

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PARA LA
GENERACIÓN ENERGÍA EN BOGOTÁ.**

MARÍA CAMILA ROJAS AVENDAÑO

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

DIRECTOR

HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA

INGENIERO QUÍMICO

MsC INGENIERO QUÍMICO

PhD ENERGÍAS RENOVABLES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma del Director

Nombre
Firma del presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo 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 García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora de la Especialización en Gestión Ambiental

Nubia Liliana Becerra Ospina

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar presente en cada una de las etapas de mi vida, por siempre llenarme de sabiduría y fortaleza para cumplir cada una de mis metas.

A mis papas por ser mi mayor ejemplo. Por guiarme y apoyarme en cada una de mis decisiones y siempre esforzándose para brindarme lo mejor. Mi más grande agradecimiento.

A mi hermana por llenarme de alegría cada día, solo me motiva a ser un ejemplo para ella como su hermana mayor.

A familiares y amigos que de alguna manera formaron parte de este proceso. A todos gracias por su colaboración y sacrificio.

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
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
1.MARCO REFERENCIAL	13
1.1 Generalidades de los residuos solidos	13
1.2 Tipos de Residuos	13
<i>1.2.1 Residuos orgánicos</i>	14
<i>1.2.2 Residuos urbanos</i>	15
1.3 Propiedades de los residuos	18
<i>1.3.1 Composición fisicoquímica de los residuos</i>	18
<i>1.3.2 Gestión de los residuos solidos</i>	20
1.4 Clasificación De Los Residuos Orgánicos	21
<i>1.4.1 Según su generación</i>	22
<i>1.4.2 Por su naturaleza y/o característica física</i>	23
<i>1.4.3 Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos</i>	23
2. EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES	24
2.1 Panorama De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Bogotá	24
2.2 Impactos Ambientales	27
<i>2.2.1 Contaminación de suelo</i>	27
<i>2.2.2 Contaminación del aire</i>	27
<i>2.2.3 Contaminación del agua</i>	28
2.3 Afectaciones A La Salud	28
2.4 Impactos Ambientales Del Relleno Doña Juana Bogotá	30
2.5 Sistemas De Disposición Final	34
2.6 Marco Legal	35

3. MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA	38
3.1 Compostaje	38
<i>3.1.1 fases Del Compostaje</i>	39
3.2 Lombricompostaje	42
3.3 Mosca Soldado Negro	43
3.4 Técnicas Térmicas De Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos	45
<i>3.4.1 Digestión anaerobia</i>	45
<i>3.4.2 Pirólisis</i>	48
<i>3.4.3 Gasificación</i>	49
<i>3.4.4 Biogás</i>	50
<i>3.4.5 Obtención De Biogás Por Medio De Biodigestores</i>	54
<i>3.4.6 Aplicaciones Del Biogás</i>	57
<i>3.4.7 Energía Renovable</i>	61
<i>3.4.8 Biocombustibles</i>	63
4. CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Clasificación de residuos sólidos orgánicos	14
Tabla 2. Fuente de residuos sólidos en la comunidad	16
Tabla 3. Objetivos y metas del manejo ambiental de residuos	17
Tabla 4. Normas internacionales para el estudio de muestras de Residuos Solidos	18
Tabla 5. Composición física de los residuos	19
Tabla 6. Caracterización de residuos por departamento	19
Tabla 7. Clasificación según su generación	22
Tabla 8. Composición de Residuos	25
Tabla 9. Valores individuales de los parámetros analizados	32
Tabla 10. Normas Para los Residuos Solidos	36
Tabla 11. Consumo y eficiencia de diferentes artefactos usando biogás	61

RESUMEN

En este trabajo se plantea el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos para la generación de energía, principalmente en Bogotá. En donde diariamente se producen grandes cantidades de desechos orgánicos y no tienen una correcta disposición. Generando contaminación en el ecosistema, generando afectaciones a la salud, etc. Debido a que la descomposición de los residuos estos poseen microorganismos patógenos generadores de enfermedades y algunos que son descomponedores. Por otra parte, la descomposición de estos residuos genera gases que son liberados a la atmosfera, causando gases de efecto invernadero. Estos residuos tienen un gran potencial para la generación de energía, ya que serían de gran ayuda para el medio ambiente porque generan una fuente de producción energética con un gran potencial, que contribuye a una gestión de residuos más sostenible. Evitando así que los residuos liberen gases de efecto invernadero y que lleguen a la atmosfera.

Primero se realiza una contextualización y consolidación de información sobre el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos para la generación de energía, descripción y generalidades de los residuos, los impactos ambientales que estos puede tener, el marco legal vigente para el manejo de los residuos y por último las técnicas de aprovechamiento de los residuos y cuales son utilizadas para la generación de energía.

Del presente estudio realizado se concluyó que en Colombia se generan alrededor de 32.000 toneladas de residuos orgánicos. Y por lo tanto cerca del 80% de estos residuos se puede utilizar para el aprovechamiento generando procesos más eficientes y así tener una disposición final adecuada. Como lo son la generación de energía, elaboración de compostaje, generación de biogás, con ayuda de los biodigestores que cumplen una función importante de reciclar todos los residuos sólidos orgánicos a bajos costos, protegiendo el suelo, los ríos, el aire y la atmosfera. Reduciendo de esta manera los gases de efecto invernadero que son producidos por los residuos cuando no tienen un correcto manejo de ellos.

Palabras clave: residuos orgánicos, energía, generación, aprovechamiento, biogás.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se generan aproximadamente 12 millones de toneladas de residuos sólidos al año. De estos, cerca de 40% podrían aprovecharse, pero según la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación (DNP), solamente se recicla alrededor de 17%. Además, las autoridades estiman que, si el consumo de los colombianos se mantiene al ritmo vigente, la generación de residuos aumentará 20% en los próximos 10 años. Gran parte de estos residuos son artículos de un solo uso como plásticos, pitillos, botellas y bolsas que, acogiendo los principios de la economía circular y haciendo una debida disposición y separación en la fuente, podrían reutilizarse para la realización de compostaje. Lo mismo podría hacerse con los desechos orgánicos, ya que en el año se producen alrededor de 32.000 toneladas, en donde se busca maximizar el aprovechamiento de estos residuos y se generen procesos eficientes para tener una disposición final adecuada. (Blanco, 2019)

El manejo de los residuos hoy en día se ha vuelto de vital importancia ya que con esto se quiere; en primer lugar, reducir la cantidad de desechos que son llevados a los rellenos sanitarios. En donde para Bogotá diariamente llegan alrededor de 6.500 toneladas de residuos que son generados en toda la ciudad, estos proceden a ser enterrados produciendo más contaminación y trayendo con ello problemas ambientales. Por ello se han creado alternativas para disminuir los residuos como lo son: gestión más recomendables y sostenibles, como lo es la reducción de la producción de residuos, el reciclaje o la reutilización, y la valoración material o energética. Para así darle un mejor aprovechamiento ya que el 80% de estos desechos podrían reutilizarse y generar fuentes de energía limpia. (Vargas, C. 2021).

