

---

**Evaluación del aprovechamiento de residuos sólidos ganaderos para producir biogás y abonos en la comunidad El Calvario, Provincia de Pastaza, Ecuador**

***Evaluation of livestock solid waste use to produce biomass and manure in El Calvario community, Pastaza Canton, Ecuador***

**Miguel Enríquez-Estrella<sup>1</sup>,  
Heidy Quevedo-Escobar<sup>2</sup>,  
Brayan Guamán Bravo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Puyo-Ecuador

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Puyo-Ecuador

E-mail: [menriquez@uea.edu.ec](mailto:menriquez@uea.edu.ec)

ORCID ID: 0000-0002-8937-9664

Enríquez-Estrella, M.; Quevedo-Escobar, H.; Guamán Bravo, B. (2022). Evaluación del aprovechamiento de residuos sólidos ganaderos para producir biogás y abonos en la comunidad El Calvario, Provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista Estudios Ambientales*, 10(1), 18-34

**Recibido:** 03/04/2022 - **Aceptado:** 02/06/2022 - **Publicado:** 15/07/2022

## **RESUMEN**

El volumen de excretas que se produce en la comunidad El Calvario de la provincia de Pastaza, Ecuador no es recuperado y se la expone a cielo abierto sin ningún tratamiento o aprovechamiento, esta condición favorece a las emisiones de gas invernadero y el calentamiento global. Se planteó el diseño de un biodigestor para mitigar los efectos producidos por la degradación de estos residuos y evitar la filtración de estos componentes hacia las aguas subterráneas que posteriormente son consumidas por la comunidad y generan enfermedades gastrointestinales. En el diseño nos basamos en una investigación

documental, descriptiva utilizando métodos inductivos y analíticos; partimos de investigaciones generadas en campo para obtener parámetros técnicos para estructurar el proyecto. Se diseñó un biodigestor tubular en base a la producción de excretas en la zona la cual tiene un volumen de 532,15 kg /día por un tiempo de retención de 29 días, tomando en cuenta las características climáticas de la zona donde existe una pluviosidad elevada por estar en la región amazónica del Ecuador. Durante este tiempo las bacterias se encargan de la descomposición de las excretas obteniendo 9,73 m<sup>3</sup>/día de producción de biogás, también el volumen líquido y sólido que se obtiene de dicho proceso.

**Palabras claves:** Biodigestor, excretas, fermentación, biofertilizantes, biogás.

#### **ABSTRACT**

*The volume of animal excreta produced in the El Calvario community is currently being wasted and exposed to the environment. The decomposition gases emanating from these residues contribute to global warming. With the purpose of mitigating the effects produced by the degradation of these residues, we propose the design of a biodigester which would avoid both their filtration into the groundwater and the subsequent gastrointestinal diseases in the community consuming it. The design of the tubular Biodigester proposed was based on a documentary review, the volume and component estimates of the animal excreta, and the identification of an adequate technology for its design and operation. The number of pigs in the community allowed us to determine material supply for biodigester. This load resulted in 532.15 kg/day, for a retention time of 29 days, which is due to the climatic conditions of the area. During this time, the bacteria responsible for the decomposition of the excreta would allow for 9.73 m<sup>3</sup>/day of biogas production, although it also results in a certain volume of liquid and solid residues obtained from the process.*

**Keywords:** biodigester, excreta, fermentation, biofertilizers, biogas.

## INTRODUCCION

Los gases que se producen en el ambiente son el resultado de la descomposición de la materia orgánica de animales y plantas (Cabrera, 2011). Según Rodríguez y Urbina (2012) la utilización de biodigestores contribuye a reducir los efectos negativos que proporcionan las excretas animales, las cuales afectan significativamente al ambiente contribuyendo al calentamiento global, por la emisión de gases como es metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) a partir de la fermentación de la celulosa y el almidón. Kaiser et al. (2002) manifiesta que la digestión anaerobia es una de las soluciones para el tratamiento de los residuos orgánicos que permite aprovechar la biomasa como fuente de energía renovable. Se obtienen compuestos altamente energéticos que pueden ser utilizados para la obtención de energía calorífica, o energía eléctrica (Terashima et al., 2009). Expresan que la digestión anaeróbica es un proceso común para estabilizar y reducir el exceso de lodos biológicos del tratamiento de aguas residuales. Bond y Templeton (2011) sostienen que los digestores domésticos se consideran una tecnología limpia y respetuosa con el medio ambiente que puede ayudar a las comunidades rurales a satisfacer sus necesidades energéticas de iluminación, cocción y electricidad, conduciendo a mejores condiciones de vida.

