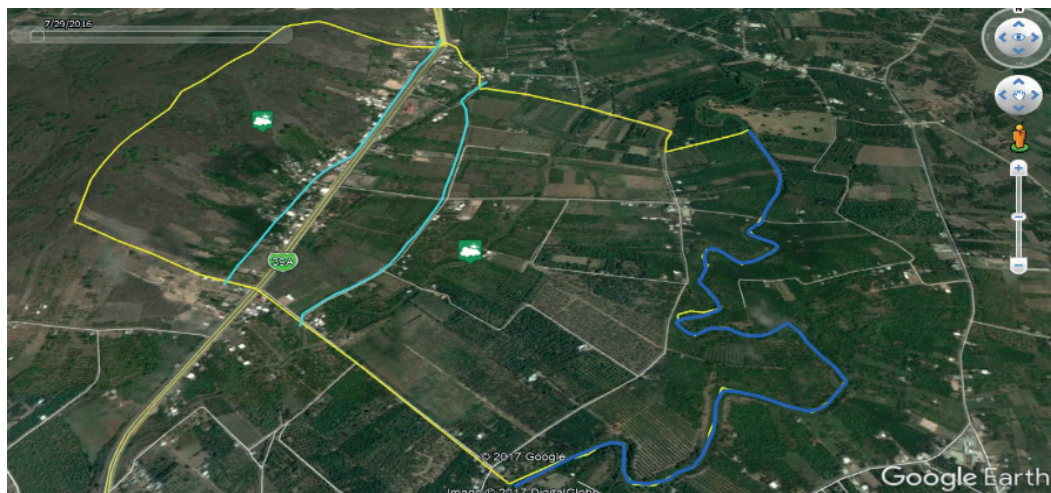


Figura 1. Localización de la finca

Fuente: Google Earth

Instalación del sistema

El armado del sistema se realizó mediante conexiones de tuberías PVC que van desde el tanque biodigestor hacia el gasómetro, se coloca un manómetro en el biodigestor que indique la presión generada en el tanque y una válvula para poder realizar la descarga del biogás hacia el gasómetro cuando se lo requiera, esto es cuando se alcanza la presión de $1,01972 \text{ Kg f/cm}^2$; de la misma manera, se coloca un manómetro y una segunda válvula en el gasómetro para liberar el biogás hacia el grupo electrógeno que alimentará de energía eléctrica al gallinero de la finca.

Alimentación del biodigestor

Para alimentar el biodigestor se utilizó la biomasa seleccionada de cascarilla de maní y estiércol de cuy, en las proporciones de $12,64 \text{ Kg}$ de excretas, 19 Kg de fibra vegetal y $0,1 \text{ m}^3$ de agua, considerando que el biodigestor sea alimentado con esta biomasa aproximadamente hasta el 50% de su capacidad, esto es $0,1 \text{ m}^3$.

La Tabla 1 a continuación, muestra en detalle las proporciones de biomasa utilizada en el biodigestor:

Biomasa	Cantidad	Unidad
Estiércol de cuy	19,00	Kg
Cascara de maní	12,64	Kg
Agua	0,1	m ³

Tabla 1. Biomasa utilizada

Nota. Elaboración propia.

Lectura diaria de datos arrojados por el sistema

Transcurrido el día uno de la instalación del sistema, el día dos se inicia la lectura de los datos arrojados por el sistema, estos son la temperatura y la presión, estos datos son ingresados a la hoja de cálculo Excel que automáticamente va arrojando el volumen de biogás diario cuando se ha procedido a descargar el biodigestor hacia el gasómetro.

A continuación, en la tabla (3) se muestra el detalle de los datos ingresados a la hoja de cálculo en el día uno.