Se sabe que la vida útil de los rellenos sanitarios se agote de una manera rápida, y los existentes en Colombia y Bogotá tiene un promedio de vida de cinco años. La cantidad de residuos que llegan a diario son los que provocan que día a día estos sitios que son aptos para tal fin escasean y que, además, la infraestructura y operación de estos sitios son foco de graves conflictos ambientales y sociales. Además, adecuar un nuevo lugar para este propósito puede llegar a tardar hasta tres años, ya que se necesita de licencias, papeleos y demás requisitos, eso si no se ven afectadas comunidades aledañas y están puedan oponerse a que se genere un nuevo lugar para este fin. (Acodal. 2020)

Diariamente se producen residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos orgánicos lo cual son llevados a vertederos donde proceden a ser enterrados, lo que con el tiempo termina generando gas metano, que puede llegar a la atmosfera, y producir gases de efecto invernadero como lo es el dióxido de carbono (CO₂). (Blanco, 2019).

El aprovechamiento de estos residuos como los son (urbanos, industriales, aguas residuales, residuos agrícolas y ganaderos, entre otros) se pueden reutilizar para la generación de energía útil. Lo que genera una fuente de producción energética con un gran potencial, que contribuye a una gestión de residuos más sostenible. Evitando así que los residuos liberen gases de efecto invernadero y que lleguen a la atmosfera.

Se ha visto como el manejo incorrecto de estos desechos ha generado y ha tenido un impacto negativo. Lo que ha llegado a generar afectaciones a la salud, en forma de enfermedades; o puede también tener efectos perjudiciales al medio ambiente: en lo estético de las ciudades, los paisajes naturales y en sus especies, y en la contaminación del agua, suelo y aire.

Con el desarrollo de este proyecto, se evaluará como de una manera eco amigable, se pueden reducir la cantidad de desechos producidos diariamente, generando una energía más sostenible.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar las técnicas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos para la generación de energía en Bogotá.

Objetivos específicos

- Identificar el contexto sobre los residuos sólidos orgánicos para la generación de energía.
- Evaluar el estado actual con respecto a los residuos sólidos orgánicos y los impactos ambientales que puede llegar a tener por el mal manejo de estos residuos en Bogotá
- Describir los métodos del aprovechamiento de los residuos generados para la generación de energía

1. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentará una descripción de los aspectos más relevantes sobre los residuos sólidos orgánicos. Dentro de los aspectos a resaltar se va a contar inicialmente las generalidades, propiedades, composición de los residuos sólidos. Para posteriormente mostrara las posibles alternativas del aprovechamiento de estos residuos, para que se pueda implementar como oportunidad de mejora y ayuda al medio ambiente.

1.1 Generalidades de los residuos solidos

Se refiere a residuos sólidos cuando se habla de todo material en estado sólido o semisólido que ha sido desechado tras cumplir su vida útil lo cual carecen de un valor económico. La gestión de estos residuos requiere por lo tanto una visión integral, es decir, no solo disponer adecuadamente de ellos, sino hacer una buena separación desde la fuente y uso de aquellos que pueden ser aprovechados para prevenir que lleguen a los sitios de disposición final y con ello posibilidad de convertirlos en nuevos productos básicos. (Álvarez, S. 2014)

El aumento en la generación de residuos sólidos ha ocasionado que estos se dispongan inadecuadamente y sean quemados, enterrados o descargados en cursos de agua, botaderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios donde no hay control de la emisión de gases a la atmosfera y líquidos al subsuelo. (Álvarez, S. 2014)

1.2 Tipos de Residuos

Los residuos se refieren a todos los producidos en cualquier lugar o en algún tipo de actividad que no sean perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Los residuos son materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje. Estos son generados mayor mente en domicilios, áreas públicas, comercios, instituciones de servicios, establecimientos de salud, mataderos e industrias (sólo asimilables a domiciliarios). (Zamora. G. 2013).

Existen diferentes clasificaciones de los residuos, por lo que en esta investigación se va a enfocar en dos tipos de desechos, los cuales son: Residuos Orgánicos y Residuos Urbanos donde a continuación se va a explicar brevemente.

1.2.1 Residuos orgánicos

Los desechos orgánicos hacen referencia a todos los materiales que provienen de especies vegetales y que tienen una fácil descomposición por microorganismos, o están compuestos por residuos biológicos. Dentro de estos residuos podemos encontrar: restos de comida o partes de alimentos no comestibles; (estos pueden ser domésticos y aquellos se derivan de las actividades industriales)

En la tabla 1, Se encuentra una clasificación de los residuos sólidos orgánicos:

Tabla 1.

Clasificación de residuos sólidos orgánicos

Tipo de generador		Tipo de residuos
Naturales - Forestales		Residuos de leña, ramaje, follaje.
Industria agrícola	Actividades pecuarias	Residuos generados por el manejo de animales: estiércol vacuno, caballar, gallinazas, porquinazas previamente estabilizados.
	Agricultura	Residuos vegetales de cosechas.
	Acondicionamiento de frutas y verduras	Bagazo cáscara o semilla residuos orgánicos excedentes de proceso.
	Cereales y otros granos	Afrecho, almidones, bagazo, borra de café.
	Madera y pulpa	Almidón, viruta y aserrín.
	Plazas de mercado	Residuos orgánicos frescos.
Institucional y comercial	Actividades de jardinería	Residuos de poda, corte de césped y jardinería.
	Plantas de tratamiento de agua residual domiciliaria	Lodos procedentes de tratamiento biológico de aguas residuales que no contienen residuos peligrosos y cumplen con los valores mínimos para ser materia prima según la NTC 5167 V.2 o aquellas que la modifiquen o sustituyan.
Doméstico	Residuos orgánicos frescos, residuos de poda, corte de césped y jardinería.	

Nota. Tipos de residuos generados en la industria agrícola, comercial y domésticos Tomado de: La generación de residuos orgánicos y aprovechamiento en la generación de energía limpias. Gutiérrez (2018). https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/17416/1/2019residuos_mecanismos_aprovechamiento.pdf

Como puede verse en la Tabla 1, la industria agrícola incluye diferentes tipos de residuos obtenidos a través del acondicionamiento de las cochas, la agricultura también incluye los residuos orgánicos generados desde el procesamiento de animales hasta el proceso de recolección. Y el acondicionamiento de las frutas y verduras, así como las obtenidas durante la conversión de granos y cereales. (Gutiérrez, 2018)

Considerando que, debido a la alta circulación y volumen del procesamiento de los productos agrícolas y el procesamiento inadecuado de los alimentos deficientes, los centros de acopio son considerados como los principales productores de residuos orgánicos. Los consumidores que no pueden adquirir productos han inventado estrategias de gestión que les pueden agregar valor.

