

BIODIGESTORES COMO ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN ZONAS RURALES¹

BIODIGESTERS AS ALTERNATIVE FOR THE USE OF ORGANIC WASTE GENERATED IN RURAL AREAS

María Del Pilar Celis Celis²

Asesores : Liseth Marely Álvarez Salas³, Joe Sánchez Marin⁴

Fecha de entrega: 25/11/2020

Resumen

Actualmente, en Colombia el 76.1% de comunidades rurales no cuentan con el servicio de transporte y recolección de los residuos orgánicos. Conllevando, a que estas comunidades se vean en la necesidad de enterrar, incinerar y arrojar a las fuentes hídricas los desechos orgánicos generados. La zona de estudio se centra en la zona rural del municipio de Puerto Nare, el cual registra dificultades con la gestión de los residuos, ya que la cobertura de recolección y transporte de los residuos generados por las comunidades es tan solo del 20% en el área rural. Por otro lado, la ganadería es una de las actividades económicas que se destaca en el municipio de Puerto Nare, y según el censo agropecuario del año 2013-2014 registra que el municipio cuenta con aproximadamente 42.578 cabezas de ganado. Adicionalmente el estiércol producto de la digestión de la vaca genera problemáticas ambientales tale como: contaminación del suelo, aire y agua. Por tal motivo, se realizó esta revisión bibliográfica con el objetivo de identificar los distintos tipos de biodigestores existentes y que hayan sido implementados en las zonas rurales, con el fin de proponer el más adecuado a desarrollar según las condiciones del municipio de Puerto Nare y de este modo aprovechar los residuos como las excretas del ganado, resto de alimentos y poda para generar biogás, y que sea implementado

¹ Este artículo es el resultado del proyecto de investigación "biodigestores como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en zonas rurales"

² Estudiante de ingeniería ambiental, Tecnológico de Antioquia, correo electrónico: mpcelis@tdea.edu.co

³ Bióloga, Maestría en antropología, ph. D en agroecología, Docente Investigadora, Facultad de Ingeniería, Tecnológico de Antioquia, correo electrónico: lizeth.alvarez@tecnologicodeantioquia.onmicrosoft.com

⁴ Ingeniero ambiental, Magister en Ingeniería Ambiental, Docente de la facultad de ingeniería, Tecnológico de Antioquia, correo electrónico: jsanch18@tdea.edu.co

como alternativa energética para la cocción de alimentos. De esta manera se logra contribuir con el cumplimiento de algunos de los objetivos del desarrollo sostenible.

El biodigestor propuesto para la zona rural del municipio de Puerto Nare es el biodigestor semi- continuo tipo tubular o salchicha, y de acuerdo a la literatura, 1 kg de estiércol al día produce entre 0.025- 0.04 m³/ kg de excreta, y para generar 1 m³ de biogás al día se necesita entre 3 y 4 bovinos, los cuales producen aproximadamente entre 30-40 kg/ estiércol al día. Por ende, si se cuenta con 1m³ al día de biogás, la comunidad puede cocinar aproximadamente por más de 3 horas diarias.

Palabras claves: biodigestor, residuos orgánicos, biogás, digestión anaeróbica, gases de efecto invernadero.

Abstract:

Currently, 76.1% of rural communities in Colombia do not have transportation and collection services for organic waste. This means that these communities have to bury, incinerate and dispose of their organic waste at the water source. The study area is centered in the rural area of the municipality of Puerto Nare, which has difficulties with waste management since the coverage of collection and transportation of waste generated by the communities is only 20% in the rural area. On the other hand, livestock is one of the economic activities that stands out in the municipality of Puerto Nare, and according to the agricultural census of 2013-2014 records that the municipality has approximately 42,578 heads of livestock. Additionally, the manure produced by the digestion of the cow generates environmental problems such as: soil, air and water pollution. For this reason, this bibliographic review was carried out with the objective of identifying the different types of biodigesters that exist and have been implemented in rural areas, in order to propose the most appropriate one to be developed according to the conditions of the municipality of Puerto Nare and in this way take advantage of the waste such as cattle excrement, other food and pruning to generate biogas, and to be implemented as an energy alternative for cooking food. In this way, it is possible to contribute to the fulfillment of some of the objectives of sustainable development.

The proposed biodigester for the rural area of the municipality of Puerto Nare is the semi-continuous tubular or sausage type biodigester, and according to the literature, 1 kg of manure per day produces between 0.025- 0.04 m³/ kg of excreta, and to generate 1 m³ of biogas per day, between 3 and 4 cattle are needed, which produce approximately 30-40 kg/ manure per day. Therefore, if 1m³ a day of biogas is available, the community can cook for approximately 3 hours a day.

Keywords: biodigester, organic waste, biogas, anaerobic digestion, greenhouse gases.

1. Introducción

En muchos países la inadecuada gestión de los residuos orgánicos ha representado una problemática en el ámbito ambiental, social y económico. Según el informe del Banco Mundial titulado “What a Waste 2.0”, en el mundo se generan anualmente 2.100 millones de toneladas de desechos. Para el año 2050 se proyecta que esta cifra aumente a los 3.400 millones de toneladas anuales (BBC News Mundo, 2019).

En Colombia se generan alrededor de 12 millones de toneladas de residuos al año, de los cuales, tan solo se recicla el 17% (Asmar, 2020). El Departamento Nacional de Planeación (DNP) anuncia que si Colombia continua generando grandes cantidades de residuos, para el año 2030 el país tendría una contingencia, aumentando la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que repercute sobre la calidad del aire (Asmar, 2020). De continuar con esta problemática para el año 2030, la generación de residuos en las zonas urbanas y rurales podría llegar a 18.74 millones de toneladas anuales de residuos orgánicos e inorgánicos, de las cuales 14.2 millones de toneladas de residuos deberán ser dispuestos en rellenos sanitario (Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación, 2016).

De acuerdo con el DNP, en su informe nacional del 2018 sobre disposición final de residuos sólidos, señala que para el año 2021 los rellenos sanitarios de 231 municipios en Colombia colapsarán, además, también destaca la ausencia de rutas selectivas en los municipios, la falta de prevención, reutilización y separación adecuada de los residuos (Castañeda, 2018).

Los rellenos sanitarios se encuentran localizados en áreas rurales y su elección, está condicionada al cumplimiento de condiciones consignadas en gran parte en el Decreto 838 del 2005, como: accesibilidad vial, condiciones de suelo y topografía, distancia del perímetro urbano, disponibilidad de material de cobertura, distancia a cuerpos hídricos, densidad poblacional, impacto ambiental y dirección de los vientos etc.(Presidencia de Colombia, 2005). Irónicamente, las comunidades rurales son las que menos disposición de los residuos tienen en estos rellenos, debido a que muchos municipios no cuentan con la cobertura de recolección en estas áreas (Gutiérrez, 2020).

El censo del DANE del año 2018, señala que en Colombia el 15.8% de los habitantes habitan en zonas rurales; de estos, el 23.9% de la población rural del país cuenta con servicio de recolección de residuos, dejando a un 76,1% sin la posibilidad de deshacerse correctamente de los desechos (DANE, 2018). En muchos municipios la prestación del servicio de recolección y transporte de los residuos en las zonas rurales es suministrado de manera deficiente, lo que es más crítico aún si se considera que algunos municipios no cuenta con un área de disposición final (Henríquez, 2014). Por otro lado, el mal estado en las vías al acceso al área rural es otro factor que influye para no suministrar el servicio de transporte y recolección de los residuos (Caicedo, 2004). Como resultado de esta problemática, los habitantes de estas zonas se ven en la necesidad de enterrar, incinerar y arrojar a las fuentes hídricas los desechos inorgánicos generados (Gutiérrez, 2020). Las consecuencias ambientales de enterrar los desechos son: contaminación del agua, generación de malos olores, pérdida de la fertilidad del suelo y degradación de la flora y fauna, por otro, durante la combustión de los desechos se producen gases como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), gases que son considerados de efecto invernadero. En el proceso de ignición de los residuos, el fuego se genera a nivel del suelo, por lo cual es mayor la probabilidad de que los contaminantes no se dispersen o se diluyan, provocando la contaminación de la tierra y el agua (Pérez, 2016).

En otros casos la disposición final de los residuos de las áreas rurales se realiza a cielo abierto sin ningún tratamiento y habitualmente en los mismos alrededores de las viviendas (CORTOLIMA, 2007). Esta práctica genera presencia de vectores y animales, olores desagradables, gases e incremento de lixiviados (Maldonado, 2002). Adicionalmente, en muchas de estas comunidades los residuos orgánicos generados como los restos de comida suelen suministrárselo como alimentos a los animales domésticos o aplicarlos al suelo sin tener un procesos de estabilización previos (Melo, 2014).

Según (Suárez, 2000, p.12) los desechos orgánicos *“Son aquellos que provienen de organismos vivos como plantas y animales, quienes contienen compuestos orgánicos producidos por la naturaleza y que se descomponen biológicamente por la acción de microorganismos o agentes fisicoquímicos a condiciones normal”* por ejemplo, desechos de comida, desechos agrícolas y estiércol.

Las zonas rurales, tiene unas características sociales, económicas y culturales muy diferentes a las comunidades urbanas, por ejemplo, los programas de gestión de residuos sólidos su manejo e implementación se realiza de manera diferente para ambos sectores (Pita- Morales et al., 2016). Adicionalmente, los pobladores del sector rural no realizan una adecuada disposición de sus desechos debido al desconocimiento del tema o porque no se encuentra dentro de las prioridades del municipio (Pita- Morales et al., 2016).

