

Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador

Design of a Biodigester of animal excreta in the El Calvario Community, Veracruz Parish, Pastaza Canton, Ecuador

Miguel Ángel Enríquez¹ <https://orcid.org/0000-0002-8937-9664>

¹Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador
menriquez@uea.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2022/04/29

Aceptado: 2022/12/01

Publicado: 2022/12/30

Resumen

La cantidad de excretas que se producen en la comunidad El Calvario están expuestas al medio ambiente y su descomposición produce gases, lo que de alguna manera contribuye al calentamiento global. Se ha propuesto la construcción de biodigestores para mitigar el impacto de la degradación de los residuos y evitar la filtración de estos componentes a las aguas subterráneas. Esto luego es consumido por la comunidad y causa enfermedades gastrointestinales. Para el diseño de biofermentadores, inductivo y analítico se han utilizado documentos pre-elaborados para obtener las fórmulas, diseños, dimensiones y materiales idóneos empleados en la implementación de la construcción de biodigestores tubulares. Además de los métodos, se apoya en la investigación documental descriptiva. El número de cerdos en un municipio permite determinar la carga fecal diaria. Esto significa que la mezcla que se alimenta diariamente al biofermentador es de 532,15 kg/día con un tiempo de residencia de 29 días rango. Durante este período, las bacterias que descomponen los residuos producen 9,73 m³ de biogás por día, así como la cantidad de líquidos y sólidos que se obtienen de este proceso.

Palabras clave: biodigestor, excretas, fermentación, biofertilizantes, biogás.

Abstract

The amount of excreta produced in the El Calvario community is exposed to the environment. Its decomposition produces gases, which in some way contributes to global warming. The construction of biodigesters has been proposed to mitigate the impact of waste degradation and

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión y Conclusiones.

Como citar: Enríquez, M. A. (2022). Diseño de un biodigestor de excretas animales en la comunidad El Calvario, parroquia Veracruz, cantón Pastaza, Ecuador. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(4), 28-43. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/928>

prevent the filtration of these components into the groundwater. Groundwater is consumed by the community and causes gastrointestinal diseases. Inductive and analytical pre-elaborated documents have been used in the design of biofermenters to obtain suitable formulas, designs, dimensions, and materials for the construction of tubular biodigesters. In addition, a descriptive documentary research method is employed. The number of pigs in a municipality allows us to determine the daily fecal load. Therefore, the mixture fed daily to the biofermenter is 532.15 kg/day with a residence time of 29 days range. During this period, the bacteria that decompose the waste produce 9.73 m³ of biogas per day, besides the amount of liquids and solids that result from this process.

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

Introducción

La descomposición de la materia orgánica en animales y plantas produce gases en el ambiente (Cabrera, 2011). Según Rodríguez y Urbina (2012), los biorreactores pueden reducir el impacto negativo del estiércol animal, que genera contaminación significativa en el medio y contribuye al calentamiento global a través de la liberación de gases como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) procedente de la fermentación de celulosa y almidón. Kaiser et al. (2002) propusieron que la digestión anaerobia es una de las soluciones de tratamiento de residuos orgánicos que posibilita el uso de la biomasa como fuente de energía renovable. Los compuestos de alta energía resultantes se pueden utilizar para generar calor o electricidad. Terashima et al. (2009) sugieren que la digestión anaeróbica es una técnica popular para estabilizar y reducir el exceso de lodos biológicos después del tratamiento de aguas residuales. El aprovechamiento de residuos orgánicos en la región amazónica permite obtener productos que mejoran la calidad de vida de las comunidades Enríquez, Escobar y Guamán (2022). Según Bond y Templeton (2011) argumentan que las trituradoras domésticas se consideran una tecnología limpia y respetuosa con el medio ambiente que ayuda a las comunidades rurales a satisfacer sus necesidades energéticas para iluminación, cocina y electricidad, mejorando así las condiciones de vida. Barrett (2015) señala que el diseño y construcción de biorreactores en comunidades, organizaciones, instituciones y áreas rurales brindan un mecanismo para reducir los impactos ambientales de los combustibles fósiles derivados del petróleo crudo. Heiz Cabrera (2014) sostiene que “Los biorreactores son una alternativa ambiental muy valiosa porque reducen la deforestación al no utilizar leña para la cocción de alimentos”, Moeller (2013) argumenta que los biorreactores se pueden utilizar cómodamente en el hogar porque ofrecen muchas posibilidades y son una energía alternativa amigable con el medio ambiente.