Datos	Valor	Unidad S.I.
Diámetro 1 = D1	0,57	M
Diámetro 2 = D2	0	M
Presión manométrica 1 = Pman1	0,421842	Kg f/cm ²
Presión manométrica 2 = Pman2	0	Kg f/cm ²
Longitud 1 = L1	0,89	M
Longitud 2 = L2	0	M
Temperatura 1 = T1	30	°C
Temperatura 2 = T2	30	°C
Fluido del gas (constante)	16,043	Metano
Masa molar 1 = m1	0,20659	Kg m
Masa molar 2 = m2	0,146697	Kg m
Volumen 1 = V1	0,227425	m ³
Volumen 2 = V2	0,227425	m ³
Presión = P = p	0,717	Kg/m ³
Vbiogas1	0,288131	m ³
Vbiogas2		m ³

Tabla 3. Datos ingresados a la hoja de cálculo

Nota. Elaboración propia.

Cálculo del volumen de biogás generado por el sistema

Para calcular el volumen de biogás que se genera diariamente en el biodigestor se utiliza la ecuación universal de los gases, despejando la masa para poder calcularla y expresarla en Kg m, esto es:

$$PV = mRT \quad (1)$$

$$m = \frac{PV}{RT} \quad (2)$$

Para aplicar esta fórmula, se debe conocer los valores de la presión absoluta, el volumen, la temperatura absoluta y la constante del gas metano para poder conocer el valor de la masa, de tal manera que se procede a calcular la presión absoluta expresada en Kgf/cm² sumando la presión manométrica y la presión atmosférica, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad (3)$$

Cuando se toma la lectura de la temperatura en el biodigestor con el termómetro debe transformarse de °C a °K, para poder reemplazar en la fórmula de la masa, de la siguiente manera.

$$T = ^\circ\text{C} + 273,15 = ^\circ\text{K} \quad (4)$$

Para el cálculo del volumen del biodigestor se emplea la fórmula siguiente:

$$V = \frac{\pi D^2}{2} L \quad (5)$$

La constante del gas R se calcula mediante la división entre la constante universal de los gases R_u y la masa molar del gas de metano, la misma que se expresa en Kgf m/Kg °K.

$$R = \frac{R_u}{m} \quad (6)$$

Con los valores de volumen, presión, temperatura y constante del gas calculados, se procede a aplicar la ecuación despejada de la masa molar, para conocerla:

$$m = \frac{PV}{RT} \quad (7)$$

$$m = 0,20659 \text{ Kg m} \quad (8)$$

Finalmente se calcula el volumen de biogás generado dentro del biodigestor utilizando la siguiente fórmula.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (9)$$

Los valores empleados se reflejan en la tabla No. 4:

Datos	Valor	Unidad (S.I.)
Masa molar = m	0,20659	Kg m
Presión = r	0,717	Kg/m ³
Volumen de biogás = V	0,288131	m ³

Tabla 4. Cálculo de biogás generado

Nota. Elaboración propia.

Durante los días subsecuentes se continuó tomando la lectura de la temperatura y presión diarias que genera el biodigestor, para ingresar estos datos a la hoja de cálculo y obtener el volumen diario del gas. Cuando la presión alcanzó 1,01972 Kg f/cm² en el biodigestor, se abrió la válvula para liberar el biogás al gasómetro, este procedimiento se repitió todos los días hasta que el manómetro ya no marcara presión, lo cual significa que todo el gas se encuentra almacenado dentro del gasómetro.

Prueba del biogás en una plancha de 10 focos ahorradores de 9 vatios

Se utilizaron 0,25 m³ de biogás para encender una plancha de 10 focos ahorradores de 9 W, alcanzando un tiempo total de encendido de 0,017 horas (1.02 minutos).

Utilización del biogás en la finca

Para utilizar el gas que se encuentra almacenado en el gasómetro se recurre a abrir la válvula ubicada en la salida de gas, esta se conduce mediante una tubería hasta el grupo electrógeno conectado al sistema eléctrico del gallinero de la finca que posee dos focos ahorradores de 60 W.

