

UTILIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PARA EL DESARROLLO DE
BIOGÁS

PAULA ALEJANDRA GONZALEZ BERNAL

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR

OSCAR LIBARDO LOMBANA CHARFUELÁN
MSC INGENIERÍA QUÍMICA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del director

Firma del Director

Nombre

Firma del presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. octubre de 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macias Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora de programa

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	9
1. MARCO CONCEPTUAL	10
1.1. Generalidades de los residuos solidos	10
1.2. Residuos sólidos orgánicos	11
1.2.1. <i>Clasificación</i>	11
1.3. Generación de biogás	12
1.4. Aplicaciones del biogás	14
1.5. Tecnologías para la producción de biogás	15
1.5.1 <i>Digestión aerobia</i>	15
1.5.2 <i>Digestión anaerobia</i>	16
1.5.3 <i>Biodigestores</i>	18
1.5.4 <i>Generación de energía</i>	28
1.5.5 <i>Generación de biomasa</i>	30
1.5.6 <i>Compostaje</i>	31
1.7 Residuos provenientes de las plazas de mercado	31
2. SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS A IMPLEMENTAR Y SU RESPECTIVA DESCRIPCION	34
2.1. Implementación de la matriz para la selección de la tecnología	36
3. TABLA COMPARATIVA CON LAS PRNCIPALES CARACTERISCTICAS	39
3.1. Selección de la tecnología más viable para la generación de biogás en las plazas de mercado de Bogotá	41
4. ANALISIS DE DATOS	43
5.CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFIA	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. equivalencia del valor energético	13
Figura 2. Etapas de la producción de biogás	17
Figura 3. Biodigestor domo fijo	20
Figura 4. Biodigestor lomo flotante	21
Figura 5. Biodigestor estructura flexible	22
Figura 6. Biodigestor industrial	23
Figura 7. Biodigestor horizontal	25
Figura 8. Biodigestor horizontal (PLUG FLOW)	26
Figura 9. Biodigestor tipo batch	27
Figura 10. Matriz PUGH	37
Figura 11. Matriz PUGH ponderada	38

RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación se fundamenta en la evaluación de la tecnología óptima para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos obtenidos en las plazas de mercado de la ciudad de Bogotá provenientes de frutas, verduras, hortalizas entre otros, logrando así la producción de biogás y su implementación. Para la realización este trabajo se comenzó por medio de una investigación exhaustiva en la literatura para encontrar información acerca del biogás, aplicaciones, efectos, tecnologías para aprovechamiento de residuos, tipos de biodigestores con sus respectivas características. Se desarrollo una investigación enfocada en la ciudad de Bogotá, donde se identificaron las características de sus residuos principalmente en las plazas de mercado y su aprovechamiento, concluyendo una producción de 4.000 ton de residuos orgánicos al día. Posterior a la consulta realizada acerca de las tecnologías existentes, se evidencio que los mejores equipos son los biodigestores, de los cuales se encuentran diferentes tipos según las características requeridas como lo son de domo fijo, domo flotante, estructura flexible, tipo Batch, mezcla completa, horizontal, horizontal Plug Flow y el tipo industrial. Para así, con la información recolectada y la realización de la matriz PUGH que contiene ciertos criterios específicos se llegue a seleccionar el mejor biodigestor que se adecue a las necesidades de las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá, se identifica que el mejor biodigestor es el de estructura flexible debido a sus bajos costos y mantenimiento, materiales de construcción, producción de biogás aceptable y estructura pequeña móvil.

Palabras claves: Tecnologías, Plazas de mercado, aprovechamiento sostenible, biodigestor, bajo costo.

INTRODUCCION

Una problemática a nivel mundial es la gran contaminación que generan los residuos sólidos, ya sea por desechos que generan las industrias, plazas de mercado o la misma población llevando a afectar no solo la parte ambiental sino la salud de estas. En las grandes ciudades de los países de América Latina y el Caribe, el manejo de los residuos sólidos ha representado un problema debido, entre otras cosas, a los altos volúmenes de residuos sólidos generados por los ciudadanos; cuando el manejo de éstos no es el adecuado, puede afectar la salud de los ciudadanos y al medio ambiente. (Sáez& Urdaneta, 2014).

La producción de biogás de diferentes formas al pasar del tiempo ha llegado a tener una gran importancia a nivel de una de las tecnologías más importante en la última década, por ende, su aplicación en una gran variedad de industrias resulta ser una de las más relevantes, por eso el objeto de estudios será la selección de la mejor tecnología para la generación de biogás a partir de desechos sólidos orgánicos.

Con respecto a lo que son las plazas de mercado de la ciudad de Bogotá se generan diariamente 8.1 ton/día de estos residuos orgánicos, causando un problema debido al espacio que ocupan, los malos olores que emiten y la contaminación de la tierra donde se depositan, esto hace necesaria la evaluación de la implementación de un sistema de biodigestión como una alternativa, que, bajo condiciones adecuadas de operación, genere un beneficio económico, ambiental y social.

El enfoque al que se va a llevar a cabo este trabajo se va a basar principalmente en el uso de los residuos sólidos orgánicos (RSO) de manera sostenible el desarrollo de biogás mostrando sus aplicaciones pioneras a nivel general, e informando a su vez sobre la mejor tecnología para el desarrollo de este y darle mejor solución a esta problemática en la ciudad de Bogotá para así llegar a su implementación en las plazas de mercado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar tecnologías para el aprovechamiento sostenible de residuos sólidos orgánicos para la producción de biogás en Bogotá.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual de desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos (**RSO**) provenientes de plazas de mercado locales.
2. Estructurar una matriz de selección de criterios técnicos, económicos y de sostenibilidad para la selección de la tecnología de aprovechamiento.
3. Seleccionar la tecnología para el aprovechamiento de los RSO considerando principios de sostenibilidad.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Generalidades

Según el Ministerio del Medio Ambiente de Perú – MINAM, los residuos sólidos son aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. (Vargas Carvajal, 2020, p. 17).

Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales. En otras palabras, los residuos sólidos son todas aquellas sustancias y/o productos que ya no se usan, pero que de alguna manera pueden ser aprovechados para un propósito determinado. (Vargas Carvajal, 2020, p. 18).

1.1.1 Residuos sólidos y su relación con la salud y el ambiente

El manejo de estos residuos tienen una estrecha relación con la salud de la población, se han presentado tres situaciones principales, la primera referida a la transmisión de enfermedades bacteriales y parasitarias tanto por agentes patógenos transferidos por los residuos como por vectores que se alimentan y reproducen en los residuos; en segundo lugar el riesgo de lesiones e infecciones ocasionados por los objetos punzo penetrantes que se encuentran en los residuos, esta condición pone en alto riesgo la salud de las personas que recuperan materiales en los vertederos; y en tercer lugar la contaminación ocasionada por la quema de residuos, la cual afecta el sistema respiratorio de los individuos. (Sáez, Urdaneta G., 2014, p. 122).

Otro de los entornos que afecta el manejo de los residuos es la relación con el ambiente, la afectación de los residuos sobre la tierra, el agua y el aire La colocación y acumulación de residuos inutiliza las tierras para otros usos; además representa un riesgo para quienes viven cerca de los vertederos y acumulaciones de desechos, debido a los gases que se originan durante el proceso de descomposición; así mismo se contaminan las aguas freáticas con nitratos y metales pesados que se filtran a través de los residuos; se contaminan las aguas de lluvia y las aguas superficiales; la acumulación

indiscriminada de residuos puede convertir el agua en no apta para el consumo humano y el desarrollo de la vida acuática(Omnia • Año 2014, No. 3, 2014, pp. 121 - 135 123).

1.2 Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos se contemplan como un factor importante para ser analizado en la actualidad debido a que es un contaminante transcendental y es posible obtener un producto beneficioso a partir de esta materia prima. Por otro lado algunas de las consecuencias por la presencia de residuos orgánicos son vertederos llenos, se refiere a aquellos lugares donde se depositan los residuos debido a que el espacio que ocupa no permite poderlo aprovechar, gases que producen el efecto invernadero por su quema ya que ciertos gases retienen parte de la energía emitida por el suelo debido al calentamiento de la radiación solar, a su vez la descomposición de estos residuos producen gases como CO₂ y CH₄, los cuales generan el efecto invernadero y contaminación del agua procedente del metabolismo aerobio y anaerobio de los microorganismos presentes en el agua (Alcaldía Municipal de Choachí, Cundinamarca, 2020).

1.2.1 Clasificación

- **Según su fuente de generación**
 - Residuos domésticos: son aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias, estos residuos son de gran potencial para su aprovechamiento debido que contiene un alto porcentaje de materia orgánica en su interior ya que se compone por restos de alimentos, verduras y en algunos casos, el césped.
 - Residuos comerciales: son residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios.
 - Residuos industriales: son residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial.

- Residuos sólidos orgánicos institucionales: Este residuo se compone por cartones, papeles y material orgánico. Proviene de las entidades privadas y gubernamentales.
- **Según su naturaleza o características físicas**
 - Residuos de alimentos: Son restos de comida provenientes de restaurantes, casas, y sitios donde se produzca algún tipo de alimento para su venta.
 - Estiércol: Residuos fecales, especialmente de las vacas para el aprovechamiento de su potencial en la generación de biogás.
 - Restos vegetales: Son aquellos restos que no han recibido ningún trato antinatural que afecte su composición, como lo es el césped o las cáscaras de las frutas y verduras.
 - Papel y cartón: Papelería con gran importancia en el reciclaje.
 - Cuero: Derivados de los artículos de cueros o curtiembres.
 - Plásticos: Provenientes de fuentes orgánicas como el petróleo y el etano, más sin embargo no tiene aprovechamiento en la parte orgánica.