Las zonas rurales tradicionalmente se han visto relacionado como un territorio con poca presencia de población en un ámbito donde los espacios no construidos son predominantes. Además, se caracteriza por la utilización de los suelos para la agricultura, la ganadería y ocupaciones forestales (Cortés, 2019). Adicionalmente, estos territorios rurales, se han concebido como áreas para la producción ecoturística, zonas de conservación y en las últimas décadas, área para la expansión industrial.

Basado en la clasificación de ruralidad de Cloke y Edwars,(Cortés, 2019, p.5) definen como ruralidad extrema *“áreas remotas, a más de dos horas en automóvil de una ciudad, actividad agrícola marginal, caracterizados por una fuerte*

despoblación y parte del territorio con función recreativa”. Asimismo, son recurrentes la carencia de servicios de conectividad en telecomunicaciones y en vías de acceso. Y es usual que las comunidades busquen estrategias de movilización entre la zona rural y urbana, mediante automotores de uso público como motomesas, chivas, motocicletas, lanchas; y en algunas otras zonas se utiliza movilidad animal como mulas y caballo (Reig, Goerlich & Cantarino, 2016).

Esta investigación se centra en la zona rural del municipio de Puerto Nare, la cual registra serias dificultades con la gestión de los residuos, ya que la cobertura de recolección y transporte de dichos residuos es tan solo del 20% en el área rural (González, 2019). Gran parte de estas zonas rurales se encuentran a más de 2 horas de distancia de la cabecera municipal como lo son las veredas El Paraíso, Hoyo Rico, La Patiño, Tambores, Serranía, Monte Cristo, Los Limones y La Arabia, ver (figura 1). Las vías de acceso a estas veredas son terciarias, uniando la cabecera municipal con las veredas o uniando veredas entre sí (INVIAS, 2016); adicionalmente, sus vías son destapadas (sin pavimentar). El manejo de los residuos en la fuente no es óptimo, ya que se registra la descarga de los residuos generados por los habitantes en las fuentes hídricas como el Río Nare y el Río Magdalena (CORANTIOQUIA, 2018); este comportamiento de arrojar los residuos a las fuentes hídricas trae como consecuencia la alteración del ecosistema, pérdida de la biodiversidad, y eutrofización de los ríos (Anta, 2019).

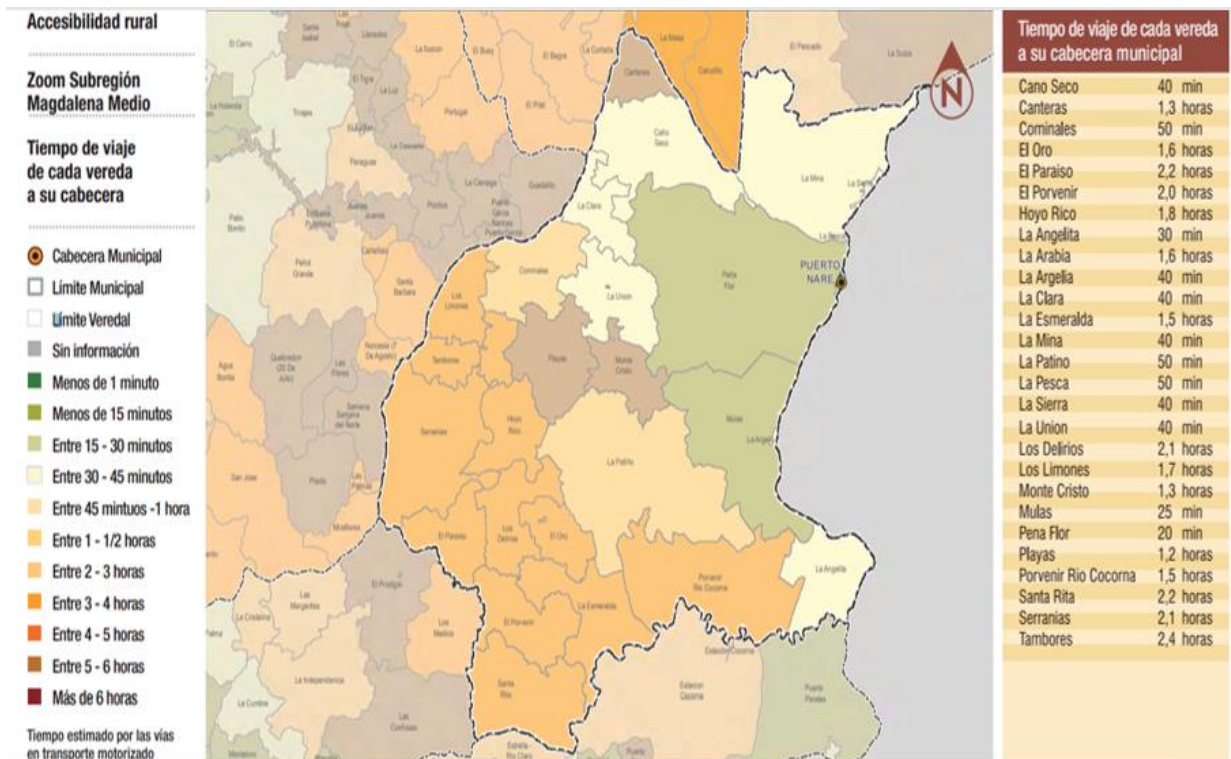


Figura 1. Distancia desde el centro urbano a las zonas rurales en el municipio de Puerto Nare. Fuente: http://secretariainfraestructura.antioquia.gov.co/descargas/InformacionRedVialAntioquia/4.%20Mapas%20por%20municipio/Puerto_Nare_fichaMunicipal2.pdf. Consultado: (07/10/2020)

Los residuos orgánicos que frecuentemente se generan en las zonas rurales del municipio de Puerto Nare son: desechos de comidas (frutas y verduras), excretas de animales y restos de cosecha y de poda (Estrada, 2019). Estos desechos tienen un gran potencial de aprovechamiento y el adecuado manejo de estos residuos orgánicos produce importantes beneficios como lo son: producción de biogás, permitiendo la obtención de energía, por otro lado, también se obtiene materia orgánica, la cual puede ser convertida en compost para ser utilizada como abono orgánico, al igual que se contribuye al mejoramiento de la calidad del aire y del agua reduciendo la contaminación generada por los residuos orgánicos, disminuyendo los olores, así como las emisiones de gases y lixiviados (Organic, 2017). Este tipo de residuos tiene la posibilidad de ser incorporados de nuevo a los sistemas ecológicos o agrícolas mediante la utilización de biodigestores, siendo estos una tecnología limpia, que permite la producción de energía que puede ser empleada en la cocción de alimentos, obtención de abono, protección del medio ambiente por la reducción de las cargas contaminantes de los residuos y su

mantenimiento puede ser sencillo (Pinzón, 2016). Adicionalmente, esta tecnología es limpia, renovable y de bajo costo que puede ser implementada en las zonas rurales del municipio de Puerto Nare.

Al día de hoy, existen diversos tipos de biodigestores, los cuales varían de acuerdo con su complejidad y utilización. La elección del biodigestor a implementar depende de varios factores tales como: el económico (inversión que se está dispuesto a realizar), la ubicación del digestor, la biomasa con la que se cuenta para alimentar el digestor, tamaño requerido del digestor, etc. (FAO, MINENERGIA, PNUD, & GEF, 2011).

Este artículo de revisión tiene como objetivo identificar los diversos tipos de biodigestores que hayan sido implementados en zonas rurales, con el fin de aprovechar los residuos orgánicos generados por la comunidad rural de municipio de Puerto Nare, y por medio de la digestión anaeróbica producir biogás para ser empleado como una alternativa energética. A la vez, contribuir con el cumplimiento de algunos de los objetivos del desarrollo sostenibles (ODS) tales como objetivo 6 “agua limpia y saneamiento” en busca de mejorar los servicios de saneamiento e higiene a la comunidad rural, objetivo 7 “energía asequible y no contaminante” implementando tecnología limpias y menos contaminantes (biodigestores), al igual que prestar servicios energéticos modernos y desarrollados (biogás), y objetivo 13 “acción por el clima” contribuir con la reducción de GEI, evitando de esta manera la emisión principalmente de altas cantidades de metano.

2. Generalidades del municipio de Puerto Nare

El municipio de Puerto Nare se encuentra situado en de la subregión del Magdalena Medio en el departamento de Antioquia ver (figura 2). Limita por el norte con los municipios de Caracolí y Puerto Berrio; por el oriente con el departamento de Boyacá; por el sur con el municipio de Puerto triunfo y por el occidente con el municipio de San Luis (Gonzáles, 2019). La población total es de 14.312 habitantes, con una población urbana de 9.931 y su población rural es de 4.381 habitantes. Posee tres corregimientos (La Sierra, La Pesca y La Unión) y 23 veredas. La altura en la cabecera municipal es de 125 msnm y precipitaciones medias anuales de 2000

mm y por su localización, su temperatura puede oscilar entre los 27°C a 36°C. Adicionalmente, en Puerto Nare existen dos tipos de clima: monzónico y clima tropical de sabana (González, 2019). En cuanto a su hidrografía, cuenta con dos ríos el Magdalena y el Nare, siendo este último reserva alimentaria para sus habitantes (González, 2019).

