	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 21 de 78


Biodigestores como alternativa de producción de energía renovable en el trópico alto colombiano

Edison Armando Castro Caicedo

Universidad de Cundinamarca
 Facultad de Ciencias Agropecuarias
 Zootecnia
 Ubaté
 2023

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 22 de 78

**Biodigestores como alternativa de producción de energía renovable en el trópico
alto colombiano**

Edison Armando Castro Caicedo

Monografía como opción de grado para obtener el título de zootecnista

Director

Marbel Yulieth Monroy González MVZ MSc

Universidad de Cundinamarca

Zootecnia

Ubaté

2023

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*




	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 23 de 78

Tabla de contenido

Resumen	14
Palabras clave	27
Abstract	15
Keywords:	28
Introducción	28
Objetivos	30
Objetivo general.....	30
Objetivos específicos	30
Marco teórico	30
Biodigestor.....	36
Digestión anaerobia	36
Funcionamiento de los biodigestores.....	40
Condiciones necesarias para el funcionamiento del biodigestor	40
Contenido de agua de la mezcla:	41
Terminología de los biodigestores.....	41
Componentes de los digestores.....	42

 UDEC UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 24 de 78

Descripción del proceso.....	43
Tipos de biodigestores	43
Materias primas.....	44
Productos de un biodigestor.....	45
Ventajas de un biodigestor.....	51
Diseño metodológico.....	52
Resultados y análisis	52
Materias primas.....	52
Construcción del biodigestor en trópico alto	56
Control de la temperatura	58
Control del pH	59
Beneficios obtenidos por parte del biodigestor en clima frio	61
Conclusiones	66
Recomendaciones	67
Bibliografía.....	68


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 25 de 78

Lista de tablas

Tabla 1: Residuos pecuarios producidos en cada uno de los departamentos de Colombia	35
Tabla 2: Residuos aptos para la biodigestión	44
Tabla 3: Composición química del biogás	46
Tabla 4: Comparación química entre el compost y el bioabono	47
Tabla 5: Caracterización microbiana entre el compost y el bioabono	48
Tabla 6: Análisis de macronutrientes del biól de diferentes insumos	50
Tabla 7: Componentes que conforman el biogás obtenido a partir de la digestión de estiércol porcino.	54
Tabla 8: Valores y características del estiércol de algunos animales	55
Tabla 9: Contenido porcentual de elementos nutritivos en efluente(base seca)	56

Lista de figuras

Figura 1: Emisiones globales de GEI (Gases efecto invernadero) de ganadería por producto.....	33
Figura 2: Etapas de la biodigestión anaerobia	39
Figura 3 Relación entre el biogás producido y la cantidad de AGV (Ácidos grasos volátiles).....	61


 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 26 de 78

Resumen

En el trópico alto colombiano se presentan sistemas de producción animal de diferentes especies y con diferentes fines, pero uno de los problemas más representativos es el manejo de los residuos orgánicos que se producen durante estos procesos, convirtiéndose en un foco de contaminación ambiental y de reservorio de posibles patógenos que pueden afectar la salud animal y humana.

Una de las alternativas para disminuir la acumulación de estos residuos es la implementación de biodigestores, por esta razón se planteó como objetivo general realizar una actualización de literatura sobre la implementación de biodigestores como alternativa energética en el trópico alto colombiano. Para ello, se realizó una investigación en diferentes bases de datos teniendo en cuenta principalmente estudios realizados en condiciones de clima frío, citando los resultados más importantes de estos, y evaluando la viabilidad de la implementación de un biodigestor en el trópico alto colombiano.

Se obtuvo como resultado principal de esta revisión de literatura que la viabilidad de un biodigestor en el trópico alto colombiano depende principalmente de una adecuada instalación, como por ejemplo encerrar el biodigestor en un invernadero, para garantizar uno de los parámetros más importantes como es la temperatura, y así obtener un buen funcionamiento del sistema. Se concluye que cumpliendo con las condiciones necesarias se puede llevar a cabo un proceso de

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 27 de 78

digestión anaerobia exitosa, y además resulta en una oportunidad de tener un sistema más competitivo.


Palabras clave: Sistemas de producción animal, biomasa, bacterias, viabilidad, digestión anaerobia.

Abstract

In the Colombian Andean highland there are animal production systems of different species and for different purposes, but one of the most representative problems is the management of manure and organic waste produced during these processes, becoming a source of environmental and reservoir contamination. of possible pathogens that can affect animal and human health.

One of the alternatives to reduce the accumulation of this waste is the implementation of biodigesters, for this reason, the aim was to update the literature on the implementation of biodigesters as an energy alternative in the Colombian Andean highlands. For this, a documental review was carried out in different databases, taking into account mainly studies carried out in highlands conditions, citing the most important results of these, and evaluating the feasibility of implementing a biodigester in the Colombian Andean highlands.

The main result of this review was obtained that the viability of a biodigester in the Colombian Andean highland depends mainly on an adequate installation, such as enclosing the biodigester in a greenhouse, to guarantee one of the most important parameters such as temperature, and thus obtain a good functioning of the system. It

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 28 de 78

is concluded that by fulfilling the necessary conditions, a successful anaerobic digestion process can be carried out, and also results in an opportunity to have a more competitive system.


Keywords: Animal production systems, biomass, bacteria, viability, anaerobic digestion.

Introducción

El trópico alto colombiano es una zona en la cual se desarrollan diferentes sistemas de producción animal, los cuales su principal objetivo es producir alimentos aptos para el consumo humano y tener un sistema económicamente rentable, entre estos se encuentran principalmente producciones de leche, carne y huevo de diferentes especies, y en más baja cantidad lana y pelo. Estos sistemas productivos coinciden en la generación de un alto porcentaje de residuos y desechos orgánicos, los cuales, al no realizar un adecuado manejo, contaminan el medio ambiente y el entorno social.

El manejo inadecuado de los residuos orgánicos producidos en un sistema de producción animal se ve reflejado principalmente en una acumulación que genera una fuente de contaminación ambiental ya que se producen gases nocivos y puede ser un reservorio de patógenos que pueden afectar a los animales y a las personas, por esta razón es importante la implementación de alternativas que ayuden a disminuir este problema, una de ellas puede ser los biodigestores los cuales además de poder

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2


 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 29 de 78

reutilizar estos residuos, puede ser una fuente energética renovable generando biogás y otros productos como fertilizantes.

Un digestor de desechos orgánicos, consiste es recipiente herméticamente cerrado, donde se deposita el sustrato y este experimentará un proceso de degradación en ausencia de oxígeno, este puede estar construido en diferentes materiales como por ejemplo plástico, metal, ladrillo o de la combinación de ellos. También pueden tener diferentes formas como la cilíndrica, la rectangular o la ovoide, siendo la primera la más utilizada. (Arrieta, 2016).

En las zonas de trópico alto las principales fuentes de energía que se utilizan para la cocción de alimentos es gas proveniente de hidrocarburos los cuales son de baja accesibilidad y de elevado costo , y la quema de leña lo cual contribuye en gran parte a la deforestación, por esta razón resulta de gran importancia la implementación de tecnologías de energía renovable como los biodigestores, de los cuales se obtienen biogás apto para este uso y además se obtienen subproductos como biofertilizantes para enmiendas de suelos.

La presente revisión bibliográfica presenta de manera detallada los aspectos más importantes a tener en cuenta al implementar un biodigestor, esto incluye todo sobre su funcionamiento, las diferentes materias primas que se pueden utilizar y el análisis de la eficiencia de esta tecnología en el trópico alto colombiano.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 30 de 78

Objetivos

Objetivo general

- Realizar una actualización de literatura sobre la implementación de biodigestores como alternativa energética en el trópico alto colombiano.


Objetivos específicos

- Explicar, describir y comparar el funcionamiento de los biodigestores, utilizando diferentes materias primas y los diferentes beneficios que se obtienen de este, como biogás y digestados.
- Analizar la eficiencia de la implementación del uso de biodigestores en el trópico alto colombiano.

Marco teórico


Problemática por manejo inadecuado de los residuos orgánicos en sistemas de producción pecuarios

Vega, et al. (2022) indican que a nivel mundial existe la preocupación que los yacimientos de hidrocarburos se agotan con gran rapidez y que la solución más conveniente para disminuir la dependencia de estos recursos es la implementación de tecnologías nuevas para generar energía renovable. Una de las fuentes renovables con la cual se puede generar energía es la biomasa, la cual su producto final es el biogás, para obtener este tipo de energía se utiliza principalmente los residuos que se generan en el sector agropecuario, siendo más usados los desechos producidos en el sector pecuario, el cual ha sido uno de los sectores que ha crecido exponencialmente en los

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 31 de 78

últimos años, de acuerdo con Vega, et al (2022) en América Latina el sector pecuario ha tenido un aumento de 3,7% superando la tasa promedio de crecimiento global de 2,1%, y al incrementarse la densidad animal también aumenta el estiércol producto de la alimentación, siendo este uno de los grandes problemas de estos sistemas de producción, ya que su acumulación genera focos de contaminación y reservorio de patógenos que afectan tanto la salud humana como la animal.


