UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y BIOABONO EN LAS ZONAS RURALES DE PASTAZA.

AUTOR:

Angélica Maritza Cuichan Simbaña

DOCENTE - TUTOR:

Dra. Ana Lucia Chafla Moina

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Sin comentarios.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Sin comentarios.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	17/20	No lleva una sintaxis de la información.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Sin comentarios.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	No es claro el procesamiento de la información.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	21/25	Los resultados parcialmente responde a los objetivos.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8/10	No son expresan de manera precisa los principales resultados obtenidos.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	3/5	No incorpora el formato APA en la totalidad de citas, tablas y referencias.
VALORACIÓN TOTAL	87/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	87

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
JORGE LENIN LEON ARCOS

……

Jorge Lenin León Arcos MSc.
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

Dado en la ciudad de Puyo, a los 24 días del mes de febrero de 2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	El titulo muestra una idea general del trabajo desarrollado
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	2/5	No se muestra el objetivo ni las conclusiones
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Es adecuada, presenta los antecedentes de la temática a tratar, asi como la importancia del mismo
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Es adecuado
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Es clara y se encuentra referenciada

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Son adecuados
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Son adecuadas y muestran relación con resultados u objetivos
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Es adecuada
VALORACIÓN TOTAL	97/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	x
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	97

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

Ricardo Vinicio Abril Saltos
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 23 días del mes de Febrero de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Puyo, 01 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Cuichan Simbaña Angélica Maritza, con C.I. 1725859241, con el Tema: "Análisis de la viabilidad de implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y bioabono en las zonas rurales de Pastaza.", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-director del Trabajo de Integración Curricular, Dra. Ana Lucia Chafla, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 1 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ANA LUCIA CHAFLA

Dra. Ana Lucia Chafla
Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Articulo Cientifico Maritza Cuichan.pdf (D126787295)
Submitted	2022-02-01T17:48:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	amb2017029@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	achafla.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / ARTICULO 31-1-2022 (1).docx** 1
Document ARTICULO 31-1-2022 (1).docx (D126719735)
Submitted by: amb2017050@uea.edu.ec
Receiver: menriquez.uea@analysis.urkund.com

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / CUICHAN-ANGELICA-TRABAJO-PPP2-2021-2021.docx** 5
Document CUICHAN-ANGELICA-TRABAJO-PPP2-2021-2021.docx (D110456667)
Submitted by: amb2017029@uea.edu.ec
Receiver: atasambay.uea@analysis.urkund.com

SA **INFORME DE TESIS - Peña Chinchay Hinmer.pdf** 1
Document INFORME DE TESIS - Peña Chinchay Hinmer.pdf (D44592416)

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / P I+D EC-09-06-2018-RV-APM-07062018.docx** 1
Document P I+D EC-09-06-2018-RV-APM-07062018.docx (D40359062)
Submitted by: amperez@uea.edu.ec
Receiver: pmaerez.uea@analysis.urkund.com

Análisis de la viabilidad de implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y bioabono en las zonas rurales de Pastaza.

Cuichan Simbaña Angélica Maritza[1]
Amb2017029@uea.edu.ec

Chafla Moina Ana Lucia[1]
achafla@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito recopilar fuentes de información bibliográficas que permitieran realizar el análisis de la viabilidad de la implementación de un biodigestor para la obtención de biogás y bioabono en las zonas rurales de Pastaza, mediante el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el sector pecuario. Este estudio se realizó mediante una investigación no experimental, exploratorio documental, de fuentes de información primaria y secundaria, publicadas en español e inglés. Del análisis realizado se determinó que en Pastaza la producción pecuaria es significativa debido a que se cuenta con un aproximado de 22.017 cabezas de ganado bovino, 3374 cabezas de ganado porcino y 338079 aves y sus desechos generados no tiene una adecuada disposición final, siendo la ganadería bovina la que genera en promedio 56 kilos de estiércol lo que conlleva a la producción entre 37 a 170 ml de gas metano. La digestión anaeróbica de los residuos pecuarios en biodigestores son alternativas viables muy versátil para producir biogás que puede ser empleado como fuente de energía renovable de fácil implementación, en particular en sectores rurales. Otro beneficio es el bioabono rico en sustancias nutritivas

para los sembríos o pastizales en reemplazo de fertilizantes químicos. La funcionalidad del biodigestor depende principalmente de la carga diaria de estiércol siendo en promedio 25 kg/ día y 15 l/día de agua. De la información revisada en zonas similares a la provincia de Pastaza, los biodigestores más utilizados por su bajo costo y efectividad son los biodigestores tubulares de polietileno o geomembranas con una durabilidad de 10 a 15 años. La aplicación del presente estudio contribuye a la reducción del impacto ambiental causado por los GEI producido por las excretas bovinas.

***Palabras Clave**:* Gases de efecto invernadero, Producción ganadera, Biodigestores, Biogás, Bioabono.

Abstract

The objective of this research was to collect bibliographic sources which allowed the analysis of the viability of the implementation of a biodigester to obtain biogas and biofertilizer in Pastaza's areas. This research was carried whit exploratory documentary research of primary and secondary information sources, which were published in Spanish and English. The results of the analysis determined that in Pastaza livestock production is important because there are approximately 22,017 heads of cattle, 3,374 heads of pigs and 338,079 birds, and the manure generated does not have an appropriate final disposal. Being cattle ranching the one that generates an average of 56 kilos of manure, consequently it produces between 37 to 170 ml of methane gas. The anaerobic digestion of livestock production in biodigesters are viable and very versatile alternatives to produce biogas to be used as a source of renewable energy and easy to implement in rural areas. Another benefit is the biofertilizer whit nutrient-rich for crops or pastures to replace chemical fertilizers. The functioning of the biodigester depends mainly on the daily load of manure, like an average of 25 kg/day and 15 L/day of water. From the information reviewed, in areas similar to the province of Pastaza, the most used biodigesters are polyethylene tubular

biodigesters or geomembranes, these are low cost, effective and have a durability of 10 to 15 years. This research contributes to the reduction of the environmental impact caused by GHGs produced by bovine manure.

Keywords: Greenhouse gases, Livestock production, Biodigesters, Biogas, Bioabone.

1. Introducción

El crecimiento de las producciones ganaderas en la actualidad enfrenta una gran encrucijada, por un lado, la producción de alimentos aporta un 40 % del valor de la producción agrícola mundial y sostiene los medios de vida y la seguridad alimentaria de casi 1,300 millones de personas en el mundo (Barbier, 2004), los animales de granja aportan proteína de alto valor biológico que otras fuentes alternativas de alimentos. (Li et al., 2022). Y, por otra parte, a la producción ganadera se le atribuye la generación de GEI, ya que a nivel mundial la producción de carne y leche de bovino es responsable de la mayoría de las emisiones, pues contribuye con el 41 y el 29 %, respectivamente de las emisiones del sector (FAO, 2013).