Como resultados de la implementación de un sistema de generación de biogás en la finca, se tiene de manera gráfica el volumen de total biogás generado por el sistema y la determinación de costos que implicó.

Volumen de biogás generado por el sistema

En la tabla (5) se puede visualizar las mediciones de variables como la temperatura, presión y volumen en un tiempo de 32 días del sistema de generación de biogás en el que se utilizó una mezcla de 19 Kg de estiércol de cuy, 12,64 Kg de cascarilla de maní y 0,0001 m³ de agua en un tanque biodigestor de 2.5 m³ de capacidad. Puede observarse que la generación de biogás comenzó el día dos y de allí en adelante hasta el día 32, se generó un total de 5,95 m³ de biogás.

Día	Temperatura (°C)	Presión (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
2	28	5,5	0,28303697
3	60	4	0,28245408
4	51	11,1	0,35216312
5	26	2	0,2355505
6	28	3	0,24800068
7	29	1,9	0,23181495
8	59	4	0,23756097
9	38	2	0,22646612
11	36	2	0,22793121
12	34	2	0,22941538
14	59	4,3	0,24137293
15	30	3,5	0,25332555
16	58	4,5	0,2446508
17	58	4,3	0,2704998
18	44	6,9	0,28871919
20	46	15,1	0,39402511
21	46	8,2	0,3014564
23	72	12	0,32643677

25	31	10,5	0,34962664
31	38	20	0,47062004
32	64	6	0,25907406
V biogás =			5,95420129

Tabla 5. Volumen total de biogás generado por el sistema

Nota. Elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla No. 7, los días que se generó un mayor volumen de biogás fueron el día 4 con un volumen de $0,35\text{m}^3$, el día 20 con un volumen de $0,39\text{ m}^3$, el día 23 con un volumen de $0,33\text{ m}^3$, el día 25 con un volumen de $0,35\text{ m}^3$ y el día 31 con un volumen de $0,47\text{ m}^3$.

En la gráfica No. 4 se observa la curva obtenida del cálculo del volumen diario de biogás generado por el sistema, en que se aprecia claramente los puntos máximos alcanzados en cuanto al volumen generado diariamente por el sistema.

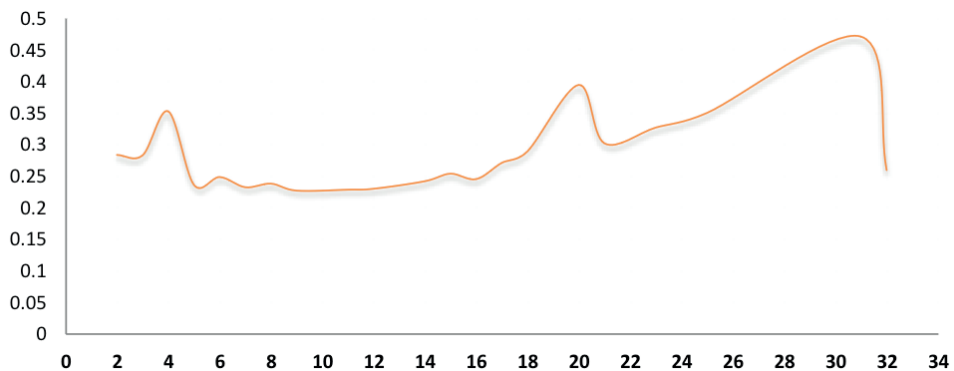


Figura 4. Curva del volumen de biogás generado por el sistema

Nota. Elaboración propia.