Estos residuos manejados inadecuadamente representan un gran problema tanto ambiental como de salud pública, pero al tenerles un proceso de reutilización pueden convertirse en una materia prima de gran utilidad, ya que poseen características fisicoquímicas aptas para procesos como la digestión anaerobia, por esta razón Rodríguez (2002) resalta la importancia que tienen el reutilizar las camas de las aves, las cuales están compuestas por heces, orina, material absorbente y resto de alimento por lo que se asume que tiene una composición química viable para la digestión anaerobia, al igual que las excretas de cerdo los cuales por naturaleza excretan alrededor del 80% de N y P y hasta un 90% de K y gracias a esto se tiene este estiércol como uno de los mejores abonos para la enmienda de suelos. El estiércol bovino también es de gran interés para estos procesos ya que su adquisición es fácil porque es el estiércol más producido en los sistemas de producción animal y su mal manejo puede generar problemas como mal olor, producción de nitratos y otros elementos contaminantes de los recursos hídricos, en cambio por medio de la

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 32 de 78

digestión anaerobia se puede reutilizar y disminuir el riesgo de la presencia de estos problemas.

El mal manejo de los residuos orgánicos conduce principalmente a generar problemas y daños en los recursos naturales y de acuerdo con lo planteado por Rodríguez (2002) estos recursos son los siguientes:

- *Materia orgánica:* El suelo está compuesto en gran parte por materia orgánica, de la cual depende en gran medida su capacidad de fertilidad, por esta razón en suelos pobres en materia orgánica se hace necesario la aplicación de esta, pero en suelos con gran contenido de materia orgánica si no se hace un manejo adecuado al estiércol, conduce a problemas de fertilidad y de contaminación.
- *Aguas superficiales:* El principal problema que se produce al contaminar el agua con desechos orgánicos es la eutrofización, lo cual se produce porque al aumentarse los niveles de elementos como N y P se prolifera en gran medida tipos de algas y otras plantas verdes, lo cual genera una turbidez del agua y por esta razón se ve afectada la supervivencia de los otros organismos presentes en este ecosistema.
- *Aguas subterráneas:* La materia orgánica puede filtrarse por el suelo y alcanzar a las aguas subterráneas y por el alto contenido de elementos como el N genera un alto grado de contaminación.


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 33 de 78

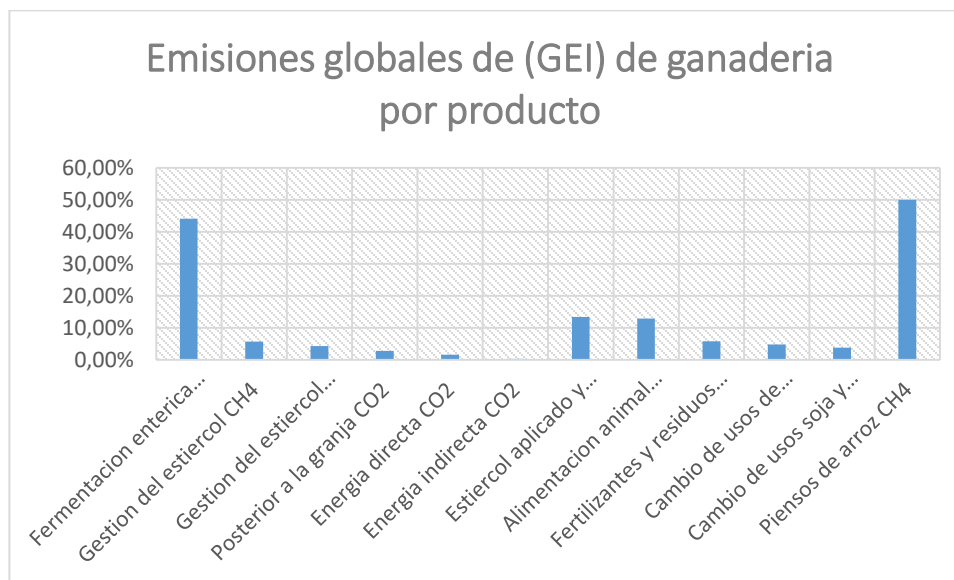
- *Atmosfera:* Como ya es conocido uno de los grandes problemas del mal manejo de los residuos orgánicos y su acumulación es la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera, sistemas de producción como bovinos, porcinos y avícolas son grandes productores de estos gases, esto porque son sistemas de gran repercusión en estas zonas y además son manejados en altas densidades, dando lugar a gases como lo son amoniaco (NH₃), sulfuro de hidrogeno (H₂S), metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura) en el 2018, realizó un estudio en donde evaluó la participación de la ganadería en las emisiones de los gases efecto invernadero (Figura 1), denotando que la acumulación de estiércol tiene participación importante en estas emisiones y que los gases que generan la acumulación de estos residuos son principalmente N₂O y CH₄.

Figura 1:

Emisiones globales GEI (gases de efecto invernadero) de ganadería por producto.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 34 de 78



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
FAO (2018)

El grupo de investigación en procesos químicos y bioquímicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia y Centro de Desarrollo Industrial TECSOL, estudiaron en diferentes sistemas de producción el porcentaje de producción de residuos por año (residuo t/año; tonelada por año) en Colombia (Tabla 1). Donde encontraron que los departamentos que producen mayor cantidad de residuos animales son los departamentos de Antioquia y Santander.



 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 35 de 78

Tabla 1:

Residuos pecuarios producidos en cada uno de los departamentos de Colombia

Sector	Departamento	Producción residuo t/año	%
Avícola	Santander	1.545.541	24.6
	Cundinamarca	1.362.656	21.7
	Valle	860.273	13.7
	Antioquia	495.459	7.9
Porcino	Antioquia	869.050	45
	Cundinamarca	247.710	13
	Valle del Cauca	157.080	8
	Meta	135.657	7
Bovino	Antioquia	9.813.919	11.8
	Caquetá	7.248.929	8.7
	Córdoba	7.160.440	8.6
	Meta	6.300.053	7.5
	Santander	5.214.237	6.2
	Caldas	4.991.392	6
	Cauca	4.975.034	6
Magdalena	4.435.235	5.3	

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 36 de 78


Fuente: (Monterrosa, 2018, p. 37)

Biodigestor

Un biodigestor según Martí (2007) aprovecha la digestión anaerobia de las bacterias que ya habitan en el estiércol y es transformado en biogás y como producto secundario se obtiene un efluente el cual puede ser utilizado como fertilizante, afirma también que el biogás puede ser utilizado como combustible para cocinas o para iluminación y el biofertilizante obtenido puede representar una gran ventaja para los procesos agrícolas ya que resulta ser un fertilizante óptimo para el buen rendimiento de las cosechas y esto se convierte en una disminución de costos de producción.

Digestión anaerobia

La digestión anaeróbica consta de un proceso biológico complejo, donde actúan microorganismos anaerobios, es decir, que trabajan en ausencia de oxígeno, transformando la materia orgánica en biogás y biofertilizante. El biogás está compuesto básicamente por metano (CH₄) y otros gases en más baja cantidad, por su parte el biofertilizante está constituido por la fracción que no alcanza a fermentarse y por el material agotado. La primera planta de biogás fue construida en la India en el año 1859 y de ahí en adelante se han desarrollado gran cantidad de estos sistemas de biodigestión, resultando en una alternativa de energía renovable de gran interés, ya que se pueden construir de diferentes formas y tamaños, dependiendo tanto de la disponibilidad de recursos económicos como de la materia prima a utilizar (Laines, et al., 2001).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 37 de 78


Etapas de la biodigestión

La obtención del biogás tiene un proceso de cuatro etapas cruciales tales como la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y por último la metanogénesis (figura 2). Teniendo en cuenta los datos recuperados por Hernández y Ramírez (2019) durante la primera fase son hidrolizados los compuestos como la celulosa, los lípidos y las proteínas a sus compuestos simples como los son (ácidos grasos, aminoácidos y monosacáridos como la glucosa), luego pasan estas moléculas a un proceso de fermentación conocida como acidogénesis, en donde se obtienen como productos finales ácidos grasos volátiles como lo son (butírico, acético y propionico), luego ocurre la acetogénesis en donde los ácidos propiónico y butírico se convierten en ácido acético e hidrógeno y por ultimo estos productos son oxidados y se obtienen metano y dióxido de carbono los cuales son los principales componentes del biogás.