1.2.2 Residuos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) constituyen la mayor cantidad de residuos generados en las comunidades. Su componente principal son los residuos domiciliarios. (Chacín, 2008) Este tipo de desechos precisa de un sistema periódico de recogida para su tratamiento en los vertederos municipales

Existen diferentes fuentes de los residuos sólidos urbanos: el cual se plasmarán en la tabla 2:

Tabla 2.*Fuente de residuos sólidos en la comunidad*

Fuente	Tipo de residuos	Localización o actividad donde se genera
Doméstica	Residuos de comida, papel, cartón, restos de jardín, electrodomésticos, residuos domésticos peligrosos.	Viviendas unifamiliares y multifamiliares.
Institucional y comercial	Papel, cartón, latas, residuos de comidas, vidrio, restos orgánicos de jardines.	Escuelas, hospitales, centros gubernamentales, cárceles, tiendas, restaurantes, mercados, hoteles, y talleres, entre otros.
Construcciones	Partículas, escombros, madera, hormigón.	Sitios de construcción o reconstrucción de edificios, autopistas y carreteras.
Servicios municipales	Restos de basura, polvo y escombros.	Limpieza de autopistas, carreteras, calles y jardines, parques y playas.
Plantas de tratamiento	Lodos de tratamiento.	Plantas de tratamiento para el agua potable o aguas residuales.
Agrícolas	Desechos de cosechas, residuos domésticos, y residuos peligrosos: fertilizantes y plaguicidas.	Granjas, haciendas de cultivo intensivo o semi-intensivo, ganadería intensiva.

Nota. Clasificación de los residuos y donde se pueden encontrar estos residuos. Tomado de :Manejo Integrado De Residuos Sólidos:Programa De Reciclaje. Instituto Pedagógico De Caracas. Chacín, (2008). *Revista De Investigación N° 63.*, 173-200. <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376140378008.pdf>

Los RSU, generalmente contienen: materia orgánica en un 40% a 50% constituida básicamente por restos y desperdicios de alimentos, el papel y cartón constituyen un 31%, los desperdicios de vidrio comprenden un 5%, las latas de cerveza, refrescos, conservas y otros metales comprenden un 3.5%, los plásticos, embalajes alimentarios y productos de limpieza del 5 %a al 9% y los textiles y algodón un 5%. (Chacín, 2008)

De acuerdo con la clasificación de los tipos de residuos. Se quiere plasmar unos objetivos y unas metas a las que se quiere llegar de manera que se le dé un adecuado manejo a la gestión de residuos con el fin de disminuir la contaminación, generando procesos de reutilización y la recuperación de energía a partir de los residuos tanto como orgánicos y urbanos.

Tabla 3.

Objetivos y metas del manejo ambiental de residuos

OBJETIVOS	METAS
Valorización de los materiales de los residuos sólidos.	Recuperar el valor de los materiales presentes en los residuos mediante sistemas de reuso, reciclado y composteo.
Reducir las emisiones al aire en las operaciones municipales.	Disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero, mediante control y aprovechamiento del biogas en los rellenos sanitarios.
Reducir el impacto ambiental de los lixiviados de los rellenos sanitarios.	Tratar los lixiviados hasta que alcancen un nivel por debajo de las normas.
Reducir el consumo de energía.	Disminuir el consumo anual de diesel, y de energía eléctrica, recuperar energía a partir de los materiales combustibles de los residuos sólidos y del biogas generado en los rellenos sanitarios.
Reducir el uso de agua.	Disminuir el consumo anual de agua.

Nota. Objetivos y metas de un manejo de residuos ambiental. Tomado de: Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos (1.^a ed., Vol. 6). Mediana, J. A., Jiménez, I., & Aguirre, I. (2002). SEMARNAT. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/minimiza6.pdf>

1.3 Propiedades de los residuos

La composición de los residuos es el elemento básico para seleccionar la mejor tecnología para transformar los residuos para la generación de energía. Por lo que, existen diferentes estándares internacionales para una adecuada investigación sobre el tratamiento de residuos. (Moratorio, D. 2012). En la tabla 4 se describe algunos de estos estándares:

Tabla 4.

Normas internacionales para el estudio de muestras de Residuos Sólidos

Norma	Descripción
ASTM D 5231-9 2(2003)	Metodología para la medición de la composición de MSW mediante una clasificación manual de los residuos
ASTM E790/830/897	Determinación porcentual del contenido de humedad, cenizas, volátiles y carbono fijo de los residuos
ASTM E777/778	Método para la determinación porcentual del contenido de carbono (C), hidrógeno (H) y nitrógeno (N).
ASTM E955	Determinación del poder calorífico superior de una muestra de MSW

Nota. Normas internacionales para el manejo de residuos sólidos. Tomado de: Conversión De Residuos Sólidos Urbanos En Energía. Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, 115-126. Moratorio, D. (2012) <https://core.ac.uk/download/pdf/335340914.pdf>

La Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA) considera los Residuos Sólidos como una fuente de energía renovable, ya que si no se les da un uso secundario a los mismos (como ser el aprovechamiento energético), estos serán enviados a rellenos sanitarios (desaprovechando su poder energético). Por otro lado, el Departamento de Energía de los EE.UU. incluye a los Residuos Sólidos a los como fuente renovable de energía, siempre y cuando el contenido calórico del combustible provenga principalmente de materiales biológicos. (Moratorio, D. 2012).

1.3.1 Composición fisicoquímica de los residuos

Estos datos son una proximidad de la composición química de los residuos donde se pueden obtener partir de las composiciones físicas de estos residuos. En la tabla 5 se puede ver la composición física de los residuos correspondientes a un estudio realizado en la ciudad de Paysandú.

Tabla 5.*Composición física de los residuos*

Componente	Composición Física (% peso, base seca)	
	Medición 1 ⁴	Medición 2 ⁵
Materia orgánica	60 %	58 %
Plásticos	18 %	17 %
Cartón	7 %	13 %
Papel	4 %	0 %
Textiles	4 %	0 %
Vidrio	3 %	8 %
Metales	0 %	3 %
Otros	4 %	1 %

Nota. Composición física de los residuos sólidos. Tomado de: Conversión De Residuos Sólidos Urbanos En Energía. Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, 115-126. Moratorio, D. (2012) <https://core.ac.uk/download/pdf/335340914.pdf>

En la tabla 6, se muestra los diferentes departamentos de Colombia y se evidencia la caracterización de los residuos generados por departamento y para la capital del país. así como los porcentajes de valores mínimos y máximos de acuerdo con los tipos de residuos generados en el territorio. Teniendo una clasificación de este modo: Residuos orgánicos (1); papel y cartón (2); madera (3); caucho, piel, huesos y paja (4); textiles (5); metales (6); construcción y demolición (7); vidrio y cerámica (8); plástico (9), y pañales, papel higiénico y otros inorgánicos (10). (Upme, 2018)

Tabla 6.*Caracterización de residuos por departamento*

Tipo de residuos/ Departamento	Caracterización de los residuos (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amazonas	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Antioquia	59,1	8,6	3,2	0,2	2,6	1,3	0	3,1	14,8	7,1
Arauca	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0
San Andrés y Providencia	57,1	11,8	3,0	1,5	2,6	1,1	0	9,3	9,2	4,4
Atlántico	51,4	10,9	1,9	0	3,9	1,4	10,0	3,0	8,7	8,8
Bogotá	62,7	8,2	1,9	0,5	4,0	0,8	0	1,0	18,7	2,3
Bolívar	64,4	10,3	3,2	1,1	1,4	3,5	3,8	2,0	10,3	0
Boyacá	48,4	14,2	2,8	0,2	1,0	2,3	2,3	8,7	8,6	11,4
Caldas	52,9	15,4	4,0	0,8	4,7	1,4	0	3,2	16,1	1,5
Caquetá	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Casanare	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0
Cauca	64,6	8,5	0,7	0,7	5,8	0,6	10,1	0,9	7,0	1,0
Cesar	57,9	14,6	3,0	0	0	1,4	0	7,9	15,2	0
Chocó	65,2	7,4	0,7	1,0	3,8	0	0	0	0	21,8
Córdoba	70,9	3,1	1,0	1,0	2,2	0	0,6	1,0	11,2	8,9