Barret (2015), menciona que el diseño y construcción del biodigestor en comunidades, instituciones, organismos y áreas rurales, establecen mecanismos que permiten reducir el impacto ambiental de los combustibles fósiles derivados del petróleo, ya que reducen su nivel de dióxido de carbono, que es el principal causante del calentamiento global. Cabrera (2014)

sostiene que “El biodigestor representa una alternativa ecológica de gran valor, pues permite disminuir la tala de los bosques, al no ser necesario el uso de la leña para la cocción” (p. 23). Meller (2013), expresa que es conveniente utilizar el biodigestor en los hogares, pues representa una alternativa energética, que brinda diferentes opciones, las cuales nos permite cuidar el medio ambiente; observándose entre ellas las siguientes:

- Disminuye la carga contaminante del vertimiento con una reducción de 60 a 80% de materia orgánica, dependiendo del tiempo de retención y generando algunas ventajas.

- En la actualidad la energía es otorgada por fuentes fósiles que incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global y cambio climático, estas emisiones se pueden reducir con el uso de energía renovable (Rivas et al., 2012). La energía de biomasa tiene un potencial de 2635 a 3771 Petajoules (PJ) año<sup>-1</sup>, donde el potencial para biogás es de (35 a 305 PJ año<sup>-1</sup>) en residuos municipales y de (148-190 PJ año<sup>-1</sup>) en residuos ganaderos, sin embargo, el potencial de este tipo de energía no se ha explotado en su totalidad (Aleman et al., 2014).

- Una alternativa de energía limpia para la actividad pecuaria es el biogás por medio de biodigestores, su generación por medio de desechos orgánicos proporciona energía de bajo costo, ingresos adicionales a los agricultores, oportunidades de empleo, energía descentralizada y protección al ambiente, reduciendo la huella de emisiones de gases de efecto invernadero (Rivas et al., 2011). El uso de energías amigables en procesos productivos son primordiales para reducir la emisión de gases en el Ecuador (Enríquez, 2020).

El objetivo del estudio es diseñar un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, Provincia de Pastaza. Para lo cual se genera el siguiente interrogante ¿Qué condiciones ambientales presenta la recuperación y aprovechamiento de los residuos ganaderos en la producción de energía y abono y cómo se reducen los gases de efecto invernadero y el calentamiento global?

## METODOLOGIA

El estudio se realizó en la comunidad el Calvario parroquia Veracruz, cantón Pastaza, localizada en las coordenadas 18M (172674.68 m E; 9833075.43 m S) y con una superficie de 181,3 km<sup>2</sup> (GADMP, 2020).

### TIPOS DE INVESTIGACIÓN:

#### *Documental*

Manifiesta Baena (2014), la investigación documental se basa en la búsqueda de la respuesta específica, la misma que parte de la indagación de documentos antes realizados o estudios anteriormente hechos. Morales (2003), expresa que este tipo de investigación utiliza particularmente la fuente primaria, pero no es la única fuente que están obligados acogerla, pues se puede ocupar, documentos escritos en sus diferentes formas o a su vez testimonios de testigos calificados, especialistas.

#### *Descriptiva*

Tamayo (2006), tiene como objetivo conocer las situaciones predominantes mediante la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. La investigación radica en describir las características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando

criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto el comportamiento de los fenómenos en estudio (Sabino, 2014). Por tal motivo nuestra investigación va a tomar datos de la población porcina, las cuales son esenciales para el diseño de un biodigestor, como es para la determinación de las dimensiones y volumen necesario.

### *Métodos de Investigación*

#### a. Sector ganadero potencial

La comunidad del Calvario posee familias que se dedican a la crianza de cerdos, y que al no contar con el manejo de desechos se plantea el uso de un biodigestor en la zona.

#### b. Levantamiento de información

Se identificaron 11 familias productoras de cerdos de las cuales se aplicó una ficha de tenencia de cerdos en la cual se detallan las diferentes edades, número de cerdos y la proyección trimestral de los mismos.

#### c. Análisis de la información

Los parámetros para el diseño del biodigestor se enfocan al número de cerdos identificados mediante la ficha de tenencia, ya que mediante el autor Braun (2013), se proyecta la cantidad aproximada de generación de excretas de cada tipo.

#### d. Selección y diseño del biodigestor

El biodigestor que se utilizará será de tipo tubular debido a que presenta características de fácil manejo para los pobladores de la comunidad. Los materiales utilizados en la fabricación del equipo son de fácil acceso y económicos, así como también sus mantenimientos.

Se identificó un volumen de 177,05 kg de excretas en la comunidad, y a partir de este volumen se calculó la capacidad del biodigestor

### *Inductivo*

Se busca observar, estudiar y conocer las características similares o parecidas, para que de esta manera se puede elaborar una propuesta o ley. Como expresa Abreu (2014), es un “razonamiento ascendente que fluye de lo particular o individual hasta lo general, razona la premisa inductiva es una reflexión enfocada en el fin” (p. 200).

### *Analítico*

Ruiz (2006), manifestó que el método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos.