Bacterias involucradas en el proceso

Cada una de las etapas de la digestión anaerobia es cumplida gracias a la actuación de un grupo de bacterias las cuales en clima frío la mayoría son mesofilas facultativas lo que quiere decir que se pueden adaptar a temperaturas de hasta 10°C, aunque su zona de confort esta alrededor de los 30°C, por lo que indica que si la temperatura es baja no puede afectar su supervivencia, aunque su trabajo si se vea disminuido (Osorio et al., 2007).

- ✓ Grupo I: Bacterias hidrolíticas y fermentativas. Estas inician el proceso aportando las enzimas extracelulares necesarias para que ocurra la hidrólisis

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 38 de 78

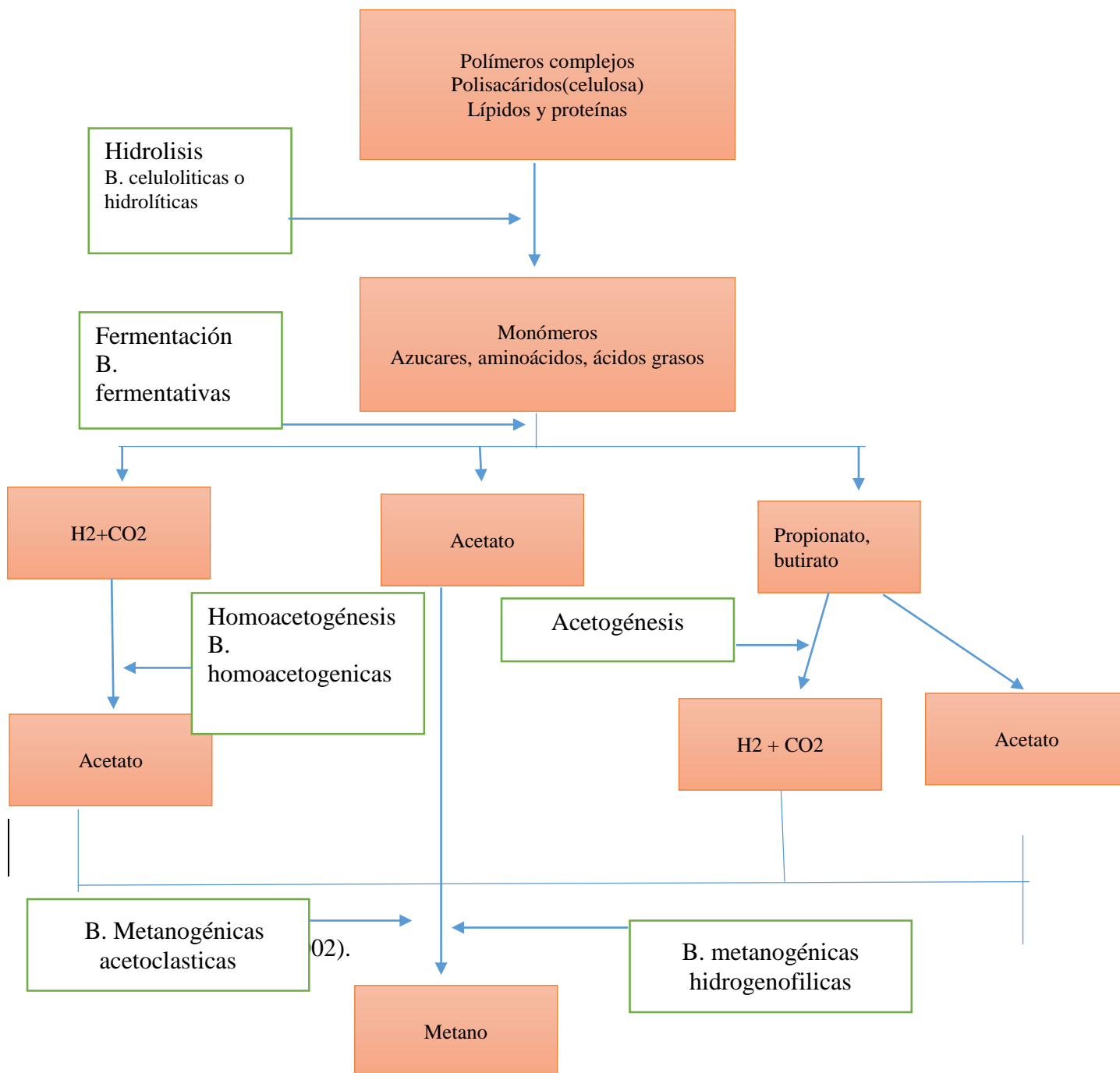
de compuestos complejos como lo son polisacáridos, proteínas y lípidos a sus monómeros como lo son glucosa, aminoácidos y ácidos grasos, las bacterias partícipes en la hidrólisis son *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Sphingomonas*, *Sporobacterium*, *Megasphaera*, *Bifidobacterium*.


- ✓ **Grupo II:** Las moléculas obtenidas anteriormente son transportadas a través de la membrana celular para que ocurra la fermentación obteniendo ácidos grasos volátiles. Las bacterias responsables de este proceso son el género *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus* y el grupo *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides*.
- ✓ *Grupo III:* Estas bacterias se encargan de convertir los ácidos grasos volátiles en ácido acético.
- ✓ *Grupo IV:* Bacterias metanogénicas. Este grupo de bacterias convierten el acetato obtenido por las bacterias acetogénicas a metano y dióxido de carbono, principalmente por acción de las Arqueas metanogénicas, *Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii* y *Methanosarcina* (Varnero,2011).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 39 de 78

Figura 2:

Etapas de la digestión anaerobia




 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 40 de 78

Funcionamiento de los biodigestores

El volumen total que comprende un biodigestor está dividido en dos partes, un volumen líquido en el cual se encuentra todo el sustrato que va a ser degradado y un volumen gaseoso que comprende el biogás producido, el espacio requerido para esto siempre va a depender de la disponibilidad de materias primas y de la constancia de alimentación. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para empezar a degradar la materia orgánica y este es considerado como el tiempo de retención hidráulico (TRH), por lo general, varían entre 20 y 55 días, esto dependiendo del tipo de materia orgánica, pero en gran medida de la temperatura que se tenga (Arrieta, 2016).

Condiciones necesarias para el funcionamiento del biodigestor

Para el correcto funcionamiento de un biodigestor se tienen en cuenta unas condiciones de las cuales depende que se obtengan los productos deseados en el tiempo esperado, Vega et al (2022) destacan que estas condiciones son principalmente la ausencia total de oxígeno, la calidad de la biomasa, la temperatura la cual influye principalmente en la velocidad con la cual se obtenga el biogás, el pH el cual debe estar alrededor de la neutralidad y del cual depende la supervivencia de las bacterias, coincidiendo con lo planteado por Decara et al. (2004) quienes afirman que el biodigestor debe ser hermético para evitar la entrada de aire o presentar posibles fugas, térmicamente aislado por lo que se recomienda que sea enterrado para evitar cambios bruscos en la temperatura, además de esto debe contar con medidas de

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 41 de 78


seguridad como lo es una válvula de seguridad y tapa pesada, contar con medios de carga y descarga para facilitar las labores de alimentación del mismo.

Contenido de agua de la mezcla:

Otra de las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento de los biodigestores es la cantidad de agua que requiere la biomasa para poder ser digerida por las bacterias, esto principalmente va a depender de las características físicas de la misma, teniendo en cuenta lo planteado por Olaya y González (2009) si la biomasa es de una textura blanda y entre ellas podemos tener al estiércol la cantidad de agua a utilizar va a ser a razón de 1:1 o 1:2 según la dureza de la misma, pero si la materia prima a utilizar es de origen vegetal y su textura es leñosa esta requiere una cantidad de agua 3 o 4 veces mayor a la cantidad de dicha biomasa, por ejemplo si se tiene una biomasa leñosa de 1kg se va a necesitar 4 Lt de agua, si no se cumple con la cantidad de agua necesaria principalmente se va a ver reflejado en la poca generación de biogás pero si es al contrario y se tiene una mezcla demasiado diluida el biogás producido también va a ser en baja cantidad.

Terminología de los biodigestores

Existe una terminología y unos componentes principales que se deben tener en cuenta cuando se está trabajando con un biodigestor, cualquiera que sea su tipo. Por consiguiente, Arrieta (2016) indica que el material o sustrato con el que se alimenta al digestor se denomina afluente (mezcla de materia prima utilizada y agua) y el efluente es el material que ha sido degradado, este último puede ser utilizado como un


	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 42 de 78

fertilizante orgánico. El volumen útil es la mezcla de agua y material orgánico, y un volumen gaseoso en la parte superior destinada al almacenamiento del biogás producido. Finalmente, todo biodigestor tiene una salida que permite la extracción del biogás cuando se abren las válvulas de la tubería de biogás.

