



Sistemas de producción de biogás: fundamento, técnicas de mejora, ventajas y desventajas

Biogas production systems: rationale, improvement techniques, advantages and disadvantages

Jhenny Mamani^{1,*}; Fausto Llumipanta¹; Sonia Ramos¹; Jhoselyn Rea¹; Josselin Alucho¹; Diego Saltos⁵; Francisco Llanos¹; Carlos Jácome¹

¹ Departamento de Biotecnología, Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias y del Ambiente. Guaranda Ecuador, Laguacoto II, Guaranda km 1 ½ Vía – San Simón, Ecuador.

ORCID de los autores

J. Mamani: <https://orcid.org/0000-0001-9657-7311>

S. Ramos: <https://orcid.org/0000-0003-1092-2300>

J. Alucho: <https://orcid.org/0000-0001-9935-632X>

F. Llanos: <https://orcid.org/0000-0003-0471-6711>

F. Llumipanta: <https://orcid.org/0000-0002-6333-4628>

J. Rea: <https://orcid.org/0000-0002-4060-7056>

D. Saltos: <https://orcid.org/0000-0001-7895-6553>

C. Jácome: <https://orcid.org/0000-0002-9713-0228>

RESUMEN

En los últimos años, ha habido un creciente interés por la biomasa como alternativa a los combustibles fósiles, la digestión anaeróbica (DA), está fuertemente motivada por este marco porque es uno de los métodos más idóneos para el aprovechamiento energético, en la producción de energía renovable en forma de biogás rico en metano (CH₄); en el proceso biológico de la generación de metano se distinguen tres etapas: Hidrólisis, Acidogénesis y Metanogénesis, en las que actúan diferentes microorganismos. Para mejorar el proceso de producción de biogás, existen algunos procedimientos como: Uso de catalizadores, Dosificación de mezclas mediante la relación C/N, Agitación del sustrato y control del pH, Uso de zeolita natural y Calentamiento de la cámara de fermentación con energía solar; mediante estos métodos podemos mejorar el rendimiento del biogás, los mismos que incrementan la masa del gas metano, niveles de temperatura y pH óptimos, para el crecimiento y reproducción bacteriana adecuada. Por otra parte, los dispositivos utilizados en la digestión anaerobia son Reactores de mezcla completa sin recirculación, Reactores de mezcla completa con recirculación, Reactores con retención de biomasa, sin recirculación, Sistemas discontinuos y Reactores de flujo pistón, que pueden clasificarse de acuerdo con su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos; mediante la incorporación de biodigestores, para la obtención de biogás, permite eliminar de forma ecológica los desechos sólidos urbanos, disminuyendo así la fuente de contaminación ambiental.

Palabras clave: biogás; energía renovable; digestión anaerobia; reactores.

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing interest in biomass as an alternative to fossil fuels, anaerobic digestion (AD), is strongly motivated by this framework because it is one of the most suitable methods for energy use, in the production of renewable energy in the form of biogas rich in methane (CH₄); In the biological process of methane generation, three stages are distinguished: Hydrolysis, Acidogenesis and Methanogenesis, in which different microorganisms act. To improve the biogas production process, there are some procedures such as: Use of catalysts, Dosing of mixtures using the C / N ratio, Agitation of the substrate and pH control, Use of natural zeolite and Heating of the fermentation chamber with solar energy; Through these methods we can improve the performance of biogas, the same ones that increase the mass of methane gas, optimal temperature and pH levels, for adequate bacterial growth and reproduction. On the other hand, the devices used in anaerobic digestion are full-mix reactors without recirculation, full-mix reactors with recirculation, reactors with biomass retention, without recirculation, discontinuous systems and plug flow reactors, which can be classified according to their ability to maintain high concentrations of microorganisms; By incorporating biodigesters to obtain biogas, it allows the ecological elimination of solid urban waste, thus reducing the source of environmental pollution.

Keywords: biogas; renewable energy; anaerobic digestion; reactors.

1. Introducción

En los últimos años, ha habido un creciente interés por la biomasa como alternativa a los combustibles fósiles (Caposciutti et al., 2020). La biomasa es un recurso renovable conocido por satisfacer la demanda energética en términos de calor y electricidad (Carlini et al., 2017). Para Hassaan et al. (2020) la digestión anaeróbica (DA), está fuertemente motivada por este marco porque puede funcionar en la producción de energía renovable en forma de biogás rico en metano (CH₄). El proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás, en ausencia de oxígeno es uno de los métodos más idóneos para el aprovechamiento energético de las deyecciones ganaderas, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, reducción de malos olores y mejora del valor fertilizante de los productos tratados (Flotats, 2017).

El biogás generado está compuesto principalmente por dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), y en menor medida otros gases, el más destacado de los cuales es el sulfuro de hidrógeno (H₂S) (FAO, 2019). El biometano producido a partir de la mejora del biogás es un biocombustible atractivo, porque está compuesto principalmente de metano (más del 97%) (Baccioli et al., 2018; Barbera et al., 2019).

Ha demostrado ser un proceso económicamente eficiente para el uso cíclico a gran escala de desechos orgánicos. La producción de biogás es un proceso complejo, con una amplia variedad de sustratos orgánicos (residuos urbanos, industriales, subproductos orgánicos de bajo valor comercial, cultivos energéticos, aguas residuales, estiércol, etc.) (FAO, 2019).