Reduce la carga contaminante del proceso de vertido con una reducción de materia orgánica del 60 al 80%, dependiendo del tiempo de retención, y ofrece una serie de beneficios. Toda la energía ahora proviene de fuentes fósiles, lo que incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al calentamiento global y al cambio climático. Estas emisiones pueden mitigarse mediante el uso de combustibles fósiles y fuentes de energía renovables (Rivas et al., 2012). La energía de biomasa tiene un potencial de 2.635 a 3.771 (pJ) año⁻¹, donde el potencial del biogás es (35-305 PJ año⁻¹) en residuos domésticos y (148-190 PJ año⁻¹) en residuos ganaderos, pero el potencial de esta es energía subutilizada (Alemán et al., 2014). Una alternativa de energía limpia en la cría de animales es el biogás producido a partir de desechos orgánicos utilizando biorreactores, que ofrecen energía más barata, ingresos adicionales para los agricultores y oportunidades laborales, haciendo, energía descentralizada y protección del medio ambiente, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Rivas et al., 2011). El uso de fuentes de energía más limpias debe ser la clave para reducir la contaminación en 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 la siguiente interrogante ¿El diseño del biodigestor ayudará a la comunidad en la reducción de la contaminación ambiental?

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la comunidad el Calvario parroquia Veracruz, cantón Pastaza, esta se encuentra localizada en las coordenadas: 18M (172674.68 m E; 9833075.43 m S), y tiene una superficie de 181.3 km² (GADMP, 2020).

Tipos de Investigación

Documental

Se basa en una revisión bibliográfica para encontrar respuestas concretas de estudios generados con anterioridad Baena (2014), utilizándole como una fuente primaria de información con la ayuda de otros textos.

Descriptiva

Tamayo (2006) trata de comprender situaciones comunes a través de la descripción detallada de actividades, objetos, procesos y personas. La investigación consiste en describir las características básicas de conjuntos homogéneos de fenómenos utilizando criterios sistemáticos para definir el comportamiento de los fenómenos en estudio (Sabino, 2014). Por este motivo, el estudio permitió obtener datos sobre el número de cerdos necesarios para el diseño del biorreactor, así como para determinar el tamaño y peso necesarios.

Métodos de Investigación

Identificación del sector

En la comunidad El Calvario residen familias que se dedican a la crianza de cerdos, y al no contar con el manejo de desechos se plantea el uso de biodigestores en la zona.

Levantamiento de información

En la zona de estudio se identificó 11 familias que crían cerdos, a los que se aplicó una ficha de tenencia de esta especie porcina y en la que se detalla parámetros como la edad, número de especies y la proyección trimestral.

Análisis de la información

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

Selección y diseño del biodigestor

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

Se identificó 177.05 kg de excretas, a partir de este peso se calcula el volumen de producción para los cálculos del biodigestor.

Inductivo

Trata de observar, investigar y conocer las mismas o similares características, a partir de las cuales redactar la solicitud o ley en tal sentido. Como lo expresó Abreu (2014), es “un razonamiento de abajo hacia arriba que fluye de lo particular o individual a lo general, y la

suposición inductiva es la reflexión centrada en el objetivo”.

Analítico

Ruiz (2006) descubrió que el método analítico es un método investigativo que descompone un todo, descomponiéndolo en partes o elementos para observar causas, naturaleza y efectos.

Población de estudio

Tal como lo enfatizan Arias et al. (2016) es un conjunto definido, limitado y disponible de casos que formarán parte de una muestra seleccionada que deberá cumplir con los criterios existentes. Cuando se habla de población, es importante recordar que se refiere no solo a una persona sino también a cualquier cosa que se pueda contar, por ejemplo, animales, muestras biológicas, registros. El método de inclusión según Arias et al. (2016) son todas las características particulares que debe 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

En la comunidad El Calvario existen 11 productores de cerdos, los cuales habitan en la zona central de la comunidad con una distancia promedio de 500 metros entre viviendas lo que permite el acopio de las excretas, con base en este antecedente la Tabla 1 tiene resultados de la tenencia de ganado porcino en el sector en el año 2021. Y esta levantada por trimestres con una media poblacional de 117 especies que generan un promedio de excretas de 177.05 kg/día.