Componentes de los digestores

Según Rojas y Ñañez (2018) los digestores se componen básicamente por 5 componentes esenciales:

- ✓ *Tanque de carga o de recolección.* Su función principal es almacenar el estiércol recuperado mezclado con el agua necesaria.
- ✓ *Tanque de descarga o de efluente.* Este tanque se encarga de almacenar la carga ya digerida y la cual después se utiliza como fertilizante.
- ✓ *Agitador.* Este es un elemento que su principal función es poder llegar a tener en el tanque de carga una mezcla homogénea y apta para su posterior digestión.
- ✓ *Reservorio de gas.* Permite la acumulación de gas cuando la producción excede la demanda.
- ✓ *Tanque digestor.* Este es el principal elemento en una planta de biogás, ya que dentro del mismo ocurre la digestión anaerobia, donde se degrada la materia orgánica y dependiendo de un tiempo de retención y de unas condiciones climáticas favorables se pueden obtener productos como el biogás y digestados.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 43 de 78

Descripción del proceso


Dentro de las labores que se deben realizar cuando se tiene en funcionamiento un biodigestor esta la alimentación del mismo, para la cual se debe tener en cuenta pasos como los siguientes:

- ✓ **Molienda.** Se realiza una molienda de la biomasa a utilizar, esto para que el área que va a hacer atacada por los microorganismos sea más completa y se tenga una digestión mayor.
- ✓ **Acondicionamiento.** Se agrega el agua necesaria según el tipo de biomasa para luego realizar la carga del digestor.
- ✓ **Descarga:** Para la descarga del mismo se debe evitar que no entre aire al tanque digestor y este efluente se puede utilizar para fertilizaciones de suelos (Corona, 2007).

Tipos de biodigestores

Existen varios tipos de biodigestores, y esto se debe principalmente a su nivel y continuidad de alimentación, por esta razón Varnero (2011) resalta esta clasificación en 3;

- ✓ **Biodigestores continuos:** los cuales tienen un trabajo ininterrumpido y estos principalmente son de tipo industrial y su materia prima en gran proporción son las aguas negras.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 44 de 78

- ✓ **Biodigestores semi continuos:** Su alimentación es más discontinua y el cual en ocasiones su carga es alta pero también se presentan cargas de más baja cantidad, estos son más usados en medios rurales para uso doméstico.
- ✓ **Biodigestores discontinuos:** En estos se obtienen producciones por lotes, en el cual se hacen descargas completas y se deja vacío por un periodo de tiempo.


Materias primas

Las materias primas aptas para un proceso de digestión anaerobia son principalmente los desechos de origen orgánico (tabla 2), estos pueden ser residuos de actividades agrícolas, pecuarias, industriales y municipales como es el caso de las aguas negras, esto gracias a que dichas materias primas presentan elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de microorganismos anaerobios, según Rivas, et al. (2010), estos elementos son nitrógenos y carbono principalmente y otros oligoelementos por esta razón se recomienda la combinación de diferentes tipos de biomasa para mantener un equilibrio entre los elementos químicos y evitar posibles problemas de exceso o limitantes que principalmente van a contribuir a la disminución de la comunidad microbiana, un ejemplo de ello es cuando se tiene exceso de nitrógeno y esto contribuye a la formación de amoníaco el cual es letal para las bacterias anaerobias.

Tabla 2:

Residuos aptos para la biodigestión

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 45 de 78

Residuo de origen animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Fuente: (Varnero,2011, p. 20)


Productos de un biodigestor

Biogás

Expresión matemática

La expresión matemática que permite calcular la producción de metano durante un proceso de digestión anaerobia en un periodo de tiempo determinado es la siguiente:

$$P_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{V_{\text{reactor}} * t}$$

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 46 de 78

Donde V_{CH_4} es el volumen de metano generado; $V_{reactor}$ es el volumen de materia dispuesta en el tanque fermentador y t es el tiempo determinado.

La producción de metano, tiene un límite que depende fundamentalmente de la naturaleza de la materia prima utilizada. La fórmula que permite estimar la máxima generación de metano para un producto determinado, es la siguiente

$$M_{Max} = \frac{V_{CH_4}}{S_{org_total}}$$


Donde V_{CH_4} es el volumen de metano generado y S_{org_total} es la cantidad de materia orgánica total utilizada en todo el proceso (Rivas et al, 2010).

El biogás está compuesto por varios gases, pero en si su composición se caracteriza por dos principales el metano el cual representa hasta un 80% del biogás y el dióxido de carbono (tabla 3), y en más baja cantidad por otros gases.

Tabla 3:

Composición química del biogás

Componente	Porcentaje (%)
Metano (CH ₄)	50 A 80
Anhídrido carbónico (CO ₂)	20 A 50
Nitrógeno (N ₂)	<1
Hidrogeno (H ₂)	<1

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 47 de 78

Amoniaco (NH₃) <1

Sulfuro de hidrogeno (H₂S) <1

Fuente: (Shirakawa, 2016, p. 18).


Gracias a la obtención del biogás durante el proceso de digestión anaerobia se logra obtener una fuente de energía renovable la cual puede ser utilizada para varios fines, uno de ellos y tal vez el más representativo es su uso para generar calor y ser utilizado para la cocción de alimentos, Shirakawa (2016) afirma que el biogás posee un poder calorífico aproximado de 4500 a 5600 kcal/m³ esto principalmente debido al alto porcentaje de metano.

Biofertilizante

El digestado obtenido luego de que la materia orgánica sea digerida por las bacterias para producir biogás puede ser usado como fertilizante gracias a la buena composición química que este presenta, principalmente por el gran aporte de N que al ser aplicado al suelo ayuda a mejorar las características fisicoquímicas del mismo, según Varnero (2011) este biofertilizante se presenta en forma sólida como líquida dependiendo principalmente de la fuente de alimentación que se tenga, pero sea tanto en la forma líquida como sólida estas presentan una composición química interesante comparados con otros productos usados para fertilización (tabla 4,5) ya que su aplicación al suelo genera efectos positivos notorios en las características fisicoquímicas del mismo.

Tabla 4:

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 48 de 78

Comparación química entre compost y bioabono

Parámetros	Compost	Bioabono
PH (H ₂ O1:5)	7,2	7,9
MO(W-B)1:5	20	45
MO (Calcinac. %)	39	58
N Total (Kjeldal %)	1	1,8
P Total (%)	4.1	8,4
K Total (%)	0,4	0,7
Relación C/N	19	25
N mineral (mg/kg)	550	30
C.E. (Ds/m)	10,1	14,4


Fuente: (Varnero, 2011, p.73)

Tabla 5:

Caracterización microbiana entre compost y bioabono

Caracterización microbiana	Compost	Bioabono
Actividad biológica (N° cel./ml E 04)	357	1054
Microflora total (N° cel/ml E 03)	10	68
Hongos y levaduras(N° cel/ml E 0.3)	250	25
Fermentos nitrosos (N° cel/ml E 0.3)	1200	1100
Fermentos nítricos (N° cel/ml E 0.3)	800	50

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 50 de 78

La calidad química de los bioles depende también en gran medida de las materias primas utilizadas en la digestión, (tabla 6) observándose que estiércol como el porcino es uno de los más altos en elementos importantes como N y P y por esta razón se considera como uno de los mejores para fertilizar suelos.

Tabla 6:

Análisis de macronutrientes del biol de diferentes insumos

Origen	pH	N Total (mg/L)	P Total (mg/L)	K Total (mg/L)	Fuente
Codornaza	7.15	646	173	1615	Castillo,
Gallinaza	7.10	1008	309.4	2183	2012
Estiércol vacuno	7.15	1194.7	335.6	1594.2	Torres, 2013
Estiércol de cuy	7.80	900	120	900	
Estiércol porcino	7.89	1876	71.2	1940	Carhuancho, 2012
La calera	7.20	1700	3800	5200	

Fuente: (Shirakawa, 2016, p. 18).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 51 de 78

Ventajas de un biodigestor


Teniendo en cuenta que por medio de la implementación del biodigestor se reduce la acumulación de desechos orgánicos y por tanto se disminuye la incidencia de problemas como: la propagación de malos olores, el posible reservorio de agentes patógenos y la baja de emisiones de gases de efecto invernadero; se puede decir que con la implementación de esta tecnología se tienen ventajas como reducir la contaminación, proporcionar energía natural para satisfacer las necesidades principales en zonas rurales, producir compost con un contenido de nutrientes similar al de las excretas frescas, asimismo, es de beneficio para los suelos y los cultivos (Quispe, 2021).

Beneficios económicos.

Reducir parcial o totalmente la dependencia de hidrocarburos como el gas propano, bajar costos de transporte de gas o carbón utilizados principalmente para cocción y además se obtiene biofertilizantes aptos para la aplicación a cultivos reduciendo así costos de producción (Godoy et al., 2018).