Tabla 6. (Continuación)

Cundinamarca	61,1	8,6	3,2	0,3	3,7	0,8	0	1,0	17,8	3,5
Guainía	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Guaviare	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Huila	76,6	1,5	4,0	0,4	0,8	0,4	0,0	0,5	3,6	12,2
La Guajira	63,7	10,0	2,2	1,0	0,9	1,6	2,2	5,6	11,1	1,8
Magdalena	69,6	5,4	1,4	1,9	1,8	1,7	4,4	3,2	7,1	3,5
Meta	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0
Nariño	65,2	7,4	0,7	1,0	3,8	0	0	0	0	21,8
Norte de Santander	54,9	15,9	2,0	2,2	2,8	0,7	0	6,7	4,7	10,1
Putumayo	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Quindío	48,7	4,4	4,1	2,7	9,7	1,2	0,4	4,2	13,7	11,0
Risaralda	59,8	7,5	1,6	1,5	4,2	0,8	0,5	1,5	19,0	3,7
Santander	51,0	5,7	6,4	3,1	7,0	1,0	4,9	1,1	11,9	7,9
Sucre	70,9	3,1	1,0	1,0	2,2	0	0,6	1,0	11,2	8,9
Tolima	68,2	9,4	2,8	0,5	1,2	2,7	0,1	4,5	9,2	1,3
Valle del Cauca	65,9	6,4	0,6	1,3	1,9	0,0	0,0	0	0	24,0
Vaupés	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Vichada	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0

Nota. Caracterización de los residuos de los departamentos de Colombia. Tomado de: Unidad de Planeación Minero-Energética UPME- y INERCO (Diciembre de 2018). Valorización energética de residuos: proyecto wte Colombia

https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1339/5/Productos%201%2C2%20y%203_V2.pdf

De acuerdo con la tabla 6 se observa la participación de los residuos, y los que más se generan los residuos sólidos con un promedio de 60% que es alrededor de 26.975 toneladas diarias, lo que se demuestra que allí hay un gran potencial para el aprovechamiento de estos para la generación de energía, generación de biogás, entre otros. También se puede evidenciar que en Bogotá uno de los residuos que más genera al año son los residuos sólidos orgánicos, por lo que presente viabilidad en este trabajo para la obtención de energía. (Dnp, 2018).

1.3.2 Gestión de los residuos solidos

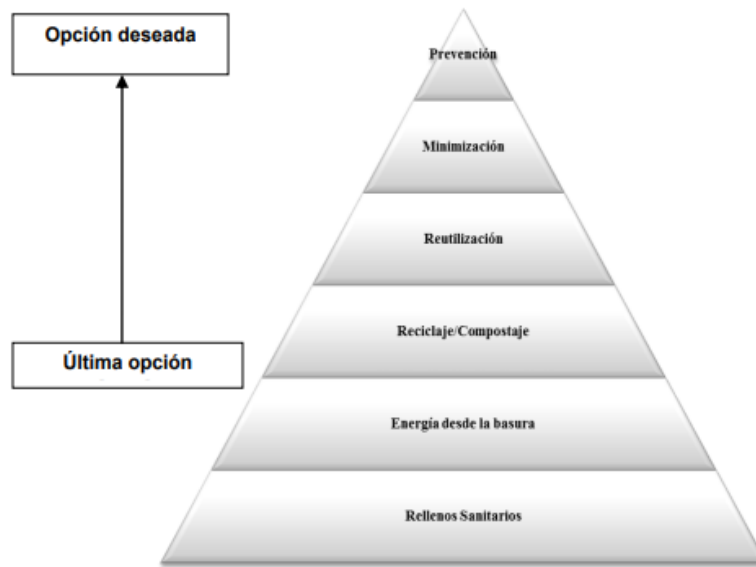
La gestión de residuos busca principalmente lograr una adecuada disposición de los desechos. En la figura 1 se observa la jerarquía de los residuos para un mejor aprovechamiento de ellos. Esto con el fin de que se reduzca las afectaciones para la salud de la población y para el medio ambiente, asegurando el desarrollo sustentable y eficiente del sector.

El propósito principal de la gestión integral es evitar generación; si esto no es posible. Se debe buscar la manera de minimizar utilizando el concepto de 3R's (reducir, reutilizar, reciclar), por lo

que, si esta minimización no es posible, entonces se busca el tratamiento, y solo cuando el tratamiento no sea factible, se debe considerar una disposición final.

Figura 1.

Jerarquía en el manejo de residuos sólidos



Nota, Jerarquía de la disposición adecuado de los residuos sólidos Tomado de: CEPAL, Naciones Unidas. Rondón, E., Szantó, M., & Pacheco (2016) Guía general de la gestión de residuos. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>

Una vez estableciendo las prioridades para la prevención de residuos, se busca reducir todo tipo de desechos, buscando la manera de reutilizar los mismos desechos y así proceder a la generación de energía implementando la mejor estrategia para la recuperación de los residuos y disponer de la menor cantidad de residuos.

1.4 Clasificación de los residuos orgánicos

Existen diferentes maneras de clasificar este tipo de residuos. Sin embargo, a continuación, se presenta dos de las más importantes:

1.4.1 Según su generación

Tabla 7.

Clasificación según su generación

TIPO DE RESIDUO	FUENTE	DONDE SE ENCUNTRA
Residuo Domiciliario	Casas habitantes, provenientes de hogares, cuya característica puede ser variada	Pueden encontrarse desde restos de frutas, comida, residuos de jardín, papeles, latas, vidrio, restos de pintura restos de materiales hasta empaques de limpieza
Residuos Comerciales	Son aquellos residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena fuente para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost y fertilizante orgánico.	Vidrio, cartón, papeles, restos de comida, papel, residuos peligrosos.
Residuos Institucionales	Residuos provenientes de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas, oficinas, escuelas	Mayormente contiene papeles, cartones y también residuos de alimentos
Residuos Hospitalarios	Generalmente hospitales y centros de salud	Restos de papel, vidrio, restos de medicamentos, resto de órganos
Residuos Industriales	Residuos provenientes de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes	Son la fuente con mayor generación de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de comidas. Y demás tipo de industria
Residuos de espacios públicos	Residuos en calles, parques, entre otros	Se pueden encontrar, residuos de jardinería, papeles, latas

Nota. Tipos de residuos generados en las diferentes industrias. Tomado de: Generación De Energía Erétricas A Partir De Producción De Biogás. Pág. 19. Siles, (2012). [Tesis Posgrado] Instituto Politécnico Nacional <https://Tesis.Ipn.Mx/Bitstream/Handle/123456789/10549/136.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y>