Tabla 1

Tenencia promedio de ganado porcino en el sector El Calvario

Media Trimestral					
Meses	Lechones	Madres	Reproductores	Engorde	Total
enero- marzo	65	6	4	40	114
abril- junio	66	8	4	39	117
julio- septiembre	67	9	5	37	118
octubre- diciembre	69	10	5	36	120
Media	67	8	5	38	117

Nota. La tabla presenta valores promedios (media) de todo el año, en cuatrimestres.

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 2
Producción de excretas según el tipo de cerdo

Etapa	Estiércol kg/día	Estiércol – orina kg/día	Volumen en l/día	Volumen m ³ /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

Nota. Tomado de Braun (2013).

Con los datos obtenidos de tenencia de ganado porcino se procede 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
Producción de excretas según el tipo de cerdo

Etapa	Estiércol kg/día ^a	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

Nota: Adaptación de ^aBraun (2013) para la estimación de excretas porcinas.

Con respecto a estos precursores, se ha propuesto desarrollar un biorreactor tubular tipo “salchicha”, cuyas propiedades simples y económicas permiten su uso generalizado en zonas rurales. Es un material flexible, de fácil manejo y que se puede adquirir en cualquier tienda de materiales de construcción (Báez y Benítez, 2015). El equipo suele colocarse directamente sobre el suelo, en lugares donde la temperatura es más baja por lo que la gente hace agujeros para aislar y reducir el tiempo de espera que puede ser muy largo. En condiciones normales, la producción de biogás debería comenzar 3 semanas después de la primera alimentación (Torre y Ruiz, 2008).

Cantidad de la mezcla

Es fundamental conocer el volumen acuoso presente en la mezcla que permitirá que la degradación se realice sin inconvenientes, tomando en cuenta la relación agua + sólidos según se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4
Relación estiércol agua según tipo animal

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

Nota. García (2016).

A base de la Tabla 4, se procede a utilizar una relación 1:2. Entonces se ocupará los datos de la tabla 6 que expresa la cantidad de estiércol, misma que será sustituida en la Ec (1), los datos que se obtuvieron para los 177.05 kg/día de estiércol se aumentan 354.1 kg/día de agua dando un resultado de 532.15 kg/día de la mezcla que se deben cargar en el biodigestor.

C_m : Cantidad de la mezcla

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

$$C_m = 177.05 \frac{kg}{día} + (2 * 177.05 \frac{kg}{día})$$

$$C_m = 532.15 \frac{kg}{día} \quad Mezcla\ de\ Carga\ Diaria$$

Tiempo de retención

Según Toala (2013) afirma que el tiempo de retención está relacionado con el periodo que tardan los microorganismos en degradar la materia orgánica y obtener un producto. Cáceres (2011) sugirió que las bacterias deben tener un periodo razonable de descomposición de la materia orgánica, si no se cumplen las variables de temperatura y humedad, la tasa de crecimiento y descomposición de las bacterias será subóptima, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5
Tabla de tiempo de retención

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

Nota. Parámetros ambientales establecidos por Herrero (2008).

A base de la información de la Tabla 5 se hizo una interpolación para poder determinar el tiempo de retención (t_r), tomando en cuenta que la comunidad del calvario tiene una temperatura promedio anual de 30 °C, por lo cual se reemplazará el número de días correspondiente a dicha temperatura en la ecuación 2.

$$y = -1.5x + 73.33 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$y = -1.5(30) + 73.33$$

$$y = 28.33 \text{ días} \cong 29 \text{ días}$$

Volumen líquido

Según Herrero (2008), “El volumen de líquido que provoca la biodegradación será el resultado de multiplicar la carga diaria de la mezcla por el tiempo de retención”. Los biorreactores tubulares estarán sujetos a una carga diaria de sustancias introducidas para su biodegradación por el tiempo considerado en función de la temperatura y ubicación del dispositivo.

Dónde:

VL: Volumen de la fracción líquido.

TR: Tiempo de retención en días.