Beneficios ambientales.

Reducir la emisión de gases efecto invernadero, reducir la contaminación de aguas por residuos orgánicos, y el disminuir la deforestación al no depender de las estufas de leña para la cocción (Godoy et al., 2018).

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 52 de 78

Diseño metodológico

Para la presente investigación se utilizaron bases de datos como Google Académico, Redalyc, Scielo, repositorios de universidades, revistas científicas entre otros, y para lo cual se contó con un mínimo de 50 referencias bibliográficas, filtradas por los términos tales como digestión anaerobia, implementación de biodigestores en trópico alto, biodigestores en clima frío y que comprendieran entre los últimos 20 años.


Adicionalmente, se diseñó un documento que cumpliera con las normas APA 7^a -edición, en donde se recopiló toda la información presentándola de manera ordenada y concisa.

Resultados y análisis

Materias primas

Dentro de las materias primas utilizadas en la digestión anaerobia están presentes los residuos producidos en actividades agrícolas, pecuarias, desechos municipales, pero los más destacados son los desechos orgánicos procedentes de los sistemas de producción animal, resultando así una gran opción para este sector el implementar este tipo de tecnologías.


En el trópico alto colombiano se desarrollan sistemas de producción animal de gran impacto como lo son bovinos, porcinos, ovinos, caprinos, avícolas, equinos y piscícolas de los cuales por lo general los residuos como el estiércol o la orina no son reutilizados o no se les tiene ningún tipo de tratamiento y en cambio si presentan

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 53 de 78

problemas como acumulación, emisión de gases y reservorios de plagas o tipos de patógenos, este problema se puede reducir al implementar tecnologías como el biodigestor, donde se puede tratar estos residuos y obtener productos de gran interés como el biogás y digestados aptos para procesos de fertilización.

El sistema de producción bovina es uno de los más importantes en el trópico alto principalmente por la producción de leche y carne, dentro de estas producciones se generan gran cantidad de residuos como el estiércol, el cual podría dar buenos resultados al utilizarlo como materia prima del biodigestor dado que es un sistema de digestión anaerobia; coincidiendo con lo afirmado por Zambrano (2016) quien analizó la viabilidad de un biodigestor a partir de estiércol vacuno como materia prima, obteniendo resultados interesantes en la producción de biogás, al igual que Pautrat (2010) al evaluar el estiércol vacuno en un biodigestor bajo la influencia de invernadero obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a producción de biogás con una producción constante.

Sistemas de producción porcina en el trópico alto no son manejados en altos porcentajes, pero en gran medida este sistema de producción es desarrollado bajo condiciones de estabulación, en donde es más fácil la limpieza y por tanto la recolección de los residuos orgánicos, este estiércol es uno de los más interesantes para la digestión anaerobia, no solo por su gran adaptación a estas condiciones sino por su composición química que resulta de gran interés para procesos de fertilización de suelos, comprobándose con lo expuesto por Cabanillas (2022) durante un estudio

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 54 de 78


que buscaba evaluar la viabilidad de este estiércol en un proceso de digestión y en donde se obtuvieron resultados satisfactorios en la producción de biogás y además con la producción de un biofertilizante bastante interesante para posteriores usos. La producción de biogás a partir de estiércol porcícola resulta de muy buena calidad y esto lo comprobó Pantoja y Parra (2012), quienes durante un estudio comprobaron que la composición del biogás obtenido a partir de la digestión anaerobia de estiércol porcino es apta para su uso (tabla 7) corroborándose que sus componentes y entre ellos el más importante como lo es el metano se presenta de una manera adecuada.

Tabla 7: Componentes que conforman el biogás obtenido a partir de la digestión de estiércol porcino.

No	Identificación	%
1	Metano	99,30
2	Butano	0,25
3	Compuestos otros	0,45

Nota. En la tabla se observa claramente que la composición del biogás es apta y los porcentajes de cada uno de sus componentes son los adecuados. Fuente: Pantoja y Parra (2012)

Estiércoles de ovino y equinos son utilizados para estos procesos en menor medida, principalmente por su menor facilidad de adquisición, pero Amante et al (2019) comprobaron la gran capacidad de obtención de biogás a partir de ovinaza y


 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO		CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO		VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL		VIGENCIA: 2021-09-14
			PAGINA: 55 de 78

Acuña et al (2022) también obtuvieron excelentes resultados a partir de la equinaza, y los residuos de la industria pesquera también han sido evaluados, pero en mayor medida siendo un acompañante de otros tipos de biomasa como lo ha hecho Cabanillas (2022) al utilizar para su trabajo estos residuos para digestión anaerobia como acompañante del estiércol de porcino.

En las tablas 8 y 9 se puede evidenciar las diferencias cuantitativas que existen tanto en la producción de biogás como en la calidad química del efluente de diferentes tipos de estiércol, observándose que los mejores estiércoles son de origen porcino y avícola ya que ambos dan buenos resultado en producción de biogás como en calidad de biol.

Tabla 8: Valores y características del estiércol de algunos animales

Clase de animal	% por peso vivo		% de material de digestión		Relación C/N	Producción de biogás (m3 de gas/1kg SO)
	PE- Estiércol	PO- Orina	% EST solidos	% SO Solidos orgánicos		
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0,250
Cerdos	2	3	16	12	13	0,350
Caprinos, ovejas	3	1,5	30	20	30	0,200
Caballos	5	4	25	15	20	0,250

	MACROPROCESO DE APOYO				CÓDIGO: AAAR113	
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO				VERSIÓN: 6	
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL				VIGENCIA: 2021-09-14	
					PAGINA: 56 de 78	

Avícolas	4,5	4,5	25	17	5-8	0,400
Humanos	1	2	20	15	8	0,300

Fuente: Sanchez y García (2014)


Tabla 9: Contenido porcentual de elementos nutritivos en efluente(base seca)

Tipo de excretas	N total	P2OS (Oxido de fosforo)	K2O (Oxido de potasio)	CaO (Oxido de calcio)	MgO (Oxido de magnesio)
Vacuna	2,3-4,7	0,9-2,1	4,2-7,6	1,0-4,2	0,6-1,1
Porcina	4,1-8,4	2,6-6,9	1,6-5,1	2,5-5,7	0,8-1,1
Avícola	4,3-9,5	2,8-8,1	2,1-5,3	7,3-13,2	1,1-1,6

Fuente: Sanchez y García (2014)


Construcción del biodigestor en trópico alto

El uso de los biodigestores en el trópico alto ha sido poco difundido, principalmente por limitantes en la construcción del mismo, Poggio et al (2009) afirman que esta escasa difusión es debido a la relación desfavorable entre las bajas temperaturas y la velocidad de la digestión anaerobia lo que principalmente hace que se eleve un poco los costos, requiriéndose mayor cantidad de materiales y mano de obra. La instalación de un biodigestor en clima frío requiere especialmente que se adopten medidas que hagan que se eleve la temperatura y esta se mantenga, garantizando la buena producción de biogás, para esto se recomienda que el digestor se construya enterrado y si es posible ser forrado por algún tipo de material el cual

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 57 de 78

haga que el calor no se disipe, coincidiendo con la recomendación de Sossa y Álvarez (2016) quienes plantean la instalación del biodigestor en una zanja excavada y aislar el biodigestor con poliestireno expandido, el cual se coloca en el perímetro de la zanja, además Poggio et al (2009) recomienda disponer de una capa de material impermeable de al menos 20 cm, por ejemplo de pasto seco natural y paja de cereales y forrar esto con un material impermeable para evitar su daño. Luego de tener el biodigestor enterrado es necesario que esté bajo la influencia de un invernadero, esto para que eleve un poco la temperatura y esta circule en el perímetro del digestor, este invernadero debe ser construido con materiales resistentes los cuales no sufran daño por cambios bruscos en el clima, como por ejemplo la lluvia o vientos fuertes, de acuerdo con Poggio et al (2009), la robustez del invernadero debe ser uno de los temas importantes a tener en cuenta al implementar este sistema, y recomienda evaluar materiales instalar muy bien el plástico y además evaluar materiales como paneles corrugados o policarbonato que ayuden a aumentar la vida útil del mismo, al igual que Pautrat (2010) recomienda el uso de plástico polietileno por medio del cual en un estudio realizado en una zona alta del Perú y en donde comprobó que teniendo una temperatura ambiental promedio de 5 a 6 °C se tuvo dentro del invernadero una temperatura de 14,45°C, evidenciándose así el gran impacto que tiene el tener el biodigestor bajo un sistema de invernadero.