1.3 Generación de biogás

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas. La composición química del biogás indica que el componente más abundante es el metano (CH_4); este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero. (Severiche, Acevedo ,2013, p. 9).

Algo muy importante para tener en cuenta es que el compuesto que le da su valor energético es el metano, CH_4 , el cual representa entre un 50 y un 75% del gas. Casi todo lo demás corresponde a dióxido de carbono (CO_2), pero suele tener otros compuestos, los cuales actúan como impurezas y puede ser necesario retirarlos, dependiendo del uso final. (Red agrícola, 2017).

La mezcla de CH_4 con el aire es combustible y arde con llama azul. Es un combustible ecológico, ya que se obtiene en biodigestores por fermentación anaeróbica del estiércol de herbívoros; luego, cuando se quema el biogás, se produce CO y agua; el CO sale a la atmósfera, de donde es captado por

las plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis, que los utilizarán para su crecimiento; estas plantas servirán de alimento a los herbívoros, cuyo estiércol se alimentará al biodigestor, de esta manera se completa el ciclo del CO. (Severiche, Acevedo ,2013, p. 9).

El biogás se produce en ausencia de oxígeno, por la acción de distintos tipos de bacterias, proceso que se conoce como digestión anaeróbica; “Las fuentes de biomasa para dar origen al biogás son muy versátiles: lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS); los residuos sólidos urbanos (RSU) de rellenos sanitarios y vertederos; estiércoles, purines y riles de la actividad pecuaria; los restos de la actividad agrícola o industrial, y las plantaciones energéticas. Estos materiales se suelen llamar sustrato orgánico”. (Red agrícola, 2017).

El biogás se utiliza en calderas, para producir calor, como combustible para vehículos en el transporte, en motores o turbinas para generar electricidad, purificado para introducirlo en redes de gas natural, o como material base para la síntesis de metanol, un producto de alto valor agregado. (Red agrícola, 2017).

Un subproducto importante es el digestato (o “lodo digerido”), material líquido o sólido que queda al terminar el proceso. Contiene nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y otros elementos. Se emplea como fertilizante y mejorador del suelo. (Red agrícola, 2017).

Figura 1.
Equivalencia del valor energético



Nota. la figura 1 muestra la equivalencia del valor energético del biogás Tomado de: Red agrícola, (2017). Biogás. <https://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas>

El valor energético: un m³ de biogás con un 60% de metano y un 40% de CO₂ equivale a 0,7 litros de gasolina; 2,4 kW-hora de electricidad; 0,6 m³ de gas natural o 1,3 kg de madera.

El biogás es la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica, realizada por acción de microorganismos (bacterias) en un medio anaeróbico (Padilla S, Rivero ,2016). Compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, el biogás posee un poder calorífico, de 4500 a 6500 kcal/m³. (Padilla S, Rivero ,2016, pp. 37).

Tabla1.

Características del Biogás

Parámetros	Características
Temperatura adecuada de operación	45°C
Tiempo de retención	entre 40 y 100 días
Contenido energético del biogás	unos 23000 KJ/m ³ (6Khw/m ³)
	aproximadamente la mitad que el gas natural
Generación de biogás	De 0.3 m ³ a 0.5m ³ de biogás por m ³ de digester /día. Entre 0.2m ³ y 0.4m ³ de biogás por kg de biomasa seca

Nota. Esta tabla muestra las principales características generales del biogás. Universidad Politécnica de Cataluña (Departamento de Máquinas y Motores Térmicos)

1.4 Aplicaciones del biogás.

El MINISTERIO DEL MEDIO ENERGÍA DE CHILE MINENERGÍA en el Manual del Biogás menciona tres principales aplicaciones del biogás:

- Producción de Calor o vapor: Este se denomina como el uso más simple del biogás. Los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas para cocinar, calentar agua y para iluminación. (Vargas Carvajal, 2020, p. 23).
- Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad: Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes,> 100 kW) se pueden utilizar para la producción de

calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S (bajo 100 ppm) y vapor de agua. (Vargas Carvajal, 2020, p. 23).

- **Combustible para vehículos:** En esta parte el biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel, así mismo el gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión. Por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido. Sin embargo, esta aplicación tiene problema en cuanto al autoabastecimiento, el tipo de motor para su combustión y falta de redes de abastecimiento. (Vargas Carvajal, 2020, p. 23).

1.5 Tecnologías disponibles para la producción de biogás

1.5.1 Digestión aerobia

También conocida como digestión aeróbica, consiste en la fermentación de la materia orgánica por la acción de microorganismos (bacterias y protozoos principalmente) para la obtención de un producto final inocuo. Esta técnica se aplica generalmente al tratamiento de lodos de depuradora que son expuestos a una aireación prolongada. Al comienzo del proceso el crecimiento microbiano es logarítmico debido al alto contenido en nutrientes contenidos en la materia orgánica. A medida que el proceso se desarrolla, el contenido en carbono orgánico va decayendo hasta que se hace limitante. En este punto los microorganismos empiezan a auto oxidarse dejando una materia rica en minerales. La digestión aerobia presenta algunas ventajas frente a la digestión anaerobia como pueden ser la simplicidad del proceso, la reducción de olores molestos o el bajo coste de inversión. En cambio, presenta algunas desventajas como los altos consumos de energía para llevar a cabo la aireación de la materia orgánica o la falta de control de ciertos parámetros del proceso. (Cuesta López, 2015, p. 19).

1.5.2 Digestión Anaerobia

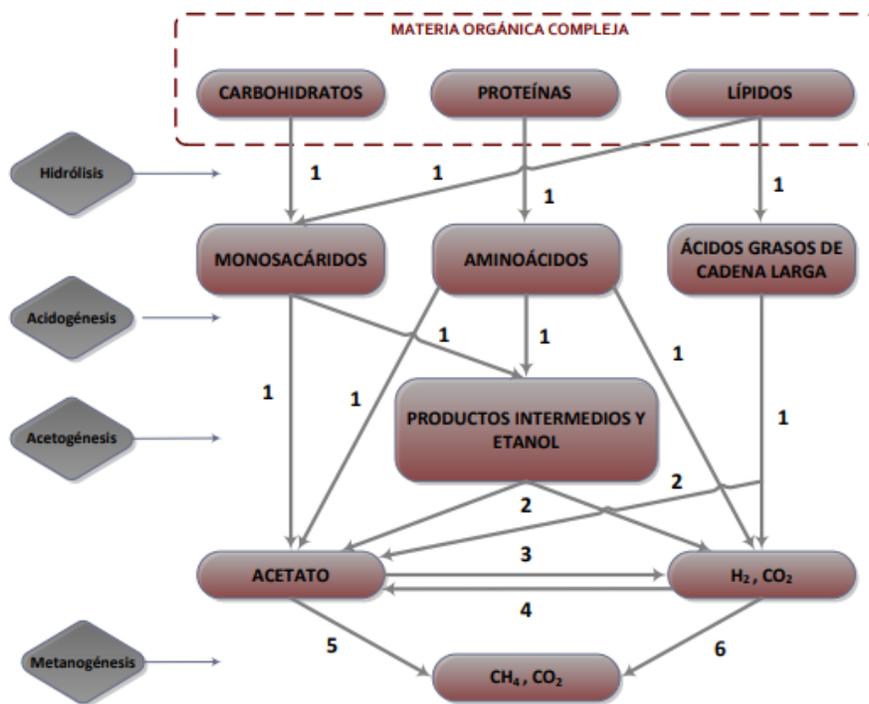
El MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MIN ENERGÍA en conjunto con la FAO y el PNUD propuso en el año 2011 el Manual del Biogás. En este, se mencionan 4 etapas durante la generación de biogás (Cuesta López, 2015, p. 19):

- Etapa de Hidrólisis: Este es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es este proceso que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. (Vargas Carvajal, 2020, p. 21)
- Etapa fermentativa o acidogénesis: Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. (Vargas Carvajal, 2020, p. 22)
- Etapa acetogénica: Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente. (Vargas Carvajal, 2020, p. 22)
- Etapa metanogénica: En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos

anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. (Vargas Carvajal, 2020, p. 22)

Figura 2.

Etapas de la producción de biogás



Nota. La figura muestra las diferentes etapas del proceso, así como los subproductos que se generan entre etapas. Adicionalmente muestra los grupos de bacterias actuantes en cada una de las etapas. Tomado de: Cuesta López. (2015). Obtención de biogás a partir de residuos sólidos urbanos para su inyección a Red. Universidad Carlos III de Madrid. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23542#preview>

Los números indican las poblaciones de bacterias responsables en cada una de las etapas. 1: Bacteria Fermentativas; 2: Bacteria Acetogénicas; 3: Bacterias Oxidantes de Acetato; 4: Bacterias

Homoacetogénicas; 5: Bacterias Metanogénicas Acetoclásticas; 6: Bacterias Metanogénicas Hidrogenotróficas.

1.5.3 Biodigestores

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es una forma simple de un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, no se incluyen cítricos ya que acidifican) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos rico en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. Asimismo, el sistema puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidrogenación y post tratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. (Padilla y Rivero, 2016, p. 31).