Cd: Carga diaria en Kg/día

(Barzallo, 2018)

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

$$V_L = 531.15 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 29 \text{ días}$$

$$V_L = 15403.35 \text{ kg} = 15403.35 \text{ L}$$

$$V_L = 15.40 \text{ m}^3$$

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 (en ausencia de oxígeno), 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).

Donde:

V_g: Volumen que ocupa la fase gaseosa

0.25: Porcentaje que ocupa la parte gaseosa

0.75: Porcentaje que ocupa la parte líquida

V_L: 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:

V_T: Volumen total

V_L: volumen del liquido

V_g: 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

Tipo de estiércol	Producción de Gas/kg de Estiércol
Ganado Vacuno	22 – 40
Cerdos	40 – 60
Aves de corral	65,5 – 115
Humano	20 – 28

Nota. Tomada de Moreta (2013).

Para este estudio se tomará 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

$$P_b = 177.05 \frac{kg}{día} * \frac{50L}{1 kg/día} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$P_b = 8852.5 L$$

$$P_b = 8.85 m^3$$

Margen de seguridad

El margen de seguridad presenta fluctuaciones repentinas en la producción de biogás. Se debe tener en cuenta un rango del 5-10% como muestra la ecuación 7. Y este producto resultante está compuesto por diferentes niveles de nutrientes, los cuales están identificados en la Tabla 7 con sus respectivos porcentajes.

Pbseg: Producción de biogás con margen de seguridad
 Pb: Producción de biogás
 Margen de seguridad: 10% (0.1)

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

$$P_{bseg} = 8.85 m^3/día + 8.85 m^3/día * 0.1$$

$$P_{bseg} = 9.73 \frac{m^3}{día} \text{ Producción de biogas}$$

Tabla 7

Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal

Materia Prima	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
Excretas						
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		

Nota. Tomada del Manual de Biogás (2011).

En la Tabla 7 se presenta los diferentes niveles de nutrientes con sus respectivos porcentajes, hay que tomar en cuenta que el cálculo de la capacidad instalada del dispositivo se basa en un análisis de la cantidad diaria de estiércol generada a partir de las excretas porcinas que se producen en la zona. Brown (2013) identifica que existe una cantidad variable de estiércol, producidos según el tipo de cerdo (nacimiento, engorde, hembra, lactante o verraco). Se generan 177,05 kg/día de estiércol. En relación a esos datos se identifica la cantidad de agua requerida en el estiércol producido, García (2016) sugiere una relación 1:2 para cerdos, es decir, la cantidad de agua equivalente a cada 1 kg de estiércol, 2 kg. se utilizará agua, por lo que se cargarán 532,15 kg/día de la mezcla en el biorreactor. La carga debe mantenerse durante un periodo determinado, este tiempo de retención dependerá de la ubicación y la temperatura donde se encuentre el biorreactor.

La comunidad El Calvario está ubicada en una zona tropical de la región amazónica de Ecuador, para lo cual Herrero (2008) sugirió un período de retención de 30 días para que las bacterias degraden la materia orgánica. Este valor se sustituye en la ecuación (2), que genera como resultado un tiempo de retención del estiércol comunitario de 29 días. Tras obtener el valor del tiempo de retención se determinará el volumen del líquido biodegradable. Barzallo (2018) en su estudio utiliza una ecuación que al cambiar el valor nos da el volumen del líquido como 15.40 m³, similar a Herrero (2015). En la ecuación 4 se obtiene 5,13 m³ de gas. Barzallo (2018) expresa en la ecuación 5 que ayudará a determinar el volumen total del biorreactor, el resultado es 21 m³, para determinar la producción de biogás por día se tendrá en cuenta la Tabla de Moreta (2013), en cerdo El rango de la producción de biogás es de 40 a 60 kg, con la sustitución en la ecuación (6) dando un valor promedio de 50 kg, correspondiente a un rendimiento de 8,85 m³. Este valor debe corresponder al margen de seguridad, donde Liliana (2018) da con la ecuación (7) que será una capacidad diaria del biorreactor de 9,73 m³/día, tomando la química componente de este elemento del manual de biogás. (2011) encontraron: carbono (3,08 m³/día), N (0,17 m³/día), P₂O₅ (0,24 m³/día), K₂O (0,029 m³/día), CaO (0,0087 m³/día), MgO (0,0097 m³/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.