Se puede apreciar el volumen pico de la producción de biogás en el día 31, obteniendo una media de 0.19m^3 /día, que refleja un sistema a pequeña escala que suple necesidades como el alumbrado, cocción, etc., lo cual concuerda con lo referido por (Carreño, Rodríguez, Macías, Ormaza, & Lozano, 2020), quienes indican que cultivos como el arroz son productores de la biomasa en Manabí que pueden aprovecharse para convertirse en biocombustibles, biogás y en biocombustibles para generar calor, electricidad e incluso para cocinar alimentos. Además, los sistemas de energía de biomasa son generadores de fuentes de empleo e ingresos, ayudando a mejorar las condiciones

de vida de las personas que habitan en la zona y promover el desarrollo rural (Rodríguez, Macías, Velepucha, Mera, & Cantos, 2020). Esta es una buena consideración para poder adoptar sistemas de generación de biogás con bajo costo en dinero y a corto plazo más amigables con el medio ambiente.

Análisis de precios unitarios del sistema

En la tabla No. 6 se detallan los precios unitarios por materiales, equipos y mano de obra para realizar la mezcla y llenado de biomasa en el biodigestor.

Materiales	Unidad	Cantidad A	Unitario B	Costo Unitario C=A*B	%
Herramientas menores (% M.O.)	Global			\$4,20	0,46
Adaptadores, codos, uniones, tuberías, y varios	Global			\$260,00	28,71
			Parcial N	\$264,20	29,18
Equipos	Unidad	Cantidad A	Unitario B	Costo Unitario C=A*B	
Bomba de vacío 8.5 a 9 CFM 3/4 HP	U	1	350	\$350,00	38,65
Generador 110 V - 60HZ 950W AC	U	1	170	\$170,00	18,77
Tambor metálico de 55 Gal	U	3	12	\$36,00	3,98
Tanque botella PE 2500 L c/kit	U	1	2,6	\$2,60	0,29
Manómetro 0-30 Psi	U	4	11	\$44,00	4,86
			Parcial O	\$602,60	6,55
<i>Mano de obra</i>	Cantidad A	Jornal/ Hora B	Costo hora C=A*B	Costo Unitario D=C/R	
Jornalero	1	1,98	\$1,98	\$12,38	1,37
			Parcial P	\$12,38	1,37
Total Costos directos	Q=(N+O+P)			\$879,18	97,09
Costos indirectos:					
Imprevistos:	(Q) x	3,00%	\$26,37		2,91
Precio Unitario Total				\$905,55	100,00

Tabla 6. Análisis de precios unitarios del sistema de generación de biogás

Nota. Elaboración propia.

Presupuesto para implementación del sistema de generación de biogás

La instalación y montaje del sistema de generación de biogás está calculado en base al 10% de referencia que un técnico cobra por poner en marcha un sistema electromecánico, mostrado en la tabla (7) a continuación.

	Descripción	Valor	%	Costo
1	Instalación y montaje de biodigestor, manómetro, tuberías de conexión, tanque alimentador, bomba de vacío, generador.	\$602,60	10%	\$60,26
		Sub total		\$60,26
		IVA	12%	7,23
		IVA	0%	0,00
		Descuento		7,23
		Total		\$60,26

Tabla 7. Presupuesto para implementación del sistema de generación de biogás

Nota. Elaboración propia.

De la sumatoria de los costos de materiales, equipos, mano de obra, de instalación y montaje se calculó la inversión total para implementar el sistema de generación de biogás en la finca, el cual alcanzó los \$965,81, tal como puede observarse en la tabla (8).

	Descripción	Valor	%
1	Costo de inversión en materiales, equipos y mano de obra	\$905,55	93,76
2	Costo de instalación y montaje del sistema	\$60,26	6,24
	Total de costos del sistema	\$965,81	100,00

Tabla 8. Presupuesto total de inversión en el sistema de generación de biogás

Nota. Elaboración propia.

Sin embargo, en el estudio levantado por el programa nacional de biodigestores (PNB) patrocinado por la CTCN-CIMNE-IIGE-INIAP, los precios de montaje e instalación de sistemas de biodigestión son altos para un pequeño productor agropecuario, los cuales dependiendo del material y volumen de producción de biogás están alrededor de \$1500 el más económico, de material plástico con capacidad de 20m³ (Martí, y otros, 2018). En esta consideración, es preciso destacar opciones de instalación de biodigestores como el

presente, de manera personalizada, en base a las necesidades particulares del pequeño productor.