Se han reportado varios estudios que evalúan la co-degradación agregando otro sustrato (10-50% de peso seco) para mejorar el rendimiento de metano durante la digestión anaeróbica, aportando nutrientes esenciales, regulando compuestos inhibidores, el contenido de agua, pH y aumentando el contenido de microorganismos involucrados en este proceso (Castro-Rivera et al., 2020). Varios factores afectan su producción y pueden conducir a mayores rendimientos si se controlan; la materia orgánica, los fertilizantes y los lodos de depuradora ofrecen las condiciones más adecuadas para este proceso (Cubas et al., 2007).

Según Lozano et al. (2020), el pH es un factor que ayuda a determinar la inhibición y toxicidad bacteriana, así como el crecimiento óptimo de las diversas comunidades microbianas presentes en cada fase, se ha establecido que los microorganismos productores de biogás corren el

riesgo de cambiar el pH, lo cual es necesario para una buena digestión anaeróbica, debe estar cerca a la neutralidad entre 6,8 y 7,4.

La producción de biogás juega un papel importante en el tratamiento de residuos, la gestión ambiental, la producción de energía y más. El primer y más directo uso del biogás es para el hogar y para la calefacción. El biogás es un excelente combustible para muchas aplicaciones. El biogás puro enriquecido con metano se puede utilizar para aplicaciones domésticas, automotrices (licuefacción) o de generación de energía (Korbag et al., 2020).

La tecnología del biogás a escala rural ofrece muchos beneficios a los usuarios, entre los que se encuentran, un adecuado tratamiento de los residuos agrícolas, el ahorro de energía mediante el uso de biogás para cocinar alimentos y el uso de residuos como fertilizante orgánico (Barrera-Cardoso et al., 2020). En particular, la producción de biogás por metanización está muy extendida en Europa. Muchos países europeos están fomentando el desarrollo de sistemas de digestión anaeróbica, para producir energía limpia a partir de residuos orgánicos (Hosseini et al., 2019) promoviendo la difusión de una economía circular (Blades et al., 2017).

En el Altiplano Andino existe una alta demanda de biodigestores anaeróbicos, por parte de los pequeños productores agrícolas y del sector ganadero, a causa del escaso acceso al uso de combustibles limpios y a fertilizantes, a pesar de la abundancia de residuos agropecuarios. La difusión de biodigestores rurales en zonas marginales montañosas o de clima frío es tradicionalmente deficitaria (Manoni, 2016). La relación desfavorable entre las bajas temperaturas y la velocidad de reacción anaeróbica constituye una barrera tecnológica que impide la implementación de biodigestores de bajo costo.

La aplicación de digestores anaeróbicos, en el caso de Ecuador es de poca relevancia por los resultados obtenidos, y por la falta de difusión de tecnologías de conversión más eficientes como es el uso de biorreactores térmicos de baja temperatura. Para citar experiencias en este ámbito, la ESPOCH realizó la implementación de un digestor en mampostería de ladrillo, con capacidad de 25 m³, en el Cantón Taisha, de la provincia de Morona Santiago, localizado en el Oriente Ecuatoriano, sin obtener ningún resultado debido a que el nivel freático estaba muy cercano a la superficie por lo que el agua inundó el sustrato. Por otra parte, la dificultad más importante estaba en el abastecimiento del

estiércol ya que los vacunos no se encontraban ni siquiera semi estabulados.

2. Fundamentos de los sistemas de producción de biogás

Fermentación Anaerobia

La descomposición de las propiedades restantes de la biomasa del metabolismo vegetal y animal es llevada a cabo por bacterias, este es un proceso complejo, pero al mismo tiempo el sustrato biodegradable utilizado y otros factores pueden mejorar la representatividad del proceso (Núñez-Pintado, 2017). Los diferentes tipos de bacterias involucradas están perfectamente especializadas en los tipos de sustancias putrefactas presentes en cada familia, y en cada etapa se está produce un proceso orgánico, llamado catabolismo, que reduce diferentes elementos a sus formas más simples. En su forma más simple, algunas formas catabólicas también son utilizadas por otras especies en una combinación de etapas completamente organizadas (Valladares-Carnero, 2017).

Cuando esta degradación se realiza en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno), los productos finales son anhídrido carbónico, agua, sulfato, y nitrógeno inorgánico en forma de nitritos, de nitratos y de sales de amonio (Panesso, 2018). Sin embargo, en condiciones rigurosas de ausencia de oxígeno la biodegradación se lleva a cabo por otros organismos procarióticos en un proceso que se llama digestión anaerobia. El producto final de este proceso es un residuo sólido y un residuo húmedo de gas inflamable. Según Reyes-Aguiera (2017) por su origen biológico a este combustible se lo llamó biogás, y tiene una composición en el siguiente rango de valores, dependiendo de la fuente del material orgánico biodegradable:

Metano CH₄: 50 a 70%; Anhídrido Carbónico CO₂: 30 a 40%; Ácido sulfhídrico SH₂, hidrógeno H₂, y otros: < 5%.