### *Criterios de Selección*

Cuando se habla de los métodos de selección existen diversos métodos mismos que son aplicados de acuerdo al tipo de investigación que se realice. El método de

inclusión según Arias et al. (2016) son todas las características particulares que deben tener un sujeto u objeto de estudio para que sea parte de la investigación. En este caso lo conformaran las 11 familias de la comunidad El Calvario mismas, que se dedican a la crianza de animales porcinos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tenencia de cerdos en la comunidad el Calvario, es de 11 familias que se dedican a la crianza de cerdos, las cuales habitan en la zona central de la comunidad con una distancia promedio de 500 metros lo que permite el acopio de las excretas, tomando en cuenta que en la Tabla 1 se detalla la tenencia de ganado porcino en el sector durante el año 2021; con los datos obtenidos de tenencia de ganado se procederá a investigar la cantidad de estiércol que genera cada tipo de cerdo, lo cual se determina en la Tabla 2.

Tabla 1. Tenencia promedio de ganado porcino en el sector el Calvario.

Media Trimestral					
Mes	Lechones	Madres	Reproductores	Engorde	Total
Ene.Mar.	65	6	4	40	114
AbrilJun.	66	8	4	39	117
Jul.Sept.	67	9	5	37	118
Oct.Dic.	69	10	5	36	120
Media	67	8	5	38	117

Tabla 2. Producción Kg/día de excretas en las etapas de vida del Cerdo.

Fuente: tomado de Braun (2013).

Etapa	Estiércol kg/día	Estiércol – orina kg/día	Volumen en l/día	Volumen m <sup>3</sup> /animal/mes
25-100 kg	2,3	4,9	7,0	0,25

Hembra	3,6	18,0	16,0	0,48
H. lactación	6,4	6,0	27,0	0,81
Semental	3,0	6,95	9,0	0,28
Lechón	0,35	0,95	1,4	0,05
Promedio	2,35	5,8	8,6	0,27

Con los datos obtenidos de tenencia de ganado porcino se procedió a identificar la cantidad de estiércol que se genera por cada cerdo en las diferentes etapas de su desarrollo según se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Cifras de producción de excretas según su etapa de desarrollo.  
Fuente: adaptación de Braun (2013) para la estimación de excretas porcinas.

Etapa	Estiércol kg/día	Media de tipos de cerdos	Producción de kg/día
25-100 kg	2,3	38	87,4
H. lactación	6,4	8	51,2
Semental	3,0	5	15
Lechón	0,35	67	23,45
TOTAL			177,05 kg/día

En relación a estos antecedentes se propuso diseñar un biodigestor tubular “tipo salchicha”. Éste posee características sencillas, económicas, las cuales permiten su implementación y que sea más utilizado en las comunidades rurales; cuenta con materiales flexibles y de fácil manejo, se puede adquirir en lugares donde se comercializan materiales de construcción (Báez y Benítez, 2015).

El equipo suele ubicarse directamente sobre el suelo y en lugares donde las temperaturas son más bajas se hace una fosa que sirva de aislamiento térmico para

disminuir el tiempo de retención que en zonas de paramo puede llegar a ser muy extenso. En condiciones normales la producción de biogás deberá empezar luego de tres semanas desde que se realiza la primera carga de alimentación (Torre y Ruiz, 2008).

#### *Cantidad de la mezcla*

Es necesario tomar en cuenta el volumen acuoso presente en la mezcla que permitirá que la degradación se realice sin inconvenientes, hay que tomar en cuenta la relación agua más sólidos según se detalla

en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación estiércol agua según tipo animal. Fuente: García (2016).

Porciones de Agua		
Bovino	Fresco	1:1
	Seco	1:2
Porcino		1:2
Aves		1:1
Equino		1:2
Desechos humanos		1:1
Desechos vegetales		1:0,5
		-2

Para el diseño se procedió a utilizar una relación 1:2 ocupando los datos detallados en la Tabla 3 de producción de excretas y sustituyendo los datos en la Ec (1).

$$Cantidad_{mezcla} = producción\ de\ estiércol + (2 * producción\ de\ estiércol) \quad Ec. (1)$$

$$C_m = 177,05 \frac{kg}{día} + (2 * 177,05 \frac{kg}{día})$$

$$C_m = 531,15 \frac{kg}{día} \text{ Mezcla de Carga Diaria}$$

#### Tiempo de retención

Toala (2013), manifiesta que el tiempo de retención consiste básicamente en el periodo que necesitan los microorganismos para poder degradar la materia orgánica y de esta manera obtener un producto.

Cáceres (2011), sostiene que las bacterias deben tener un tiempo prudente para descomponer la materia orgánica, si no se cumplen las condiciones de temperatura y humedad la velocidad de crecimiento de microorganismos y degradación no será la óptima como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Tabla de tiempo de retención. Fuente: parámetros ambientales establecidos por Herrero (2008).