Requerimiento de biogás para el alumbrado del gallinero

En la tabla (8) se muestra el requerimiento para el alumbrado del gallinero de la finca que tiene un área de 30 m² y dos focos ahorradores de 60 W, durante 0,17 horas por día, se necesita de 1,5 m³ de biogás en un mes o su equivalente a 0,025 m³ de biogás diarios:

Cantidad	Artefacto	Potencia (W)	Tiempo de encendido (hrs)	Volumen diario de biogás requerido (m ³)
2	Focos ahorradores	60	0,17	0,025

Tabla 8. Consumo de energía en el gallinero de la finca

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que el volumen de biogás obtenido, se emplea para la iluminación del gallinero de la finca que posee 2 focos ahorradores y un sensor de movimiento, en concordancia con lo expresado en el manual de la (FAO, 2011) que refiere que en aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás también se pueden utilizar para iluminación. Así también el manual de la (OLADE, 2014) establece que en los países sureños de América se trabaja en la obtención de biogás con residuos vegetales, los cuales fueron parte de la biomasa (arroz y maní) utilizada en este estudio mezclada con estiércol de animales (cuy) para acelerar el proceso de fermentación de la biomasa en el biodigestor, y por ende la generación de biogás.

3 | CONCLUSIONES

Atendiendo a las necesidades energéticas de una finca agrícola como el modelo de finca estudiado, y en aras de contribuir a minimizar la problemática encontrada de manejo de residuos orgánicos de la siembra y cosecha de plátano y coco se diseñó y presupuestó un sistema de energía renovable en la finca entendido como la producción de biogás a partir de biomasa de estiércol de cuy y cascarilla de maní, utilizando un gasómetro de 2,5 m³ y un biodigestor de 0,0002 m³ de capacidad, cuyo costo total del sistema ascendió a USD \$657,54. El volumen de biogás obtenido fue de 6m³ en la prueba. Para realizar la instalación de este sistema en la finca con el propósito exclusivo de alumbrar un gallinero de 30 m² que posee 2 focos ahorradores y un sensor de movimiento; se requiere de una generación de 3,75 m³ de biogás por día.

El sistema de generación de biogás es uno de los más indicados para implementar en una finca como una fuente de energía renovable, debido a consideraciones tales como: la disposición de desechos orgánicos para alimentar al biodigestor, la facilidad de ejecución de las tareas de alimentación del sistema, el ahorro de pago de mano de obra, el ahorro en compra de insumos químicos para eliminar la maleza, el monto de inversión bajo para la implementación del sistema.

El pequeño productor está en capacidad de manejar la alimentación del tanque biodigestor, no teniendo que manejar mecanismos de seguridad de extracción del biogás del gasómetro y conducirlo hasta el grupo electrógeno que alimentará de bioenergía al sistema eléctrico del gallinero, ya que esta instalación es parte del sistema para producir la energía.

El mantenimiento del sistema es sencillo, una vez que el pequeño productor ha sido capacitado en su uso y manejo adecuado.

REFERENCIAS

Alexander, G., & Boyle, G. (2014). *Introducing renewable energy*. Cambridge: Oxford University Press.

Asamblea Constituyente. (2008). Constitución del Ecuador. Montecristi, Manabí, Ecuador: Suplemento del Registro Oficial No.449.

Beegroup. (2017). *beegroup-cimne*. Obtenido de CTCN – UNIDO | Programa Nacional de Biodigestores en Ecuador: <https://www.beegroup-cimne.com/portfolio/pnb-programa-nacional-de-biodigestores-en-ecuador/#:~:text=El%20objetivo%20del%20proyecto%20es,biomasa%20de%20la%20producci%C3%B3n%20pecuaria>.