En las producciones pecuaria se han generado grandes cantidades de desechos y residuos agrícolas lo que se traduce en un impacto negativo para el ambiente, debido a que; si no reciben un tratamiento adecuado, estos desechos serian regresados al ambiente contaminando los recursos (Anyaoku & Baroutian, 2018); El incremento de los desechos agrícolas se ha vuelto un tema crítico durante los últimos tiempos, debido a que, en las zonas rurales no se realiza una buena gestión de estos desechos, esto implica que el manejo del estiércol de estos animales es relevante para reducir el impacto ambiental (Li et al., 2022).

La presencia de estiércol en el ambiente puede afectar a la estructura y propiedades del suelo, lo que lleva a cambios en la diversidad y actividad microbiana, si no se le da un tratamiento previo al estiércol tendrá un alto potencial de provocar la contaminación de las

plantas y presentar riesgos para la salud humana y animal (Semenov et al., 2021); De hecho, en un estudio realizado por (Pinos et al., 2012) demostraron que el estiércol producido en las granjas ganaderas puede provocar impactos ambientales negativos debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son una preocupación ambiental creciente debido a que su alta concentración en la atmósfera terrestre contribuye al calentamiento global (Janzen et al., 2020). Por tal razón, el cambio climático hoy en día se ha convertido en una preocupación mundial debido a la repercusión en los sistemas humanos y naturales, los impactos del calentamiento global se observan en los fenómenos naturales como: pérdida de glaciares, extinción de especies y clima más extremo, entre otros (Dutta, 2020);

Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y gases fluorados, siendo el metano un gas con un efecto invernadero más potente, con una elevada capacidad de absorción de la energía infrarroja en términos absolutos que el CO_2 (Solomon et al., 2007), sin embargo, las actividades humanas como el transporte o la industria, la deforestación y sobre todo la expansión de las producciones ganaderas (Rehman et al., 2021) dejan como resultado una gran contaminación ambiental representa por la acumulación de CO_2 mayor que la del metano (Yunan et al., 2021).

Es por eso que se busca promover el aprovechamiento de los residuos sólidos de las actividades pecuarias gracias a que la biomasa animal es una buena materia prima para producir energía y biofertilizante como alternativas ecológicas en el manejo de pasturas y cultivos a fin de incrementar la cobertura arbórea de árboles leguminosos que puede disminuir los requerimientos de fertilizante nitrogenado (Vinodh & Jayakrishna, 2011). Favorece la reducción de la deforestación, emisión de olores y gases contaminantes a la atmósfera, disminuye el uso de los recursos naturales (Guares et al., 2021) y es posible reducir la demanda de energía en las zonas rurales; siendo la producción de este biocombustible relativamente menos contaminante (Rehman et al., 2021).

En la actualidad diversas tecnologías han avanzado para así satisfacer las

necesidades de cada ser humano y durante mucho tiempo se ha buscado alternativas que faciliten su trabajo; de tal manera que los estudios se enfocaron en la utilización del biodigestor para optimizar la reutilización de todo tipo de materia orgánica (Rodolfo et al., 2020); teniendo grandes beneficios como la reducción (GEI), la eliminación de residuos, la reducción de riesgos ambientales, generación de empleos locales (Gomes de Jesus et al., 2021) y la obtención de productos resultantes como el bioabono y biogás, que pueden contribuir para que los productores rurales sean autosostenibles.

En el Ecuador se puede encontrar varias formas de producción una de ella es el sector ganadero y agrícola, que contribuye a la economía y como fuente de alimento, se estima que en Ecuador se cuenta con una población aproximada de 4,5 millones de bovinos. En la amazonia ecuatoriana la población ganadera de mayor presencia es la ganadería bovina, con 77,4% seguida de la ganadería porcina, que representa el 11%, ganadería equina con un 10, 3 % y el 1,3 % de otros animales domésticos (Nieto & Caicedo, 2012). En las zonas rurales de Pastaza se ha identificado que la producción bovina es mayor a la producción de ganado porcino seguido por la producción de aves, la provincia de Pastaza ocupa el tercer lugar de la Región con 430 mil hectáreas de tierra con usos agropecuarios y afines (GAD Provincial de Pastaza, 2006)

Por lo anterior la presente investigación tuvo como objetivo recopilar fuentes bibliográficas que permitió realizar el análisis de la Viabilidad De La Implementación De Un Biodigestor Para La Obtención De Biogás Y Bioabono En Las Zonas Rurales De Pastaza a fin de contribuir a la reducción del impacto ambiental que generan las producciones pecuarias, así como también favorecer a los sectores productivos de la provincia con la aplicación de nuevas tecnologías.

2. Materiales y métodos

Tipo de investigación

La presente investigación se realizó bajo un enfoque cualitativo, de manera que se describe el objeto de estudio, el propósito, los actores sociales involucrados, los procedimientos desarrollados y los resultados obtenidos. Como parte inicial se abordó la

problemática mundial del impacto ambiental que generan los GEI a nivel mundial y sus repercusiones, se identificó las causas de producción de mayor impacto en la generación GEI instando sobre las producciones pecuarias, se definió la importancia de buscar alternativas de reducción de los GEI producidos en zonas rurales por la práctica pecuaria, puntualmente los procesos desarrollados con biodigestores; finalmente se recopiló la revisión bibliográfica, a partir de bases de datos como SciELO, Dialnet, Redalyc, entre otras, también la información fue obtenida de repositorios de universidades a fin de encontrar información relevante sobre la viabilidad de implementar biodigestores en las zonas rurales de la provincia de Pastaza.

Métodos de investigación

La recopilación de la información bibliográfica se orientó mediante el método inductivo, es decir que se llegó a conclusiones generales a partir de premisas particulares. De los resultados obtenidos en este estudio de viabilidad, se analizó si las condiciones del sector rural en la provincia de Pastaza son propicias para la implementación de biodigestores como alternativa de reducción del impacto ambiental que generan las producciones pecuarias.

Procedimiento metodológico

Se seleccionaron aquellos documentos que aportaron sobre los aspectos relevantes del tema en mención, artículos científicos, tesis doctorales, metodologías utilizadas por diferentes autores, etc. Se determinó la selección de la bibliografía encontrada en función a su calidad metodológica y el cumplimiento de los criterios de calidad científica buscada. Se recopiló información referente a:

- **Impacto de las producciones pecuarias en la generación de los GEI**

Se consideró el análisis en estudios referidos a estimaciones de GEI producidos por Fermentación entérica de los rumiantes, producción y disposición final de estiércol.