El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo. (Beltran,2021, p.31).

De acuerdo con esto existen dos tipos en que se dividen los biodigestores de forma general:

1.5.3.a Biodigestores tradicionales. Los biodigestores tradicionales son los que se pueden construir de manera rústica, sin necesidad de adquirir materiales muy caros. (Beltran,2021, p.31). Dentro de los que se pueden encontrar:

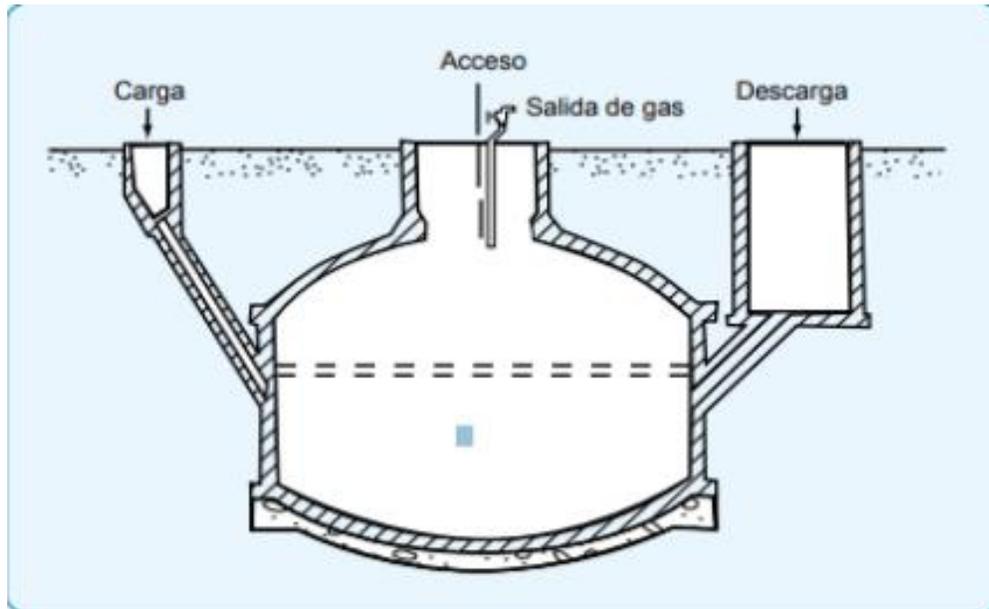
- **Biodigestor de domo fijo:** Estos son principalmente usados en China, los biodigestores de este tipo se caracterizan por ser cilíndricos tanto en el techo como en el piso en forma de domo y son construidos bajo tierra en su totalidad. Para iniciar el proceso, es necesario que el digestor se llene con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro

digestor o tanque de almacenamiento, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es necesario alimentar diariamente el biodigestor con los residuos que se encuentren disponibles, que pueden ser provenientes de la letrina y del estiércol de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor. En este tipo de digestores no existe gasómetro, por lo cual el biogás producido se debe almacenar dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, se aumenta su presión de forma proporcional, forzando al líquido a subir por los tubos de entrada y salida, logrando alcanzar presiones de hasta 100 cm de columna de agua, de esta forma se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. (Moreno, 2011, p.98).

Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta o recipiente limpio donde se pueda almacenar, y una o dos veces al año, el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo para obtener un mejor producto. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente para otros procesos como es la producción de Bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino generalmente llegan a ser de 30 a 60 días, requiriendo para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú. (Moreno, 2011, p.98).

Figura 3.

Biodigestor domo fijo



Nota. Esta figura muestra el esquema de biodigestor de domo fijo. Tomado de: Moreno (2011) Manual de biogás. Santiago, Chile. Municipios de Colombia. (s.f.). Obtenido de Municipio de Sylvania <https://www.municipio.com.co/municipio-sylvania.html>

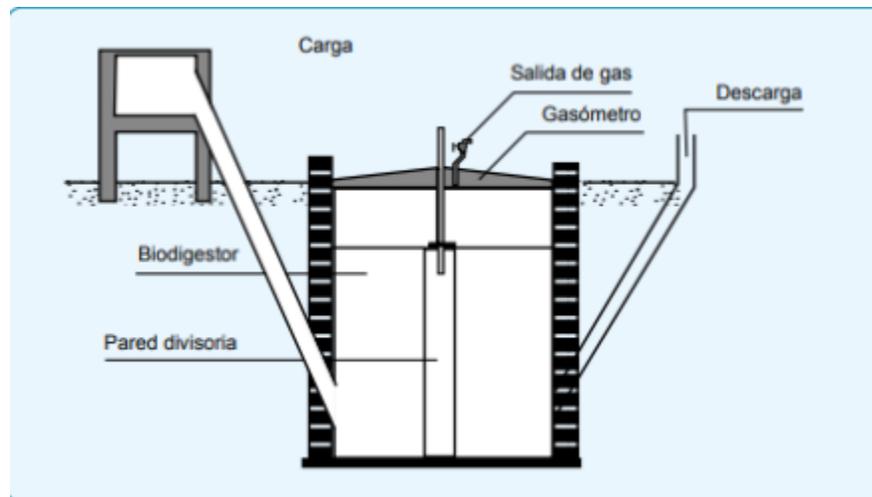
- **Biodigestor de domo flotante:** Sus usos más comunes se dan en países como la India, suelen ser verticales y son enterrados equivaliendo a un pozo. Su carga se da por gravedad una vez al día, el volumen de mezcla depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación estables. (Vargas Carvajal, 2020, p. 49).

Este tipo de biodigestor si posee un gasómetro que está integrado al sistema, el cual está en la parte superior del pozo flotando en forma de campana y es donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Por medio de esta campana se puede lograr una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta, además ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. Debido a que la entrada de la carga es diaria y se realiza por medio de la gravedad hasta el fondo del pozo, se produce una agitación, provocando la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño

del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para lograr un aumento en la retención de la materia prima, este tipo de biodigestores posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente. Estos digestores se identifican por presentar una buena eficiencia de producción de biogás, generando entre 0.5 y 1.0 volumen de gas por volumen de digestor por Vargas Carvajal, 2020, p. 50).

Figura 4.

Biodigestor domo flotante



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor de domo flotante. Tomado de: Moreno (2011) Manual de biogás. Santiago, Chile. Municipios de Colombia. (s.f.). Obtenido de Municipio de Sylvania <https://www.municipio.com.co/municipio-sylvania.html>

- **Biodigestor de estructura flexible o polietileno:** Este tipo de biodigestor se basa en una estructura tubular horizontal en cuyos extremos se sitúan las cámaras de carga y descarga del sistema. Debido a su configuración alargada se logra impedir la mezcla entre la carga líquida inicial y el efluente, por esta razón es útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado, tales como excretas de humanos y ciertos desperdicios de sacrificio de animales. Este biodigestor, se compone de distintas partes, para empezar, hay una tubería de entrada por donde se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua, y al final del proceso, una tubería de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana

abandona el biodigestor. Los materiales que ingresan son denominados afluentes y los que abandonan el biodigestor se denominan efluentes. El proceso de digestión que ocurre dentro del biodigestor ayuda a liberar la energía química contenida en la materia orgánica convirtiéndose en biogás. (Vargas Carvajal, 2020, p. 50).

Estos tipos de biodigestores, como se mencionaba anteriormente, tienen diversas ventajas, una de las primordiales es su bajo costo y fácil transporte, debido a su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Adicionalmente, su larga vida útil puesto que estos biodigestores tienen un promedio de vida de 10 a 15 años, en el caso que se presente rupturas pueden ser fácilmente reparadas y que posee altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. (Vargas Carvajal, 2020, p. 51)

Figura 5.

Biodigestor estructura flexible



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor estructura flexible. Tomado de: Rodríguez Ramon (2012) Implementación y Construcción de un Biodigestor Hindú de Estructura Flexible con el Aprovechamiento de las Excretas de Ganado Vacuno, Aplicado a la Quinta Experimental Punzara. Loja, Ecuador. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12371/1/Rodr%c3%adguez%20Ram%c3%b3n%2c%20Luis%20Guillermo.pdf>

1.5.3.b. Biodigestores industriales. De manera industrial, se emplean tanques de metal para el almacenamiento de la materia orgánica y del gas por separado, debido a su gran volumen de materia orgánica que se necesita para garantizar la producción de biogás. Para mejorar el funcionamiento de la planta de biogás, se utilizan bombas para poder desplazar el material orgánico hacia el biodigestor y, de igual manera, desplazar el biofertilizante hacia el tanque de almacenamiento. Además, se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás para poder garantizar que lleguen hacia el último consumidor. (Vargas Carvajal, 2020, p. 52-53).

Figura 6.