Región Característica	Temperatura	Tiempo de retención hidráulico
Trópico	30 °C	30
Valle	20 °C	40
Altiplano	10 °C	60

En base a la información de la Tabla 5 se hizo una interpolación para poder determinar el tiempo de retención (TR), tomando en cuenta que la comunidad El Calvario tiene una temperatura promedio anual de 30 °C, por lo cual se reemplazara el número de días correspondiente a dicha temperatura en la Ecuación 2.

$$y = -1,5x + 73,33 \quad Ec. (2)$$

$$y = -1,5(30) + 73,33$$

$$y = 28,33 \text{ días} \cong 29 \text{ días}$$

#### Volumen líquido

Según manifiesta Herrero (2008), "El volumen líquido de un biodigestor será el resultado de multiplicar la mezcla diaria de

carga por el tiempo de retención” (p.29). El biodigestor tubular dependerá de la carga diaria de materia que ingrese, la misma que va hacer descompuesta por bacterias en un tiempo considerado dependiendo la temperatura y lugar en el que se encuentre el equipo, donde:

VL: volumen de la fracción líquido.  
TR: tiempo de retención en días.  
Cd: carga diaria en kg/día  
(Barzallo, 2018)

$$V_L = C_d * T_R \quad \text{Ec. (3)}$$

$$V_L = 531,15 \frac{kg}{día} * 29 \text{ días}$$

$$V_L = 15403,35 \text{ kg} = 15403,35 \text{ L}$$

$$V_L = 15,40 \text{ m}^3$$

#### Volumen del gas

El interior del biodigestor se encuentra compuesto por un 75% de sólidos y líquidos (mezcla de excretas con agua), al estar sometido a un proceso anaeróbico, los gases que salen de esta descomposición representan el 25% restante del interior del biodigestor, dando como resultado que el volumen de gas es igual a un tercio del volumen del líquido (Herrero, 2008).

Vg: volumen que ocupa la fase gaseosa  
0,25: porcentaje que ocupa la parte gaseosa  
0,75: porcentaje que ocupa la parte líquida  
VL: volumen líquido  
(Herrero, 2015)

$$V_g = \frac{0,25}{0,75} * V_L \quad \text{Ec. (4)}$$

$$V_g = \frac{0,25}{0,75} * 15,40 \text{ m}^3 = 5,13 \text{ m}^3$$

#### Volumen total de biodigestor

Para este cálculo se puede realizar la aplicación de la ecuación:

VT: volumen total

VL: volumen del líquido

Vg: volumen del gas

(Barzallo, 2018)

$$V_T = V_L + V_g \quad \text{Ec. (5)}$$

$$V_T = 15,40 \text{ m}^3 + 5,13 \text{ m}^3$$

$$V_T = 20,53 \text{ m}^3 \cong 21 \text{ m}^3$$

#### Producción de biogás por día

Para conocer la cantidad total de energía se debe tomar en cuenta los valores la Tabla 6:

Tabla 6. Producción de biogás.  
Fuente: Tomada de Moreta (2013).

Tipo de estiércol	Producción de Gas/kg de Estiércol
Ganado Vacuno	22 – 40
Cerdos	40 – 60
Aves de corral	65,5 – 115

Para este estudio se tomó en cuenta la producción de biogás en ganado porcino, generando un intervalo de 40 a 60 kg tomando en cuenta un valor promedio de 50 kg para el cálculo, donde:

Pb: producción de biogás

Pb: producción de biogás

1kg/día=50L

$$P_b = 177,05 \frac{kg}{día} * \frac{50L}{1 \text{ kg/día}} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$P_b = 8852,5 \text{ L}$$

$$P_b = 8,85 \text{ m}^3$$

### Margen de seguridad

Según expresa Liliana (2018), el margen de seguridad ayuda para las repentinas variaciones al momento de la producción de biogás diaria, considerando un margen de 5-10% como se expresa en la Ecuación 7. El biogás producido está compuesto por diferentes niveles de nutrientes, los cuales se identifican en la Tabla 7 con sus respectivos porcentajes.

P<sub>bseg</sub>: producción de biogás con margen de seguridad

P<sub>b</sub>: producción de biogás

Margen de seguridad: 10% (0,1)

$$P_{bseg} = P_b + P_b * 0.1 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$P_{bseg} = 8,85 \text{ m}^3/\text{día} + 8,85 \text{ m}^3/\text{día} * 0,1$$

$$P_{bseg} = 9,73 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ Producción de biogás}$$

Tabla 7. Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal.  
Fuente: Tomada del Manual de biogás (2011).

Materia Prima	C (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)
<b>Excretas</b>						
Bovino	17,4 – 40,6	0,3 – 2,0	0,1 – 1,5	0,10	0,35	0,13
Porcino	17,4 - 46,0	1,1 – 2,5	0,4 – 4,6	0,30	0,09	0,10
Caprino	35,0 – 50,0	1,0 – 2,0	0,2 – 1,5	2,30		
Equino	35,0 - 52,0	0,3 – 0,8	0,4 – 1,6	0,35	0,15	0,12
Ovino	35,0 – 46,0	0,3 – 0,6	0,3 – 1,0	0,15	0,33	
Conejos	23,0 - 35,0	1,0 – 1,9	0,9 – 1,8	2,10	0,45	0,15
Aves	28,0 – 35,0	1,4 – 2,0	2,0 – 2,8	1,40	0,80	0,48
Patos	29,0 - 41,0	0,6 – 0,8	1,0 – 1,5	0,40	0,80	
Pavos	17,4 – 41,0	0,6 – 0,8	0,5 - 0,8	1,10	0,80	
Humanas	2,5	0,8 – 1,0	0,5	0,30		