1.4.2 Por su naturaleza y/o característica física

- Residuos de alimentos: son restos de alimentos que provienen de diversas fuentes, entre ellas: restaurantes, comedores, hogares y otros establecimientos de expendio de alimentos.
- Estiércol: son residuos fecales de animales (ganado) que se aprovechan para su transformación en bio-abono o para la generación de biogás.
- Restos vegetales: son residuos provenientes de podas o deshierbe de jardines, parques u otras áreas verdes; también se consideran algunos residuos de cocina que no han sido sometidos a procesos de cocción como legumbres, cáscara de frutas, etc.
- Papel y cartón: son residuos con un gran potencial para su reciclaje.
- Plásticos: son considerados como residuos de origen orgánico ya que se fabrican a partir de compuestos orgánicos como el etano (componente del gas natural), también son fabricados utilizando algunos derivados del petróleo. (Flores, 2003)

1.4.3 Propiedades biológicas de los residuos sólidos orgánicos

Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos se puede clasificar de la forma siguiente:

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos. (Flores, 2003)

2. EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES

En este capítulo se va a realizar una recopilación de información sobre el estado actual de los residuos sólidos orgánicos. Seguido de ello, un análisis de los impactos ambientales que estos pueden tener por un manejo no adecuado. Por último, se hizo una recopilación del marco legal vigente correspondiente para el proceso y de cómo se lleva a cabo la normativa para Colombia.

2.1 Panorama de los residuos sólidos orgánicos en Bogotá

Bogotá cuenta con una extensión total de 177.598 hectáreas, el cual cuenta con 73% de área rural y el restante que corresponde a un 27% es área urbana. Bogotá está dividida en 20 localidades como se ve en la figura 2. De las cuales 6 cuentan como territorio rural: Santa Fe, Usaquén, Chapinero, San Cristóbal, Suba, Usme, Ciudad Bolívar y Sumapaz.

Figura 2.

Distribución espacial de las localidades de Bogotá



Nota. Distribución de las localidades de Bogotá. Tomado de: Ideca (2020). Mapa localidad de Bogotá. <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/localidad-bogota-dc>

Bogotá tiene una alta dinámica demográfica debido a que en ella confluyen individuos de diversas partes de Colombia y otros países. La ciudad genera 7.500 toneladas de residuos cada día y, gracias

a la consciencia ciudadana y la labor de más de 22 mil recicladores de oficio, se logran aprovechar cerca de 1.200 toneladas, que equivalen al 16%. (Aguilar, 2020)

A continuación, en la tabla 8 se muestra el porcentaje de generación de los residuos en general, y llegando como conclusión de uno de los sectores con más generación de residuos son los orgánicos. Por ello se quiere buscar un modelo para una economía circular, que proponga el aprovechamiento y tratamiento de los residuos para disminuir la generación de residuos y así que no se procedan a ser enterrados de los mismos en rellenos sanitarios que muchas veces lo que producen esto es la generación de gases de efecto invernadero.

Tabla 8.

Composición de Residuos

Material	Porcentaje de generación
Orgánicos	51.32%
Plásticos	16.88%
Celulosas	13.67%
Textiles	4.54%
Vidrios	3.67%
Otros	3.36%
Madera	1.60%
Finos	1.43%
Metales	1.13%
Complejos	0.96%
Inertes	0.84%
Peligrosos domiciliarios	0.61%

Nota. Valores porcentuales de materia de residuos y su composición. Tomado de: UAESP Plan integral de los residuos sólidos Pág. 69. UAESP, (2020).

<https://onx.la/e010b>

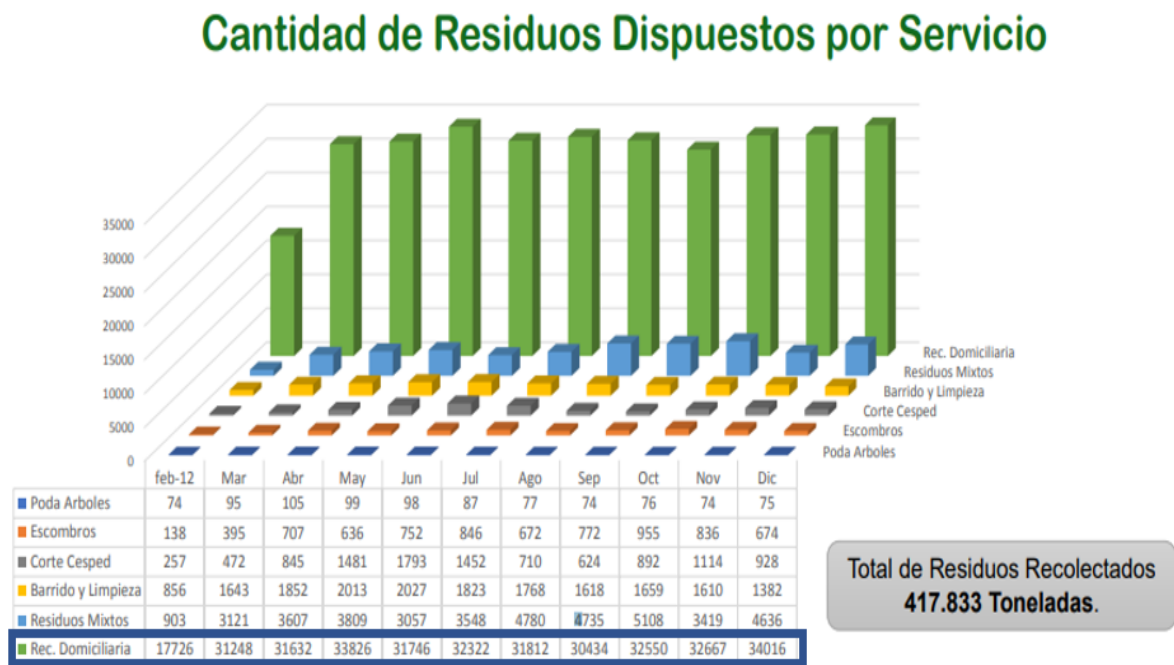
Según el PGIRS vigente, se identifica que no se desarrollan metas para la gestión diferenciada de los RSO, a pesar de que, en Bogotá, éstos representan el 51,2% de las 6.753 toneladas que se disponen diariamente en el predio Doña Juana. En el PGIRS 2016, éstos no se contemplan como residuos aprovechables a pesar de que la fracción orgánica es la más representativa y es 100% susceptible de ser aprovechada. Por consiguiente, el único destino proyectado en el plan anterior

es el enterramiento junto con los demás residuos no aprovechables en el Predio Doña Juana. (UAESP, 2020).

En Bogotá en un estudio realizado para el 2018 por la alcaldía, se obtuvo que unos de los desechos que más generan los bogotanos y que más se recogen por las compañías de aseo adaptabas para esto, fueron los residuos domiciliarios o residuos sólidos urbanos, como se muestra en la figura 3. Como se mencionó anteriormente estos residuos contienen gran cantidad de residuos orgánico que están siendo desaprovechados ya que se está desperdiciando el potencial para generación de energía, para la producción biogás, uso de abonos, la promoción de un mercado de insumos para la producción alimentaria, el mantenimiento de la malla verde de la ciudad, la recuperación de suelos degradados y la reconfiguración de canteras entre otros usos.