El biogás se conoce como "gas de los pantanos", desde mediados del siglo XVIII y se describe como un proceso que ocurre naturalmente en presencia de humedad, materia orgánica y en ausencia de oxígeno (Alonso Brasas, 2015). Así, se da en el intestino de los mamíferos, en el suelo de los pantanos donde se acumulan las células de vegetales, animales y microorganismos muertos, en capas profundas de los suelos de bosques y selvas donde no hay oxígeno, en los pozos ciegos donde se acumulan excremento (Tower, 2017)

La digestión anaerobia ha sido y es muy aprovechada para obtener energía para cocinar y

calentarse en países como China y la India por amplias capas desfavorecidas de la población, aunque, con técnicas muy rudimentarias que tienen bajos rendimientos. El poder calorífico del biogás depende de la concentración de metano y está alrededor de las 5000 kcal/m³ (Vélez et al., 2016). Por otro lado, Gonzaby-Valdiviezo & Suárez-Monroy (2016) encontraron que el efluente sólido húmedo tiene un alto contenido de productos minerales de N, P, K, Ca, Mg, proteínas, grasas, celulosa, lignina, y compuestos de sustancias no degradables. Se ha demostrado que actúa como fertilizante o forraje, pero puede ser necesario realizar una nueva fermentación aeróbica primero para reducir aún más el contenido de materia orgánica sin descomposición.

Se puede distinguir tres etapas tróficas en el proceso biológico de la generación de metano, en cada una de las cuales interviene un grupo de bacterias específico, estas tres etapas son:

1. Hidrólisis: donde intervienen las cepas bacterianas hidrolíticas que degradan las macromoléculas orgánicas, ya sean hidratos de carbono, lípidos, proteínas, ácidos grasos, polisacáridos y otros productos neutros (Bermejo, 2018).
2. Acidogénesis: de la que se encargan las bacterias acetogénicas y homoacetogénicas produciendo ácido acético, hidrogeno H₂ y CO₂, a partir del sustrato hidrolizado (Méndez, 2018).
3. Metanogénesis: en ella el CO₂, el H₂, y el ácido acético son transformados en CH₄, por las bacterias metanogénicas.

Otros microorganismos descomponen el azufre en SO₄, incluidas las bacterias reductoras de sulfato, que, utilizando la energía química del sulfato, se descomponen en ácido sulfhídrico SH₂, un componente natural innecesario del biogás debido a la acidez; el ácido sulfúrico es un ácido corrosivo, en tuberías y equipos de combustión, especialmente motores, el ácido sulfúrico H₂SO₄ se produce cuando el oxígeno y el agua están contenidos en gases o se forman como productos de combustión.

La degradación de la materia orgánica por especies bacterianas que realizan su metabolismo en condiciones rigurosas de ausencia de oxígeno es lo que se llama digestión anaerobia. En la digestión anaerobia se produce un gas compuesto de metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico e hidrógeno, y un residuo húmedo de compuestos lignocelulósicos y otros no biodegradables en condiciones anaerobias.

Dependiendo de la temperatura a la que se desarrolle el proceso de digestión intervienen

unas especies bacterianas u otras, variando la velocidad del proceso y el rendimiento en cuantía de metano del gas sintetizado (Guasumba et al., 2019). Existen tres rangos de trabajo según la temperatura:

1. Psicrófilico: con máximo rendimiento a los 25 °C.
2. Mesófilico: con un rendimiento mayor que el anterior sobre los 35 °C.
3. Termófilico: con un rendimiento mayor que el anterior sobre los 60 °C.

El mantenimiento de las condiciones termofílicas requiere un aporte de calor extraído de combustión del propio gas generado que hace que no compense la utilización de este rango. Cuando mantenemos la temperatura de digestión entorno a los 35 °C obtenemos los mayores rendimientos.

Reacciones bioquímicas

Partiendo de la celulosa, como principal componente de la biomasa, todo el proceso de producción del biogás se resume como:

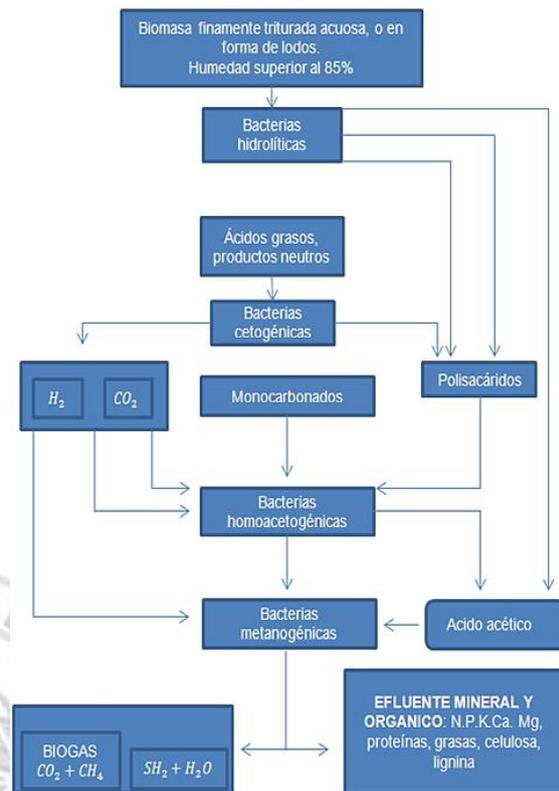
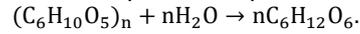


Figura 1. Proceso de obtención de biogás (Gonzales-Velasco, 2009).

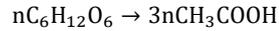
La reacción bioquímica del sustrato genera una cantidad de calor equivalente a $19n$, donde n es el número de moles de la sustancia que se encuentra en degradación, a esto hay que añadir el calor suministrado por el aporte solar, que permita alcanzar el rango mesofílico.

En el proceso de fermentación anaeróbica, es decir en ausencia de oxígeno, se presentan 3 etapas que se indican a continuación.