Se debe tener en cuenta que el cálculo de la capacidad instalada del equipo partió de un análisis del volumen de excretas generadas diariamente de estiércol porcino producido como Braun (2013), quien expresó que existe diferente volumen de producción de excretas dependiendo el tipo de cerdo (lechos, engorde, hembra, hembra lactancia o semental), dando como resultado 177,05 kg/día de estiércol. Con este dato partimos para determinar la cantidad de agua que debemos incorporar con el estiércol producido, García (2016) sugiere la relación 1:2 para animales porcinos misma que por cada 1kg de estiércol se ocuparán 2 kg de agua obteniendo 532,15 kg/día de mezcla que se cargará en el biodigestor. Dicha carga tendrá que estar sometida por un tiempo determinado; este tiempo de retención dependerá del lugar y temperatura en el que se encuentre el biodigestor. La comunidad El Calvario se encuentra dentro de la región Trópico por lo cual Herrero (2008) sugiere un tiempo de retención de 30 días para que las bacterias degraden la materia orgánica, este valor se reemplaza en la Ecuación (2), dando como resultado que el tiempo de retención para la cantidad de estiércol que posee la comunidad es de 29 días. Con el tiempo de retención obtenido se determinará el volumen líquido del biodigestor, en base a la ecuación de Barzallo (2018) según la cual al reemplazar valores nos da como resultado que el volumen líquido de 15,40 m<sup>3</sup>. De igual manera Herrero (2015), en la ecuación que nos proporciona da 5,13m<sup>3</sup> de volumen de gas. Barzallo (2018), expresa una ecuación que ayudará a determinar el volumen total del biodigestor dando como resultado 21 m<sup>3</sup>, para la determinación de producción de

biogás por día; éste tomará en cuenta la tabla de Moreta (2013) en la cual para animales porcinos existe un intervalo de 40 a 60 kg de producción de biogás. Teniendo en cuenta esto, para reemplazar en la Ecuación (6) se sacará una media que equivale a 50 kg, dando como resultado una producción de 8,85 m<sup>3</sup>. Este valor debe ser sujeto al margen de seguridad (Liliana, 2018); usando la Ecuación (7), la producción diaria del biodigestor sería de 9,73 m<sup>3</sup>/día. Tomando los datos de la composición química de este elemento del manual biogás (2011) están establecidos de la siguiente forma Carbono (3,08 m<sup>3</sup>/día), Nitrógeno (0,17m<sup>3</sup>/día), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(0,24m<sup>3</sup>/día), K<sub>2</sub>O (0,029 m<sup>3</sup>/día), CaO (0,0087 m<sup>3</sup>/día), MgO (0,0097m<sup>3</sup>/día).

#### *Producción de bioabono por día*

Según Herrero (2008) en el proceso de la fermentación se perdió una fracción de sólidos totales. El estiércol fresco tiene entorno a un 17% de sólidos totales. El rango puede variar de 13 a 20%. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el biodigestor.

Ec. (

$$\begin{aligned} & \text{Bioabono} \\ & = \text{Carga Diaria de excretas en } \frac{\text{kg}}{\text{día}} \\ & - (\text{Carga Diaria de excretas en } \frac{\text{kg}}{\text{día}} \\ & * 0.17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{bioabono} & = 177,05 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left( \frac{177,05 \text{ kg}}{\text{día}} * 0,17 \right) \\ \text{bioabono} & = 146,95 \text{ kg/día} \end{aligned}$$

### Producción de biol

Según Herrero (2019), nosotros al estar diseñando un biodigestor tubular todo va relacionado a la gravedad, por lo cual si es cargado dicho biodigestor con estiércol más agua por la entrada tendremos la misma cantidad de biol por la salida.

### Diseño del biodigestor

De acuerdo a los datos obtenidos se determinó que el volumen es de 21m<sup>3</sup>, por lo cual se va a utilizar un rollo de 2,5 m de ancho, el cual se encuentra disponible en el mercado como lo muestra la Tabla 8. En las Figuras 1, 2 y 3 se muestran los planos de diseño.

### Materiales

En la Tabla 9 se determina los componentes que se van a utilizar para la construcción del biodigestor en la comunidad El Calvario.

Tabla 8. Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares según circunferencias.  
Fuente: tomado de Herrero (2019).