Figura 3.

Cantidad de residuos dispuestos



Nota. Representa los datos de residuos dispuesto por servicio. Tomado de: UAESP. (2018) Rendición de cuentas Ciudad limpia Bogotá. Alcaldía de Bogotá <https://onx.la/16de7>

2.2 Impactos ambientales

El mal manejo de los residuos hoy en día tiene grandes implicaciones, ya que puede presentar afectaciones a la salud, contaminación en el suelo y agua, cambio climático, que a continuación se explicara cada una de las problemáticas mencionadas.

2.2.1 Contaminación de suelo

Es uno de los recursos que se ve directamente afectado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, ya que el ser humano a través del tiempo dispone de los residuos sólidos en este recurso como lo es el suelo. La contaminación de los suelos ocurre a través de diferentes elementos, como los lixiviados que se filtran a través del suelo afectando su productividad y acabando con la microfauna que habita en ellos (lombrices, bacterias, hongos y musgos, entre otros). Esto cual lleva a la pérdida de productividad del suelo, incrementando así el proceso de desertificación del suelo. La presencia constante de basura en el suelo evita la recuperación de la flora de la zona afectada e incrementa la presencia de plagas y animales que causan enfermedades, como ratas, palomas, cucarachas, moscas y zancudos. (MINAM, 2015).

2.2.2 Contaminación del aire

Los residuos sólidos pueden tener gran afectación al aire ya que cuando algunos de estos residuos son quemados sin ningún control, generan material particulado que afecta directamente el sistema respiratorio de los seres humanos que favorece la producción de enfermedades de tipo respiratorio. La generación de este material particulado contribuye al efecto invernadero, y la presencia de partículas de plomo y dióxido de carbono

Además de ello, se generan problemas en la flora y fauna de los ecosistemas ya que no se favorecen las condiciones de estos y puede generar la muerte de animales y la de las plantas domésticas y la afectación en los bosques. (MINAM, 2015)

Estas son algunas de las enfermedades que se ocasionan por la contaminación el en aire por los residuos sólidos:

- Bronquitis
- Asma
- Neumonía
- Cáncer pulmonar

2.2.3 Contaminación del agua

El Agua es una fuente transportadora de millones de microorganismos de los Residuos Sólidos (Basura) que favorece el contagio de varias enfermedades, ya que se presentan la contaminación de este vital recursos para la vida el cual se presenta tanto de forma superficial (Ríos, Lagunas, Lagos, Quebradas, Riachuelos y el Mar) y de forma subterránea al trasportase los diferentes lixiviados por las capas de la tierra hasta llegar a este vital recursos que termina brotando de la tierra a las fuentes superficiales de agua ya contaminada, todo esto debido a la descomposición de la materia orgánica que esta mezclada con diferentes componentes. (Arias, 2018)

Estas son algunas problemáticas que se ocasionan por la contaminación del agua:

- Enfermedades infecciosas, causadas por las aguas negras. Cómo el cólera, la fiebre tifoidea, la disentería y la hepatitis A y B.
- Muerte de la vida acuática.
- Enfermedades ocasionadas por la presencia en el agua de tóxicos químicos

2.3 Afectaciones a la salud

El manejo inadecuado de los residuos sólidos puede traer afectaciones graves a salud de los seres humanos ya que se generan enfermedades por la contaminación ambiental y enfermedades

infecciosas que pueden ser transmitidas ya sean por el aire, contaminación o pequeñas plagas como son los rodadores, que a continuación vamos a mencionar:

- Parasitosis: Muy común en personas expuestas, encontrando lo más frecuente a la ascariasis por la ingestión de alimentos contaminados por los huevos del áscar, dando alteraciones en el intestino, vías biliares y raramente en pulmones.
- Amebiasis: Producida por la ingestión de huevos de amebas, los síntomas son; malestar general, falta de apetito, diarreas leves o graves, algunas veces con sangre, acompañado de dolores cólicos abdominales, fiebre y deshidratación, pudiendo llegar a un cuadro más grave con compromiso hepático por la presencia en el mismo de abscesos.
- Tenías: Alojadas en el intestino producen una alteración en la nutrición de las personas ya que producen disminución de peso porque se alimentan de los nutrientes aportados.
- Fiebre Tifoidea: Causada por la ingestión de alimentos o bebidas contaminadas, llegando la bacteria a instalarse en el intestino, donde luego podrán migrar a ganglios para instalarse en el hígado pudiendo de allí llegar al bazo y cerebro. Los síntomas con que se manifiesta son: dolor de cabeza, escalofrío, insomnio, decaimiento y fiebre.
- Enfermedades Micóticas: Producen enfermedades por la putrefacción de alimentos o compuestos orgánicos de la basura que al descomponerse liberan sus esporas al aire, que luego se ponen en contacto con la piel causando dermatitis. (Arias, 2018)

Un ejemplo de los impactos ambientales generados por los residuos sólidos, anteriormente nombrados es el Relleno Sanitario Doña Juana (ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar), se resalta que este sistema permite una disposición adecuada de los residuos sólidos, sin embargo, los habitantes de las localidades de Usme y Ciudad Bolívar y la cuenca del río Tunjuelo se ven afectados por:

- ii. Descarga de lixiviados en el río Tunjuelo.

- iii. Generación de gases por la descomposición de RS, afecta entre las 6 y 11 a.m. a las Unidades de Planeamiento Zonal Comuneros, Gran Yomasa y Danubio o por la evaporación de los lixiviado.
- iv. Presencia de somnolencia, infecciones respiratorias agudas, enfermedad diarreica aguda y cefalea, menor peso en niños en la población que habita cerca al Relleno
- v. Generación de material particulado y malos olores. Por otro lado, los habitantes de Usme enfrentan problemas ambientales relacionados con la inadecuada disposición de RS y de escombros por parte ellos como son: la contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua como en las rondas que generan un hábitat adecuado para el desarrollo de microorganismos, de vectores (insectos y roedores) y perros y producción de olores ofensivos, que causan enfermedades infecciosas o alérgicas de la piel (dermatitis), tracto respiratorio o sistema gastrointestinal (IDEAM, 2012)

2.4 Impactos ambientales del relleno doña Juana Bogotá

El relleno sanitario Doña Juana lleva en funcionamiento en Bogotá desde el año 1988. Este fue inaugurado con la expectativa de resolver las problemáticas ambientales y el problema de la disposición de las basuras en la ciudad que cada vez era más comercial. Desde ese entonces el relleno doña Juana con más de 50 millones de toneladas de basuras enterradas. Ha producido un paisaje toxico, problemas ambientales y con ello residuos más peligrosos como lo son los lixiviados y líquidos generados por la descomposición bacteriana y gases. (Huérfino, S. 2020)

En lo que lleva el relleno sanitario ha presentado tres grandes desastres ambientales. El primero fue en el año 1997, en ese año cerca de 800.000 toneladas de residuos salieron del terreno que estaba dispuesto para este fin, y el primer lugar directamente afectado fue el rio Tunjuelo, allí hubo una afectación significativa a la comunidad cercana y al ambiente. Este deslizamiento de las basuras se produjo por la falta de homogenización de los residuos, que no fueron sometidos a trituración. (Arévalo, 2020).