Gran parte del municipio de Puerto Nare se clasifica como bosque húmedo tropical (bh-T), constituido de un relieve plano, con planicies aluviales de suelos fértiles asociadas con colinas de pendientes moderadas y suelos de baja fertilidad (Vanega, 2010). La precipitación del bosque húmedo tropical es de aproximadamente 4000 mm al año, con una temperatura promedio que se encuentra entre los 25°C y 27°C. Se presenta vegetación natural en la cual es usual encontrar especies como: Cedro (*Cedrela odorata*), Algarrobo (*Hymenaea courbaril*), Ceiba (*Ceiba pentandra*), Pacó (*Cespedesia Spathulada*), Palma mil pesos (*Oenocarpus bataua*), Chingalé (*Jacaranda copaia*), Caracolí (*Anacardium excelsum*). En cuanto a la fauna se encuentran animales como Guacamayas (*Ara sp.*), Iguanas (*Iguana iguana*), Tucanes (*Ramphastidae*), Mapaná (*Bothrops atrox*), Águila arpía (*Harpia harpyja*) y diversidad de insectos como mariposas, hormigas, mantis religiosas, cigarras, etc. (EPM, 2012).

Dentro de las actividades economía del municipio de Puerto Nare se encuentra la ganadería, y minería, dedicada principalmente a la extracción de la roca caliza y oro ofreciendo una minería de tipo aluvial ubicada de forma precisa en las Veredas La Mina y El Porvenir (González, 2019). Al mismo tiempo el municipio cuenta con importantes localidades cementeras y la explotación del petróleo el cual constituye la mayor fuente de ingresos para el municipio (González, 2019). Adicionalmente, la agricultura es otra de las actividades económicas que allí se realizan, siendo el maíz, yuca, plátano, frijol y frutales los principales productos cultivados (Vanega, 2010).

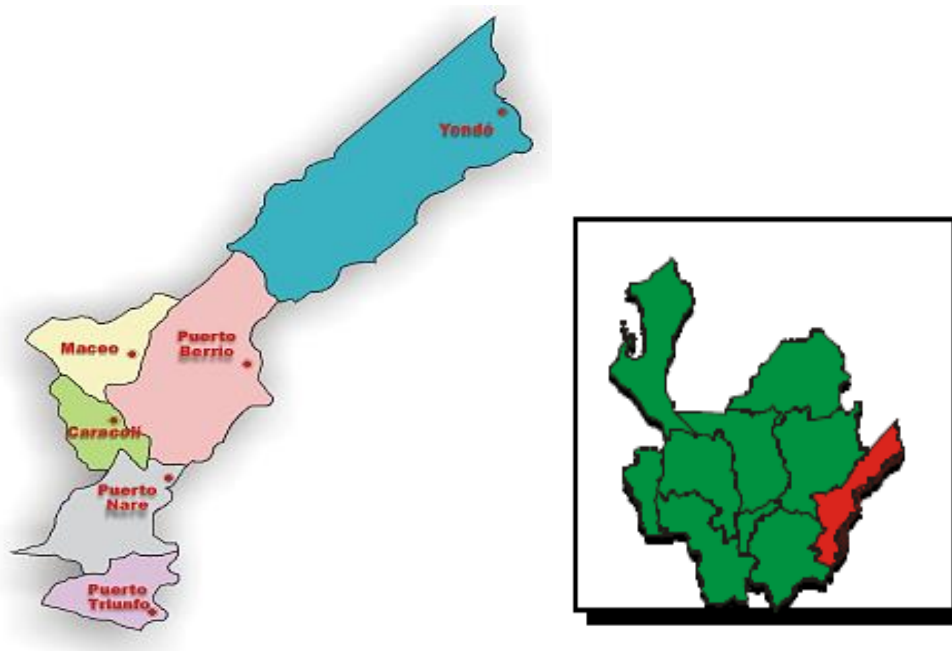


Figura 2. Localización de municipio de Puerto Nare. Fuente: <https://docplayer.es/24672038-Programa-agropecuaria-municipal-pam-municipio-de-puerto-nare-antioquia.html>. Consultado (09/11/2020)

3. Ganadería en la Magdalena Medio

La ganadería en el Magdalena Medio se realiza mediante la estrategia de ganadería extensiva, predominando el ganado doble propósito (raza Brahman y Angus), seguido del ganado de carne siendo la raza Cebú las más comercial (Vanega, 2010). Los sistemas extensivos se basan principalmente en el pastoreo de ecosistemas naturales modificados por el hombre y que está restringido a la capacidad de carga de la zona, el régimen de lluvias, tipo de forraje, suplementación, edad y peso del animal. En fincas tradicionales del trópico bajo de Colombia, se encuentra entre 1.5 y 1.8 bovinos adultos de 400 a 450 kilos por hectárea y en predios tecnificados con sistemas silvopastoriles en los cuales se pueden encontrar de 3 a 4 reses por hectárea (Contexto ganadero, 2017, citado por Ramírez & Amaya, (2018)). Según el censo nacional agropecuario del año 2013-2014 en el municipio de Puerto Nare se contaban con 42.578 cabezas de ganado distribuidas en 310 unidades productivas agropecuarias (DANE, 2014).

4. Problemáticas ambientales generadas por la producción agropecuaria

La ganadería bovina es una de las actividades económicas que se realizan en el municipio de Puerto Nare, representando una fuente de ingresos importante para muchos de sus habitantes, Las principales veredas que se dedican a la ganadería son: El Paraíso, Hoyo Rico, La Patiño, Tambores, Serranía, Monte Cristo, Los Limones, La Arabia, todas estas perteneciente a la zona rural del municipio de Puerto Nare (González, 2019). Este ganado está compuesto por mamíferos herbívoros del género *Bos*, pertenecientes a la familia Bóvidos y dentro de ella a la subfamilia Bovinos, su nombre científico es *Bos taurus* (Viguera, Watler, & Morales, 2018). Las fincas ganaderas son cultivadas con pastos nativos (*Cynodon dactylon*), una especie perenne de la familia de las poaceae con habito de crecimiento rastrero que prospera sobre una gran diversidad de suelo en ambientes cálidos, húmedos y subhúmedos. Esta especie resiste los cambios de temperatura, soporta sequias, y tolera el alto impacto de la presión ejercida por el pastoreo (Garay & Mayer, 2016).

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 (NH_3), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) (Pinos-Rodríguez 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 (Pinos-Rodríguez et al., 2012). 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 (Pinos-Rodríguez et al., 2012). El nitrógeno es abundante en el estiércol y las aguas subterráneas pueden verse contaminadas por la lixiviación del nitratos a través del suelo, mientras el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Pinos-Rodríguez et al., 2012).

5. Residuos orgánicos biodegradables

Los residuos orgánicos biodegradables son aquellos residuos que pueden desintegrarse o degradarse rápidamente de forma natural y a su vez se pueden transformar en un nuevo tipo de materia orgánica para su aprovechamiento por ejemplo en abonos agrícolas de alta calidad o ser utilizados como sustrato para la producción de biogás (Reyes, 2017).

5.1 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, Cruz, & Huerta, 2014). Un bovino joven absorbe durante el proceso digestivo mayor cantidad de nitrógeno y de fósforo con respecto a un bovino viejo. Pero 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, 2014). En la tabla 1 se aprecia la producción del estiércol del ganado bovino, la cual 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 et al., 2017). Produciendo en promedio 15 kg/día de estiércol (Córdova & Tarco, 2011) a 30 kg/día de estiércol (Pérez et al., 2017). En el caso del ganado mediano con edad de 2 a 3 años generan de 10 kg/día de estiércol (Córdova & Tarco, 2011) a 12 kg/día de estiércol (De La Torre, 2008). Esto es debido a que estos animales consumen menos cantidad de forraje lo cual genera que produzcan una menor cantidad de estiércol, lo mismo sucede con la producción de estiércol del ganado pequeño a menor consumo de forraje menor producción de estiércol diario. En el caso del ternero su alimentación está basada principalmente en leche y no se recomienda suministrarle forraje para su alimentación, estos

terneros producen en promedio 4 kg/día de estiércol (Córdova & Tarco, 2011) a 6 kg/día de estiércol (Cordero, 2013).

Tabla 1. Producción de estiércol ganado bovino

Tamaño del ganado bovino	Cantidad promedio de estiércol por día (kg)	Referencia
Grande (mayores de 3 años)	15 - 30	(Córdova & Tarco, 2011) (Pérez et al., 2017)
Mediano (de 2 a 3 años)	10 - 12	(Córdova & Tarco, 2011) (De La Torre, 2008)
Pequeño (de 1 a 2 años)	7.5 - 8	(Durazno, 2018) (Córdova & Tarco, 2011)
Ternero (menores de 1 año)	4 - 6	(Córdova & Tarco, 2011) (Cordero, 2013)

En la tabla 2, se aprecia la producción de estiércol kg/día del ganado bovino de acuerdo a su peso y según varios autores. El ganado bovino consume aproximadamente el 10% de su peso vivo por día (Contexto ganadero, 2017), por lo que un bovino con un peso de 700 kg consumirá 70 kg de forraje verde al día, y un bovino de 400 kg de peso consumirá 40 kg de forraje en el día. Lo que implica que a mayor peso del ganado mayor será la producción de estiércol kg/ día.