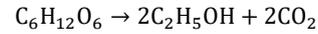
La reacción en la primera etapa es:



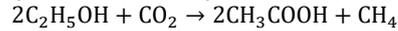
La segunda reacción da como resultado:



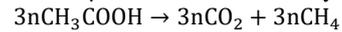
Con pasos intermedios tales como



Seguido por dehidrogenación



En la tercera etapa se obtiene el CO_2 y CH_4



En forma gráfica, el proceso de degradación de la biomasa por la acción bacteriana se observa en la Figura 1.

3. Técnicas de mejora en la producción de biogás

Existen algunos procedimientos para mejorar el proceso de obtención de biogás, entre los más importantes se indican los siguientes:

- Uso de catalizadores
- Dosificación de mezclas mediante la relación C/N
- Agitación del sustrato y control del pH
- Zeolita natural
- Calentamiento de la cámara de fermentación con energía solar.

Catalizadores

Para mejorar el proceso de producción de biogás se pueden utilizar catalizadores como es el caso del bicarbonato de Sodio, con el que se produce un incremento en la masa de biogás alrededor de cuatro veces más que cuando no se utiliza catalizador, si se utiliza ácido bórico como catalizador no se obtienen buenos resultados.

Se ha observado que la reacción es más rápida cuando se cataliza con un alquilo. En el primer paso de la reacción, un ion óxido alquilo ataca al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido. La reacción de este producto intermedio con un alcohol produce un ion del grupo alcóxido en el segundo paso. En la última etapa la redistribución del compuesto tetraedro intermedio da lugar a un éster y a diglicerina.

Asimismo, se pueden utilizar catalizadores ácidos de Bronsted, preferiblemente sulfúricos y sulfónicos. Estos catalizadores producen rendimientos muy altos en ésteres alquílicos pero las reacciones son lentas, necesitando temperaturas superiores a los 100 °C y más de 3 horas para completar la conversión (Torres-Rivero et al., 2017). La acidificación del grupo carbonilo del éster conduce a la carbonatación, y posteriormente, el ataque

nucleófilo del alcohol produce el compuesto tetraédrico intermedio. Esto elimina el glicerol para formar un nuevo éster y regenerar el catalizador.

Se ha probado la metanolisis del aceite de soja en presencia del 1% de H₂SO₄ con una relación molar alcohol/aceite de 30:1 (Fernández, 2010). A una temperatura de reacción de 65 °C se completó la conversión en 20 horas, mientras la butanolisis a 177 °C y la etanolisis a 78 °C usando las mismas cantidades de alcohol, necesitaron 3 y 18 horas, respectivamente.

Dosificación de Mezclas mediante balance C/N

Todos los desechos orgánicos contienen dentro de su composición Carbono y Nitrógeno. Estos elementos son el alimento que las bacterias utilizan para crecer y reproducirse. Durante el proceso de fermentación anaeróbica, el carbono es consumido más pronto que el nitrógeno.

Cuando la materia prima entra en el biodigestor, deben contener 25 a 30 veces más carbono que nitrógeno para una mejor fermentación (Díaz & Montalvo, 2017). Cuando hay un exceso de carbono, el proceso es lento, y al contrario cuando existe un déficit de nitrógeno baja el poder fertilizante del bioabono. Esta relación óptima se obtiene al combinar desechos pobres en nitrógeno con desechos ricos en nitrógeno.

En la [tabla 1](#) se puede observar que datos de combinaciones de mezclas para alcanzar el rango adecuado en la relación C/N.

Agitación del sustrato y control del PH

El sustrato debe ser agitado para evitar la formación de costras en la superficie libre, de tal manera que los gases puedan salir del lodo, sin la mayor dificultad. En cuanto al PH, este debe encontrarse en un rango de 6,5 a 7,5

Tabla 1
Relación C/N entre diversas mezclas orgánicas

Tipo de desecho	Hierba (g)	Estiércol (g)	Urea (g)	Biomasa (g)	Relación (C/N)
Vacuno	1200	285	15	1500	24,7
	1200	502	12	1714	26,5
	1200	780	10	1990	27,6
Equino	1200	285	15	1500	24,4
	1200	497	12	1709	25,8
	1200	497	12	1709	25,8
Porcino	1200	285	15	1500	25,2
	1200	497	12	1709	27,2
Gallinaza	1200	578	0	1778	22,4
Pasto verde y residuos alimenticios	1500	462	10	1972	
Hierba seca y residuos alimenticios	1500	400	5	1905	

Fuente: Guasumba et al. (2019).

Zeolita natural

La aplicación de zeolita a procesos anaerobios se ha estudiado preliminarmente obteniéndose resultados muy alentadores observándose incrementos en la eficiencia entre 10%-15% a concentraciones entre 400 y 1000 mg de zeolita /L en procesos batch (Díaz & Montalvo, 2017). Ventajas similares se han encontrado al aplicar este material a digestores de laboratorio operando con residuos vacunos y cachaza (Bermejo, 2018)

El comportamiento de la digestión anaerobia de residuales sintéticos y porcinos operando con diferentes concentraciones de zeolita y de nitrógeno y diferentes concentraciones de materia orgánica ha sido estudiado en procesos en discontinuo (Díaz & Montalvo, 2017).

En la actualidad se conocen o trabajan alrededor de 60 tecnologías de obtención de biogás; una gran parte de ellas están basadas en la generación de metano a partir de la fermentación anaeróbica de enormes cantidades de residuales líquidos, lo que trae consigo el aumento del tamaño de los reactores (Panesso, 2018).