El segundo desastre ocurrió en octubre de 2015 en donde 350.000 toneladas de residuos explotaron por la acumulación de gases al interior de los desechos apilados. El gas metano expedido por la descomposición de las basuras provocó el desprendimiento de un talud del relleno en el que se venía compactando basura. Y en último fue el 28 de abril del 2020 en el cual un derrumbe de 80.000 toneladas aproximadamente afectó a los vecinos cercanos de relleno sanitario, con un agravante de que en ese momento quedó una parte inestable sin intervención. Como se sabe el relleno sanitario de doña Juana sigue en funcionamiento y ha superado su vida útil, estos desastres pueden continuar ocurriendo, causando daños a los ecosistemas y a las comunidades cercanas. (Arévalo, 2020).

En un estudio realizado en el año 2020 se quiso evaluar la sostenibilidad ambiental del relleno sanitario Doña Juana, ubicado en la cuenca del río Tunjuelo, con base en la Guía Metodológica para la Evaluación de la Huella Hídrica en Cuenca Hidrográfica (IICA, 2017) con adaptaciones a las condiciones locales. Esta guía, plantea desarrollar análisis desde: la estimación de huella hídrica gris, y el cálculo del índice de nivel de contaminación del agua – NCA. En donde se obtuvo como resultado los siguientes datos: (Herrera, A. Ramírez, P. 2020)

Para el cálculo de la huella hídrica gris se calculó sobre el valor promedio de 20 parámetros, obtenidos de mediciones del año 2016 y este arrojó un total de 826 694,71 m³, y está conformada por los valores individuales que se registran en la tabla 9:

Tabla 9.*Valores individuales de los parámetros analizados*

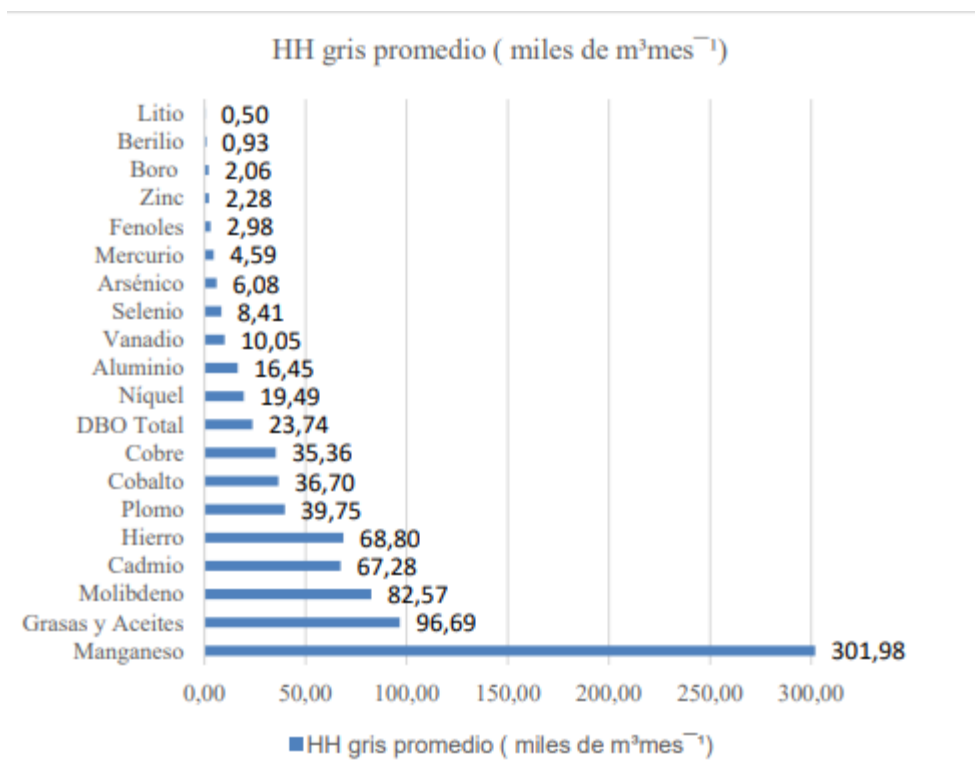
No.	PARÁMETRO	TIPO	HH gris promedio (m ³ mes ⁻¹)
1	Manganeso	Metal de Transición	301.981,09
2	Grasas y Aceites	Orgánico	96.691,29
3	Molibdeno	Metal de Transición	82.566,98
4	Cadmio	Metal pesado	67.276,80
6	Hierro	Metal de Transición	68.804,54
5	Plomo	Otros metales	39.754,47
7	Cobalto	Metal de Transición	36.696,44
8	Cobre	Metal de Transición	35.358,55
9	DBO Total	Biológico	23.738,01
10	Níquel	Metal de Transición	19.494,98
11	Aluminio	Otros metales	16.451,28
12	Vanadio	Metal de Transición	10.051,38
13	Selenio	No metal	8.409,60
14	Arsénico	Metaloide	6.077,85
15	Mercurio	Metal pesado	4.587,05
16	Fenoles	Orgánico	2.981,59
17	Zinc	Metal pesado	2.281,10
18	Boro	Metaloide	2.062,07
19	Berilio	Alcalinotérreo	925,06
20	Litio	Metal Alcalino	504,58
HUELLA HÍDRICA TOTAL			826.694,71

Nota. Parámetros de la huella hídrica. Tomado de: Análisis de sostenibilidad ambiental del relleno sanitario Doña Juana (Bogotá – Colombia), a través de la metodología IICA para la estimación de huella hídrica. 2020. Herrera, A., & Prieto, R. (2019). *Hídrica*. [Tesis Posgrado] Repositorio Usta. <https://Repository.Usta.Edu.Co/Bitstream/Handle/11634/16067/2019andresherrera.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y>

Y en la figura 4 se observa la huella hídrica gris por elemento, en la que se destacan con el valor más alto el manganeso (metal en transición), seguido de grasas y aceites (compuestos orgánicos) molibdeno, cadmio y hierro (metales en transición), en su orden.

Figura 4.

Huella hídrica gris promedio de los parámetros analizados



Nota. Huella Hídrica promedios. Tomado de: Análisis de sostenibilidad ambiental del relleno sanitario Doña Juana (Bogotá – Colombia), a través de la metodología IICA para la estimación de huella hídrica. 2020. Herrera, A., & Prieto, R. (2019). [Tesis Posgrado] *Hídrica*. Repositorio Usta. [https://Repository.Usta.Edu.Co/Bitstream/Handle/11634/16067/2019andresherrera.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y]

El valor de huella hídrica gris de 826 694,71 m³ significa que ese sería el volumen de agua dulce, necesario para asimilar la carga contaminante que vierte el Relleno Sanitario Doña Juana al tramo 2 del río Tunjuelo, en las condiciones de concentraciones y caudales de once meses del año 2016. Si se tiene en cuenta que el caudal promedio registrado para ese mismo periodo del año 2016, del tramo 2 del río Tunjuelo fue de 1.410 litros, que corresponden a 370 548,0 m³, la huella hídrica gris es menor que el caudal del afluente, por lo que el río Tunjuelo, estuvo en capacidad de asimilar la carga contaminante reportada. (Herrera, A. Ramírez, P. 2020)

Y en cuanto al cálculo del nivel de contaminación del agua se obtuvieron los siguientes resultados un valor mínimo de 0,05, promedio de 0,22 y máximo de 0,85. el valor obtenido fue inferior a 1, lo que, según la guía, significa que el vertimiento de lixiviados del relleno al río Tunjuelo, para ese periodo y con las condiciones de caudales y concentraciones registradas, fue ambientalmente sostenible. (Herrera, A. Ramírez, P. 2020).