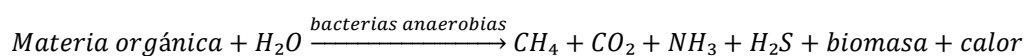
Tabla 2. Producción de estiércol kg/día de acuerdo al peso de cada bovino

Tipo de animal	Peso kg	Producción de estiércol kg/día	Referencia
Bovino	700	56	(Vera, Martínez & Estrada, 2014)
Bovino	400	25-40	(Doreto, 2006)
Bovino	150	8.5	(Cordero, 2013)
Bovino	100	7	(Toala, 2013)

Este estiércol producto de la digestión del ganado se configuran como materia prima con un gran potencial para ser aprovechados energéticamente generando biogás y ser utilizado para la cocción de alimentos.

6. Digestión anaerobia

La implementación del estiércol de ganado como sustrato para la digestión anaeróbica se ha convertido en una excelente alternativa para obtener biogás. Ya que, este proceso se desarrolla de manera natural y biológica en la cual un grupo de microorganismos interactúa entre sí en ausencia de oxígeno con el fin de estabilizar la materia orgánica, lo que da como subproducto la generación de metano y otros productos inorgánicos incluyendo agua y dióxido de carbono, tal como se muestra en la ecuación 1 (Ligarza, 2017).



Ecuación 1. Fuente (Ligarza, 2017)

Para que haya producción de biogás (principalmente metano y dióxido de carbono), los microorganismos que contiene la materia orgánica debe desarrollarse en cuatro etapas, las cuales son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, y metanogénesis, de manera consecutiva (Ligarza, 2017). A continuación se hace la descripción de las cuatro etapas.

- Etapa 1 hidrólisis: la hidrólisis bacteriana se encargan de romper los polímeros orgánicos insolubles, tales como carbohidratos, lípidos y proteínas y los transforman en compuestos adecuados para otras bacterias (Palau, 2012).
- Etapa 2 acidogénesis: las bacterias acidogénicas son las encargadas de convertir los azúcares y aminoácidos en dióxido de carbono, hidrogeno, amonio y ácidos orgánicos (Palau, 2012).
- Etapa 3 acetógenesis: las bacterias acetogénicas se encargan de producir acetato a partir de diversas fuentes de energía como el hidrogeno, y dióxido de carbono (Reyes, 2017).
- Etapa 4 metanogénesis: es la última etapa del proceso, y finalmente el hidrogeno y el dióxido de carbono son transformado en metano para producir biogás (Reyes, 2017).

6.1 Parámetros a tener en cuenta en la digestión anaeróbica

La digestión anaerobia puede verse afectada por diversos parámetros que influyen en el crecimiento y el desarrollo adecuado de las bacterias, lo que implicaría que no haya una adecuada producción de biogás. En la tabla 3 se relacionan los principales parámetros a tener en cuenta como limitantes en el proceso de la digestión anaerobia las cuales son: la temperatura, el tiempo de retención, la relación C-N, nivel de pH, solidos totales y humedad. Adicionalmente se describen los rangos óptimos para cada uno.

Tabla 3. Parámetros en la digestión anaeróbica

Parámetro	Rango	Referencia
Rango de Temperatura	Psicrofilicas Mínimo: 4-10 Optimo: 15-18 Máximo: 20-25	(González, 2014)
	Mesofilicas Mínimo:15-20 Optimo:25-35 Máximo:35-45	
	Termofilicas Mínimo: 25-45 Optimo:50-60 Máximo:75-80	
Tiempo de retención (días)	Psicrofilicas: >100 Mesofilicas: 30-60 Termofilicas: 10-16	(González, 2014)
Relación C-N	20-30	(Gua, 2010. Citado por (Tobon, 2018)
Nivel de pH	Microorganismo hidrolíticos pH entre 7.2 y 7.4 Microorganismos acetogénico pH entre 7 y 7.2 Microorganismos metanogénico pH entre 6.5 y 7.5	(González, 2014)
Solidos totales	8% a 12%	(Paredes, 2015)
Humedad	50% al 60%	(Colmenares& Santos, 2007. Citado por (Tobon, 2018)

A continuación, se describe de manera detallada cada uno de los parámetros descritos en la tabla 3.

- **Temperatura:** es uno de los parámetros que tiene gran influencia en el proceso de la digestión anaeróbica, los microorganismos psicrófilos trabajan a temperaturas debajo de 25°C lo cual genera que haya un bajo desempeño de degradación y producción de biogás, mientras que las bacterias mesófilas trabajan a temperaturas por debajo de 45°C, estas bacterias son formadoras de metano, con un rendimiento alto de producción de gas debido a su buena estabilidad en el proceso (Bautista, 2016).
- **Tiempo de retención (TR):** el TR está relacionado directamente con la temperatura y hace referencia al tiempo de permanencia del sustrato en el biodigestor (Tobon, 2018). Como se describe en la tabla 3 las bacterias psicrófilas tendrían un TR de 100 días aproximadamente, las mesófilas el TR sería de 30 – 60 días y las termófilas el TR estaría entre 10 y 16 días, lo que genera que a medida que aumenta la temperatura los tiempos de retención disminuyen (González, 2014).
- **Relación carbono /nitrógeno C/N:** el carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, y la relación óptima de estos dos elementos se encuentran en un rango de 30/1 hasta 20/1, en caso de que la relación C/N es mayor que 30 habrá un exceso de carbono que se oxidara en CO₂ y se obtendrá menos metano, pero si hay un exceso de nitrógeno y la relación C/N es menor que 30, significa que el carbono existente se acabara antes que el nitrógeno y el proceso finalizaría (Paredes, 2015).
- **Nivel de pH:** de manera general el rango óptimo del nivel de pH es entre 6 y 8. Los valores de pH superiores a 8 no favorecen la generación de metano, y en caso del que el pH se encuentre con valores por debajo 6 se interrumpe la producción de biogás (Tobon, 2018). En la tabla 3 se encuentran los niveles de pH para cada microorganismo.
- **Sólidos totales:** para que haya una rápida y eficiente digestión el contenido de sólidos totales recomendables es del 7% y 9%. El estiércol de la vaca contiene

altos contenidos de sólidos entre 17% y 20%, esto implica que los biodigestores que se alimente con estiércol del ganado deberá ser mezclado con agua (relación estiércol –agua) en una proporción de 1:1 (Paredes, 2015).

- **Humedad:** los valores recomendables de humedad son de 50 a 60%. Estos valores son los óptimos para favorecer la digestión anaeróbica y haya una adecuada producción de metano (Tobon, 2018).

6.2 Producción de biogás

El biogás es un gas que se produce por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), en un ambiente anaeróbico. El producto resultante es una mezcla constituida por diversos gases como el metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO₂), al igual que de pequeñas proporciones de hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) (Tobares, 2013).

La producción del biogás por descomposición anaeróbica es una alternativa para tratar residuos orgánicos. En la (tabla 4) se evidencia la producción del biogás y el rendimiento según varios estudios de diferentes autores. Por ejemplo, para producir 0.60 m³/ de biogás al día se necesita 15 kg/día de estiércol de ganado lo cual genera un rendimiento de 0.04 m³/kg de excreta (Córdova & Tarco, 2011). Para una producción de 1.25 m³/ de biogás al día se necesita 49 kg/ día de estiércol de ganado generando un rendimiento 0.025 m³/kg de excreta (Arellano et al., 2014). Para producir 0.40 m³/ de biogás al día se necesitó 10 kg/día de estiércol de ganado generando un rendimiento de 0.04 m³/kg de excreta (FAO et al., 2011). Y por último para producir 0.04 m³/kg de biogás al día se necesita 12 kg/ día de estiércol del ganado generando un rendimiento de 0.003 m³/kg de excreta (De La Torre, 2008).

Tabla 4. Producción y rendimiento del biogás

Producción de biogás (m ³ /animal. Día)	Rendimiento del biogás (m ³ /kg excreta)	Referencia
0.60	0.04	(Córdova & Tarco, 2011)
1.25	0.025	(Arellano et al., 2014)
0.40	0.04	(FAO et al., 2011)
0.04	0.003	(De La Torre, 2008)

El estiércol de ganado es una fuente importante para la producción de biogás. Ya que a mayor cantidad de excreta disponible se tenga diariamente mayor va a ser la producción de biogás y rendimiento.

6.3 Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica

A continuación, se mencionan diversas ventajas y desventajas que genera la digestión anaeróbica.

- **Ventajas**

El proceso de degradación de los residuos orgánicos producidos tanto en las zonas urbanas como rurales son una fuente importante de emisiones de GEI (metano, óxido nitroso y amoniaco). La digestión anaeróbica se convierte en una alternativa tecnológica para tratar los residuos orgánicos y reducir los GEI (Vega, 2015). Por

otro lado, el biogás producto de la digestión anaeróbica es considerado como energía renovable, el cual puede ser utilizado como reemplazo del combustible fósiles para la obtención de energía (Moral, 2019). Adicionalmente la digestión anaeróbica elimina el problema de emisión de olores, por ejemplo, el olor a amoníaco producto, de la acumulación de excreta y orinas (FAO et al., 2011). Otros beneficios ambientales de la digestión anaerobia es la disminución de los desechos orgánicos en los rellenos sanitarios (FAO et al., 2011). En la digestión anaeróbica se generan co-productos como los efluentes (fracción líquida) y digestato (fracción sólida), los cuales aportan nutrientes y materia orgánica tanto al suelo como a las plantas (IDAE, 2007. Citado por (Sanchez, 2019).