La introducción de materiales inertes en el proceso de obtención de biogás produce un incremento en la producción del gas por su influencia en las diferentes etapas de digestión. (González, 2009). Por otra parte, se conoce que las zeolitas, en mayor o menor grado, pueden absorber N₂, O₂, H₂, CH₃COOH y otros compuestos (Bermejo, 2018) que se obtienen en la fermentación de residuales orgánicos, pudiendo esto tener influencia en el proceso de digestión.

Calentamiento del sustrato con energía solar

El calentamiento del sustrato por medio de energía solar a partir de captadores planos es una alternativa adecuada para mantener estable la temperatura interior del reactor y facilitar el crecimiento bacteriano (Guasumba et al., 2019). Es necesario indicar que las bacterias son sensibles a los cambios bruscos de temperatura. Especialmente en las noches se tienen temperaturas inferiores a los 8 °C (Bonmatí, 2017).

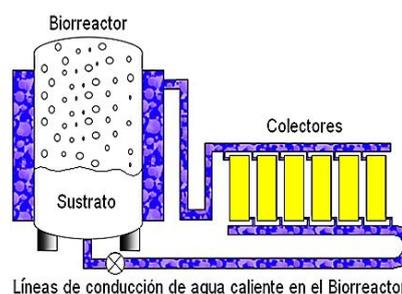


Figura 2. Esquema de reactor anaerobio y campo de captadores planos (Guasumba et al., 2019).

En estas condiciones y con cambios cíclicos de temperatura puede ocurrir un colapso en el proceso de fermentación anaeróbica por la aniquilación paulatina de las bacterias, dando como resultado la caída de presión interna del reactor y la ineficiente producción de biogás. En la **Figura 2** se observa un esquema de reactor con calentamiento solar.

Estado del arte de la biorreacción anaeróbica

Los dispositivos utilizados para digestión anaeróbica pueden clasificarse de acuerdo con su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos en el biorreactor, siguiendo diferentes métodos. El reactor más simple es el de mezcla completa (RMC), y es el más utilizado para fermentación de residuos orgánicos (Flotats, 2017). Entre los más importantes se indican las siguientes tipologías:

- Reactor de mezcla completa sin recirculación
- Reactor de mezcla completa con recirculación
- Reactor con retención de biomasa, sin recirculación
- Sistemas discontinuos
- Reactor de flujo pistón.

Reactor de mezcla completa sin recirculación

Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica o neumática, y nunca violenta (Montijo, 2018). Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos orgánicos (Figura 3).

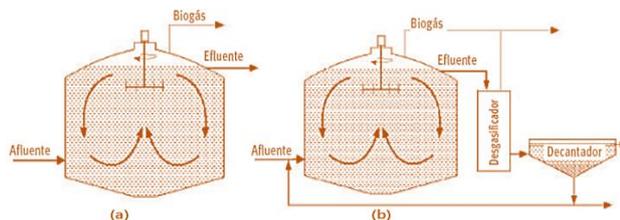


Figura 3. Reactor de mezcla completa (RMC) (a) si recirculación y (b) con recirculación (contacto anaerobio). (IDAE, 2007).

Reactor de mezcla completa con recirculación

Este sistema tiene el nombre de reactor anaerobio de contacto y sería equivalente al sistema de fangos activos aerobios para el tratamiento de aguas residuales (Cornejo, 2017).

Se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica (TRH) más bajos que en un reactor simple de mezcla completa. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos (TRB), gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y re-circulación (Porrón, 2020).

Reactor con retención de biomasa, sin recirculación

Si se consigue retener bacterias en el interior del reactor, evitando la configuración de reactor de mezcla completa, es posible reducir el tiempo de retención por debajo del reactor RMC tomado como referencia (García-Cedeño, 2019).

Los métodos de retención de biomasa son básicamente dos (Figura 4):

- Inmovilización sobre un soporte (filtros anaerobios y lechos fluidizados)
- Agregación o floculación de biomasa.

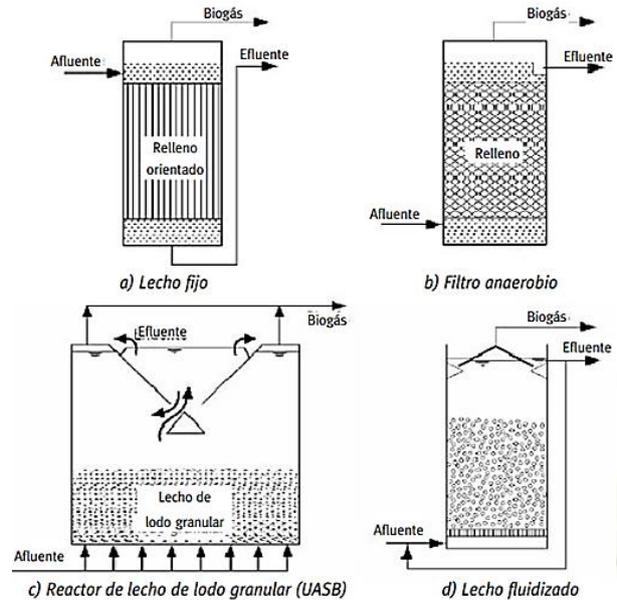


Figura 4. Esquema de reactores con retención interior de biomasa (Rial, 2017).

Sistemas discontinuos

En un sistema discontinuo, la curva de evolución temporal de la producción de biogás sigue la misma tendencia que la curva típica del crecimiento de microorganismos (latencia, crecimiento exponencial, estacionalidad y decrecimiento). Aquí el concepto de tiempo de retención no tiene sentido y se hablaría de tiempo de digestión (García, 2016).