- **Características de los residuos orgánicos generados en las producciones pecuarias**

Para el análisis de este indicador se buscó información sobre la población nacional y la producción más representativa a nivel de la provincia de Pastaza, se consideró la

búsqueda en Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC) 2011, publicada por el INEC y los datos obtenidos de la Dirección de Planificación -GADPPZ- 2019. Para determinar la cantidad de kg de estiércol que se genera en las producciones pecuarias se empleó los datos propuestos por Martínez (2007) como se muestra en la tabla 1. Para la estimación de la producción se empleó como herramienta de cálculo Microsoft Excel ®; este valor nos proyecta a tener una idea del estiércol diario disponible para ser ingresado como materia prima al biodigestor

- **Factores determinantes para la implementación de biodigestores en zonas rurales**

Para el análisis del presente indicador se consideró describir a la provincia en función del número de cantones, parroquias rurales y urbanas, extensión territorial y número de productores. Se analizó varias experiencias adoptadas por países con similares características a la zona de estudio

- **Características de los productos obtenidos (Biogás y bioabono)**

El análisis de los productos obtenidos se basó en la composición química y volumen.

3. Resultados y discusión

Impacto de las producciones pecuarias en la generación de los GEI

En la tabla 1, se observa que las emisiones de los GEI corresponden al total de la fermentación entérica y las emisiones por la gestión del estiércol de las especies pecuarias. Es evidente que la producción pecuaria contribuye ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) a la atmósfera.

Tabla 1. Producción de GEI de las producciones pecuarias

AUTOR	PRODUCCIÓN PECUARIA	PRODUCCION DE GEI
(Moss & Givens, 2002)	Todas las especies domésticas principalmente el ganado bovino	15% de la producción de metano global
(FAO, 2006)	Ganado Bovino. Fermentación entérica de los rumiantes. Producción de estiércol.	9% de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono, 37% del metano antropogénico y 65% del

		óxido nitroso antropogénico
(Bekkering et al., 2010)	Digestión anaeróbica del estiércol	39% de dióxido de carbono, 60% metano, y trazas (0.2 %) de óxido nitroso
(Gerber et al., 2013)	Ganadería. Fermentación entérica Producción de estiércol y depósito directo.	27% de dióxido de carbono, 44% de metano y 29% de óxido nitroso
(Costantini et al., 2018)	Ganadería. Fermentación entérica. Producción de estiércol y depósito directo	39% de dióxido de carbono; 19 % de dióxido de carbono respectivamente

Elaborado por: El autor.

El aumento de las concentraciones de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la (Primavesi et al., 2004). De acuerdo con los reportes de la Global Mitigation of Non-CO2, dentro de la gama de gases a los que se les atribuye efecto invernadero, se considera el CO_2 el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global. Se calculados un total de 22,8 megatoneladas de CO_2 equivalente por parte de la ganadería. Este comportamiento puede ser efecto de las tecnologías y prácticas de atenuación del metano que presenta oportunidades únicas a bajo costo ampliamente disponibles y en uso alrededor del mundo para abordar la problemática de las emisiones de metano proveniente de las mayores fuentes antropogénicas (Global Mitigation of Non-CO2, 2020). Los datos obtenidos demuestran que la intensificación de la producción ganadera aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados y concentrados en un área pequeña. Una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas ganaderas es generar biogás, pero los costos de los equipos para capturar y utilizar este gas para generar electricidad son altos todavía (Pinos et al., 2012).

Si bien es cierto que la ganadería bovina es un agente de contaminación de alto impacto por la generación de los GEI, también se ha demostrado que los diversos sistemas pecuarios como la producción porcina y avícola puede provocar impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación del estiércol generado (Pinos et al., 2012).

Características de los residuos orgánicos generados en las producciones pecuarias

En el caso del ganado vacuno se estima que se produce un 6.8% de su peso vivo de estiércol por día y un cerdo elimina diariamente, en términos de su peso vivo, entre 0.6 y 1% en materia seca o 3.8 a 8.6% en materia fresca de estiércol (Tabla 2).

Tabla 2. Producción promedio de estiércol por tamaño del hato.

Bovino		Porcino	
Producción de excretas por día (Kg/día)		**Producción de excretas por día (Kg/día)**	
Grande	15	Grande	2
Mediano	10	Mediano	1.5
Pequeño	8	Pequeño	1
Ternero	4		

Fuente: (Martínez, 2007)

Respecto a la estimación de la producción de estiércol en el sector avícola, se consideraron los datos reportados por (García et al., 2006), de 150 g estiércol/ día y de 120 g estiércol/ día (Estrada, 2005).

Según Reporte del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2010 de Ecuador, las emisiones de óxido nitroso consideran los sistemas de manejo de estiércol del almacenamiento sólido y parcelas secas, de sistemas líquidos y otros sistemas de manejo de estiércol correspondientes a las excretas procedentes del pastoreo, otro gas presente en las emisiones pecuarias es el metano que es generado durante la descomposición anaeróbica del estiércol almacenado o tratado, así como también la generación de CO_2 que en el año 2010 las emisiones de GEI de esta categoría contabilizaron 381,80 Gg de CO_2 eq que contribuye con un 2,63% dentro del sector (SINGEI, 2010).

El tratamiento de los residuos orgánicos cada día reviste más importancia dada la dimensión del problema que representa, no solo por el aumento de los volúmenes producidos, sino que son considerados un problema para el productor, ya que no conocen alternativas para poder dar un uso apropiado (Massé et al., 2011).

Para el análisis de este indicador es fundamental contar con información sobre la población anual nacional del siguiente tipo de ganado: vacas (lecheras y no lecheras), cerdos, caballos y aves de corral siendo estos los sistemas de producción más representativos en la provincia de Pastaza. Los datos de población pecuaria fueron

obtenidos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC) 2011, publicada por el INEC y los datos obtenidos de la Dirección de Planificación -GADPPZ-2019.

Tabla 3. Datos de la producción pecuaria a nivel nacional y provincia

TIPO DE GANADO	Cabezas a nivel Nacional	Cabezas a nivel de la Provincia Pastaza	peso (kg)	Producción de estiércol diario (kg/día)	Producción de estiércol diario total (kg/día)
Ganado lechero	1.088.864,00	11386	550	44	500984
No lechero, Toros	339.529,00	4355	780	62,4	271752
No lechero, Vacas	937.852,00	6276	650	52	326352
Caballos	367.248,00	2834	300	21	59514
Cerdos	1.489.761,00	3374	180	7,2	24292,8
Aves	322.246.903	338079	2,8	0,084	28398,636
Estiércol diario producido en la provincia de Pastaza (kg/día)					**1211293,436**

Elaborado por: El autor.