Biodigestor industrial



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor industrial. Tomado de: Rodríguez Ramon (2012) Implementación y Construcción de un Biodigestor Hindú de Estructura Flexible con el Aprovechamiento de las Excretas de Ganado Vacuno, Aplicado a la Quinta Experimental Punzara. Loja, Ecuador. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12371/1/Rodr%c3%adguez%20Raim%c3%b3n%2c%20Luis%20Guillermo.pdf>

En este tipo de planta, es necesario implementar grandes estanques de ladrillo y hormigón que servirán para almacenar la gran cantidad de materia orgánica que se necesitará para garantizar una buena producción de biogás y además del biofertilizante obtenido que podrá usarse para distintos fines. para lograr mover el material orgánico desde los estanques a los biodigestores y el

biofertilizante de los biodigestores a los tanques de almacenamiento, es necesario usar un sistema de bombeo con la suficiente fuerza para el correcto funcionamiento de todo el proceso. (Vargas Carvajal, 2020, p. 53)

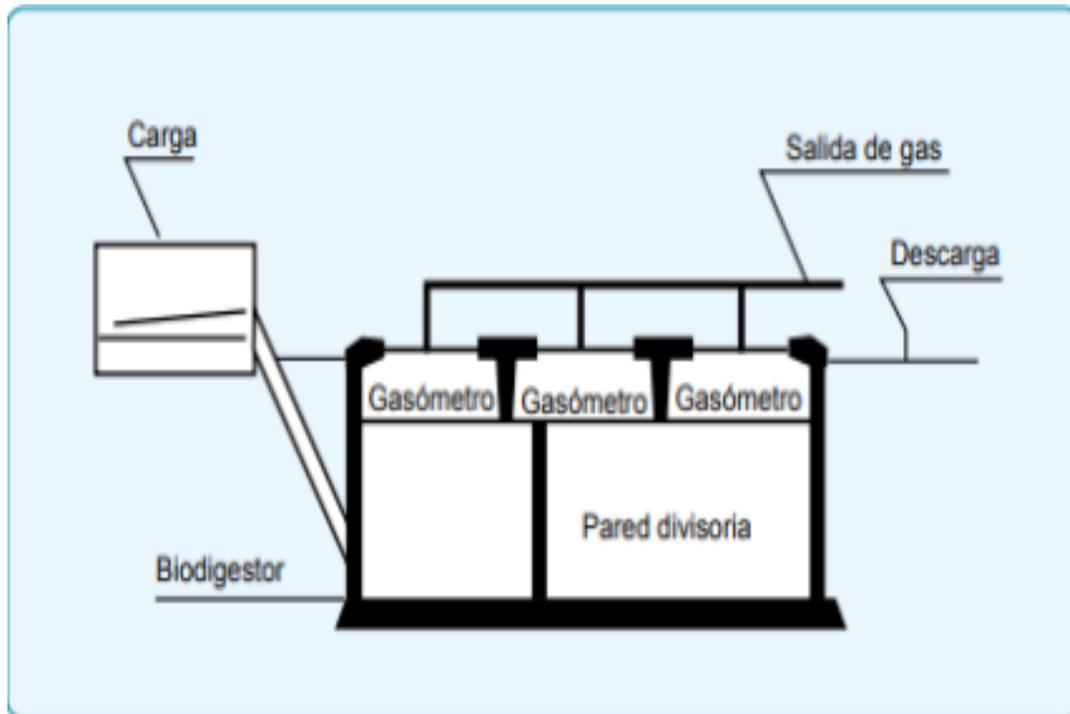
También es importante utilizar sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor. (Vargas Carvajal, 2020, p. 53) Por otro lado, para evitar los malos olores es común usar filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás evitando contaminaciones cruzadas, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad, redes de tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación. (Vargas Carvajal, 2020, p. 53)

1.5.3.c. Otros Biodigestores. Existen otro tipo de biodigestores como los que se van a mencionar a continuación:

- **Biodigestores horizontales:** Se construye bajo tierra, su sección es cuadrada o en forma de “V”, la relación larga / ancho varía entre 5:1 hasta 8:1 y está provisto de paredes divisoras, de esta manera se evita que el sustrato salga antes de terminar el tiempo de retención. Por otro lado, su uso es generalmente para el saneamiento de descargas cloacales, ya que su formación alargada garantiza que el afluente salga del tanque de digestión, debido al flujo pistón y al tiempo de retención, estos generalmente llevan en la parte superior una cúpula metálica desmontable para la boca de visita, y a su vez requiere gasómetro adicional debido a la poca capacidad de almacenamiento de la cúpula y el cuerpo del digestor (Vargas Carvajal, 2020, p. 53).

Figura 7.

Biodigestor horizontal

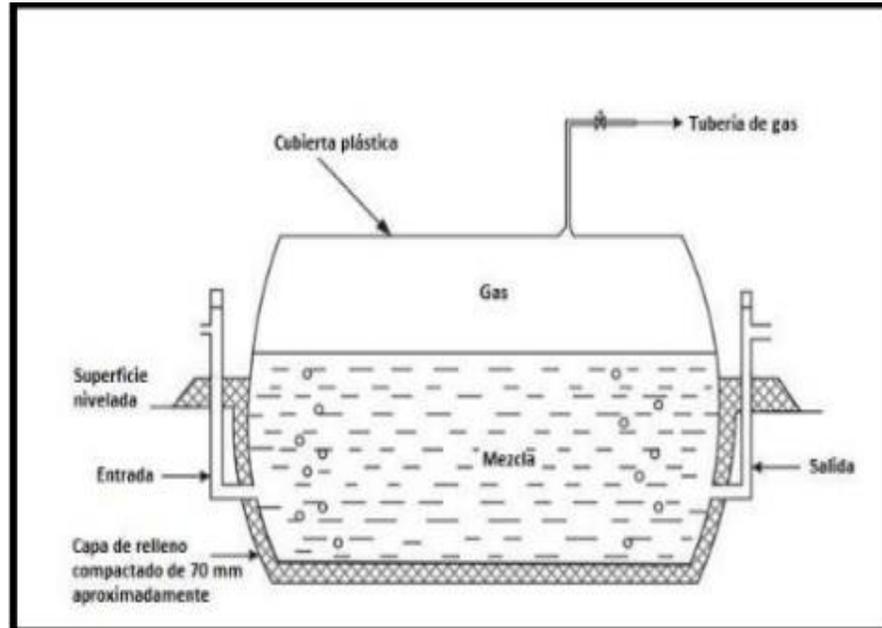


Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor horizontal. Tomado de: Moreno (2011) Manual de biogás. Santiago, Chile. Municipios de Colombia. (s.f.). Obtenido de Municipio de Sylvania <https://www.municipio.com.co/municipio-sylvania.html>

- **Biodigestor horizontal (Plug Flow):** Esta clase de digestor tiene la ventaja de no necesita un sistema de agitación, ni ninguna parte móvil. Su construcción tanto en la cámara de digestión como en el almacenamiento de biogás puede ser en concreto en forma de globo, teniendo en cuenta que va herméticamente cerrado donde el gas al igual que los digestores anteriores se ubica en la parte superior de la materia orgánica digerida y dicho espacio superior corresponde del 25 – 30 % del volumen del digestor (Euides & Ramirez, 2012).

Figura 8.

Biodigestor horizontal (PLUG FLOW)



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor horizontal (PLUG LOW).

Tomado de: Mamani, Pacco

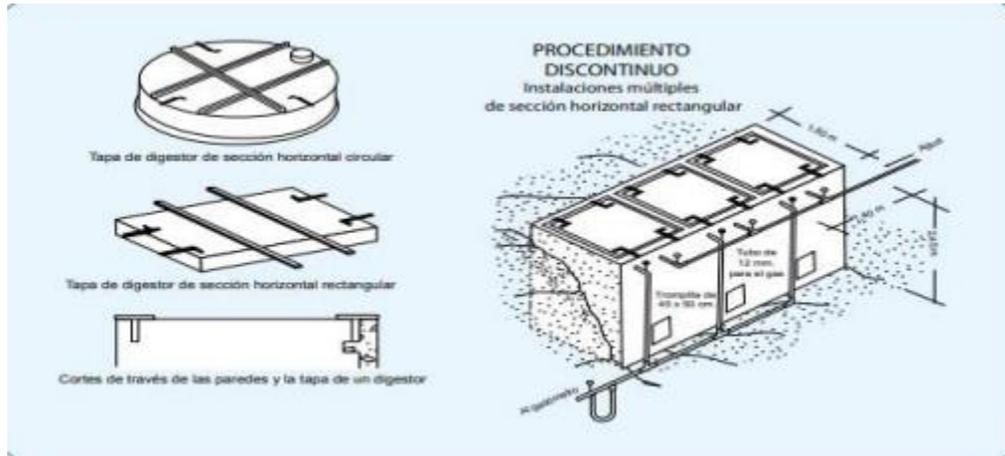
- **Biodigestor Batch (discontinuo o régimen estacionario):** Este tipo de digestor se elabora a partir de una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada a gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Estos digestores basan su funcionamiento en tener siempre una parte en producción y una estacionaria, de esta forma uno de ellos estará en carga o descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás, dicha alimentación del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás. (Vargas Carvajal, 2020, p. 54)

El uso de este sistema discontinuo solo es aplicable en situaciones particulares, por ejemplo, cuando las materias primas presentan problemas de manejo en un sistema semicontinuo y continuo, o por otro lado si se trabajara materiales difíciles de digerir metanogénicamente, también en los casos donde son escasas las materias primas a procesar, por lo cual se obtendrán de forma intermitente, como es el caso de los rastrojos de cosecha. Está destinado a pequeñas

y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico. (Vargas Carvajal, 2020, p. 54).

Figura 9.