Para conseguir una producción de biogás cercana a la continuidad deben combinarse varios reactores discontinuos con puestas en marcha intercaladas en el tiempo (Porrón, 2020) (Figura 5).

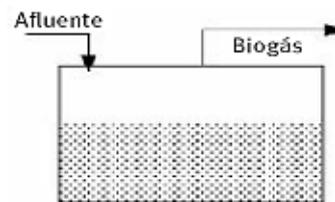


Figura 4. Esquema de un reactor discontinuo (Bonmatí, 2017).

Reactores de flujo pistón

El digestor de flujo pistón es un reactor de flujo horizontal, en el que se fuerza la circulación del afluente, entrando por un extremo, y saliendo el efluente por el extremo contrario. La carga orgánica del sector inicial es, por tanto, superior a la existente al final del digestor (Mantilla, Duque, & Galeano, 2017) (Figura 6).

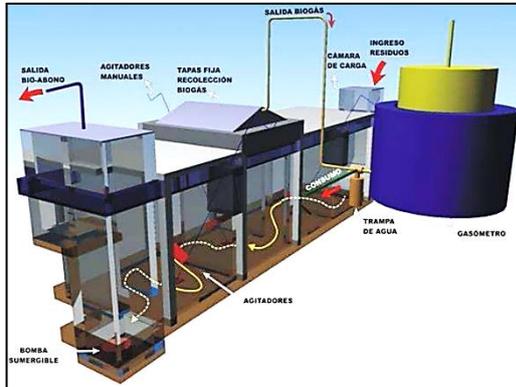


Figura 5. Esquema de un reactor de flujo pistón (García, 2015).

Análisis comparativo de los procesos convencionales

Para realizar la comparación entre los procesos de fermentación aerobios y anaerobios, se utiliza el esquema de la Figura 7.

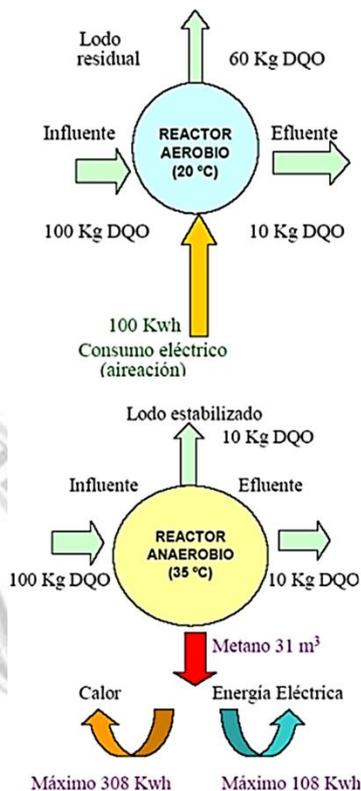


Figura 6. Balance comparativo de los procesos aerobios y anaerobios (Constanza et al., 2015).

Desarrollo de la gestión de tratamiento de desechos sólidos a través de biodigestores en ciudades de Alemania vs la realidad ecuatoriana.

En varias ciudades de Alemania para mejorar el tratamiento de desechos sólidos se ha implementado el principio de sustentabilidad través del uso de biodigestores esto quiere decir la incorporación de procesos en la gestión de manejo de residuos en formas sustentables de producción y consumo (crear la responsabilidad de la industria el comercio y el desarrollo de una conducta de consumo orientada a la salud y el medio ambiente), y el adelanto continuo del reciclaje de residuos sólidos utilizando nuevas técnicas (Tower, 2017).

El objetivo de esta nueva filosofía de vida es tratar de evitar la generación de basura y cuando esto es posible, reciclar los desperdicios y si en último caso no se logra, depositar los residuos en su disposición final (relleno sanitario) tras un proceso de tratamiento adecuado para evitar contaminación.

Creación de normativas o leyes que ayuden a regular la generación de basura y su respectivo tratamiento ya que cada uno de los desechos se manejar de formas diferentes reglamento de envases, reglamento de solventes aceites usados, vehículos fuera de usos (Viquez, 2018).

Responsabilidad por parte de las empresas, creando una producción limpia, esto quiere decir reingresar los residuos a la empresa o cooperación entre empresas para el reingreso de materiales, diseñar los productos de tal forma que no implique un peligro toxico en relación al medio ambiente ni en relación a la salud humana y se asegure de reciclaje y una eliminación de los desechos incompatibles con el medio ambiente. Elaboración de productos es responsabilidad de quien los genera "quien contamina paga" con esto se obtiene mayor responsabilidad y conciencia en conocer mejor los productos, desechos y posibles riesgos que implica su producción, con esto se puede apreciar, mejor las posibilidades de un correcto manejo de los desechos sólidos (Dihigo, 2018).

4. Ventajas y desventajas

Ventajas del biogás

Es un combustible limpio y de rápida cocción que brinda una iluminación superior a la obtenida con el gas natural, desde un punto de vista higiénico y sanitario es superior dado que no afecta a las mucosas ni vías respiratorias en caso de que exista un escape del mismo.

Finalmente se debe destacar que la cocción de los alimentos o la utilización en la calefacción o proveer iluminación es superior a la del gas natural, permitiendo la utilización de esta energía ecológica y renovable preservar las actuales reservas de gas natural existentes.

Con la producción del biogás es posible eliminar de forma ecológica los desechos sólidos orgánicos tanto de las personas como de animales y de esta forma disminuir la fuente de contaminación ambiental, debe señalarse que la construcción de las plantas de biogás es económica y su operación y mantenimiento no precisa de un personal calificado.