- **Desventajas**

La digestión anaerobia requiere mayor tiempo de contacto, es decir, mayor tiempo de retención hidráulica aproximadamente de de 15 a 30 días, lo que significa que es mucho más lento con respecto al tratamiento aerobio. Otra de las desventajas es que se debe contar con una buena disponibilidad de agua para realizar la mezcla con el estiércol que será introducido en el biodigestor, la cantidad de ganado requerido por familia debe de ser mínimo de 3 a 4 vacas (De La Torre, 2008).

6.4 Biodigestor anaerobio

Un biodigestor anaerobio es un contenedor cerrado de cualquier forma, tamaño y material, en el cual se almacena residuos orgánicos que al descomponerse en ausencia de oxígeno genera biogás (Coronado, 2007). La materia prima está compuesta principalmente por materia orgánica, como desechos agrícolas, residuos de animales, residuos humanos, etc. (Reyes, 2017). Un biodigestor básico está conformado por: área de premezclado, digestor, sistemas de captación de biogás y de distribución del efluente (Hossain & Islam, 2008, citado por (Durazno, 2018)). Los biodigestores se pueden clasificar de acuerdo con su tamaño (escala pequeña o a escala industrial). En la figura 3, se hace una relación de las principales aplicaciones de estos dos grupos.

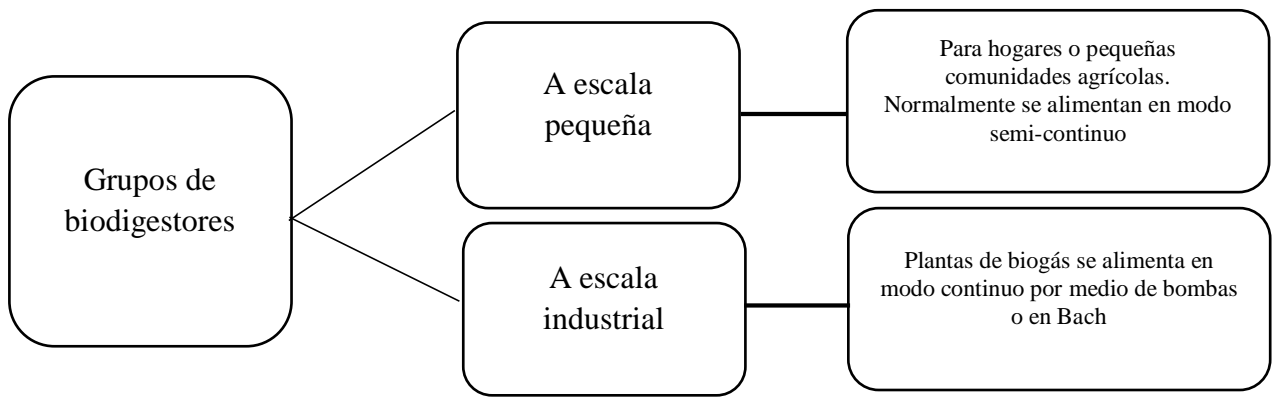


Figura 3. Clasificación por grupos de biodigestores (Saavedra, 2017)

Los biodigestores a escala pequeña, son apropiados para ser implementados en hogares o comunidades rurales. Este tipo de biodigestores son de régimen semi-continuo (alimentado en forma manual y por gravedad solo una vez al día). Por otro lado, los biodigestores a escala industrial son más grandes y son alimentados en modo continuo por medio de bombas o en modo Bach (discontinuo) (Saavedra, 2017).

6.4.1 Tipos de biodigestores

En la actualidad existen diversos tipos y modelos de biodigestores, pero a la hora de elegir qué tipo de biodigestor se desee implementar se deben tener en cuenta algunos aspectos como lo son: inversión que se esté dispuesto a realizar, energía que se quiera obtener, la biomasa con la que se cuenta para alimentar en biodigestor, el tamaño requerido del biodigestor etc. (FAO et al., 2011). Las características del terreno y condiciones de la zona también son otro factor importante que se debe considerar, ya que se debe de disponer de un espacio para la construcción del biodigestor. El cual se debe de ubicar cerca del lugar en donde se recogerán los desperdicios, al igual que estar en un área cercano al almacenamiento del afluente y con una pendiente adecuada para facilitar el transporte y salida del mismo. Adicionalmente, se recomienda que el biodigestor este ubicado en un lugar donde reciba al máximo la energía solar para que la temperatura se logre mantener de forma más estable y permita un mejor desempeño de las bacterias anaeróbicas (FAO et al., 2011). Existen diversas clases de biodigestores; de acuerdo con su uso y complejidad distinguiéndose los siguientes tipos:

6.4.2 Continuos

Utilizados generalmente para tratamiento de aguas residuales, su proceso de cargue es permanente; y generan una gran producción de biogás (Bautista, 2010. Citado por (Tobon, 2018).



Figura 4. Biodigestor de carga continua (Tobon, 2018). Fuente: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8529/135399.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado (2/11/2020)

6.4.3 Semi-continuos

El proceso de cargue de la materia prima se realiza a diario, la obtención de biogás es equivalente a la cantidad de residuos orgánicos que ingresan. Es común que estos biodigestores sean implementados en zonas rurales (Tobon, 2018). Los diseños más conocidos son los modelos cúpula fija o tipo chino, hindú, tubular o de salchicha los cuales se describen a continuación:

- **Biodigestor de cúpula fija o tipo chino**

Este modelo de cúpula fija tiene como una de sus principales características que trabaja con presión variable; sus principales desventajas son: la presión del gas no es constante y la cúpula debe ser completamente hermética, lo cual genera cierta complejidad en las construcciones y costos adicionales en impermeabilizante, sin embargo, este modelo presenta diversas ventajas, los materiales de construcción

son fáciles de adquirir, y con una larga vida útil si se le realiza un mantenimiento adecuado (Jarauta, 2005, citado por (Reyes, 2017)).

Este tipo de biodigestores están contruidos en una sola estructura que por regla general es echa de material rígido (concreto, bloques o ladrillos). Debido a la alta presión que puedan alcanzar en su interior. Se recomienda su construcción en forma de domo, y bajo tierra (Botero &Preston, 1987, citado por (Reyes, 2017)).

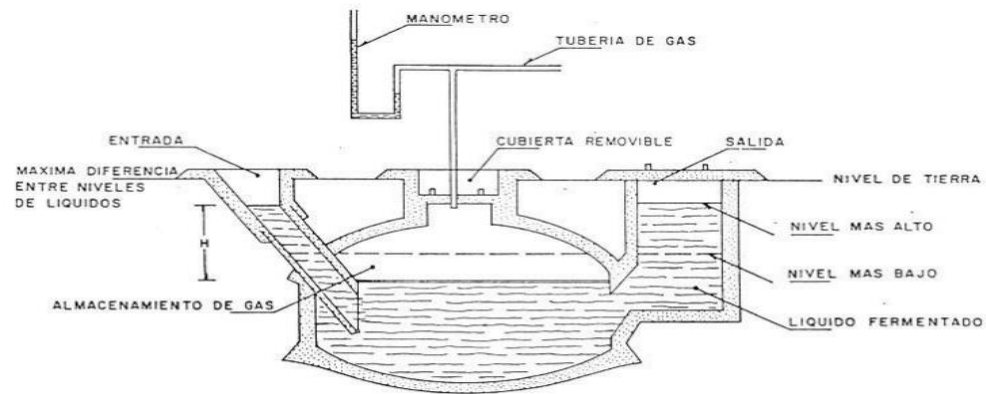


Figura 5. Biodigestor de cúpula fija o tipo chino (Córdova & Tarco, 2011). Fuente: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/611/1/T-UTC-1076.pdf>. Consultado (19/10/2020)

- **Biodigestor hindú (plantas de tambor flotante)**

Consiste en un digestor instalado de manera subterránea y un recipiente móvil para gas. El recipiente para gas flota, ya sea directamente sobre la mezcla de fermentación o en una chaqueta de agua. El gas es recolectado en el tambor de gas, que se levanta o baja, de acuerdo con el gas almacenado (Coronado, 2007).