La construcción del invernadero debe garantizar que en condiciones adversas como vientos fuertes este resista y no exista la posibilidad que este se destruya o sufra

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 58 de 78

daños, esto lo comprobaron Rojas et al (2016), quienes al tener ya construido su biodigestor bajo un invernadero, durante un ventarrón este se desprendió y sufrió daño total y este afecto la producción de biogás y además representó una pérdida para el proyecto, por tal razón se recomienda que este quede bien instalado y con materiales resistentes.

Control de la temperatura


Uno de los parámetros que más se debe tener en cuenta al instalar un biodigestor y así garantizar la buena producción de biogás es la temperatura, ya que esta juega un papel importante principalmente en la supervivencia y desarrollo de las bacterias que actúan en la digestión anaerobia, coincidiendo con lo afirmado por Martí (2007) quien indica que en ambientes de 30°C se requieren unos 10 días de retención, con unos 20°C se requieren unos 25 días y con 10°C se hace necesario uno tiempo de retención hasta de 55 días, reflejándose así que al tener un buen flujo de temperatura el inicio de producción de biogás va a ser más rápido, en cambio al disminuir la temperatura el tiempo que hay que esperar va a ser mayor y la producción de biogás se va a ver afectada, también Pautrat (2010) indica que durante su estudio al evaluar la implementación de un biodigestor en clima frío utilizando estiércol vacuno, logro comprobar que al aumentar la temperatura se tiene un tiempo de retención menor resaltando el uso del invernadero en el cual logro obtener temperaturas alrededor de los 20°C y teniendo tiempo de retención de menos de 30 días.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 59 de 78

Según Lorenzo y Obaya (2005) durante una investigación que realizaron en la Habana afirman que es difícil predecir los rangos óptimos de temperatura que se deben tener para una digestión anaerobia ya que esto depende del tipo de materia prima, de las condiciones ambientales entre otros factores, pero reconocen que al tener temperaturas por encima de los 30°C se logran obtener producciones importantes de biogás y en un tiempo razonable.

Control del pH


Otro de los aspectos de gran importancia en la producción de biogás y del cual depende en gran medida la cantidad de biogás producido es el pH, ya que un cambio en el pH principalmente va afectar la supervivencia de las bacterias, este pH debe estar alrededor de la neutralidad según lo afirmado por Pautrat (2010) el cual durante su estudio obtuvo un pH entre 6,9 a 7,5 manteniendo una producción de biogás constante, pero un cambio afecta directamente en la producción de biogás y esto lo comprobó Zambrano (2016), quien evaluó la digestión de estiércol vacuno junto con suero de quesería, y al aumentar la cantidad de este último acidifico la mezcla afectando así la producción del biogás, al igual que Mariño et al (2021) tuvo problemas con la producción de metano ya que el pH de la mezcla estuvo muy por debajo del rango optimo, esto principalmente porque al aumentar la cantidad de ácidos grasos volátiles se acidifica el medio y esto afecta el trabajo de las bacterias

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 60 de 78

participes en la digestión, por esta razón también se debe evaluar la biomasa a utilizar.

Por todo lo anterior se hace evidente la importancia de tener el biodigestor en clima frío bajo la influencia de un invernadero, para elevar la temperatura y así aumentar la actividad de las bacterias y por tanto tener una producción de biogás satisfactoria, coincidiendo con Ordoñez (2022), quien durante un trabajo realizado en el trópico alto colombiano afirma que el uso del invernadero es obligatorio, y recomienda que este se instale cerca y que confluya con el trabajo diario que se realice en el sistema de producción, para que este no sea un trabajo adicional sino que vayan de la mano. También Lara (2016) quien comparó 2 biodigestores uno con T° ambiente y otro con T° mejorada y comprobó que a medida que se aumenta la temperatura se disminuye los tiempos de retención y por tanto se obtiene mayor cantidad de biogás en menor tiempo, y además comprobó también que se tiene una relación inversa entre la cantidad de AGV y la producción de biogás ya que estos principalmente acidifican el medio y afecta la actividad de las bacterias.

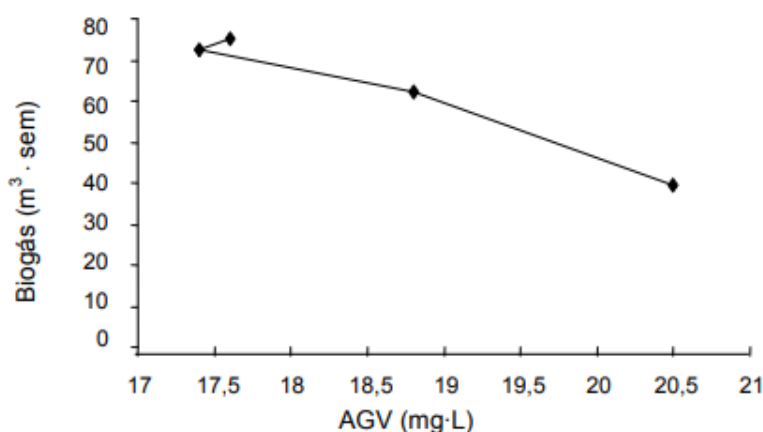
Osorio et al (2007) indican que un estudio realizado en Antioquia y el cual tenía por objetivo evaluar un biodigestor en clima frío utilizando excretas porcinas, y en donde valoraron resultados como la producción de biogás teniendo en cuenta aspectos como temperatura, y pH, pudieron observar que uno de los limitantes para la producción de biogás es el aumento de AGV, ya que estos pueden afectar el metabolismo de las bacterias, y esto se ve reflejado en la figura 3, en donde se ve

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 61 de 78

claramente que a medida que se aumenta los AGV se disminuye la producción de biogás.

Figura 3

Relación entre el biogás producido y la cantidad de AGV (Ácidos grasos volátiles)




Fuente: Osorio, et al (2007).

Beneficios obtenidos con un biodigestor en clima frio

Al implementar un biodigestor en sistemas de producción animal en el trópico alto se pueden obtener productos que resultan en un costo de oportunidad, ya que se pueden aprovechar los residuos orgánicos y conseguir productos como el biogás y digestados que pueden servir como fertilizantes. El principal fruto de la digestión anaerobia es el biogás, el cual es un tipo de energía renovable y puede prestar variedad de beneficios, y uno de ellos es el dejar de depender del uso de energía no renovables como los hidrocarburos usados para la cocción de alimentos,


Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 62 de 78

representando un beneficio ambiental y además económico al disminuir costos, esto lo concluyó Santiz (2018), al realizar un trabajo en México en el cual evaluaba la implementación de un biodigestor en un sistema de producción bovino y resaltó el gran beneficio económico que presta el biogás en los procesos de cocción, también Cáceres (2011) evaluó los diferentes usos que se le pueden dar al biogás y resalta hornillas y estufas de cocina, calentadores para animales como lechones y pollos y algunos generadores eléctricos, lo que indica la variedad de beneficios que se pueden tener a partir del uso del biogás.


El biogás es un producto el cual presta beneficios que impactan positivamente en la calidad de vida de las personas que lo utilizan, esto lo afirma Sánchez y García (2014), quienes evaluaron la factibilidad de un biodigestor en Cundinamarca alimentado con estiércol vacuno resaltando el beneficio tanto ambiental como tecnológico que tiene el implementar un biodigestor teniendo en cuenta resultados de costo-beneficio se tiene que la viabilidad de un biodigestor si es factible, ya que se utiliza el estiércol como recurso energético y además se va implementando nuevas formas de energía que no impactan negativamente al medio ambiente dejando de depender de fuentes energéticas no renovables.

El digestado obtenido resulta ser un fertilizante de buena calidad para aplicar al suelo y así disminuir el uso de abonos químicos y por tanto disminuye costos de producción, Martí (2015) plantea que el uso del biol hace que el productor baje costos

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 63 de 78

teniendo así un sistema de producción sostenible y que este sea resiliente en épocas adversas y de escases.


Uno de los sistemas de producción más representativos en el trópico alto colombiano es el bovino, el ovino y el caprino, los cuales basan su alimentación en gran medida en pastos y forrajes resultando ser la alimentación más barata y que manejados de una manera adecuada generan producciones de gran impacto, Jiménez (2011), evaluó la viabilidad de la aplicación de estos bioles en praderas compuestas por gramíneas y leguminosas, y concluyó que el efecto de la aplicación de este fue muy adecuado ya que obtuvieron rendimientos de materia verde (alcanzando en el último corte una producción de 38562,50 kg/ha) y seca (que alcanzó en el último corte una producción de 5229,08 kg/ha), Cruz, et al, (2021), encontraron una excelente respuesta a la aplicación de estos bioles en cultivos de kikuyo en donde evidenciaron mayor oferta forrajera, mejoro el porcentaje de materia seca, mejoras en el consumo y digestibilidad por parte de los animales y mejoras en las propiedades del suelo, lo cual indica que además de tener buenas producciones se bajan los costos de producción y se pueden aumentar las ganancias, Céspedes (2021) también evaluó la viabilidad de la fertilización con biol a cultivos de cebada con fines de forraje verde y encontró una buena producción y un costo- beneficio que lo hace más rentable, además de los cultivos convencionales otra tecnología que existe actualmente es el cultivo de forrajes hidropónicos los cuales también tienen como opción la fertilización con bioles, esto lo demostró Limachi (2018), en donde evaluó

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 64 de 78

la aplicación de estos en diferentes cultivos como avenas y cavadas, y obtuvo resultados como buena conformación de raíz, buenos rendimientos en peso fresco, peso seco, y unos porcentajes mayores en proteína y fibra cruda.