Por otra parte, al utilizar los desechos sólidos en la producción de biogás se reducen gastos en el tratamiento, almacenamiento y utilización de los mismos y se obtiene una energía ecológica de elevado rendimiento, pudiéndose prescindir de las fuentes de energía no renovables tradicionales.

Desventajas del biogás

Es necesario poseer grandes cantidades de desechos sólidos orgánicos para la obtención del biogás, además de una fuente de agua para preparar la mezcla a ser utilizada en el proceso de fermentación, se debe señalar por otra parte que en los climas fríos y húmedos la producción de biogás se ve afectada por las bajas temperaturas. La construcción de plantas de biogás a nivel nacional no está incluida dentro de los programas de tratamiento de los desechos sólidos orgánicos, por lo que no existe un apoyo económico gubernamental para llevar a cabo este tipo de acciones, las cuales solamente son abordadas por particulares o instituciones privadas.

5. Conclusiones

El biogás es una fuente de energía que se puede utilizar como combustible para generar electricidad, calor y / o energía mecánica a partir de fuentes renovables como cultivos energéticos, de residuos urbanos, agrícolas y agroindustriales. Además, juega un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El biogás es una fuente de energía alternativa ecológica que puede provenir de grandes cantidades de biomasa de origen orgánico. El proceso de producción de biogás es simple y fácil de implementar. La producción de biogás a partir de residuos de biomasa agrícola fácilmente disponible es una oportunidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la eliminación inadecuada de estos residuos.

También mejora la seguridad energética y reduce el consumo de combustibles fósiles. Es una fuente de energía alternativa sostenible que puede beneficiar a la sociedad, la economía y el medio ambiente.

El análisis de la distribución de las fuentes potenciales de producción de biogás del sector ganadero, vertederos y plantas de procesamiento es complejo y correlacionado con otros factores (desarrollo social, desarrollo científico, disponibilidad tecnológica, etc.). Es poco probable que estos resultados sean concretos. Sin embargo, esta es una descripción general que nos permite visualizar las principales posibilidades de producción de biogás. Los residuos sólidos (ricos en materia orgánica) no deben verse como un problema, sino como una oportunidad para generar energía renovable y una medida eficaz para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La promoción y difusión de tecnologías útiles es fundamental para que las empresas aprovechen el uso de residuos para generar energía y ayudar a reducir la contaminación ambiental. Es importante considerar que el desarrollo tecnológico de cada país, incluido el nuestro, debe basarse en bases científicas sólidas y debe enfocarse en formas de producción limpias y seguras, en un uso más eficiente de un producto final.

En los sectores productivos del país, especialmente los relacionados con el agro, se tiene una carencia total de tecnologías que permitan aprovechar con fines energéticos los residuos de biomasa, por medio de la implementación de biodigestores se aprovecharía en gran parte los residuos orgánicos presentes en el medio, se debe a que es una de las mejores formas de reciclar y sacar partido a los mismos, reduciendo la dependencia energética de los combustibles fósiles.

Existen algunos procedimientos para mejorar el proceso de obtención de biogás, entre los más importantes se indican los siguientes: uso de catalizadores, dosificación de mezclas mediante la relación C/N, agitación del sustrato y control del pH, zeolita natural, calentamiento de la cámara de fermentación con energía solar, estos aumentan el volumen del metano, establecen los niveles de temperatura y pH óptimos para el crecimiento y la reproducción bacteriana adecuada.

Referencias bibliográficas

Alonso Brasas, C. (2015). *Estudio y optimización de la digestión de residuos urbanos para la producción de metano*. Universidad de León.