Circunferencia (m)	Ancho de rollo (m) <sup>a</sup>	Radio (m) <sup>a</sup>	Diámetro (m) <sup>a</sup>	Longitud biodigestor tubular					
				mínima (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	máxima (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	óptima (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
2	1	0,32	0,64	3,2	1,02	6,4	2,05	4,8	1,54
3	1,5	0,48	0,95	4,8	3,47	9,5	6,87	7,2	5,21
4	2	0,64	1,27	6,4	8,23	12,7	16,34	9,5	12,22
*5	2,5	0,80	1,59	8,0	16,08	15,9	31,96	11,9	23,92
6	3	0,95	1,91	9,5	26,9	19,1	54,15	14,3	40,54
7	3,5	1,11	2,23	11,1	42,96	22,3	86,31	16,7	64,64
8	4	1,27	2,55	12,7	64,35	25,5	129,21	19,1	96,78
9	4,5	1,43	2,86	14,3	91,86	28,6	183,73	21,5	138,12
10	5	1,59	3,18	15,9	126,28	31,8	252,56	23,9	189,82
14	7	2,23	4,46	22,3	348,38	44,6	696,77	33,4	521,80

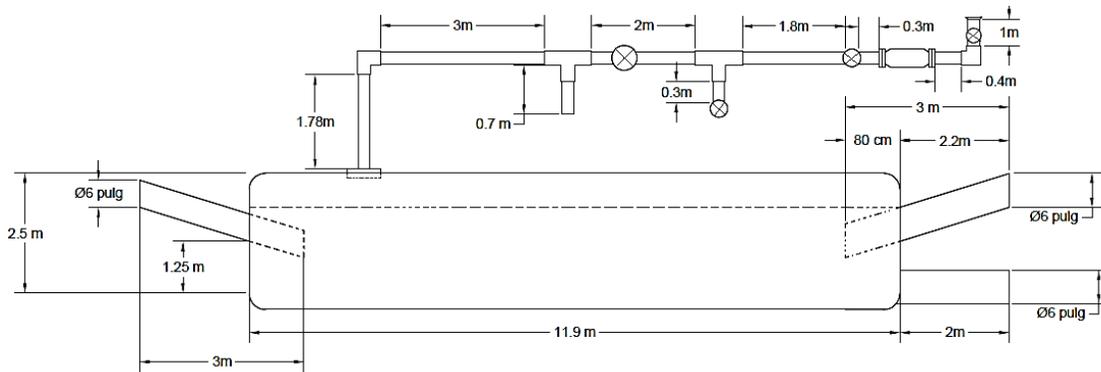


Figura 1. Vista Lateral del biodigestor tubular.

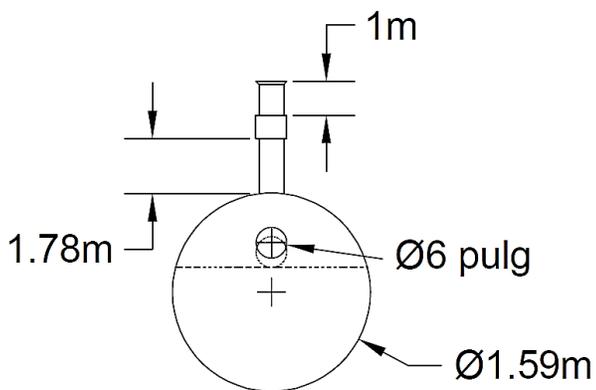


Figura 2. Vista frontal del biodigestor tubular.

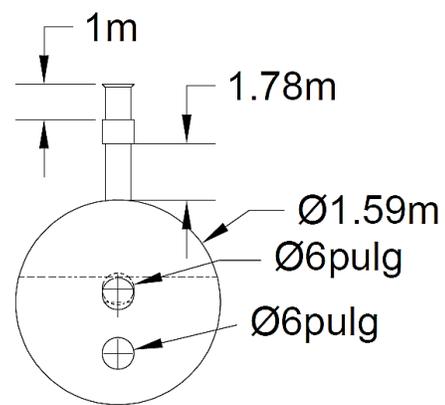


Figura 3. Vista posterior del biodigestor tubular.

Tabla 9. Materiales empleados para la implementación de un biodigestor tipo salchicha.

Componente	Comentario	Cantidad
Zanja		
Sacos	Para darle una forma adecuada a la zanja en lugares donde el suelo no lo permita	Los necesarios
Plásticos viejos, lonas o sacos	Se puede formar una "sabana" para que sirva como protección para el biodigestor	Los necesarios
Biodigestor		
Manga tubular	Si utilizara una geomembrana de polietileno de 500 micrones (que viene en láminas de 7 m de ancho) se puede pedir soldar como manga con el diámetro deseado, y se usa una sola capa	Geomembrana de polietileno de 500 micrones soldada de forma tubular, se requiere una sola pieza tubular de longitud igual a la ecuación: Longitud de la manga= (longitud de la zanja +1m+profundidad de la zanja) Longitud de la manga= 22,3m
Tubería de PVC de entrada	Se va trabajar con una tubería de 6" ya que el contenido va hacer estiércol	1.5 metros de largo con 80 cm en el interior del biodigestor
Tubería de desagüe de PVC	Se va trabajar con una tubería de 6" ya que el contenido va hacer estiércol, esto permitirá un mejor amarre con el plástico tubular	Tubería de 3 metros de largo con 80 cm en el interior del biodigestor para la descarga de biol; y una tubería de 2 metros para descargar el bioabono o desechos sólidos.
Liga de cámara de neumático (también llamada boya o tubo)	Esta se puede obtener de tubos usados, se debe cortar tiras continuas de 5cm de ancho.	Dos cámaras de aro 14 o 16, o también de 30 a 40 m de liga del neumático ya cortada
Adaptador de tanque en PVC o polipropileno	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso	1