Biodigestor tipo batch



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor tipo batch. Tomado de: Moreno (2011) Manual de biogás. Santiago, Chile. Municipios de Colombia. (s.f.). Obtenido de Municipio de Silvania <https://www.municipio.com.co/municipio-silvania.html>

- **Biodigestor de mezcla completa:** Este tipo de biodigestores son empleados en la agroindustria para el aprovechamiento de los residuos orgánicos. Suelen ser depósitos circulares de acero o concreto, en los que se mezclan los sustratos de forma regular y no violenta mediante una mezcladora. Se usa para sustratos sólidos, como lodos y aguas residuales con alta materia orgánica (Mamani, Pacco, 2021). Una característica que define a este tipo de biodigestor es que la carga que se agrega periódicamente se mezcla casi por completo con el contenido ya presente en la cámara de digestión. Como resultado, partes de sustancias no biodegradables fluyen fuera de las aguas residuales, por lo que no se puede garantizar la eliminación completa de agentes patógenos en animales y plantas (Mamani, Pacco, 2021).

El modelo chino es una estructura cerrada de concreto o ladrillo y tiene una vida útil de unos 15 años. Dispone de cámaras de carga y descarga. Necesita un medidor de gas para contener la cantidad de gas producido. El modelo hindú tiene una campana que sube y baja dependiendo

de la cantidad de gas producido. Su principal ventaja es que no requiere un gasómetro porque el gas mantiene una presión relativamente constante en su interior (Mamani, Pacco, 2021).

- **Ventajas de los biodigestores.**

- Se optimiza el material orgánico utilizado, ya que se captan todos los productos y subproductos (gases y líquidos con sólidos disueltos) generados en la degradación, por lo cual existe poca pérdida de elementos nutritivos, cosa que no sucede en la biodegradación aerobia.
- Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia.
- Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
- Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, otros).
- Produce biogás naturalmente el cual puede sustituir al GLP.
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- Promueve la agroecología

1.5.4 Generación de energía

Como el consumo global de energía crece cada año, el desarrollo de ciertas fuentes alternativas se hace cada vez más importante, en especial en lo que se refiere a la eliminación de residuos y al uso de la energía, con la posibilidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

El crecimiento de la población y el aumento del nivel de vida significan que el consumo de bienes y energía está aumentando. Por un lado, el consumo conlleva un aumento de la generación de residuos. Por otro lado, la correlación entre el aumento de la riqueza y el aumento del consumo de energía también es muy fuerte. Dado que el valor calorífico medio de los residuos sólidos urbanos (RSU) es de aproximadamente 10 MJ / kg, parece lógico utilizar los residuos como fuente de energía. (Malinauskaite, Jouhara, Czajczynska, 2017, p.1).

El costo de la energía térmica se reduce de los 400 baht / meses pagados anteriormente (12 USD / mes) en GLP a 100 baht / mes (3 USD / mes) con la existencia de biogás como combustible para cocinar. El biogás no solo se utiliza como fuente de energía para cocinar, sino que también contribuye a la reducción de la contaminación ambiental producida por los residuos sólidos urbanos. Ayuda a reducir el metano (CH₄) liberación a la atmósfera por 400 kg equivalente a 10,000 kg CO₂. Las comunidades locales adquieren nuevos conocimientos sobre la tecnología del biogás y sus beneficios. ((Malinauskaite, Jouhara, Czajczynska, 2017, p.1).

Algunas ventajas que presenta el aprovechamiento de los RSU con fines energéticos, son. (Revista de Investigación y Desarrollo septiembre 2016 Vol.2 No.5 71-76)

- Producción de energía: calor, luz, electricidad.
- Transforma los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad.
- Mejora las condiciones higiénicas por la reducción de patógenos, huevos de moscas, etc.
- Reduce la cantidad de trabajo con respecto a la recolección de leña.
- Favorece la protección del suelo, agua, aire y vegetación, obteniendo menor deforestación.
- Beneficios microeconómicos a causa de la situación de energía y fertilizantes, del aumento de los ingresos y aumento de la producción agrícola-ganadera.
- Beneficios macroeconómicos, a través de la generación descentralizada de energía, reducción de los costos de importación y protección ambiental

Por consiguiente, en la generación de energía se puede utilizar el biogás para varios fines como lo son:

- Calefacción domiciliar e industrial
- Generación de electricidad
- Purificación a gas natural
- Uso de vehículos
- El lodo se puede usar como fertilizante

1.5.5 Generación de biomasa

La Unión Europea indica que la “Biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales” (Cerdá, 2012, p. 118).

Antes de su misteriosa muerte en 1913, Rudolf Diésel afirmó que:

“El uso de aceites vegetales como combustibles para motores puede parecer insignificante hoy, pero estos aceites pueden llegar a ser, en el curso del tiempo, tan importantes como el petróleo y los productos de alquitrán de carbón de la actualidad”. (Quintero González Julián Rodrigo, Laura Estefanía”, 2014-2015)

La Biomasa es diferente en origen según el tipo de residuo utilizado. Pueden ser:

- Residuos Poblacionales (Domésticos).
- Residuos Agrícolas.
- Residuos Animales.
- Residuos Forestales.
- Residuos Agro y Foresto Industriales.

Todos estos sectores aportan materia para la generación de la energía térmica o eléctrica derivada de la Biomasa. (Stobbia, Fernández, Cabanillas, Heredia, Eimer, Ledesma, 2013, p. 4).

1.5.5.a Tipos de biomasa. Así como anteriormente se dijo existen diferentes orígenes de esta pues la biomasa también tiene cuatro diferentes tipos los cuales serán mencionados a continuación:

- **Biomasa Sólida:** Tiene un aprovechamiento térmico y eléctrico de materia orgánica de origen animal y vegetal, como los cultivos energéticos, aquellos en los que las especies cultivadas tienen como uso específico la producción de energía. (Quintero González, 2015, p.31)

- **Biogás:** Obtenido mediante un proceso de fermentación anaeróbica de la materia orgánica producida por bacterias en ambientes faltos de oxígeno. (Quintero González, 2015, p.31)
- **Biocarburantes:** Combustibles líquidos cuyas propiedades les permiten sustituir la gasolina en su totalidad o por lo menos en un porcentaje considerable. (Quintero González, 2015, p.31)

1.5.6 Compostaje

El compostaje es el reciclaje de la fracción orgánica de la basura, para el aprovechamiento de los recursos de sus componentes, con el objetivo de volver a incorporarlos a su ciclo natural a través del producto final de este proceso: el compost, que puede ser utilizado como nutriente y estabilizante del suelo ya que ayuda a remediar la carencia de materia orgánica de éstos y contribuye físicamente a su fijación. (Munistgo, s.f, p.2).

Toda la materia orgánica se descompone de forma natural, sin embargo, existen dos formas en que este proceso ocurre. La primera es la metanización o vía anaeróbica que implica la nula presencia de oxígeno (o pudrición) y la vía aeróbica que sí lo incorpora. La producción de compost se obtiene de la descomposición aeróbica de residuos orgánicos mediante la reproducción masiva de bacterias y otros microorganismos presentes en todos lados. El compost y el humus pueden usarse en agricultura y paisajismo y son una excelente alternativa para controlar la erosión, enriquecer y recuperar los suelos destinados a estos fines. Además de ser una opción ambientalmente amigable, segura y económica para el manejo de residuos orgánicos, tanto domésticos como provenientes de explotaciones productivas, como ferias libres. (Munistgo, s.f, p. 3)

1.6 Residuos provenientes de las plazas de mercado

En Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial indican que en un día el país produce 27 300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Los componentes que constituyen la fracción orgánica de las basuras colombianas son residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín (Severiche & Acevedo, 2013, p. 8).

En cuanto a la generación de residuos en las plazas de mercado se obtiene una alta participación del componente verduras (mayor al 50%), le sigue las frutas (promedio del 14%) de la misma forma, en CORABASTOS los sectores de verduras, frutas y hortalizas son los mayores generadores de residuos (Ambiente Bogota,2021).

Del total de 70.5 ton/día de residuos sólidos, el 88.5% corresponde a residuos vegetales (verduras, frutas y hortalizas). De éstas 62.4 toneladas, 11.5 se producen en las plazas de mercado y 50.9 en CORABASTOS. Los otros residuos, que representan 8.1 toneladas, comprenden papel (3.5 ton/día), madera (1.8 ton/día), plásticos (1.7 ton/día), cárnicos (0.4 ton/día) y otros (0.7 ton/día). Por lo tanto, el porcentaje de los residuos que salen a disposición en el Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ) de origen cárnico y de alimentos procesados (cocidos) es muy bajo (Ambiente Bogota,2021).

En las plazas de mercado en la ciudad se están generando alrededor de 4.000 toneladas de residuos al día, la Ruta Selectiva en el año de 2017 se aprovechó aproximadamente 736 toneladas de residuos orgánicos, para el año 2018, se realizó el aprovechamiento de 1.033,9 toneladas, para el año 2019 se aprovechó la cantidad de 1.185,7 toneladas y para lo que va de corrido del año 2020 se tiene un aprovechamiento de 775,5 toneladas de orgánicos provenientes tanto de algunas plazas de mercado como de puntos comerciales administrados por el IPES (IPES, PIGA,2020-2024).

Tabla2.

Residuos generados.