- Baccioli, A., Antonelli, M., Frigo, S., Desideri, U., & Pasini, G. (2018). Small scale bio-LNG plant: Comparison of different biogas upgrading techniques. *Applied Energy*, 217, 328-335.
- Barbera, E., Menegon, S., Banzato, D., D'Alpaos, C., & Bertucco, A. (2019). From biogas to biomethane: A process simulation-based techno-economic comparison of different upgrading technologies in the Italian context. *Renewable Energy*, 663-673.
- Barrera-Cardoso, E., Odales-Bernal, L., Carabeo-Pérez, A., Albarreyes, Y., & Hermida-García, F. (2020). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural. *Tecnología Química*, 40(2), 305.
- Bermejo, F. O. (2018). Diseño de un mezclador aire-biogas para un motor diesel turboalimentado. *Prospect*, 8, 37-43.
- Blades, L., Morgan, K., Douglas, R., Glover, S., De Rosa, M., Cromie, T., & Smyth, B. (2017). Circular Biogas-Based Economy in a Rural Agricultural Setting. *Energy Procedia*, 123, 89-96.
- Bonmatí, A. F. (2017). Study of thermal hydrolysis as a pre-treatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. *Water Science and Technology*, 109-116.
- Caposciutti, G., Baccioli, A., Ferrari, L., & Desideri, U. (2020). Biogas from Anaerobic Digestion: Power Generation or Biomethane Production? *Energies*, 13(3), 1.
- Carlini, M., Mosconi, E., Castellucci, S., Villarini, M., & Colantoni, A. (2017). An Economic Evaluation of Anaerobic Digestion Plants Fed with Organic Agro-Industrial Waste. *Energies*, 10(8).
- Castro-Rivera, R., Solís Oba, M., Chicatto Gasperín, V., & Solís Oba, A. (2020). Producción de Biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 530-539.
- Constanza, L., Marcela, D., Antolinez, D., Bohórquez, J., & Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta Anaerobic bacteria: processes they perform and their contribution to life sustainability on the planet. *NOVA*, 13(23), 55-81.
- Cornejo, C. (2017). Estiércol a Energía-Captura de Metano en Ecuador. *Revista Tecnológica Espol-RTE*, 23, 135-142.
- Cubas Guamizo, W. A., & Lescano Leon, N. A. (2007). *Obtención de Biogás a Partir de Estiércol de Gallina Procedente de la Granja Avícola Lescano-Chicama Utilizando un Biorreactor Anaerobio de Lecho Fijo*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Díaz, F., & Montalvo, J. (2017). Aumento de la producción de biogás mediante el uso de zeolita natural. *Energética*, 24, 24-35.
- Dihigo, L. (2018). Técnicas in Vitro para descubrir la Digestibilidad de la Energía y la Cinética de la Degradación de Carbohidratos de comidas para cerdos. *Revista Computarizada De Producción Porcina*, 12 - 16.
- FAO. (2019). *Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12*. (FAO, Ed.) Buenos Aires, Argentina.
- Flotats, X. (2017). Gestión de Deyecciones Ganaderas. *SUIS*, 72, 23 - 27.
- García-Cedeño, J. (2019). *Evaluación de la eficiencia de estabilización de los lodos obtenidos a partir de la operación del sistema de tratamiento primario Químicamente mejorado (CEPT), mediante la aplicación del método de digestión anaeróbica de alta tasa*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- García, V. (2015) Manual de biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático. Buenos Aires. 46 pp.
- García, R. (2016). *Combustíveis e Combustao Industrial*. Rio de Janeiro: Editorial Interciencia.
- Gonzaby-Valdiviezo, A., & Suárez-Monroy, P. (2016). *Diseño y construcción de un biodigestor anaeróbico vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango*. Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.
- Gonzales-Velasco, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Revrte, S.A..
- Guasumba, S., Tafur Escanta, P., Tipanluisa, L., Ocaña, E., & Pérez Rosales, J. (2019). Producción eficiente de biogás mediante calentamiento del sustrato con energía solar térmica de baja temperatura. *Científica*, 23(1), 3-12.
- Hassaan, M. A., Pantaleo, A., Santoro, F., Elkatory, M. R., De Mastro, G., et al. (2020). Techno-Economic Analysis of ZnO Nanoparticles Pretreatments for Biogas Production from Barley Straw. *Energies*, 13(19).
- Hosseini Koupaie, E., Azizi, A., Bazyar Lakeh, A. A., Hafez, H., & Elbeshbishy, E. (2019). Comparison of liquid and dewatered digestate as inoculum for anaerobic digestion of organic solid wastes. *Waste Management*, 87, 228-236.
- IDAE. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madera, 8 E-28004-Madrid. 48 pp.
- Korbag, I., Saleh Omer, S. M., Boghazala, H., Ahmeedah, M., & Abusasiyah, A. (2020). Recent Advances of Biogas Production and Future Perspective. DOI: 10.5772/intechopen.93231
- Lozano, A. C., Sánchez, C. A., & Ardila, J. G. (2020). Diseño de un biodigestor de excremento para generación de biogás via simulación con el software SIMBA®. *Revista Ingeniería y Región*, 24, 75-85.
- Manoni, A. P. (2016). Biogas technology research in selected sub-Saharan African countries- A review. *African Journal of Biotechnology*, 8(2), 116-125.
- Mantilla, J., Duque, C., & Galeano, C. (2017). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27, 133-142.
- Méndez, L. (2018). *Optimización de la digestión anaerobia de microorganismos fotosintéticos: pretratamiento térmico y uso de cianobacterias*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Montijo, E. E. (2018). *Diseño e implementación de biodigestores automatizados para producción de biogas en Sonora*. Instituto Politécnico Nacional, Hermosillo.
- Núñez-Pintado, L. (2017). *Modelamiento y control de proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos y/o aguas residuales*. Universidad de Piura.
- Panesso, F. C. (2018). Análisis del Biogás Captado en un Relleno Sanitario como Combustible Primario para la Generación de Energía Eléctrica. *Scientia et Technica*, 17, 35 - 40.
- Porrón, A. (2020). *Uso potencial de residuos con alto contenido en materia orgánica para la obtención de biogás en Asturias*. Universidad de Oviedo, Oviedo.
- Reyes-Aguiera, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Esteli. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, 24, 63.
- Rial, M. (2017). Puesta a punto de un biorreactor en continuo para biometanización de residuos a escala de planta piloto. Trabajo de fin de grado para la obtención de título en Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Madrid. 119 pp.
- Torres-Rivero, L., Ben Youseff, C., Alcocer T, B., & De la Rosa, D. (2017). Efecto de la temperatura y del tiempo de reacción sobre la esterificación y la transesterificación de aceites comestibles usados. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 21-35.
- Tower, M. W. (2017). Reducing Biogas Power Generation Costs By Removal Of Siloxanes. *Applied Filter Technology. Inc.Snohomish*, 53 - 16.
- Valladares-Carnero, F. (2017). *Modelamiento del proceso de digestión anaeróbica de estiércol vacuno y cáscara de cacao*. Universidad de Piura.
- Vélez, C., Pinedo, C., Viramontes, O., Ortega, C., & Melgoza, A. (2016). Bio-tecnologías ambientales para el tratamiento de residuos ganaderos. *Revista TECNOCENCIA Chihuahua*, 11, 37-42.
- Viquez, J. (2018). Biogás: Energía recuperable Análisis energético y económico de su potencia en fincas lecheras. *Revista ECAG Informa*, 50, 22-27.