En la tabla 3, se muestra un estimado de la producción de estiércol proveniente de las producciones pecuarias representativas de la provincia de Pastaza. Rodríguez (2010), manifiesta que una producción media diaria de deyecciones sólidas y líquidas equivale al 7% del peso vivo del animal, sin embargo, este dato puede variar debido a numerosos factores que inciden en una alteración del valor. La determinación de la carga orgánica (estiércol) es muy importante debido a que es un parámetro que se emplea para el cálculo del volumen del biodigestor. Sreekrishnan et al., (2004) reportaron que con una carga diaria de 16 Kg de estiércol obtuvieron como resultado una generación de 0.04 a 0.074 m^3 de biogás. Un bovino normalmente produce el 8% de su peso por lo cual una vaca de unos 700 kilos producirá 56 kilos estiércol y un kilo de estiércol vacuno puede producir entre 37 a 170 ml de gas metano, durante un periodo de 10 a 18 días (Pérez et al., 2017).

Factores determinantes para la implementación de biodigestores en zonas rurales

Un componente importante para determinar la calidad de vida y por ende un

aceptable nivel de desarrollo humano, es la pertenencia o no a los centros urbanizados, debido a que los recursos y las mejoras se concentran en estos centros en medidas considerablemente mayores que en las áreas rurales.

La Provincia de Pastaza está conformada por 4 cantones, que a su vez se subdividen en 17 parroquias rurales y 4 urbanas, el 44% de la población está en zona urbana y el 56 % corresponde a zona rural (INEC, 2010). Tiene una extensión territorial de 29.531 Km^2. Se caracteriza por estar ubicado entre los 200 y 700 msnm, registrando una temperatura media anual entre los 22 y 26 °C, una precipitación media anual de 2.000 a 4.000 mm. Las actividades económicas en la Provincia de Pastaza realizadas por la población económicamente activa (PEA) corresponde al sector de la Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con el 27.42%, existen 1.623 ganaderos y una población bovina de 36.281 animales (GADPPZ, 2019). Bajo esta premisa se analizó la viabilidad de la implementación de biodigestores en zonas rurales en diferentes países como se describe en la tabla 4.

Para la implementación de un biodigestor se debe tener en cuenta que como ingrese la mezcla homogénea de estiércol y agua se obtendrá la producción de biogás y biol (Garfí et al., 2011); durante los días de producción se debe cargar el biodigestor con una mezcla homogénea mezclada a una proporción 1:3 estiércol a agua y 1:4 de ganado bovino y porcino respectivamente, esto se denomina mezcla de carga diaria (Marti, 2011).

Sin embargo, para que un biodigestor funcione adecuadamente se estima que se debería disponer de una carga diaria de 25 kg/ día de estiércol y 15 l/día de agua (Marchisio, 2015) teniendo en cuenta los parámetros de implementación de biodigestores como la temperatura, el pH, relación Carbono-Nitrógeno, contenido de materia sólida, fósforo, azufre y Tiempo de Retención (días) (Tobón, 2018).

Uno de los biodigestores más utilizados en zonas rurales son los biodigestores tubulares que están construidos de plástico, este plástico suele ser polietileno de invernadero o geomembranas estos biodigestores pese a ser de bajo costo tiene una durabilidad de 10 a 15 años; los materiales de construcción favorece a los diferentes tipos de climas que se presentan en las zonas que pueden ser muy variables esto no dificulta su funcionamiento (Martí, 2019).

Tabla 4. Análisis de biodigestores implementados en zonas rurales.

Autor	País	Cantidad de carga orgánica	Tipo De Biodigestor	Parámetros del proceso	Productos Generados
(Ferrer et al., 2008)	Yanaoca (Cusco) y Ventanilla (Lima)- Perú	26 kg/día estiércol de vaca	Biodigestor tubular de polietileno de 5 m^3	Temperatura: 10 a 23º C Tiempo de Retención: 90 días Dilución estiércol/agua: 1:3	Biogás: 0.2 m^3 biogás al día Bioabono: no reporta
(Taramona et al., 2017)	Ancash- Perú	200 l/día estiércol bovino	biodigestores tubulares de geomembrana de PVC, de 8 y 12 m^3	Temperatura: 14-15º C Tiempo de Retención: 38 días Dilución estiércol/agua: 1:5	Biogás: 4.42 m^3 biogás al día Bioabono: 200 l/día
(Durazno, 2018)	Paute, Azuay- Ecuador	37.5 kg/día estiércol bovino	Biodigestor cilíndrico de producción por etapas de 233 l	Temperatura: 14-27º C Tiempo de Retención: 50 días Dilución estiércol/agua: 1:1	Biogás: 0.0488 m3 de biogás al día Bioabono: 151.4 l/día
(León et al., 2019)	Trujillo - Perú	38.179 kg/día estiércol bovino	Tubular de plástico con flujo continuo tipo Taiwán de 200 l	Temperatura: 20º C Tiempo de Retención: 21 días Dilución estiércol/agua: 1:3	Biogás: 1.527 m^3 biogás al día Bioabono: 72.08 l/día
(Peñafiel et al., 2021)	Puyo- Ecuador	51.4 l/día estiércol bovino	Digestor tubular 100 l	Temperatura: 20-45º C Tiempo de Retención: 154 días Dilución estiércol/agua: 1:3	Biogás: 0.044 m^3 biogás al día Bioabono: no reporta

Elaborado por: El autor.

Características de los productos obtenidos (Biogás y bioabono)

Biogás

El biogás es una fuente de energía alternativa limpia y un combustible renovable que se puede almacenar en un depósito para su futuro uso. Este se produce mediante la formación de un ambiente ideal para la supervivencia de una comunidad microbiana metanogénica para generar biogás, como subproducto de la respiración (Mahmudul et al., 2021).

El biogás se compone de CH_4 (50% -75%) y CO_2 (25% -50%), cantidades menores de otros gases y vapor de agua; el biogás es el producto que se obtiene a través de un proceso anaeróbico, es decir en ausencia de oxígeno con la ayuda de microorganismos que permiten que esta se descomponga en una mezcla de gases denominado biogás. Esta capacidad ya se ha utilizado durante siglos en sistemas de biorreactores para la producción de energía (Plugge, 2017).

Tabla 5. Composición química del biogás.