La implementación del biodigestor en el trópico alto resulta ser también una gran oportunidad de volver a los sistemas de producción más competitivos, ya que además de contribuir con el cuidado del medio ambiente se obtiene biofertilizantes los cuales pueden ser aplicados en las mismas praderas donde pastan los animales, siendo esto un atractivo importante para el trópico alto colombiano, donde en esta región uno de los grandes potenciales es la producción de leche y sería una gran oportunidad de obtener un abono el cual disminuya el costo de producción en fertilización de pasturas, esto coincide con un trabajo que realizó por Rojas (2015) en Pasto, en donde se evaluó que con la implementación de este bioabono se aumentaría la producción de forraje y por tanto la producción lechera, y resaltaba que con el empleo de biol, incrementará hasta en 50% la producción de forraje para el ganado.


Otras de las opciones para utilizar estos bioles son en la fertilización de cultivos de tubérculos, hortalizas y verduras, siendo estos cultivos muy representativos en el trópico alto colombiano como lo son el caso de la papa, la cebolla, la arveja, entre otros y esto ha sido estudiado por varios autores, como es el caso de Magueño (2021), quien evaluó la fertilización con biol bovino en cultivo de cebolla (*Allium cepa L.*) cultivada a una altura alrededor de los 3700 msnm, y en la cual obtuvo mayores rendimientos por hectárea, mejores pesos y una relación costo-

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 65 de 78

beneficio muy favorable, al igual que Oñate (2014), quien evaluó este biofertilizante en cultivos de coliflor cultivados a una altura de 2900msnm y obtuvo muy buenos resultados de producción y resaltó que por medio de estos bioles no se impacta negativamente al medio ambiente.

Verduras como arveja y betarragas también han sido objeto de estudio, al ser fertilizadas con bioles, es el caso de López (2013) quien evaluó diferentes dosis de biol para fertilizar cultivos de arveja y concluyó que la mejor concentración esta entre 50 y 75%, obteniéndose cultivos con gran productividad, coincidiendo con Rojas (2017), quien evaluó la mezcla de biol, humus de lombriz, y guano de islas, y encontró que la mejor rentabilidad del cultivo de arveja fue 6 t.ha-1 de humus de lombriz; 1 t.ha- de guano de islas y biol al 40 %, y para el caso de la betarraga (*Beta vulgaris L.*), Dalmacio (2020) evaluó la aplicación del biol acompañado con microorganismos eficaces, obteniendo buenos rendimientos por hectárea y mayores pesos por unidad.

Para el caso de la papa, es un cultivo el cual requiere de una fertilización alta, y para bajar los costos de producción resulta una gran opción el uso de estos bioles, según esto Guerrero (2017) en su trabajo donde evaluó diferentes dosis de aplicación en el cultivo de papa, recomienda al final del estudio la aplicación del biol a una concentración al 30% obteniendo resultados favorables, también Quispe (2019) en su estudio afirma que el mejor biol para el cultivo de papa es el proveniente del estiércol

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 66 de 78


bovino reflejándose en mayor rendimiento por hectárea y mejores pesos, y además obteniéndose una relación costo beneficio rentable.

De acuerdo a lo reportado en los resultados anteriores se puede afirmar que resulta de gran utilidad la implementación de biodigestores en zonas de clima frío en Colombia, ya que gracias a esto se contribuye a la disminución de contaminación ambiental y se obtienen productos que mejoran la calidad de vida de los habitantes como lo es el biogás y además hacen que los sistemas de producción animal sean más competitivos obteniendo bioles que al ser aplicados a cultivos ya sean pasturas u otros hacen que se obtengan buenas cosechas y se disminuyan costos.

Conclusiones

- Se concluye que las materias primas encontradas en el trópico alto colombiano y en especial las encontradas en los sistemas de producción animal resultan aptas para la digestión anaerobia de los biodigestores.
- Se concluye que los biodigestores en el trópico alto colombiano manejados con todas las condiciones necesarias, entre ellas manteniendo la temperatura bajo la influencia de un invernadero brindan excelentes resultados, como biogás y biofertilizantes, lo cual genera beneficios como energía renovable y bioabono adecuado para la enmienda de suelos.
- El biogás obtenido es una fuente de energía renovable de gran importancia actualmente, ayuda a disminuir la dependencia de energías de combustibles fósiles y de esta manera se contribuye con el medio ambiente.


Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 67 de 78

- La implementación de un biodigestor en el trópico alto colombiano resulta ser viable ya que se consiguen las materias primas fácilmente, se pueden garantizar temperaturas satisfactorias para el trabajo de las bacterias por medio del invernadero, y se obtienen productos que ayudan a reducir costos y a depender en menor medida de fuentes energéticas no renovables.

Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de biodigestores en el trópico alto colombiano, ya que se impacta positivamente al medio ambiente y en estas zonas existen diferentes materias primas con las cuales se puede alimentar el biodigestor y obtener excelentes resultados.
- Al implementar un biodigestor en clima frío se recomienda tener este bajo la influencia de un invernadero, esto para elevar la temperatura y así aumentar la actividad de las bacterias participantes en este proceso.
- Se recomienda seguir investigando sobre más tecnologías que impacten positivamente al medio ambiente y que generen beneficios que hagan del campo colombiano más sostenible.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 68 de 78

Bibliografía

Acuña, Y., Jaramillo, G., Ospina, L., Molina, D. (2022) Valorización energética de estiércol equino en condiciones psicrófilas: biodigestor de bajo costo instalado en el ejército nacional de Colombia.

<http://revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac/article/view/60/32>

Amante, A. Martínez, R. Rossel, E. Pimentel, J. García, J. Gómez, A. (2019).

Digestión anaerobia de estiércol de ovino para producir biogás y bioabono.

<https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=5c88e9e5-d3ef-40b7-aa29-6965c31a526f%40redis>


Arrieta, W. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Universidad de Piura.

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf

Cabanillas, A. (2022). Propuesta de la producción energética de una planta de biogás a partir de la digestión anaerobia de estiércol de cerdo codigerido con los residuos grasos de la industria pesquera en el distrito de Huacho. Universidad nacional Pedro Ruiz gallo.

https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10902/Cabanillas_Guerrero_Antony_Ivan.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cabos, J. (2014). Evaluación de las concentraciones de nitrógeno, fosforo y potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol del ganado vacuno en un biodigestor de geo membrana de poli cloruro de vinilo. Trabajo de grado,

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 69 de 78

tesis. Universidad nacional de Trujillo.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300021&script=sci_arttext

Cáceres, E. (2011). Producción de biogás. Construcción de un biodigestor

<http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/7/produccion-biogas-construccion-biodigestor-35587-completo.pdf>

Céspedes, R. (2021). Evaluación de la productividad y la calidad nutritiva de la cebada (*Hordeum vulgare*) como forraje verde, con aplicación de riego y biol en la estación experimental choquenaira. La Paz. Bolivia.

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/29737>

Corona, I. (2007). Biodigestores. Universidad Autónoma de Hidalgo.


<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/362/Biodigestores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cruz, E. Garzón, I. Cuervo, J. (2021). Efecto de la aplicación de biol producido a partir de estiércol bovino en las propiedades de un suelo dedicado a la producción de forraje.


<http://revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac/article/view/45>

Dalmacio, C. (2020). Dosis de biol y fertirriego con microorganismos eficaces en el rendimiento de la betarraga (*Beta vulgaris L.*), en condiciones edafoclimáticas de Cahuac – Yarowilca. Perú.