$$\text{Bioabono} = \text{Carga Diaria de excretas en } \frac{\text{kg}}{\text{día}} - (\text{Carga Diaria de excretas en } \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0.17) \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\begin{aligned} \text{bioabono} &= 177.05 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left(\frac{177.05 \text{kg}}{\text{día}} * 0.17 \right) \\ \text{bioabono} &= 146.95 \text{ kg/día} \end{aligned}$$

Producción de biol

Según Herrero (2019) el diseño del biodigestor tubular va relacionado a la gravedad, por lo cual si es cargado con estiércol más agua por la entrada se tendrá la misma cantidad de biol por la salida.

Diseño del biodigestor

De acuerdo a los datos obtenidos se determinó que el volumen es de 21m³, por lo cual se va a utilizar un rollo de 2.5 m de ancho que se encuentra disponible en el mercado como lo muestra la Tabla 8.

Tabla 8*Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares según circunferencias*

Circunferencia (m) ^a	Ancho de rollo (m) ^a	Radio (m) ^a	Diámetro (m) ^a	Longitud biodigestor tubular					
				mínima (m)	Volumen (m ³)	máxima (m)	Volumen (m ³)	óptima (m)	Volumen (m ³)
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

Nota. Tomado de Herrero (2019).

*Valores tomados de la tabla para el diseño de un biodigestor.

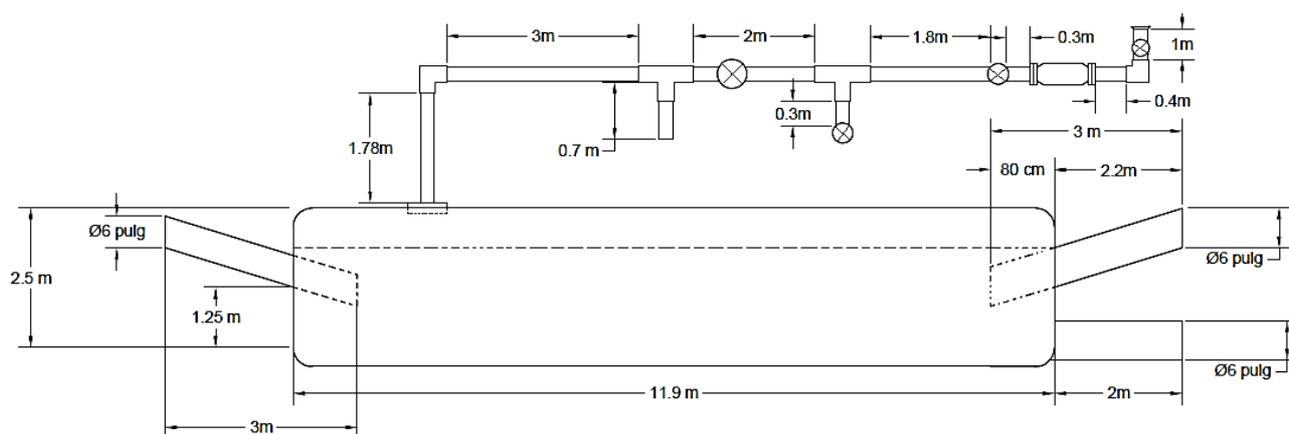
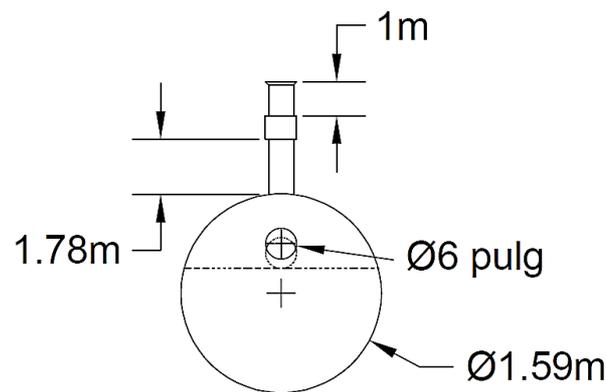
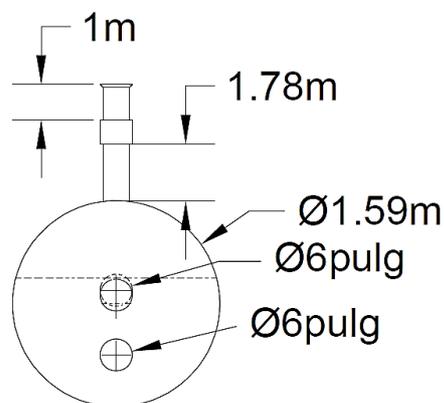
Figura 1*Vista Lateral del Biodigestor Tubular*