Compuestos	Simbología	Volumen %
Metano	CH_4	55 - 70
Dióxido de carbono	CO_2	35 - 40
Nitrógeno	N_2	0.5 - 5
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	0.1
Hidrógeno	H_2	1.0 - 3
Oxígeno	O_2	0.1

Adaptado de: (Collaguhaso & Perez, 2014)

Bioabono

El bioabono es un subproducto de la producción de biogás a partir de estiércol de ganado más conocido biofertilizante, su contenido de macronutrientes varía según la genética animal, la dieta y su crianza (Cornejo & Wilkie, 2010); este se puede aplicar directamente al suelo en forma líquida o sólida y sus nutrientes se pueden recuperar para reemplazar los fertilizantes químicos (Andriamanohiarisoamanana et al., 2018).

El fertilizante producido por un biodigestor que ha sido alimentado con estiércol de vaca o cerdo como materia prima contiene N, P, K y materia orgánica esto varía según

varios factores que presente (Al Seadi et al., 2013).

Tabla 6. Composición química del biofertilizante

Compuestos	Simbología	Volumen %
Nitrógeno	N	2 - 3
Fósforo	P	1 - 2
Potasio	K	1.0
Materia orgánica	-	85

Adaptado de: (Potschka, 2012).

Análisis de la aplicabilidad de la implementación de biodigestores en las zonas rurales de la provincia de Pastaza

En Pastaza se pudo determinar que la producción agropecuaria es significativa debido a que se cuenta con un aproximado de 22.017 cabezas de ganado bovino, 3374 cabezas de ganado porcino y 338079 aves; y sus desechos generados no tiene una adecuada disposición final, esto produce que al descomponerse se encuentra en contacto con el ambiente generando GEI, daños al suelo y alas fuentes hídricas cercanas

Una vez analizado la cantidad de producción pecuaria y las condiciones climáticas se ha podido determinar que la implementación de un biodigestor tubular de bajo costo es una alternativa viable debido a que su producción pecuaria es alta por ende el estiércol diario producido es más que suficiente para que funcione el biodigestor

El análisis del rendimiento de los digestores se basó en una revisión exhaustiva de la literatura de estudios de casos relacionados con la implementación de digestores en zonas rurales.

4. Conclusión

Una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas ganaderas es generar biogás, pero los costos de los equipos para capturar y utilizar este gas para generar combustible siguen siendo altos, sin embargo, pensar en la implementación de biodigestores en zonas rurales ofrecen múltiples beneficios ambientales a largo plazo.

Del análisis realizado se determinó que en Pastaza la producción pecuaria es significativa debido a que se cuenta con un aproximado de 22.017 cabezas de ganado bovino, 3374 cabezas de ganado porcino y 338079 aves y sus desechos generados no tiene

una adecuada disposición final, siendo la ganadería bovina la que genera en promedio 56 kilos de estiércol lo que conlleva a la producción entre 37 a 170 ml de gas metano.

La digestión anaeróbica de los residuos pecuarios en biodigestores son alternativas viables muy versátil para producir biogás que puede ser empleado como fuente de energía renovable de fácil implementación, en particular en sectores rurales. Otro beneficio es el bioabono rico en sustancias nutritivas para los sembríos o pastizales en reemplazo de fertilizantes químicos.

La funcionalidad del biodigestor depende principalmente de la carga diaria de estiércol siendo en promedio 25 kg/ día y 15 L/día de agua. De la información revisada en zonas similares a la provincia de Pastaza, los biodigestores más utilizados por su bajo costo y efectividad son los biodigestores tubulares de polietileno o geomembranas con una durabilidad de 10 a 15 años.

Referencias

Acuña, J. (2015). Diseño e implementacion de un biodigesror para el tratamiento de excretas de ganado bovino 2015. *Tesis de Grado, Ingenieria Agronomica*, *151*, 10–17. https://doi.org/10.1145/3132847.3132886

Al Seadi, T., Drosg, B., Fuchs, W., Rutz, D., & Janssen, R. (2013). Biogas digestate quality and utilization. In *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.267

Andriamanohiarisoamanana, F. J., Saikawa, A., Kan, T., Qi, G., Pan, Z., Yamashiro, T., Iwasaki, M., Ihara, I., Nishida, T., & Umetsu, K. (2018). Semi-continuous anaerobic co-digestion of dairy manure, meat and bone meal and crude glycerol: Process performance and digestate valorization. *Renewable Energy*, *128*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.056

Anyaoku, C., & Baroutian, S. (2018). Decentralized anaerobic digestion systems for increased utilization of biogas from municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*(March 2017), 982–991. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.009

Arellano, L., Cruz, M., & Huerta, C. (2014). El estiércol, material de desecho, de aprovecho y algo mas. In *Hojas divulgadoras* (Vols. 12-48H).

Barbier, E. B. (2004). Agricultural expansion, resource booms and growth in Latin America: Implications for long-run economic development. *World Development*, *32*(1), 137–157. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.07.005

Bekkering, J., Broekhuis, A. A., & van Gemert, W. J. T. (2010). Optimisation of a green

gas supply chain - A review. *Bioresource Technology*, *101*(2), 450–456. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.106

CCYE RENOVABLES. (2019). Curso operación y mantenimiento de sistemas de biodigestión de pequeña y mediana escala. *Operacion y Mantenimiento de Biodigestores*, 21.

Chen, J., Li, J., Ye, B., Zhang, X., Tyagi, R. D., & Gao, X. (2021). Energy balance assessment on chicken manure for biogas production in Rabat-Salé-Zemmour-Zaïr of Morocco. *Journal of Environmental Management*, *299*(December 2020). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113656

Collaguhaso, E., & Perez, A. (2014). Caracterización preliminar del funcionamiento de un biodigestor tubular alimentado con estiércol porcino. In *Ingenieria Ambiental*. Universidad Estatal Amazónica.

Córdova, V., & Tarco, R. (2011). Diseño de un biodigestor para el tratamiento de los residuos albañales generados en la residencia de la universidad de pinar del río como una alternativa energética para el cocid de alimentos. In *Ingenieria en Electromecánica*. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Cornejo, C., & Wilkie, A. C. (2010). Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, *14*(4), 256–266. https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.09.008

Costantini, A., Perez, G., Cosentino, V., & Miguel, A. (2018). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Producción ganadera. *Ciencia e Investigacion Tomo 68 Nº 5 - 2018*, *Figura 1*.

Durazno, A. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. *Universidad Politecnica Salesiana*, 3–86.

Dutta, R. (2020). Use of Clean, Renewable and Alternative Energies in Mitigation of Greenhouse Gases. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (pp. 821–834). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11048-3

ESPAC. (2011). Reporte estadístico del Sector Agropecuario. *Resultados ESPAC 2010 Instituto Nacional de Estadisticas y Censos*.

Estrada, M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza Handling and processing of hen waste as manure. *Lasallista de Investigación*, *2*, 43–48.

FAO. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación*, 2006–2008.