Usuario	Kilos	N° de canecas	Peso canecas	Peso total
Plaza de mercado 07 de agosto	9879	140	982	8897
Plaza de mercado 12 de octubre	4213	60	422	3791
Plaza de mercado 20 de julio	9969	140	980	8989
Plaza de mercado Concordia	1383	20	142	1242
Plaza de mercado de Fontibón	5667	77	537	5130
Plaza de mercado Kennedy	5727	74	520	5208
Plaza de mercado La Perseverancia	1207	12	86	1121

Tabla2. (Continuación)

Usuario	Kilos	N° de canecas	Peso canecas	Peso total
Plaza de mercado Las Cruces	3125	40	282	2843
Plaza de mercado Las Ferias	13346	159	1110	12237
Plaza de mercado Quiriguá	4366	62	431	3936
Plaza de mercado Restrepo	6037	109	760	5278
Plaza de mercado Samper Mendoza	6945	94	658	6287
Plaza de mercado Santander	5144	69	485	4660
Plaza de mercado Trinidad Galán	1968	26	179	1790
Total general			7571	71405

Nota. Estos valores son de los residuos totales de las plazas de mercado en el año 2018. Fuente: Instituto para la Economía Social – IPES

2. SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS A IMPLEMENTAR Y SU RESPECTIVA DESCRIPCION

Por medio de la revisión bibliográfica que se implementó en la realización del capítulo anterior llamado marco conceptual, en donde se da a conocer los diferentes tipos de biodigestores existentes se logran establecer los criterios determinantes para la selección del biodigestor más apto para las necesidades de las plazas de mercado ubicadas en la ciudad de Bogotá, esto se llevara a cabo mediante la realización de una matriz PUGH.

- **Criterios de selección de la tecnología más viable**

- **Generación Biogás.**

Este criterio involucra el volumen de gas producido en unidades de volumen de gas por volumen de digestor por día, buscando siempre la mayor eficiencia en los biodigestores es decir la mayor producción de biogás.

- **Vida Útil.**

Aquí se evaluará de acuerdo al periodo en el que se espera utilizar el biodigestor, por ende, entre mayor sea el tiempo de su vida útil mejor será este criterio ya que implicara menores costos en la inversión de un nuevo biodigestor.

- **Presión Biogás.**

Se tendrá en cuenta si la presión de gas que va a producir el biodigestor es constante o, por el contrario, fluctúa, por ende, en este criterio se busca que la presión del biogás sea constante, previniendo posibles en los biodigestores.

- **Tamaño.**

Este criterio es de los más importantes ya que promedio de este podemos decir sin previo estudio que alguno de los biodigestores no podrían llegar a ser utilizados debido a la carga o tamaño que tienen puesto que hay un valor contaste de materia orgánica.

- **Materiales Construcción.**

En este criterio se tiene en cuenta principalmente el tipo de materiales que se utilizarían en la construcción del biodigestor. Además, se tiene en cuenta si estos materiales son, o no, perjudiciales para el medio ambiente, la dificultad de su obtención y que no tenga ninguna repercusión a nivel de la salud del personal o clientes que permanezcan o transiten en las plazas de mercado.

- **Ubicación y Espacio.**

En este criterio se tiene en cuenta, dependiendo las dimensiones del biodigestor qué tanto impacto generaría para las personas que lo vean, dependiendo de si es enterrado que genera mayores costos o si es semienterrado que suaviza los costos pero que genera un poco de impacto visual o por el contrario es totalmente sobre la superficie que si requiere un estudio del impacto visual que se genera.

- **Tipo de Residuos.**

Aquí se evaluará el tipo de residuo que se genera después de la obtención de biogás, que puede ser sin restricción, residuos con fibra, verduras y hortalizas, algunos claramente son más convenientes que otros por ende es necesario evaluar este criterio para la sección del biodigestor para no generar ningún daño ni escape en un pequeño lapso de tiempo.

- **Costos.**

Este criterio está relacionado con qué tan costosos son los materiales que se implementarían para la construcción del biodigestor, además los costos de mantenimiento por lo que este criterio resulta ser muy necesario en la evaluación ya que se busca un biodigestor de bajo costo y con un buen tiempo de uso.

- **Movilidad del sistema.**

Mediante este criterio se evalúa la facilidad que tiene la instalación, en cuanto a que tan posible es la movilidad del sistema, criterio que resulta bastante importante, ya que si tiene disponibilidad de cambiar de posición el biodigestor es un criterio atractivo para las características en una plaza de mercado.

2.2. Implementación de la matriz para la selección de la tecnología

La Matriz de Pugh es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones). Su aplicación más habitual es durante la fase de diseño de un producto, ya sea completamente nuevo o una actualización de uno existente (gobusinesseducation,2022). El diseño actual del producto se toma como referencia, el cual aparece como una columna sobre la que se realizarán las comparaciones posteriores. Mediante el uso de técnicas grupales como el brainstorming se irá evaluando cada criterio para cada alternativa de diseño (concepto) comparándolo con el diseño de referencia, la situación actual. (gobusinesseducation,2022).

La mecánica es la siguiente: se toma la primera alternativa de diseño y se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior al diseño actual, es inferior o es igual. Si es superior se coloca un signo «+», si es inferior un signo «-» y si es igual un «0». Para mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1, -1 y 0 respectivamente ya que permiten operar en planillas de cálculo. Utilizaremos esta última nomenclatura de aquí en adelante. Una vez completada toda la tabla, se realiza la suma de cada columna. El concepto de diseño que obtenga un resultado mayor,

producto del balance entre aspectos positivos y negativos, será la «mejor solución». (gobusinesseducation,2022).

Figura 10.

Matriz PUGH

		ALTERNATIVAS							
		Domo fijo	Domo flotante	Estructura flexible	Industrial	Horizontal	Horizontal Plug Flow	Batch	Mezcla completa
CRITERIOS	Generación de biogás	-1	1	1	1	1	1	1	1
	Vida Útil	1	1	1	1	1	1	1	1
	Presión biogás	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	1
	Tamaño	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
	Materiales construcción	1	1	1	1	1	1	1	-1
	Ubicación y espacio	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	-1
	Tipo de residuos	0	-1	-1	1	1	1	1	1
	Costos	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
	Movilidad del sistema	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
	Suma positivos (+)	2	6	6	5	5	6	7	5
	Suma negativos (-)	-7	-4	-1	-5	-5	-4	-3	-5
	SUMA TOTAL	-5	2	5	0	0	2	4	0

Nota. Esta imagen muestra los resultados atrojados por la matriz PUGH sin ponderación.

Tras completar toda la tabla y realizar las sumatorias correspondientes que se muestran en la matriz Pugh, se obtuvieron las mejores alternativas, lo que mostró que el biodigestor de estructura flexible tenía una ventaja en cuanto a los criterios de evaluación, ya que recibió una mejor calificación en la matriz. Pero este resultado no es 100% factible ya que no todas las normas tienen el mismo impacto frente a los clientes. Quizás no sea tan importante el tipo de desecho como el costo o tamaño del biodigestor. Para estos casos, cada criterio debe ser ponderado para que la influencia de cada comparación no tenga el mismo peso ya que no es lo mismo comparar un criterio sin tanta relevancia con uno más importante en el momento de su elección y aplicación. Por lo tanto, se procede a corregir la matriz nuevamente, agregando una columna de peso para cada criterio, como se muestra en la imagen 10.

Para llevar a cabo la selección de la mejor tecnología, cada criterio fue ponderado de 0 a 100% de acuerdo a la importancia que se le relacione a este, así, como se muestra en la imagen 10, los criterios correspondientes a tamaño, movilidad y costos recibieron un peso del 15%, a los cuales se les proporcionó el nivel más alto, ya que estos son los más decisivos para dicha selección, los siguientes criterios, producción de biogás, materiales de construcción, presión de biogás, ubicación

y espacio y vida útil, a los que se les dio un peso correspondiente al 10%, es decir, un peso promedio y finalmente, para el criterio de tipo de residuo se les dio un peso del 5%, que es inferior a todos los anteriores, ya que fueron el de menos relevancia a la hora de seleccionar un biodigestor.

Figura 11.

Matriz PUGH ponderada

		Peso %	ALTERNATIVAS							
			Domo fijo	Domo flotante	Estructura flexible	Industrial	Horizontal	Horizontal Plug Flow	Batch	Mezcla completa
CRITERIOS	Generación de biogás	10	-10	10	10	10	10	10	10	10
	Vida Útil	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Presión biogás	10	-10	0	0	-10	-10	-10	-10	10
	Tamaño	15	-15	15	15	-15	-15	-15	15	-15
	Materiales construcción	10	10	10	10	10	10	10	10	-10
	Ubicación y espacio	10	-10	-10	0	-10	-10	-10	10	-10
	Tipo de residuos	5	0	-5	-5	5	5	5	5	5
	Costos	15	-15	-15	15	-15	-15	15	-15	-15
	Movilidad del sistema	15	-15	-15	15	-15	-15	-15	-15	-15
	Suma general	100	-55	0	70	-30	-30	0	20	-30
Ranking		8	4	1	6	5	3	2	7	

Nota. Esta imagen muestra los resultados atrojados por la matriz PUGH con ponderación.

Finalmente, una vez ingresados todos los valores obtenidos anteriormente en la matriz de Pugh, se obtiene la mejor elección combase a los parámetros anteriormente ingresados. Dichos resultados obtenidos muestran que la alternativa más factible para la construcción de un biodigestor al interior de las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá es uno de estructura flexible, como se muestra en la Imagen 11, debido a que su peso es de 70, siendo el superior a las otras alternativas sugeridas.