---

(también llamado flange, pasamuros o brida)	ocuparemos la de 3/4".	
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", se utilizará una de 3/4". Puede ser de PVC, de polietileno o manguera. Se usará para conectar la salida de biogás a la válvula de alivio.	3 metros
Accesorios PVC	Se puede usar de rosca o pega en PVC, o con uniones Flex para manguera.	Los que haga falta para unir el adaptador de tanque con la Tee de la válvula de alivio
Cuerda	Una cuerda plástica mínimo de 1/4".	2.5 veces en metros la longitud del biodigestor
Teflón	Se recomienda usar teflón en la rosca del adaptador de tanque.	1
Válvula de alivio	Elemento que encuentre la conducción de biogás al salir del biodigestor.	Se requiere al menos de una Tee, una pieza de tubería de 30 cm, una botella de 2 litros de refresco vacía, y una llave de paso plástica.
Conducción del biogás		
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4". Puede ser tubería rígida de PVC	Tantos metros como haga falta para llevar el biogás desde el biodigestor al punto de consumo
Llaves de bola	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4"	Mínimo 2
Tee	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4"	Mínimo 1
Codo	Normalmente se trabaja en 1/2"	Mínimo 1

---

	o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4"	
Codo Unión universal	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4"	Mínimo 1
Unión universal	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4"	Mínimo 1
Teflón	Se recomienda usar teflón (10 vueltas) en toda conexión de roscada.	1 o 2, dependiendo de los accesorios de rosca que se usen.
Cocina	Se puede adaptar cualquier cocina de gas considerando disminuir la mezcla con aire y ensanchando el conducto del chicle o quitándolo.	Se recomienda dos hornillas o quemadores.

## CONCLUSIONES

El valor de excretas parte de un levantamiento de información generado en la comunidad El Calvario donde se identifican un promedio de 117 especies que generan 532,15 kg/día, ocupando un volumen de 21m<sup>3</sup> y generando 9,73m<sup>3</sup>/día de biogás (405,42 l/h) con una composición de Carbono (3,08m<sup>3</sup>/día), N(0,17m<sup>3</sup>/día), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(0,24m<sup>3</sup>/día), K<sub>2</sub>O (0,029m<sup>3</sup>/día), CaO (0,0087m<sup>3</sup>/día) y MgO (0,0097m<sup>3</sup>/día); además de 146,95 kg/día de bioabono útil para la agricultura del sector. El biogás presenta gran versatilidad de usos, como es la cocción

de alimentos (se consumen 300 l/h), la generación de electricidad mediante generadores especiales que utilizan el gas, además para uso en la calefacción de vivienda o edificios.

El diseño del biodigestor es una alternativa eficaz para reducir las emisiones de metano al ambiente creando una cultura de gestión de residuos contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y por otro lado optimizando recursos para la generación de abonos líquidos y sólidos que permiten al sector tener alternativas que permitan mejorar el desarrollo productivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, J. (2014). El Método de la Investigación Research Method. *In Daena: International Journal of Good Conscience*, 9 (Issue 3). 195-204.
- Alemán, G. S., Casiano Flores, V. H., Cárdenas Chávez, D. L., Díaz Chávez, R., Scarlat, Arias, Villasís, J. y Miranda, M. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. 62. <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/181/309#:~:text=Criterios%20de%20selecci%C3%93n&text=Estos%20criterios%20son%20los%20criterios,sea%20parte%20de%20la%20inve stigaci%C3%B3n>
- Atilano (2012). *Manejo de Excretas y Aguas*.
- Báez, G., y Benítez, D. (2015). *Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de desechos porcinos para la finca "El Recuerdo"*. Tesis Ingeniería Química, Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador). 104 págs. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11470/3/UPS-KT01209.pdf>
- Barret, C. (2015). El Biodigestor como alternativa ecológica en la generación de Energía Natural. *Ambiente de la Universidad Abierta de Colombia*, 19.
- Barzallo, L. (2018). Diseño, construcción y estandarización operativa de biodigestor anaerobio para finca productora de leche. Tesis Ingeniería Ambiental, Universidad Central de Ecuador. 154 págs. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15473/1/T-UCE-0012-FIG-002.pdf>
- Bautista, V. (2016). Evaluación de la generación de biogás a partir de excretas porcinas en la granja agroinporc y diseño de un biodigestor. Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional. 105 págs. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16514/1/CD-7185.pdf>
- Bond, T. & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15 (4), 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
- Braun, R. (2013). Eliminación mediante impactos ambientales positivos de estiércoles y purines en las empresas porcinas. Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez, (28).
- Cabrera, D. (2014). El Biodigestor una herramienta de Vanguardia. Salud y Ambiente de la Universidad Complutense de Madrid. 23.
- Cabrera, J. (2011). Diseño de un Biodigestor para la generación de biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral. Tesis Ingeniería Química, Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador). 104 págs. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS-GT000209.pdf>
- Cáceres, E. (2011). Producción de biogás. Construcción de un biodigestor. <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/7/produccion-biogas-construccion-biodigestor-35587-completo.pdf>
- Enríquez, M. Á. (2020). Obtención De Productos Frutícolas Deshidratados; Tomate De Árbol (*Cypomandra Betacea* L) Y Guayaba (*Psidium Guajaba* L), Mediante el empleo de un secador solar con colector plano. *Perfiles*, 2 (22), 12-19. <https://doi.org/10.47187/perf.v2i22.49>
- García, G. (2016). Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa. Tesis Ingeniería Civil, Universidad San Francisco de Quito (Ecuador). 107 págs. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5449/1/124462.pdf>