FAO. (2013). Tackling climate livestock change through a global assessment of emissions and mitigation opportunities. In *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* (Vol. 14, Issue 2).

FAO. (2019). Colección documentos técnicos guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. In *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* (Colección, p. 37). Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp.

Ferrer, L., Ferrer, I., Sánchez, E., & Garfí, M. (2018). A multi-criteria decision support tool for the assessment of household biogas digester programmes in rural areas. A case study in Peru. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 95, pp. 74–83). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.064

Ferrer, Poggio, D., Mas, A., Batet, E., & Velo, E. (2008). *Implementación de biodigestor familiares en el Perú. experiencias de Yanaoca (Cusco) y Ventanilla (Lima)*. 1–6.

GAD Provincial de Pastaza. (2006). *Dirección de desarrollo sustentable gobierno autónomo descentralizado provincial de pastaza*. 21–26.

GADPPZ. (2019). *Información de la Provincia de Pastaza – Gobierno Provincial de Pastaza*. https://pastaza.gob.ec/pastaza/informacion/informacion-de-la-provincia-de-pastaza/

García, Y., Lon-Wo, E., & Ortiz, A. (2006). Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Su aprovechamiento en la producción agrícola y animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *40*(2), 133–143.

Garfí, M., Castro, L., Montero, N., Escalante, H., & Ferrer, I. (2019). Evaluating environmental benefits of low-cost biogas digesters in small-scale farms in Colombia: A life cycle assessment. *Bioresource Technology*, *274*, 541–548. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.007

Garfí, M., Gelman, P., Comas, J., Carrasco, W., & Ferrer, I. (2011). Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. *Waste Management*, *31*(12), 2584–2589. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.08.007

Garfí, M., Martí, J., Garwood, A., & Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 599–614. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería – Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación*.

Global Mitigation of Non-CO2. (2020). Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases: 2010-2030. *Electrochemical Engineering*, *September*, 290–369.

Gomes de Jesus, R., Souza, J., Puglieri, F., Piekarski, C., & Francisco, A. (2021). Biodigester location problems, its economic–environmental–social aspects and techniques: Areas yet to be explored. In *Energy Reports* (Vol. 7, pp. 3998–4008). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.090

Guares, S. A., Lima, J. D. de, & Oliveira, G. A. (2021). Techno-economic model to appraise the use of cattle manure in biodigesters in the generation of electrical energy and biofertilizer. *Biomass and Bioenergy*, *150*(November 2020). https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106107

INEC. (2010). *Censo poblacional y de vivienda provincial de Pastaza 2010* (pp. 1–31).

Janzen, R., Davis, M., & Kumar, A. (2020). Greenhouse gas emission abatement potential and associated costs of integrating renewable and low carbon energy technologies into the Canadian oil sands. *Journal of Cleaner Production*, *272*, 122820.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122820

León, C., Nomberto, C., Mendoza, G., Bardales, C., Cabos, J., & Barrena, M. (2019). Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. *Arnaldoa*, *26*(3), 1017–1032. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26311

Li, Y., Wang, M., Chen, X., Cui, S., Hofstra, N., Kroeze, C., Ma, L., Xu, W., Zhang, Q., Zhang, F., & Strokal, M. (2022). Multi-pollutant assessment of river pollution from livestock production worldwide. *Water Research*, *209*, 117906. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117906

López, C., Martínez, F., & Paredes, O. (2016). Automatización de un Proceso de Biodigestión Anaeróbica. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, *10*, 01–16.

Mahmudul, H. M., Rasul, M. G., Akbar, D., Narayanan, R., & Mofijur, M. (2021). A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system. *Science of the Total Environment*, *753*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141920

Marchisio, V. (2015). *Manual de Uso del Biodigestor*. 1–42.

Marti, J. (2011). Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos Bibliografía Recomendada y Comentada. *Livestock Research for Rural Development*, 1–5.

Martí, J. (2019). *Biodigestores tubulares: guía de diseño y manual de instalación*. Redbiolac. Ecuador. ISBN: 978-9942-36-276-6.

Martínez, C. (2007). *Volumen de biodigestores. Energía y tú, (número 39)* (Energía y). Cubasolar.

Massé, D. I., Talbot, G., & Gilbert, Y. (2011). On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Animal Feed Science and Technology*, *166–167*, 436–445. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.075

Moss, A. R., & Givens, D. I. (2002). The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, *97*(3–4), 127–143. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00022-6

Nieto, C., & Caicedo, C. (2012). Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, INIAP – EECA. *Iniap*, *24–50*, 102.

Ortiz, Y. (2017). *Ciclo de Vida de una Central de Biogás*. Escola Superior de Tecnologia e Gestao IPL.

Peñafiel, P., Collahuaso, E., & Diéguez, K. (2021). Caracterización del Funcionamiento de un Biodigestor Tubular Alimentado con Estiércol Porcino en la Amazonia Ecuatorina. *Departamento Ciencias de La Vida*, 1–24.

Pérez, S., Bautista, M., Hernández, A., & Enriquez, J. (2017). Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la Zona Altamira, Tamaulipas. *Revista de Sistemas Experimentales*, *4*(10), 34–40.

Pérez, & Viniegra, G. (2017). Potencial Del Uso Del Estiércol En La Alimentación De Los Bovinos. *Universidad Nacional Autónoma de México*, *3*(1), 10.

Pinos, J., Garcíaz, J., Peña, L., Rendón, J., González, C., & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa. *Agrociencia*, *46*(4), 359–370.

Plugge, C. M. (2017). Biogas. *Microbial Biotechnology*, *10*(5), 1128–1130. https://doi.org/10.1111/1751-7915.12854

Potschka, J. (2012). Energía limpia y fertilizante. *Proyecto Lechero*, *20*(244), 3–5.

Primavesi, O., Frighetto, R. T. S., Pedreira, M. dos S., Lima, M. A. de, Berchielli, T. T., & Barbosa, P. F. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *39*(3), 277–283. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004000300011

Qi, Q., Sun, C., Cristhian, C., Zhang, T., Zhang, J., Tian, H., He, Y., & Tong, Y. W. (2021). Enhancement of methanogenic performance by gasification biochar on anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, *330*(January), 124993. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124993

Qian, M., Li, R., Li, J., Wedwitschka, H., Nelles, M., Stinner, W., & Zhou, H. (2016). Accepted Manuscript Industrial scale garage-type dry fermentation of municipal solid waste to biogas INDUSTRIAL SCALE GARAGE-TYPE DRY FERMENTATION OF MSW TO BIOGAS 1. *Bioresource Technology*. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.076

Rehman, A., Ulucak, R., Murshed, M., Ma, H., & Işık, C. (2021). Carbonization and atmospheric pollution in China: The asymmetric impacts of forests, livestock production, and economic progress on CO2 emissions. *Journal of Environmental Management*, *294*(June). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113059

Rodolfo, Silva, M., Sanches, Alessandro, Ortiz, Willington, Gómez, Fernanda, & Coelho. (2020). The state-of-the-art of organic waste to energy in Latin America and the Caribbean: Challenges and opportunities. *Renewable Energy*, *156*, 509–525. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.056

Rodríguez, J. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización*. 599.