3. TABLA COMPARATIVA

A continuación, se generará una comparación, de unas de las principales características que tienen los biodigestores, con el fin de ver más al detalle los ocho tipos de biodigestores expuestos anteriormente y que se facilite la selección del mejor de estos para poder adecuarlos a las características de las plazas de mercado.

Tabla 3.

Cuadro comparativo con las principales características de los biodigestores

	Domo fijo	Domo flotante	Estructura flexible	Industrial	Horizontal	Horizontal plug flow	Batch	Mezcla completa
Generación biogás	0.15 y 0.20 vol de gas por vol de digestor/día	0.15 y 0.10 vol de gas por vol de digestor/día	0.15 y 0.75 vol de gas por vol de digestor/día	0.1 y 1.5 vol de gas por vol de digestor/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digestor/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digestor/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digestor/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digestor/día
Vida útil	20 años	15 años	10-15 años	35 años	15 años	15 años	15 años	15 años
Presión biogás	Variable	Constante	Variable y baja	Variable y alta	Variable	Variable	Variable	Constante
Tamaño	5m ³	5-15 m ³	4-100 m ³	Aprox 1.000m ³	>15m ³	>15m ³	5-1000m ³	Aprox 1.000m ³
Materiales construcción	Cemento, ladrillo y varillas de hierro	Cemento, ladrillo y cúpula flotante de acero	Plástico PVC (polietileno)	Cemento, ladrillo y hormigón	Cemento, ladrillo y cúpula flotante de acero o varillas	Concreto en forma de globo	Batería de tanques o depósitos herméticos	Acero o concreto o ladrillo, con cámara de carga y descarga
Ubicación y espacio	Enterrado totalmente	Bajo tierra, alto requerimiento de espacio	Semi enterrado, zanja de aprox 2.5m	Sobre la superficie, alto requerimiento de espacio	Semi enterrado, zanja aprox 2.5m	Semi enterrado, zanja aprox 2.5m	Sobre la superficie o semi enterrado	Semi enterrado
Tipo de residuos	Sin restricción	Residuos con fibra	Aguas residuales	Biofertilizante	Sin restricción	Materia orgánica	Bioabono	Lodos y aguas residuales
Costos	Elevados	Elevados	Bajos	Elevados	Elevados	Elevados	Elevados	Elevados
Movilidad	Nula	Nula	Posible	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula

Nota. En esta tabla se muestran las características de los diferentes biodigestores

Como se muestra en la Tabla 3, se evidencian unas las características más importantes de los diferentes tipos de biodigestores existentes, por ejemplo, se enfatizan los más grandes para uso industrial, pues como su nombre lo dice, son industriales y se utilizan en empresas grandes o con empresas más orgánicas que producen biogás a partir de desechos sólidos u otros tipos de desechos, en donde se intenta generar la máxima cantidad de biogás, a diferencia de algunos de los otros más pequeños, que se pueden usar en espacios pequeños como casas, granjas o espacios mucho más reducidos, produciendo respectivamente una cantidad más pequeña pero necesaria de biogás. Por otro lado, se ha observado que la vida útil suele ser en promedio de 15 años, pero en biodigestores como los industriales y de domo fijo, la vida útil puede ser un poco mayor.

Otra característica importante y en la que se considera que debe tener una gran parte del peso a la hora de elegir un tanque de biodigestor es el precio, ya que suele ser de un valor elevado. Puede verse en la Tabla 3 que el único biorreactor de bajo costo es el biorreactor estructuralmente flexible, lo cual es una ventaja. En comparación con otros biodigestores, esta característica está relacionada con el material de construcción, ya que encontramos que los biorregeneradores más económicos son de PVC (plástico), mientras que otros suelen ser de cemento y ladrillos y otros materiales. También es importante destacar el tipo de residuo que se va a utilizar, ya que, dependiendo del tanque de biodigestión, existen diferentes clases de residuos que deban ser tratados de distintas maneras posteriormente.

Finalmente, encontramos que entre las características que no son comunes en la mayoría son las de las fugas de biodigestores, además del domo fijo, otra característica que se presenta es la variación de presión en la mayoría de los biorreactores, como se ve comúnmente en estas unidades. La única variación, debido a su estructura, a presión constante es la cúpula líquida.

3.1. Selección de la tecnología más viable para la generación de biogás en las plazas de mercado de Bogotá

Posterior a la búsqueda exhaustiva en literatura, realización de la matriz PUGH y tabla comparativa con las principales condiciones, se llegó al mejor resultado como anteriormente se venía exponiendo que el biodigestor más viable y que se puede adecuar de mejor forma en las

plazas de mercado de la ciudad de Bogotá es el de **ESTRUCTURA FLEXIBLE**, el cual se acopla perfectamente al objetivo de desarrollo sostenible número 12 “producción y consumo sostenible”, ya que este al ser el de más bajos costos debido al material en el que se puede elaborar (PVC) es más viable al momento de su construcción ya que la inversión de los materiales es baja pero sus resultado y eficiencia es de las mejores, pero eso no influye al momento de su vida útil ya que también es uno de los que más años de utilidad tiene lo que hace que generaciones futuras se familiaricen también con este, aprendan más sobre el tema y sea mejor aprovechado.

Una de las principales preocupaciones para escoger la mejor tecnología es la ayuda a la comunidad y medio ambiente, lo que hace que este biodigestor es que al poder ser de fácil movilidad o con opciones de mejores ubicaciones esto ayuda a que las personas que trabajan en las plazas o los mismos compradores no estén en contacto con este mientras hace su proceso lo que permite que ninguna persona de la comunidad se vea afectada en temas de salud, y así mismo al poder generar el biogás mediante esta tecnología los empleados que trabajan directamente en la parte de las cocinas no resulten más enfermas por la generación de CO₂ que se emitía anteriormente.

4. ANALISIS DE DATOS

Luego de conocer los diferentes tipos de residuos provenientes de las plazas de mercado existentes en la ciudad de Bogotá y sus respectivos valores frente a las toneladas que sacan diariamente se logró evidenciar que si cumplen con los criterios es viable para la implementación de la tecnología previamente expuesta ya que se podrán obtener bienes, productos, servicios y uno de los temas más importantes en estos momentos crear una incidencia socioeconómica al momento de generar empleo.

Así mismo también fue explicado el tipo de residuo sólido orgánico proveniente de las plazas, clasificando y dando diferentes porcentajes a cuales son los principales y más desechos de estos lugares, esto con el fin de saber la calidad de materia prima que se utilizara para la generación pertinente de biogás, mediante un estudio realizado en las plazas de mercado precisamente en la ciudad de Bogotá se obtuvieron valores de que el 88.5% de los residuos generados en ton/días por estas son precisamente orgánicos, valor que da la pauta para la selección del mejor biodigestor.

Al conocer estas características se indagaron a cerca de las diferentes tecnologías más relevantes y disponibles en la literatura y el mercado, teniendo como resultado de dicha búsqueda los biodigestores de Domo fijo, Domo flotante, Estructura flexible, Industrial, Horizontal, Horizontal plug Flow, Batch y de Mezcla completa, todos estos fueron analizados y puestos a comparación de acuerdo a unos principales criterios para ser tenidos en cuenta para el proceso de selección de la mejor tecnología que se acomode a las plazas de mercado.

Obteniendo los diferentes tipos de tecnologías que procederán a ser evaluadas, se planteó una matriz PUGH para la toma de dicha decisión, en esta se llevó a cabo la comparación de los diferentes biodigestores teniendo en cuenta los siguientes criterios generación de biogás, vida útil, presión de biogás, tamaño, materiales de construcción, ubicación y espacio, tipo de residuos, costos y movilidad del sistema.

Como primer resultado de la matriz PUGH, se obtuvo que la mejor tecnología a implementar en las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá es el biodigestor correspondiente a la estructura

flexible con una suma de positivos de 6 y una suma de negativos de -1, como se llega a evidenciar en la imagen 10, lo que indica que 6 de los 9 criterios evaluados son altamente satisfactorios para dicha implementación y por el contrario solo tiene 1 de los 9 criterios negativo, al realizar la sumatoria final obtenemos un valor de 5, que resulta superior al de las demás tecnologías, pero esto no garantiza una toma correcta ya que no todos los criterios evaluados poseen un mismo impacto sobre el cliente. Por ello se realizó otra comparación, esta vez añadiendo una columna de peso para cada criterio, como se logra observar en la imagen 11.

Los resultados expuestos en la segunda matriz re afirman que la mejor opción de tecnología a implementar y que se adecue a las características de las plazas de mercado, teniendo en cuenta los criterios previamente mencionados, el claramente el biodigestor de estructura flexible, con una sumatoria final de 70.

Desde la previa revisión a la literatura sobre las tecnologías de biodigestores disponibles que podrían llegar a utilizarse en las plazas de mercado, el biodigestor de estructura flexible se perfeccionaba para ser la opción conveniente; pues, para este tipo de biodigestor había sido bosquejado en parte, para ser de una construcción mucho más viable, fácil mantenimiento, con costos relativamente más bajos pero sin dejar de lado que tiene un tiempo de vida relativamente extenso para que su realización sea justificable, criterios que al compararlos con las otras tecnologías no se percibían desde un comienzo y que conllevaba a ser descartadas desde un inicio, como lo es el caso de o los biodigestores industriales, horizontales y tipo Batch ya que dentro de sus particularidades se encontró que no cumplían con los criterios básicos para tener en cuenta al momento de su elección.