<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6181>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 70 de 78

- Decara, L. Sandoval, G. Funes, C. (2004). El uso de biodigestores en sistemas caprinos de la provincia de Córdoba. Córdoba. <https://docplayer.es/75085396-El-uso-de-biodigestores-en-sistemas-caprinos-de-la-provincia-de-cordoba.html>
- Díaz, M. Espitia, S. Molina, F. (2002). Digestión anaerobia. Universidad Nacional de Colombia.
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49691&ved=2ahUKEwiFmc7rgL2AAxX7mGoFHZEQCAQQFnoECAwQAQ&usg=AOvVaw1XpHuzzaGsbbK2LcOEF6yC>
- FAO. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018). Soluciones ganaderas para el cambio climático.
<https://www.fao.org/3/I8098ES/i8098es.pdf>
- Godoy, M. Silva, M. Palacios, J. (2018). La producción de biogás por degradación de abono orgánico como alternativa de energía en Ecuador. Ecuador.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6507873>
- Guerrero, A. (2017). Evaluación del uso de tres formulaciones de biol en la producción de papa (*Solanum tuberosum L.*) Variedad Cecilia. Ecuador.
<https://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/ir-:123456789-26395>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 71 de 78

Hernández, B. Ramírez, N. (2019). Especificación de las condiciones de operación de un biodigestor usando como materia prima estiércol bovino y equino en la finca “villa Italia” ubicada en el municipio Paipa (Boyacá).

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7385/1/6141228-2019-1->


Jiménez, E. (2011). Aplicación de biol y fertilización química en la rehabilitación de praderas, “aloag – pichincha”.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4664/1/t-espe-iasa%20i-004573.pdf>

Laines, J. Sosar, J. Cámara, K. Alejandro, J. Ferreiro, J. (2011). Diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás. <https://docplayer.es/19267407-Diseno-construccion-y-operacion-de-un-biodigestor-anaerobio-tipo-cupula-a-escala-real-para-la-obtencion-de-biogas.html>

Lara, M. (2016). Diseño de un biodigestor para la producción de biogás generado por las excretas de ganado vacuno en el criadero “Jersey chugllin”. Riobamba, Ecuador.

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/6261&ved=2ahUKEwjC7I-tgb2AAxU6lGoFHT63DwwQFnoECAyQAQ&usg=AOvVaw0xOIsfzsGBC7H18n7dJaHT>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 72 de 78

Limachi, P. (2018). Evaluación de tres niveles de biol aplicada a la producción de forraje hidropónico, en avena (*Avena sativa L*) y cebada (*Hordeum vulgare L.*)

<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18495>

López, B. (2013). Evaluación de la aplicación de biol a diferentes concentraciones en dos variedades de arveja china (*pisum sativum var.*) Bajo ambiente protegido en las colinas “agrosol”. La Paz, Bolivia.


<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/4105/T1884.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lorenzo, Y. Obaya, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. La Habana.

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf&ved=2ahUKEwjIyKiR7yAAxWIkWoFHQU4DNMQFnoECBAQAQ&usg=AOvVaw20UBPfcv2in-EINlcTjMca>

Magueño, J. (2021). Evaluación de dos densidades de siembra y aplicación de biol de bovino, para la producción de plantines de cebolla (*Allium cepa L.*) La Paz-Bolivia.

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/26829/T2945.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 73 de 78

Mariño, D. Rivera, L. Villanueva, A. (2021). Desarrollo de un sistema de producción de biogás en un biodigestor de flujo discontinuo en condiciones medioambientales de campus chía, universidad el bosque. Bogotá.

[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6411/Mariño_Parada_Daniela_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6411/Mari%C3%B1o_Parada_Daniela_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Martí, J. (2007). Experiencia de transferencia tecnológica de biodigestores familiares en Bolivia. GTZ-PROAGRO, Componente de Accesos a Servicios Energéticos, c/ Capitán Ravelo 2334, La Paz, Bolivia.

<https://www.bivica.org/files/biodigestores-familiares.pdf>

Martí, J. (2015). Hacia un sector de biodigestores sostenible en Ecuador: Insumos para un componente de biodigestores de PNABE. CIMNE.


https://www.ctcn.org/system/files/dossier/3b/r4.1-20191210_programa_nacional_de_biodigestores_en_ecuador-ctcn.pdf

Monterrosa, H. (2018). Hasta 70% de los residuos sólidos del país se pueden transformar en compostaje. La república.

<https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/hasta-70-de-los-residuos-solidos-del-pais-se-pueden-transformar-en-compostaje-2762298>

Olaya, Y. González, L. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícola. Palmira.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 74 de 78

Oñate, E. (2014). Respuesta agronómica del cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var. *Skywalker*) a la aplicación de biol enriquecido. Ecuador.

<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10541/1/Tesis99%20%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20323.pdf>

Osorio. Ciro, H. González, H. (2007). Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. Medellín.

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914078017.pdf&ved=2ahUKEwiUiJ_Tgb2AAxVukmoFHd0lBjkQFnoECAwQAQ&usg=AOvVaw3-Fli0xM6zIOazEIjfUe3


Ordoñez, O. (2022). Digestión anaerobia a bajas temperaturas. Programa maestría en ciencias ambientales extensión pasto facultad de ciencias ambientales universidad tecnológica de Pereira.

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4c3ebf01-11eb-40ee-b130-f027ffc15342/content>


Pantoja, R., Parra, A. (2012). Obtención de biogás a partir de estiércol de cerdo utilizando un biodigestor tipo tubular. UNIMAR.

Pautrat, J. (2010). Diseño de biodigestor y producción de biogás con excremento vacuno en la granja agropecuaria de yauris. Huancayo.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2939>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 75 de 78

- Poggio, D. Ferrer, I. Batety, L. Velo, E. (2009). Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos. Barcelona.
- <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd21/9/pogg21152.htm>
- Quispe, R. (2019). Evaluación de tres biofertilizantes orgánicos en la producción papa kompis (*Solanum tuberosum*) En la localidad de huayrocondo batallas – la paz. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/24898>
- Quispe, R. (2021). Evaluación de un biodigestor de flujo discontinuo para generar biogás a partir de excretas de ganado vacuno en zonas alto andinas, Juliaca – 2020. Juliaca. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4933>
- Rivas, O. Faith, M. Guillén, R. (2010). Biodigestores: químicos, físicos y factores biológicos relacionados a su productividad.
- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835857#:~:text=Biodigestores%20factores%20qu%C3%ADmicos%20f%C3%ADsicos%20y%20biol%C3%B3gicos%20relacionados%20con%20su%20productividad&text=Los%20biodigestores%20son%20sistemas%20dise%C3%B1ados,renovable%20y%20de%20bajo%20costo.>
- Rodríguez, C. (2002). Residuos ganaderos. FAV, UNRC. https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf
- Rojas, C. (2017). Producción de arveja verde “quantum” (*Pisum sativum* L.) Con aplicaciones de humus de lombriz, guano de islas y biol en condiciones

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 76 de 78

agroclimáticas de tiabaya – Arequipa. Perú.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2421>

Rojas, J. (2015). Evaluación del efecto del fertilizante foliar enriquecido supermagro en la recuperación de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), en el municipio de Pasto. <https://sired.udenar.edu.co/968/>

Rojas, J. Ñañez, L. (2018). Diseño e implementación de un Biodigestor en la granja porcícola San Sebastián del municipio de Timaná – Huila, como estrategia de aprovechamiento de los residuos generados para la fertilización de pasturas y la generación de biogás. Pitalito, Colombia.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17850>


Rojas, O. Mavila, D. Rojas, D. (2016). Diseño y construcción de un biodigestor tubular a base de excretas de alpaca a una altura de 4200 msnm. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/Theo/article/view/1260>

3

Sánchez, A. García, V. (2014). Evaluación de la prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica a partir de biogás con estiércol de ganado vacuno o porcino en Cundinamarca.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tekhne/article/view/10196>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 77 de 78

Satiz, E. (2018). Evaluar la productividad y eficiencia de biogás en un sistema de biorreactores. Chiapas.

<http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/2944>

Shirakawa, A. (2016). Evaluación del método de ensilado de excretas de cerdo en la generación de biogás y biol mediante biodigestores. Lima.

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1370526>

Sossa, J. Álvarez, N. (2016). Modelación matemática del proceso de digestión anaerobia en condiciones de clima frío utilizando biodigestores tubulares.


vol.3. no.1. La Paz. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182016000100010&script=sci_arttext

Varnero, M. (2011). Manual de biogás. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. Santiago de Chile. <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

Vega, D. Freire, M. Torres, T. Llumiyinga, K. Jácome, K. (2022). Biodigestión: proceso auto sostenible para la obtención de energía Renovable. Artículo de revisión. <https://www.redunia.org/revista/index.php/redunia/article/view/46>

Vega, L. Vega, D. Poveda, F. (2020). Evaluación de un digestado como fertilizante orgánico. Chile.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292020000300087&lng=es&nrm=iso&tlng=es#:~:text=El%20pH%20encntrado%20en%20el,su%20m%C3%A1ximo%20nivel%20de%20solubilidad.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 78 de 78

Zambrano, M. (2016). Rendimiento de biogás a partir de mezclas entre estiércol de vacuno y suero de quesería mediante digestión anaeróbica. Universidad nacional agraria la Molina.

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2711/P06-Z3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>