Semenov, M. V., Krasnov, G. S., Semenov, V. M., Ksenofontova, N., Zinyakova, N. B., & van Bruggen, A. H. C. (2021). Does fresh farmyard manure introduce surviving microbes into soil or activate soil-borne microbiota? *Journal of Environmental Management*, *294*(April), 113018. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113018

SINGEI. (2010). El Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero. *Ministerio Del Ambiente de Ecuador*, 132.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., & Tignor, M. & Miller, H. L. (2007). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.*

Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - A review. *Bioresource Technology*, *95*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.010

Tao, L., Junting, P., Lintao, F., Zili, M., Cuixue, K., & Hailong, H. (2017). *Reducing biogas emissions from village-scale plant with optimal floating-drum biogas storage tank and operation parameters A R T I C L E I N F O*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.036

Taramona, L., Barrena, M., Gamarra, O., Choy, M., & Rodríguez, Y. (2017). Rendimiento de biogás y sus beneficios socio económico en el desarrollo rural sostenible de las comunidades altoandinas.Ancash - Perú. *Revista de Investigaciones de La Universidad Le Cordon Bleu*, *4*(2), 49–57. https://doi.org/10.36955/riulcb.2017v4n2.003

Tenorio, E. (2018). Producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos urbanos en Lima Metropolitana. In *Medicina*. Universidad Mayor San Marcos.

Toala, E. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica. In *Escuela superior politécnica de Chimborazo*.

Tobón, A. (2018). *Análisis de los posibles factores que dificultan la implementación de biodigestores tipo tubular y cúpula flotante en las zonas rurales y urbanas de la región norte de Colombia*.

Vinodh, S., & Jayakrishna, K. (2011). Environmental impact minimisation in an automotive component using alternative materials and manufacturing processes. *Materials and Design*, *32*(10), 5082–5090. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.025

Yunan, X., Weixin, L., Yujie, Y., & Hui, W. (2021). Evolutionary game for the stakeholders in livestock pollution control based on circular economy. *Journal of Cleaner Production*, *282*, 125403. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125403

Anexos

Guía Elaboración del Marco Teórico

Problemáticas ambientales generadas por la producción agropecuaria

El estiércol generado por el ganado puede causar diversos impactos ambientales en el agua, suelo y especialmente en el aire donde se liberan a la atmosfera Gases de Efecto Invernadero (GEI) producto de la descomposición del estiércol, entre los que se destacan el amoniaco (NH3), el metano (CH4) y el óxido nitroso (N2O) (Pinos et al., 2012).

El suelo es afectado por el estiércol si contiene altas concentraciones de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, microorganismos patógenos como Escherichia, coli, plaguicidas, y herbicidas (Chen et al., 2021). Por otro lado, el agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimiento, infiltraciones y percolación profunda de las granjas, e indirectamente por escorrentía y flujos superficiales desde la zona de pastoreo. El nitrógeno es abundante en el estiércol y las aguas subterráneas pueden verse contaminadas por la lixiviación de los nitratos a través del suelo, mientras el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Garfí et al., 2011).

Residuos ganaderos

El estiércol generado producto de la digestión del ganado está constituido por agua, carbohidratos, proteínas, grasas y algunas sustancias inorgánicas o minerales, además de fragmentos celulares y microorganismos (Arellano et al., 2014). Un bovino joven absorbe durante el proceso digestivo mayor cantidad de nitrógeno y de fósforo con respecto a un bovino viejo.

Los bovinos viejos generan estiércoles más ricos en elementos fertilizantes (Toala, 2013). Los nutrientes principales que contiene el estiércol son: materia orgánica (M O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Cobre (Cu), entre otros (Acuña, 2015). La producción de estiércol por cabeza de ganado al día depende de diferentes factores tales como la edad del animal, la raza, el peso, así como de la cantidad y la composición del alimento

proporcionado (FAO, 2019).

La producción del estiércol del ganado bovino depende del tamaño y el tipo de alimentación y/o calidad del forraje que se le suministre al ganado, por ejemplo, un bovino grande mayor de 3 años consume más forraje y defeca aproximadamente de 10 a 15 veces en el día (Pérez & Viniegra, 2017). Produciendo en promedio 15 kg/día de estiércol (Córdova & Tarco, 2011), a 30 kg/día de estiércol (Pérez & Viniegra, 2017). En el caso del ganado mediano con edad de 2 a 3 años generan de 10 kg/día de estiércol a 12 kg/día de estiércol (Córdova & Tarco, 2011).

Procesos de biodigestión

El proceso de la biodigestión se presenta mediante una digestión anaeróbica donde la materia orgánica se hidroliza a moléculas más simples (Garfí et al., 2011), cuando la materia orgánica es degradada por la presencia de la actividad de microorganismos, produce un gas, el cual está conformado por metano, dióxido de carbono y otras trazas; esta parte gaseosa es denominada biogás y también se produce un subproducto en estado sólido que se denomina biofertilizante (López et al., 2016).

Dentro de este proceso se puede presenciar cuatro etapas metabólicas importantes, como: la hidrólisis, la Fermentativa, la Acetogénica, la Metanogénica (Qi et al., 2021); estas etapas se realizan en ausencia de oxígeno, en la primera etapa, las moléculas complejas se hidrolizan a compuestos solubles gracias a bacterias hidrolíticas utilizando enzimas extracelulares, En la segunda fase, estos compuestos se transforman en ácidos grasos volátiles de cadena corta y durante la última etapa, las bacterias metanogénicas convierten el ácido acético en metano y dióxido de carbono obteniendo así el biogás (Garfí et al., 2016).

Biodigestor

El biodigestor es una estructura herméticamente en la cual se ingresa todo tipo de materia orgánica esta se fermentan mediante una digestión anaerobia y se obtiene un gas llamado Biogás, que además es un fertilizante durante su proceso de producción (Ortiz, 2017).

Tipos de biodigestores

La selección del biodigestor adecuado es importante en la construcción de una planta de energía de biogás. Los biodigestores pueden ser de tipo fijos o flotantes; el diseño y la disponibilidad de materiales pueden afectar a los diferentes tipos de digestores de biogás en todo el mundo (Mahmudul et al., 2021).