Se encuentra que los biodigestores industriales son usados principalmente a gran escala. Ya que estos suponen una cantidad elevada de materia orgánica mucho más grande de que los que se van a utilizar en las plazas de mercado de la ciudad de Bogotá. Adicional a estas características tienen unos costos muchísimo, más elevados por el uso pertinente de bombas y compresores, hablando de los biodigestores horizontales se recomiendan para volúmenes superiores de 15 metros cúbicos; lo cual, supera la cantidad de estos lugares. Por esto, se llegaría a generar costos innecesarios por el espacio sobrante del tanque. Teniendo en cuenta que este tipo de biodigestor va enterrado, y por

su tamaño los costos correspondientes a la excavación y cambios en la estructura de las plazas para poder implementar el tanque superarían la capacidad económica, para finalizar el biodigestor tipo batch que, aunque sea el segundo en el ranking de la matriz con un valor de 30 y su uso es destinado para pequeñas como para grandes usos, no es tal recomendado para un uso “domestico”.

Se debe tener en cuenta que la implementación de este tipo de biodigestores, constituye una de las alternativas más importantes a tener en cuenta por los vendedores, consumidores que concurren las plazas de mercado, ya que al ser una alternativa de aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos generados por los diferentes puestos de trabajo en estos grandes lugares de la ciudad de Bogotá. Con esta alternativa, además de que se evita el manejo inapropiado de los residuos sólidos orgánicos, se generara biogás el cual poder ser implementado dentro de la misma plaza de mercado para la realización de diferentes actividades, como puede ser el uso en las estufas de los locales de comida, e incluso, para venderlo y llegar a obtener un ingreso adicional de estas familias.

5. CONCLUSIONES

Se identificó una totalidad de residuos sólidos orgánicos de 8.1 toneladas/ días en las plazas de mercado, de los cuales el 88.5% corresponde a residuos vegetales (verduras, frutas y hortalizas), 13.5 ton/día a pape, 1.8 ton/día a pape, 1.7 ton/día a los plásticos, 0.4 ton/día a residuos cárnicos y 0.7 ton/día a otros, forjando una cantidad suficiente para la producción de biogás.

Se compararon 8 biodigestores de acuerdo a las investigaciones realizadas los cuales presentan diferentes tecnologías, correspondientes a Domo fijo, Domo flotante, Estructura flexible, Industrial, Horizontal, Horizontal plug Flow, Batch y Mezcla completa, cada uno con diferentes características, para así poder entender su funcionamiento según la necesidad que se requiera, justificando cual es el biodigestor que mejor se acopla en las plazas de mercado.

Se tuvieron en cuenta 9 criterios para la selección del mejor biodigestor adecuándose a las características de las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá, estos fueron valorados por medio de la realización de una matriz PUGH en donde se le asignaron valores y peso a cada uno, evaluando cuales son los más importantes y que pueden llegar a afectar directamente al biodigestor logrando acertar que la mejor opción es el de estructura flexible.

Se comprobó que la mejor tecnología para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos son los biodigestores principalmente de estructura flexible debido a sus bajos costos, bajo mantenimiento, buena producción de biogás, materiales de construcción económicos con fácil adquisición, un tamaño adecuado y con posibilidad de movilidad, fácil instalación, logrando que con la cantidad de residuos obtenidos se produzca una cantidad de biogás óptima para el uso necesario en las plazas de mercado principalmente en la ciudad de Bogotá contribuyendo adicionalmente a la disminución del CO₂ ya que en muchas de las cocinas se usaba la leña o carbón y por medio de la nueva tecnología se generara un suministro constante de biogás.

BIBLIOGRAFIA

- Beltrán Ríos, J. (2021). Valuación de una tecnología para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos para la obtención de biogás en la finca “El Rubí” En Sylvania Cundinamarca. [Trabajo de grado] Fundación Universidad de América. Repositorio Institucional Lumieres. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8403/1/95047-2021-I-GA.pdf>
- Cáceres Castellanos, A. y Cruz Ruiz, L. (2020). Soporte A La Implementación De Un Generador Eléctrico De Biogás Para El Aprovechamiento De Los Rso De La Plaza De Mercado De Fusagasugá. [Trabajo de grado] Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27591/CruzRuizLissethMilena2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuesta López, J. (2015). Obtención de biogás a partir de residuos sólidos urbanos para su inyección a Red. (Trabajo de grado) Universidad Carlos III de Madrid. Google académico <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23542#preview>
- González Martínez, S. (2017). Producción de biogás a partir de la fracción orgánica De residuos sólidos urbanos (FORSU). Gaceta del iunam-135. UNAM de México, pp. 15-17. <http://gacetaii.iingen.unam.mx/GacetaII/index.php/gii/article/view/2549/2472>
- Instituto Para la Economía Social (IPES). (diciembre de 2020). Plan Institucional De Gestión Ambiental 2021 – 2024. <https://www.ipes.gov.co/images/informes/Planes/PE01-DE-006-PIGA%202021-2024%20V2.pdf>
- Jiménez Álvarez, B. J. (2021). Evaluación de un plan de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, provenientes del municipio de Choachí por medio de un proceso tecnológico. (Trabajo de grado) Fundación Universidad de América. Repositorio Institucional

- Lumieres. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8325/1/6161872-2021-1-IQ.pdf>
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczynska, D. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy* 141(15), pp. 2013-2044. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217319862>
- Montes Cortés, C. (febrero de 2019). La basura y la crisis ambiental en Bogotá. *Razón pública*. <https://razonpublica.com/la-basura-y-la-crisis-ambiental-en-bogota/>
- Moreno, M. T. (2011). *Manual de biogás*. Santiago, Chile. https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual_de_biogas.pdf
- Olortegui Gonzáles, C. A. (2019). Producción De Biogás A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos De: chonta (*Bactris gasipaes*), Plátano (*Musa paradisiaca*), yuca (*Manihot esculenta*) y Naranja (*Citrus sinensis*); Obtenidos Del Mercado Belén-Iquitos Departamento De Loreto-Perú. (Trabajo de grado) Universidad Científica Del Perú. Google académico. http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/709/CHRISTIAN_TESIS_TITULO_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Padilla Sevillano, A. W y Rivero Méndez, J. F. (2016). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. *Ciencia y Tecnología*, Universidad Nacional de Trujillo. 12(1), pp. 29-43. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1358>
- Quintero González, J. R y Quintero González, L. E. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *I3+*, 2(2), pp.28-44. <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/109>

Red agrícola. (marzo de 2017) Energía Lo básico para entender el biogás.
<https://acortar.link/EbgrM4>

Rodríguez Ramon, L. (2012). Implementación y Construcción de un Biodigestor Hindú de Estructura Flexible con el Aprovechamiento de las Excretas de Ganado Vacuno, Aplicado a la Quinta Experimental Punzara. Loja, Ecuador.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12371/1/Rodr%c3%adguez%20Ram%c3%b3n%2c%20Luis%20Guillermo.pdf>

Rubiano Gómez Daniela. Diseño Y Construcción Del Documento De Línea Base Sectorial Enfocada A La Gestión, Valorización Y Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos Generados En Las Curtiembres De Villapinzón Y Chocontá (Cundinamarca). Universidad Libre. <https://acortar.link/JmtH9v>

Sáez, Alejandrina; Urdaneta G., Joheni A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe Omnia. 20 (3), pp. 121-135.
<https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>

Santiago Medio Ambiente (Munistgo). SF. Compostaje Y Lombricultura La Visión Ecológica De La Basura. [Archivo en PDF]..
http://www.munistgo.info/medio_ambiente/biblioteca_digital/Compostaje_y_Lombricultura.pdf

Severiche Sierra, C. A y Acevedo Barrios, R. L. (2013). Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación. Revista de la facultad de ingeniería. USB. 28, pp. 6-15. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/1330/1121>

Stobbia, D, Viera Fernández, B, Cabanillas, C, Heredia, A, Eimer, G, Ledesma, A. (2013). Biomasa proveniente de residuos orgánicos poblacionales para la producción de biogás con transferencia a la Comuna de General Fotheringham, Córdoba-Argentina. (Trabajo de

- grado) Universidad Nacional de Córdoba. Google académico. <https://acortar.link/ilzWcS>
- Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). (Marzo2021). Modelo de aprovechamiento.
https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_Modelo_de_aprovechamiento.pdf
- Varela Bernal, C. Y. (2019). Plan De Aprovechamiento De Residuos Orgánicos Para Obtención De Bioenergía En Plazas De Mercado Públicas En Bogotá. (Trabajo de grado) Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Google Aademico.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15758/VarelaBernalCarlosYesid2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vargas Carvajal, N. (2020). Aprovechamiento sostenible de residuos sólidos orgánicos para la generación de biogás en una finca ganadera de economía familiar en Timaná (Huila). [Trabajo de grado] Fundación Universidad de América. Repositorio Institucional Lumieres. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7845/1/233392-2020-1-GA.pdf>
- Vidal, L. (enero de 2013). Qué es un biodigestor y cómo implementarlo en casa. Bioguia https://www.bioguia.com/innovacion/biodigestores_29295392.html
- Viteri Vega, L. L. (2020). Producción De Biogás A Partir De Residuos Orgánicos De Frutas Y Hortalizas Generados En El Mercado Gómez Rendón. (Trabajo de grado) Universidad Agraria Del Ecuador. Google académico.
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VITERI%20VEGA%20LADY%20LISBETH.pdf>