Figura 2*Vista Frontal del Biodigestor Tubular***Figura 3***Vista Posterior del Biodigestor Tubular***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 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.	Se soldará de forma tubular. La longitud de la manga= (longitud

Componente	Comentario	Cantidad
		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 (también llamado flange, pasamuros o brida).	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", en este caso ocuparemos la de 3/4".	1
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" o 3/4", en este caso se va a ocupar 3/4".	Mínimo 1
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

Componente	Comentario	Cantidad
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 identifica un promedio de 117 especies que generan 532.15 kg/día, ocupando un volumen de 21m³, el cual genera 9.73m³/día de biogás (405.42 l/h) con una composición de Carbono (3.08m³/día), N(0.17m³/día), P₂O₅(0.24m³/día), K₂O(0.029m³/día), CaO (0.0087m³/día) y MgO (0.0097m³/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 (consume por hora 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, como es la producción de biol y del bioabono. Ambas son alternativas orgánicas que permite aumentar el rendimiento productivo y mejorar la calidad de los productos mediante la reducción de plagas y enfermedades presente en los cultivos de la zona.

Referencias

- Abreu, J. (2014). El Método de la Investigación Research Method. In Daena: International Journal of Good Conscience (Vol. 9, Issue 3).
- Alemán, G. S., Casiano Flores, V. H., Cárdenas Chávez, D. L., Díaz Chávez, R., Scarlet,
- Arias, J., Villasís, M., & 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%20investigaci%C3%B3n>
- Atilano. (2012). Manejo de Excretas y Aguas.
- Báez, G., & Benítez, D. (2015). Diseño y construcción de un biodigestor tipo campana flotante con la utilización de desechos porcinos para la finca “El Recuerdo.” <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.
- Bautista, V. (2016). Evaluación de la generación de biogás a partir de excretas porcinas en la granja agroinporc y diseño de un biodigestor.
- 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.
- 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.
- 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>
- 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
- 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. <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). Estudios técnicos económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia.
- 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*.
- Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares. Guía de diseño y manual de instalación*.
- Herrero, M. (2015). Anaerobic digestion, tubular digester, biogas, low cost technology View project Energy and Buildings, heat transfer models View project. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1048.6242>
- Kaiser, F., Bas, F., & Gronauer, A. (2002). Producción de biogás a partir del guano animal: el caso de Alemania.
- Landín, G. (2007). Tratamiento de excretas de cerdos. 9–1.
- Manual de biogás. (2011).
- Meller, P. (2013). *Alternativas Naturales como estrategia de cuidado Ambiental* (Limusa).
- Moreta, M. (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. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/707/1/DISE%20C3%91O%20DE%20UN%20BIODIGESTOR%20DE%20ESTI%20C3%89RCOL%20PORCINO%20PARA%20UNA%20GRANJA%20AGR%20C3%8DCOLA%20UBICADA%20EN%20EL%20BARRIO%20LA%20MORITA,%20PARROQUIA%20DE%20TUMBA~1.pdf>
- Pinos, J., & García, J. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*.
- Rivas, L., Alicia, B., Avila, Z., Solis, S., Iram, J., Morales, G., Lerma, S., Morales, M., & Perspectivas De

- Obtención De Energía Renovable De La Biomasa Del, H. A. (2012). Perspectivas De Obtención De Energía Renovable De La Biomasa Del Estiércol Del Ganado Lechero En La Región Centro-Sur De 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
- 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. <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>
- Torre, N., & Ruiz Riva, U. (2008). Digestión anaerobia en comunidades rurales. 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.
- Valdivia, T. (2000). Uso de Biogás para la generación de energía eléctrica mediante un motor gasolinero estacionario modificado.
- 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