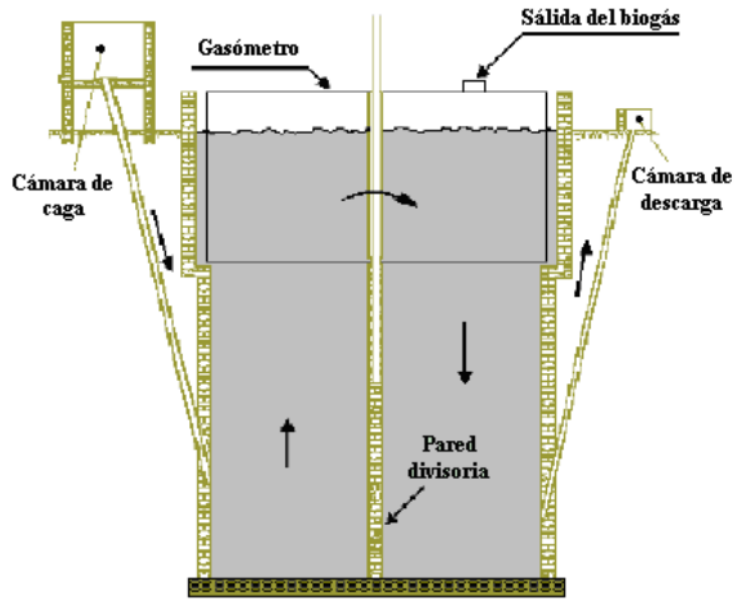


Figura 6. Tipo hindú (plantas de tambor flotante) (Córdova & Tarco, 2011). Fuente <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/611/1/T-UTC-1076.pdf>. Consultado (19/10/2020)

- **Biodigestor tubular o de salchicha**

El biodigestor tubular de plástico consiste en una especie de bolsa alargada de polietileno (Durazno, 2018). Estos biodigestores de manera general se construyen enterrados, con poca profundidad. Se opera a régimen semi-continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de alguna materia flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie (FAO et al., 2011). Este biodigestor posee una vida útil de 5 años (Savran et al., 2017 citado por (Durazno, 2018)).

La implementación de biodigestores tubulares ha surgido como opción para la producción de biogás a bajo costo en zonas rurales. Una ventaja de los biodigestores tubulares radica en su baja inversión de construcción, adicionalmente, no se requiere de un gran conocimiento y gastos económicos exorbitantes para su operación y mantenimiento (Domínguez, 2007, citado por (Durazno, 2018)).

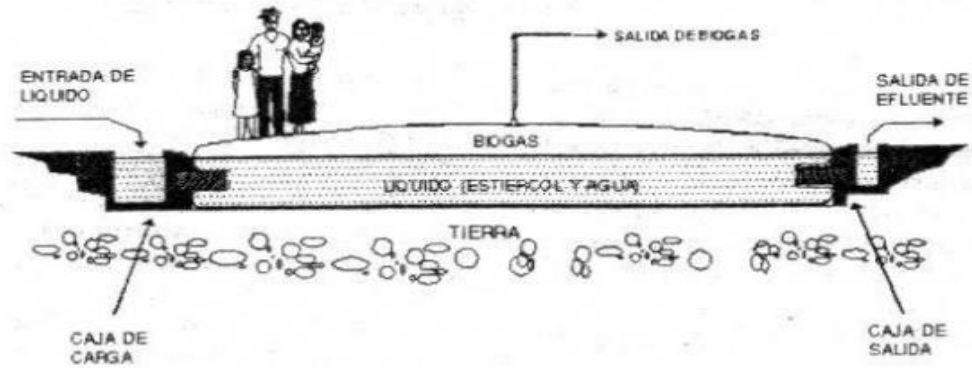


Figura 7. Biodigestor tipo tubular (tipo salchicha) (Córdova & Tarco, 2011). Fuente: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/611/1/T-UTC-1076.pdf>. Consultado (19/10/2020)

6.4.4 Discontinuos

También conocido como digestores Batch. En estos, el flujo de operación se realiza en un solo lote (se cargan una sola vez y se retira cuando se ha dejado de general biogás. Este tipo biodigestores se usa cuando la disponibilidad de materia orgánica es limitada o intermitente (Varner, 2010. Citado por (Tobon, 2018).

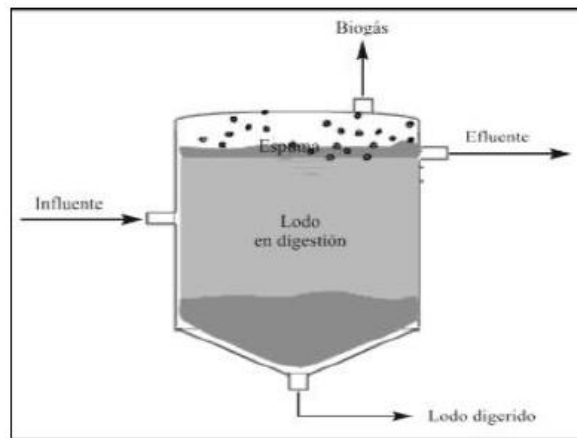


Figura 8. Biodigestor discontinuo (Tobon, 2018). Fuente: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8529/135399.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado (2/11/2020)

7. Posibilidades de aprovechamiento mediante digestión anaerobia de la biomasa residual generada en las zonas rurales del municipio de Puerto Nare

La biomasa es un recurso natural renovable y su uso representa beneficios notables especialmente hacia el medio ambiente. Ya que se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por los reinos vegetal y animal, sistemas urbanos y rurales. El uso de la biomasa aporta beneficios que son no solo energéticos, sino que su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el medio ambiente ya que se convierte en un sistema idóneo para la eliminación de residuos (Córdova & Tarco, 2011). De esta forma la generación de biogás en regiones a nivel mundial, se ha incrementado ya que aprovechan el estiércol de ganado como sustrato para cargar los biodigestores (Durazno, 2018). En Colombia, la implementación de biodigestores a escala rural se ha desarrollado de manera lenta, teniendo una buena participación y aceptación por parte de las comunidades rurales (Diaz&Salazar, 2019).

Se analizaron diversas referencias bibliográficas donde se reportan los biodigestores más comunes implementados en las zonas rurales. En la tabla 5 se evidencia que el biodigestor más implementado fue de tipo tubular. Adicionalmente las temperaturas reportadas en todos los casos de estudios fueron bajas. En el estudio realizado por Ferrer et al., (2008) las temperaturas oscilan entre los 8° a 10°C. En este contexto fue necesario la construcción de un invernadero para aumentar la temperatura en el biodigestor de 10°C a 23°C logrando así que haya un mejor desempeño de las bacterias, obteniendo una producción de 0.3 m³ de biogás diario con un tiempo de retención de 90 días. El estudio reportado por León (2019), estableció una temperatura de 20°C con una producción de biogás de 1.527 m³ al día, con un tiempo de retención de 21 días.

Los parámetros evaluados en los diversos estudios fueron: tipo de biodigestor, sustrato, producción de estiércol kg/día, tiempo de retención, temperaturas, producción de biogás, y dilución estiércol- agua.

Tabla 5. Estudio de biodigestores en zona rurales

Tipo de biodigestor	Sustrato	Generación de estiércol kg/día	Tiempo de retención	Temperatura	Producción de biogás	Dilución estiércol-en agua	Referencia
Biodigestor tubular de polietileno	Estiércol de vaca	26 kg/día	90 días	10 - 23°C dentro del biodigestor	0.2 m ³ biogás al día	1:3	(Ferrer et al., 2008)
Tubular de plástico con flujo continuo tipo Taiwán	Estiércol de bovino	38.179 kg/día	21 días	20°C	1.527 m ³ biogás al día	1:3	(León, 2019)
Biodigestor cilíndrico de producción por etapas	Estiércol de bovino	37.5 kg/día	50 días	14.27°C	0.0488 m ³ de biogás al día	1:1	(Durazno, 2018)
Biodigestor tubular de bajo costo	Estiércol de bovino	138 kg/día	75 días	10°C	0.706 m ³ biogás al día	1:3	(Ruiz, 2017)
Digestor tubular	Estiércol de bovino	90 kg/día	36 días	18°C a 32°C	3.17 m ³ día	1.3	(Diaz&Salar, 2019)

En la tabla 6 se aprecia otro estudio de caso, el biodigestor implementado es de polietileno y los sustratos utilizados fueron residuos orgánicos y estiércol de ganado bovino. En este estudio se evidenció que la relación estiércol-agua es uno de los parámetros fundamentales para la producción del biogás ya que a menor agua adicionada a la materia orgánica (mezcla de residuos orgánicos más estiércol de ganado) mayor va a ser la producción de biogás.

Tabla 6. Implementación de biodigestor en zona rural

Tratamiento	Residuo orgánico	Estiércol bovino	Relación estiércol-agua	Producción de biogás	Biodigestor
Tratamiento 1 mezcla de residuo orgánicos y estiércol bovino	15 kg de residuos orgánicos	15 kg de estiércol	15 litros de agua 1:1	247.4 litros	Biodigestor de polietileno
Tratamiento 2 mezcla de residuos orgánicos y estiércol de bovino	15 kg de residuos orgánicos	15 kg de estiércol	45 litros de agua 1:3	234.4 litros	
Tratamiento 3 mezcla de residuos orgánico estiércol de bovino	7 kg de residuos orgánicos	7 kg de estiércol	7 litros de agua 1:1	155.86 litros	
Tratamiento 4 mezcla de residuo orgánico y estiércol de ganado	7 kg de residuos orgánicos	7 kg de estiércol	21 litros de agua 1:3	119.5 litros	
Tratamiento 5 residuos orgánico	6 kg residuo orgánico		12 litros de agua 1:2	87.2 litros	
Tratamiento 6 estiércol de bovino		15 kg de estiércol	30 litros de agua 1:2	184 litros	

Fuente: (Ariza, Toncel, & Blanchar, 2018)

Teniendo en cuenta los diversos estudios consultados, el biodigestor a proponer en las zonas rurales del municipio de Puerto Nare es el biodigestor semi – continuos tipo tubular o salchichas, ya que este biodigestor es el que más se implementa en las zonas rurales, debido a su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento. Adicionalmente los materiales para su construcción son fáciles de adquirir.