Carreno, K., Rodríguez, M., Macías, T., Ormaza, M., & Lozano, G. (2020). Study of Biomass in an Orchard Located in the Naranjal Community of the Abdón Calderon parish. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, Vol. 12, No. 9, 34-45.

Castro, M. (2011). *Hacia una Matriz Energética Diversificada en Ecuador*,. Quito: CEDA-IDRC.

Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos EMGIRS - EP. (2016). *EMGIRS EP*. Obtenido de Quito genera energía eléctrica con el biogas del relleno sanitario : <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools-2/objetivos-estrategicos/45-travels-3/265-quito-genera-energia-electrica-con-el-biogas-de-su-basura>

FAO. (2011). *Manual de biogas*. Santiago de Chile: MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF.

García, H. (27 de marzo de 2015). *Del chiquero al biogás. Una experiencia con beneficios económicos y ambientales*. Obtenido de caminos del buen vivir: <https://caminosdelbuenvivir.wordpress.com/2015/03/27/del-chiquero-al-biogas/>

Kammen, D. (2014). *Taxonomía de la energía renovable*. Cleveland: Elsevier.

Macías, T., Bravo, T., Palma, V., & Giler, R. (2020). Transesterification of vegetable oil of higuerilla (ricinuscommunis l) for biofuel generation and cost determination. *International Journal of Life Sciences & Earth Sciences*, 3(1), 1-7. Obtenido de <https://doi.org/10.31295/ijle.v3n1.96>

Macías, T., Rodríguez, J., Mendoza, J., Mero, C., Zambrano, A., & Giler, D. (2021). Environmental Impact of Photovoltaic Solar Technology. *International Journal of Life Sciences*, 5(1), 14-25.

Macías, T., Rodríguez, M., Moreira, T., Mera, R., & Bravo, T. (2020). Quality parameters of honeybee apis mellifera in apiaries of the rural area manabita ecuador. *Palarch's Journal Of Archaeology Of Egypt/ Egyptology* 17(7). ISSN 1567-214x, 13054-13062.

Martí, J. (2019). *Latin American experiences in the democratization of biodigesters. Contributions to Ecuador*. Ecuador: Technology Centre and Network (CTCN)-UNFCCC. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1VZfHjAeuA1Kj6R7_jCj_stiS02okc9-f/view

Martí, J., Cuji, P., V., R., Rodríguez, L., D., L., & Cipriano, J. (2018). *Hacia un sector de biodigestores sostenible en Ecuador: Insumos para un componente debiodigestores de PNABE*. Ecuador: CTCN-CIMNE-IIGE-INIAP-IKIAM-MAE. Obtenido de https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/r4.1-20191210_programa_nacional_de_biodigestores_en_ecuador-ctcn.pdf

OAS.org. (2019). Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector productivo) Biogas. Obtenido de <http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%201%20Biogas.pdf>

OLADE. (2014). *Contribución al desarrollo de energías renovables*. Florianópolis: Olade.

Peláez, M., & Espinoza, J. (2015). *Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas*. Cuenca: OLADE, Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00214.pdf>

PNUD y GEF. (2002). *Manuales sobre energía renovable: solar fotovoltaica*. San José de Costa Rica: BUN-CA.

Rodríguez, M., Macías, T., Velepucha, J., Mera, C., & Cantos, J. (2020). Sugarcane waste, energy generation and the environment: its impacts. *Palarch's Journal Of Archaeology Of Egypt/Egyptology* 17(7). ISSN 1567-214x, 8908-8923.

Soria, R., & Carvajal, P. (2016). Biogás: Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en Ecuador. *Energía*, 38-45.

Vera, I., Estrada, M., González, C., Tejeda, M., López, X., & Ortiz, A. (2017). Biogás como una fuente alternativa de energía primaria para el Estado de Jalisco, México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 16(3), 307-320. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/404/40453142007.pdf>

WEC. (2010). *Survey of energy resources*. Londres: World Energy Council.