- Garrido, J., Flotats, X., Fernández, B. & Palatsi, J. (2009). Biomasa (Tercera edición).
- González, A. (2014). Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia. 99 págs. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/27048/TFM%20Gonz%C3%A1lez%20Cabrera,%20Ana%20Mar%C3%ADa%20-%20copia.pdf?sequence=1>
- GADMP. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pastaza 2019-2030.950. <https://puyo.gob.ec/wpcontent/uploads/documentos/departamentos/planificacion/pdot/pdot-pastaza-2020-2030.pdf>
- Herrero, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. GTZ-Energía. Bolivia. ISBN: 978-99954-0-339-3. 86 págs.
- Herrero, J. (2019). Biodigestores Tubulares. Guía de diseño y manual de instalación. Redbiolac. Ecuador. ISBN: 978-9942-36-276-6. 120 págs.
- Herrero, M. (2015). Anaerobic digestion, tubular digester, biogas, low cost technology View project Energy and Buildings, heat transfer models View project. Kaiser, F., Bas, F., & Gronauer, A. (2002). Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania. *Agronomía y Forestal UC*, 16 (4), 4-8.
- Landín, G. (2007). Tratamiento de excretas de cerdos. 9-1.
- Liliana, V. (2018). Propuesta para diseñar una planta piloto que genere biogás y composta, con residuos de la central de abastos de Puebla.
- Manual de biogás (2011). Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". ISBN 978-95-306892-0. 119 págs.
- Meller, P. (2013). Alternativas Naturales como estrategia de cuidado Ambiental (Limusa).
- Moreta Criollo, M. L. (2013). *Diseño de un biodigestor de estiércol porcino para una granja agrícola ubicada en el Barrio La Morita, parroquia de Tumbaco para el año 2012-2013* (Doctoral dissertation, Universidad Internacional SEK). <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream>
- Pinos, J. & García, J. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46 (4), 359-370.
- Rivas Lucero, B. A., Zúñiga Avila, G., Sáenz Solis, J. I., Guerrero Morales, S., Segovia Lerma, A. y Morales Morales, H. A. (2012). Perspectivas de obtención de energía renovable de la biomasa del estiércol del ganado lechero en la región centro-sur se Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30, 872-885. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14123097009>
- Rivas Solano, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2011). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Revista Tecnología En Marcha*, 23 (1), pág. 39. [https://181.193.125.13/index.php/tec\\_marcha/article/view/132](https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/132)
- Rodríguez, D., & Urbina, A. (2012). Biodigestores: ¿Qué son y cómo construirlos? Programa Regional de Ganadería MAG Grecia.
- Ruiz, R. (2006). Historia y evolución del pensamiento científico (Patria).
- Terashima, M., Goel, R., Komatsu, K., Yasui, H., Takahashi, H., Li, Y. & Noike, T. (2009). CFD simulation of mixing in anaerobic digesters. *Bioresource Technology*, 100-107.
- Toala, E. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del

estiércol de ganado en el rancho Verónica. Tesis de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador). 138 págs.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>

Torre, N. & Ruiz Riva, U. (2008). Digestión anaerobia en comunidades rurales. Proyecto fin de carrera, área de ingeniería térmica y de fluidos, Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid. 141 págs. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC\\_Nadia\\_deLaTorre\\_Caritas.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf?sequence=1)

Toscano, C. (2015). Diseño de un biodigestor anaeróbico para la obtención de biogás, a partir de las excretas de ganado vacuno en el rancho Guadalupe, en el cantón mocha provincia de Tungurahua en el año 2015. Tesis de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador). 115 págs.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4898/1/236T0186.pdf>

Valdivia, T. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolero estacionario modificado. Universidad Nacional de México (México).

Villaraldo, L. (2018). Balance energético comparativo del proceso de generación de biogás a partir de un lodo residual y un lodo residual pretratado. [http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/288/Laura\\_Villaraldo\\_Falf%  
c3%a1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/288/Laura_Villaraldo_Falf%c3%a1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y)