Tambor flotante

También conocida como Planta de Gas Natural Gober, consta de un digestor subterráneo y un tanque de almacenamiento de gas móvil. El gas se almacena en el tanque de gas. El tanque de gas puede moverse hacia arriba y hacia abajo según la cantidad de gas almacenado. Este tipo de digestor tiene un barril de acero en la parte superior (Tenorio, 2018). Al aislar el proceso de producción de la acumulación de gas y mantener constante la presión del gas, el costo del digestor de pontones es muy alto y se requieren trabajos de mantenimiento, lo que hace que un solo dispositivo sea una opción viable para el funcionamiento continuo (Mahmudul et al., 2021).

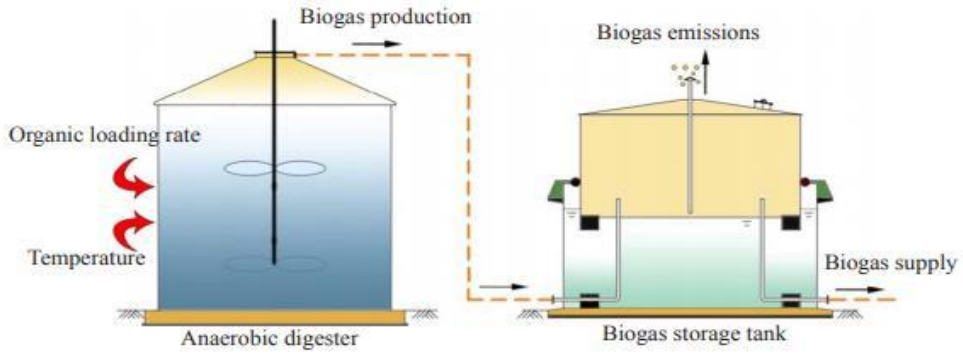


Figura 1. *Biodigestor de tipo tambor flotante.*

Fuente: Realizado por (Tao et al., 2017)**.**

Biodigestor estilo garaje

En comparación con los tipos de digestores anteriores, este opera en modos de digestión por lotes y en seco donde todos los residuos orgánicos se encuentran en un garaje de digestor de biogás básico, el flujo de agua se carga en lotes con puertas impermeables; durante este proceso, el material no debe moverse ni girar si la puerta no está cerrada (Mahmudul et al., 2021); son cámaras cerradas, de hormigón, y pueden ser rellenadas y

vaciarse con cargadores de ruedas, para equilibrar la producción de biogás y tener un flujo continuo, debe existir más de un biodigestor en producción, la temperatura dentro de los digestores aislados se puede regular desde el exterior de los biodigestores (CCYE RENOVABLES, 2019).

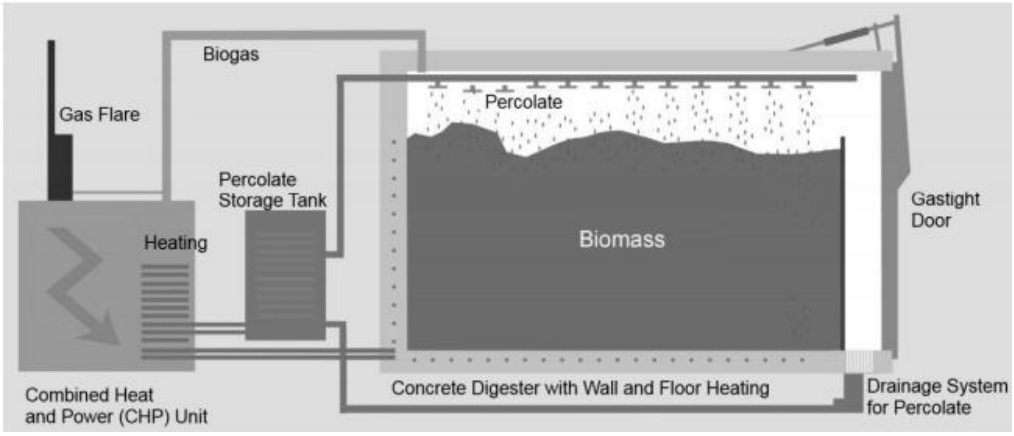


Figura 2. *Biodigestor de tipo garaje.*

Fuente: Realizado por (Qian et al., 2016).

Biodigestor tubular

Los biodigestores tubulares o también llamados "taiwaneses" son aquellos que tienen forma tubular; esta forma tubular venía fijada por el uso de plástico de invernadero y su forma de manga (Martí, 2019); estos biodigestores son fabricados con diferentes tipos de membranas. Las más conocidas son las de policloruro de vinilo (PVC), etileno, propileno o polietileno de alta densidad (PDA) (FAO, 2019).



Figura 3. *Biodigestor tubular*.

Fuente: Realizado por (Martí, 2019).

Biogás

El biogás es una fuente de energía alternativa limpia y un combustible renovable que se puede almacenar en un depósito para su futuro uso. Este se produce mediante la formación de un ambiente ideal para la supervivencia de una comunidad microbiana metanogénica para generar biogás, como subproducto de la respiración (Mahmudul et al., 2021).

El biogás se compone de CH_4 (50% -75%) y CO_2 (25% -50%), cantidades menores de otros gases y vapor de agua; el biogás es el producto que se obtiene a través de un proceso anaeróbico, es decir en ausencia de oxígeno con la ayuda de microorganismos que permiten que esta se descomponga en una mezcla de gases denominado biogás. Esta capacidad ya se ha utilizado durante siglos en sistemas de biorreactores para la producción de energía (Plugge, 2017).

Uso de biogás en Latinoamérica

Los primeros usos de biogás en América Latina inician a fines de la década de 1970 e inicios de la de 1980, cuando la Comisión Latinoamericana de Energía (OLADE), promovió el uso del biogás; A finales de la década de 1980, el digestor tubular de plástico se adaptó del modelo de PVC, desarrollado en Taiwán, el primer país latino en introducirlo y usarlo fue en Colombia, este modelo se cree que es más fácil y menos costoso de implementar esto permitió que se obtenga biogás mediante el uso de los biodigestores tubulares en las zonas rurales de los países latinoamericanos, especialmente Colombia, Costa Rica, Nicaragua, Ecuador, Honduras y México (Garfí et al., 2016).

De manera que, la obtención de biogás son consideradas buenas prácticas para reducir los impactos ambientales y mejorando la calidad de vida de los hogares ubicados en zonas rurales (Garfí et al., 2019); en Latinoamérica, el uso del biogás obtenido de un biodigestor puede mitigar en parte la pobreza, mejorando las condiciones de salud, aumentando la productividad de las tierras agrícolas; también reduciendo la presión sobre el ambiente (Ferrer et al., 2018).