Las características de las zonas rurales de Puerto Nare, como el terreno y disponibilidad de espacio permiten una adecuada instalación del biodigestor. Además, el lugar donde se realizará la recogida del residuo orgánico estará cerca de donde se encuentra ubicado dicho biodigestor.

Por otro lado, las condiciones ambientales de Puerto Nare son óptimas para un buen funcionamiento del biodigestor tipo tubular, ya que la temperatura del municipio oscila entre 27° y 36°C, lo cual genera que se produzcan bacterias mesofilicas las cuales crecen a una temperatura entre 28° a 45°C, generando una mayor velocidad de crecimiento del microorganismo y acelerando el proceso de digestión, y por ende generado, una mayor producción de biogás. El tiempo de retención del biodigestor tipo tubular o salchicha a implementar, sería aproximadamente de 30 días (tiempo que permanecerá el estiércol en el biodigestor para completar la biodegradación). Y de acuerdo con las referencias consultadas, 1 kg de estiércol al día produce entre 0.025 – 0.04 m³/ kg de excreta, y para generar 1m³ de biogás al día se necesitan entre 3 y 4 bovinos los cuales producirán aproximadamente entre 30-40 kg/ estiércol al día. Por ende, si se cuenta con 1m³ / al día de biogás se puede cocinar aproximadamente por más de 3 horas diarias, ya que una cocina de dos hornillas el consumo es de 0.20 -0.40 m³ biogás/ hr (FAO et al., 2011).

Aprovechamiento del biogás

El uso del biogás ha ido tomando fuerzas ya que cuenta con diversos usos y aplicaciones, además que en gran parte ayuda a disminuir problema ambiental, como generación de residuos orgánicos, al igual que de olores y vectores (SAGARPA, 2007). Por tal motivo, el biogás generado a partir de las excretas del ganado, ha sido aprovechado para cocinar, para generar iluminación , calefacción, como reemplazo de la gasolina o e diésel en motores de combustión interna, operar

maquinaria agrícola o bombear agua (Reyes, 2017). Por ejemplo 1 m³ de biogás con un 70% de metano más 30% de dióxido de carbono y 6000 kcal equivale a 1.5 kg de madera, 2.8 kwh de electricidad, 0.6 m³ de gas natural, 0.8 litros de gasolina, 1.2 litros de alcohol combustible, 0.3 kg de carbón y 0.71 petróleo (Bioworks, 2013. Citado por (Sanchez, 2019).

8. Conclusión

- La ganadería ocupa un lugar importante dentro de las actividades económicas que se realizan en el municipio de Puerto Nare contribuyendo a que haya un mejor desarrollo económico.
- El Censo Nacional Agropecuario del año 2013-2014 reporta que Puerto Nare cuenta con aproximadamente 42.578 cabezas de ganado. Y el estiércol producido se convierte en una fuente de energía importante para generar biogás, el cual puede ser aprovechado en las zonas rurales del municipio de Puerto Nare y ser implementado en la cocción de alimentos.
- Para producir 1 m³ de biogás al día se necesitan entre 3 y 4 bovinos los cuales producirán aproximadamente entre 30-40 kg/ estiércol al día.
- Los biodigestores en zonas rurales en Colombia se han venido desarrollando de una manera lenta convirtiéndose en una muy buena alternativa para contrarrestar los efectos negativos que generan los residuos orgánicos.
- El biodigestor sugerido para implementar en las zonas rural del municipio de Puerto Nare es de tipo tubular a pequeña escala de flujo semi - continuos debido a sus características, bajo costo de los materiales y fácil instalación. Adicionalmente las condiciones ambientales del municipio como la temperatura y altura se prestan para que haya un óptimo desempeño del biodigestor. Por otro lado, los biodigestores tipo tubular no son muy eficientes ya que el biogás que se genera es de 1 m³ diario y solo puede ser utilizado aproximadamente por más de 3 horas diarias para la cocción de alimentos, además el aprovechamiento debe realizarse de manera in situ.
- En el municipio de Puerto Nare se debe divulgar y realizar pruebas pilotos de biodigestores para que sus habitantes comprendan la importancia de

implementar esta tecnología para el manejo de los residuos orgánicos que se generan en sus comunidades.

- La generación del biogás mediante la tecnología de biodigestores se daría cumplimiento con los objetivos de desarrollo sostenible tales como objetivo 6 agua limpia y saneamiento, objetivo 7 energía asequible y no contaminante y objetivo 13 acción por el clima.

Referencias

- Acuña. (2015). Diseño e implementación de un biodigestor para tratamiento de excreta de ganado de bovino. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6441>.
- Anta. (2019, July 29). CONTAMINACIÓN de LAGOS y RÍOS: Causas, Consecuencias y Cómo evitarla. Retrieved September 22, 2020, from <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-de-lagos-y-rios-causas-consecuencias-y-como-evitarla-1936.html>
- Arellano, L., Cruz, M., & Huerta, C. (2014). *El estiércol, material de desecho, de provecho y algo más*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/297760569_El_estiercol_material_de_desecho_de_provecho_y_algo_mas#:~:text=Se conoce como estiércol al, los humanos%2C también producimos excremento.&text=básicamente es de fibras y agua](https://www.researchgate.net/publication/297760569_El_estiercol_material_de_desecho_de_provecho_y_algo_mas#:~:text=Se%20conoce%20como%20esti%C3%A9rcol%20al,los%20humanos%20tambi%C3%A9n%20producimos%20excremento.&text=b%C3%A1sicamente%20es%20de%20fibras%20y%20agua).
- Ariza, C. P., Toncel, L. A. R., & Blanchar, J. S. (2018). Biodigestión anaerobia como alternativa energética para reducir el consumo de leña en las zonas rurales consumption of firewood in rural areas. *Revista ESPACIOS*, 39, 23. Retrieved from <http://revistaespacios.com/a18v39n39/18393923.html>.
- Asmar. (2020, February 26). Solo el 17% de los residuos sólidos de Colombia son reciclados, advirtió el DNP. Retrieved September 2, 2020, from <https://www.agronegocios.co/clima/solo-el-17-de-los-residuos-solidos-de-colombia-son-reciclados-advirtio-el-dnp-2970019>.
- Bautista. (2016). Evaluación de la generación de biogas a partir de excretas porcinas en la granja agroinpec y diseño de un biodigestor, 150. Retrieved from

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/14623/1/CD-6793.pdf>.
- BBC News Mundo. (2019, July 8). "Crisis mundial de la basura": 3 cifras impactantes sobre el rol de Estados Unidos - BBC News Mundo. Retrieved from September 1, 2020, from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48914734>.
 - Caicedo. (2004). Plan De Gestión, 37. Retrieved from <http://www.cali.gov.co/publico2/documentos/varios/pgris.pdf>.
 - Castañeda. (2018, August 10). Rellenos sanitarios, ¿solucionan el problema de los residuos sólidos? | El Mundo. Retrieved October 2, 2020, from <https://www.elmundo.com/noticia/Rellenos-sanitarios-solucionan-el-problema-de-los-residuos-solidos-/374229>.
 - CONPES 3874. (2016). Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos, 73. Retrieved from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3874.pdf>.
 - Contexto ganadero. (2017, August 10). Requerimientos de consumo de materia seca de los bovinos | CONtexto ganadero | Noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia. Retrieved November 11, 2020, from <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/requerimientos-de-consumo-de-materia-seca-de-los-bovinos>.
 - CORANTIOQUIA. (2018). Plan De Manejo Ambiental Del Sistema Acuífero Del Magdalena Medio Antioqueño. *Formulación Del Plan De Manejo Ambiental Del Sistema Acuífero Del Magdalena Medio Antioqueño. Informe Final- Caracterización Comunidades Étnicas Pmaa Del Magdalena Medio Antioqueño*, 79. Retrieved from http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR_110_CNT1706_46_2017_00FASE APRESTAMIENTO.pdf.
 - Cordero. (2013). Caracterización Química Del Estiércol Y Su Manejo En Explotaciones De Lechería Familiar De Los Altos De Jalisco, 89. Retrieved from http://repositorio.cualtos.udg.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/535/1/Tesis_Cordero.pdf.
 - Córdova & Tarco. (2011). Declaración De Autoridad. Retrieved from <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/611>.

- Coronado. (2007). Biodigestores. *CorinadoLabour*, 17(2), 299–314. <https://doi.org/10.1111/1467-9914.00232>.
- Cortés, C. (2019). Estrategias de desarrollo rural en la UE: definición de espacio rural, ruralidad y desarrollo rural. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 28. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- CORTOLIMA. (2007). Diagnostico integral de residuos sólidos y liquidos. Retrieved from https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/n_213diagnostico_integral_residuos_solido_liquidos.pdf.
- DANE. (2014). Censo Nacional Agropecuario 2014. Retrieved November 11, 2020, from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>.
- DANE. (2018). ¿Dónde estamos? Retrieved September 16, 2020, from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos>.
- De La Torre, N. (2008). Digestión Anaerobia en Comunidades Rurales, 140. Retrieved from https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11627/PFC_Nadia_deLaTorre_Caritas.pdf;jsessionid=D9FACDD793D7EABA804260D3748A0419?sequence=1.
- Diaz&Salazar. (2019). Aprovechamiento Sostenible De Excretas De Bovino En La Hacienda Los Naranjos, Tambo-Cauca. Retrieved from https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2143/Díaz_Guio_David_Santiago__2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Doreto. (2006). Aprovechamiento de biogas proveniente del abono de ganado vacuno de un establo ubicado en ixtapaluca estado de mexico. Retrieved from https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5606/1/Juan_Carlos_Doroteo_Otlica.pdf.
- Durazno. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas, 3–86. Retrieved from

- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
- EPM. (2012). Naturaleza, vida y luz. Retrieved from [https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal del Ciudadano/Nuestro Gobierno/Secciones/Noticias/Documentos/2012/10-October/AlumbradoNavideñoPresentac2012.pdf](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Nuestro%20Gobierno/Secciones/Noticias/Documentos/2012/10-October/AlumbradoNavideñoPresentac2012.pdf).
 - Estrada. (2019, October 23). Así es el proceso para que pueda transformar los residuos orgánicos en abono. Retrieved September 20, 2020, from <https://www.agronegocios.co/ganaderia/asi-es-el-proceso-para-que-pueda-transformar-los-residuos-organicos-en-abono-2923811>.
 - FAO. (2014). Manual de usuario:Residuos agrícolas y residuos ganaderos. *Bioenergía y Seguridad Alimentaria Evaluación Rápida (BEFS)*, 9. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bp865s.pdf>.
 - FAO, MINENERGIA, PNUD, & GEF. (2011). Manual del Biogás. *Proyecto CHI/00/G32*, 120. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>.
 - Ferrer, I., Uggetti, E., Poggio, D., & Velo, E. (2008). Producción de Biogás a partir de residuos orgánicos en Biodigestores de bajo coste. *Researchgate.Net*, 7. Retrieved from [http://www.researchgate.net/publication/228710469_PRODUCION_DE_BIOGAS_A_PARTIR_DE_RESIDUOS_ORGANICOS_EN_BIODIGESTORES_DE_BAJ O_COSTE/file/79e4150f5d8fc08d8c.pdf](http://www.researchgate.net/publication/228710469_PRODUCION_DE_BIOGAS_A_PARTIR_DE_RESIDUOS_ORGANICOS_EN_BIODIGESTORES_DE_BAJ_O_COSTE/file/79e4150f5d8fc08d8c.pdf).
 - Garay, J. A., & Mayer, L. I. (2016). El Gramón , *Cynodon dactylon* (L .) Pers . Características y Control en la Región Semiárida Central de Argentina. *Grupo de Producción Agrícola. EEA INTA San Luis*, 9. Retrieved from https://www.agroconsultasonline.com.ar/documento.html?op=d&documento_id=771.
 - Gonzáles. (2019). Apoyo a la comunidad en la gestión integral de los residuos sólidos para el Municipio de Puerto Nare. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
 - González. (2014). Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia, 22–36. Retrieved from

[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/27048/TFM González Cabrera%2C Ana María - copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/27048/TFM_González_Cabrera%2CAna_María_copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- Gutiérrez. (2020, March 25). El 76% de la población del campo no tiene donde dejar la basura | RCN Radio. Retrieved September 22, 2020, from <https://www.rcnradio.com/recomendado-del-editor/el-76-de-la-poblacion-del-campo-no-tiene-donde-dejar-la-basura>.
- INVIAS. (2016, August 29). Clasificación de las Carreteras. Retrieved October 24, 2020, from <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>.
- León, R. & M. B. (2019, December 31). Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. Retrieved October 25, 2020, from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000300011&script=sci_arttext.
- Ligarza. (2017). Produccion de biogás a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaerobia a escala de laboratorio. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 47(12), 49–54. Retrieved from https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO Y GALLINAZA DURANTE EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA A ESCALA DE LABORATORIO.pdf.
- Mayr Maldonado, J. (2002). *Guía Ambiental Para El Saneamiento Y Cierre De Botaderos a Cielo Abierto*. Retrieved from [http://www.kpesic.com/sites/default/files/Guia Ambiental para Cierre de Botaderos.pdf](http://www.kpesic.com/sites/default/files/Guia_Ambiental_para_Cierre_de_Botaderos.pdf).
- Melo. (n.d.). SÓLIDOS DOMÉSTICOS EN EL MUNICIPIO DE GALAPA Environmental issues the wrong domestic solid waste management in the municipality of Galapa. Retrieved from <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/463-Colombia-oral.pdf>.
- Moral. (2019, July 8). Más allá del biogás como energía renovable - UABDivulga Barcelona Investigación e Innovación. Retrieved November 22, 2020, from

<https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/mas-alla-del-biogas-como-energia-renovable-1345680342040.html?noticiaid=1345788663870>.

- Organic. (2017, June 28). Los 7 beneficios de reciclar la materia orgánica – Stop Basura. Retrieved September 19, 2020, from <https://stopbasura.com/2017/06/28/beneficios-reciclar-organica/>.
- Palau, C. V. (2012). Digestión anaerobia de residuos de biomasa para la producción de biogás. Fundamentos. *Universidad Politecnica de Valencia*, 1–10. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/144c/42a49c24d14d218a7d66048434e0c8c026a2.pdf>.
- Paredes. (2015). Diseño Y Construcción De Un Biodigestor Prototipo Uami-lepp2, 79. Retrieved from <http://148.206.53.233/tesiuami/UAMI16729.pdf>.
- Pérez. (2016, November 16). Quema de basura: La peor alternativa | City Manager. Retrieved September 19, 2020, from <https://revistacitymanager.com/city-manager/quema-basura-la-peor-alternativa/>.
- Pérez et al. (2017). Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la Zona Altamira , Tamaulipas, 4(10), 34–40. Retrieved from http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num10/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N10_5.pdf.
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa. *Agrociencia*, 46(4), 359–370. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004.
- Pinzón. (2016). families, 8–9. Retrieved from <http://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1438/1571>.
- Pita- Morales, L. A., Páez –Saavedra, J. D., & Puerta- Gutiérrez, N. S. (2016). Proyecto comunitario ambiente y territorio: manejo y disposición de residuos sólidos en la vereda pueblo viejo Moniquirá (Boyacá). *Cooperativismo &*

- Desarrollo*, 24(109). <https://doi.org/10.16925/co.v24i109.1515>.
- Presidencia de Colombia. (2005). Dec 838 de 2005, 2005(Marzo 23) from https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Decreto%20838%20de%202005-Mar-23.pdf.
 - Ramírez&Amaya. (2018). Estructura de fondo de capital privado para el desarrollo de plan de negocio de ceba ganadera. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. Retrieved from https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/1460/1/ABCAA-spa-2018-Estructuracion_de_fondo_de_capital_privado_para_el_desarrollo_de_plan_de_negocio_de_Ceba.
 - Reig, G. & C. (2016). *Delimitación de áreas rurales y urbanas a nivel local. FBBVA - Informe Técnico*. Retrieved from <http://www.fbbva.es/TLFU/tfu/esp/publicaciones/informes/fichainforme/index.jsp?codigo=818>.
 - Reyes. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (24), 60–81. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>.
 - Ruiz. (2017). Aprovechamiento del estiércol bovino generado en el municipio de Cumbal-Nariño para obtener energía renovable mediante digestión anaerobia, 129. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59752>.
 - Saavedra, A. & A. (2017). Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región piura, 13–17. Retrieved from http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf.
 - SAGARPA. (2007). Aprovechamiento de biogás para la generación de energía eléctrica en el sector agropecuario, 77. from http://www.porcimex.org/apoyos/BIOGAS0902/0524_LIBRO_de_BIOGAS.pdf.
 - Sanchez. (2019). Aprovechamiento energético y material mediante digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se generan en el barrio Moravia - Medellín, 1–135. Retrieved from

http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/14222/1/SanchezJoe_2019_AprovechamientoEnergeticoMaterial.pdf.

- Suárez. (2000). Manual para el manejo de los Residuos Sólidos Orgánicos e Inorgánicos, 23. Retrieved from http://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/GESTIÓN AMBIENTAL/GA_CN_1904_1999.pdf.
- Toala. (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica, 240–247. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3406>.
- Tobares. (2013). La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. *Petrotecnica*, (Febrero), 68–74. Retrieved from http://www.petrotecnica.com.ar/1_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf.
- Tobon. (2018). Analisis de los posibles factores que dificultan la implementación de biodigestores tipo tubular y cupula flotante en las zonas rurales y urbanas de la región norte de Colombia. *New England Journal of Medicine*, 372(2), 2499–2508. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7556065><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC394507><http://dx.doi.org/10.1016/j.humpath.2017.05.005><https://doi.org/10.1007/s00401-018-1825-z><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27157931>.
- Vanega. (2010). Programa Agropecuario Municipal (Pam), Municipio De Puerto Nare (Antioquia) Programa Agropecuario Municipal (Pam),. 20. Retrieved from <https://docplayer.es/24672038-Programa-agropecuario-municipal-pam-municipio-de-puerto-nare-antioquia.html>.
- Vega. (2015). Digestión Anaerobica Beneficios y Desventajas - ppt descargar. Retrieved October 20, 2020, from <https://slideplayer.es/slide/5457033/>.
- Vera, Martínez & Estrada, O. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I : excretas de ganado bovino y porcino Biogas and Power Generation Potential Part I: Bovine and Pig Manure, (número 3), 429–436. Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431470352X>.

- Viguera, B., Watler, W., & Morales, M. (2018). Ficha Técnica Para Sistemas Productivos Con Ganado Bovino. Retrieved from <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-Bovino.pdf>.