2.5 Sistemas de disposición final

Los sitios de disposición final se pueden clasificar como adecuados e inadecuados, esto dependiendo de las tecnologías que se utilicen para la recolección y disposición final de los residuos. Se establece que un sistema de disposición final adecuado es aquel que cuente con un instrumento de seguimiento ambiental de su operación y son reconocidos como alternativas de disposición final.

-Sistemas de disposición final adecuados: relleno sanitario, planta de tratamiento y celda de contingencia. (SSPD.2016)

Los sistemas de disposición inadecuado, no pose aprobación ambiental competente para opera. La mayoría no cumplen los lineamientos técnicos de operación y no están reconocidos como una alternativa de disposición final.

-Sistemas de disposición final inadecuados: celda transitoria, botadero a cielo abierto, enterramiento, vertimiento a cuerpos de agua, quema de los residuos sólidos, y todo aquel que no cumpla con las definiciones, autorizaciones y requerimientos de la normatividad colombiana. (SSPD. 2016)

De acuerdo con el estudio realizado por la superintendencia de servicios públicos domiciliarios, Colombia cuenta con 275 sitios de disposición final entre adecuados e inadecuados, dentro de los sitios adecuados el país cuenta con 158 rellenos sanitarios, 13 celdas de contingencia y 6 plantas de tratamiento; frente a los sistemas inadecuados de disposición de residuos, en el territorio

colombiano podemos encontrar 54 botaderos a cielo abierto, 34 celdas transitorias, 7 sitios de enterramientos y 1 sitio de quema para el año 2016. (SSPD. 2016)

En la figura 5 se muestra la cantidad porcentual respecto al número de municipios atendidos (1020 municipios de Colombia) por cada tipo de sistema de disposición final para las vigencias 2014, 2015 y 2016. se evidencia que la disposición final municipal se realiza mayoritariamente en sistemas de disposición final adecuados; en otras palabras, en 2014 la disposición adecuada a nivel municipal fue del 75,2%, en 2015 fue del 73,6% y en 2016 fue del 80,5%.

Figura 5.

Cantidad porcentual de tipo de sistema de disposición final para las vigencias 2014, 2015 y 2016

	Rellenos Sanitarios	Celda Transitoria	Celda de Contingencia	Botadero a Cielo Abierto	Enterramiento	Quema	Cuerpo de Agua
2014	75,23%	9,44%	2,00%	12,07%	0,00%	0,09%	1,18%
2015	73,41%	2,63%	1,18%	4,17%	0,18%	0,00%	0,09%
2016	80,85%	3,90%	1,36%	4,90%	0,64%	0,09%	0,00%

Nota. Porcentajes de las disposición final de los residuos Tomado de: Departamento Nacional De Planeación. (2016). *Disposición Final de Residuos Sólidos* (No 9). <http://webdav.superservicios.gov.co:8080/content/download/23144/187347/version/1/file/INFORME+Nacional+2016+Disposici%C3%B3n+Final+de+Residuos+S%C3%B3lidos+%281%29.pdf>

En la figura 5 se observa que a medida que se haga una correcta disposición final de los residuos sólidos, se va reduciendo la contaminación, la generación de problemas ambientales y las afectaciones a la salud de las personas. Si la mayoría de los municipios colombianos disponen de los residuos en sitios adecuados, se evidencia que hay una reducción de contaminación y en los sitios adecuados se les dará el correcto manejo ya sea para reutilizar o aprovechamiento de ellos para la generación de fuentes de energía

2.6 Marco legal

A continuación, se explicará brevemente la normativa por la que está regido, el manejo de los residuos sólidos orgánicos en Colombia

Tabla 10.*Normas Para los Residuos Solidos*

NORMA	DESCRIPCIÓN GENERAL
Resolución 0754 del 25 de noviembre de 2014	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
COMPES 3874, 2016	Realizar la transición del modelo lineal hacia la economía circular A través del aprovechamiento máximo de la materia prima y la optimización del uso de los productos
Ley 09 de 1979	Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos
Documento CONPES 2750 de 1994	Políticas sobre manejo de residuos sólidos
Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018	Para el año 2018, se tiene como meta lograr un porcentaje de aprovechamiento de residuos sólidos municipales de 20%
Decreto 1077, 2015	Establece la actividad de aprovechamiento dentro de los Programas Integrales de Gestión de Residuos Sólidos, PGIRS. Tiene como objetivo, incluir en el PGRIS, proyectos sostenibles de aprovechamiento.
Resolución CRA 720, 2015	Define un incentivo al aprovechamiento de residuos solidos
Decreto 596, 2016	Establece el cumplimiento de las obligaciones de los recicladores de oficio

Nota. Principales normas del aprovechamiento de residuos solidos

Las normas expuestas en la tabla 10 tienen como fin una economía circular que es un modelo económico que busca el desarrollo sostenible a través de Reutilizar productos, investigar y desarrollar nuevas tecnologías para aumentar la vida útil del producto en el ciclo productivo, reduciendo así la generación de residuos sólidos. En otras palabras, el propósito del modelo es que el material no se convierta en el producto final, sino ser parte del servicio.

La ejecución de nuevas políticas públicas enfocadas en la economía circular ha llevado a un alto crecimiento en el uso de residuos sólidos. Por lo tanto, la tasa de crecimiento de la disposición final es menor que la tasa de utilización en Colombia. Todos los sectores a nivel industrial, en los hogares. Deben realizar esfuerzos con respecto del manejo de residuos sólidos, con el fin de incrementar los índices de aprovechamiento para que los residuos que son dispuestos en sitios de disposición final tiendan a disminuir frente a la generación de más residuos que no sean aprovechados.

3. MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

Se conoce como métodos de aprovechamiento todo aquello que se quiere transformar y dar un nuevo uso, que en este caso se busca reducir, reutilizar y aprovechar los residuos sólidos tanto como orgánicos y urbanos. Por lo que se quiere mostrar en este estudio los principales usos de aprovechamiento para contribuir con la reducción de los correspondientes gases de efecto invernadero y las emisiones que estos residuos producen.

A continuación, se van a explicar 9 métodos de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, los cuales son utilizados para la generación de energía.

3.1 Compostaje

El compostaje es un proceso aerobio de degradación de materia orgánica, con aumento de temperatura de forma controlada; se realiza por acción de microorganismo en presencia de aire para generar el abono orgánico llamado compost. Lo cual contiene materia orgánica estable, que puede ser utilizado como fertilizante para la mejora del suelo en la agricultura sin provocar fenómenos adversos. (Penagos J, 2011). La degradación en el proceso de compostaje se logra mediante la oxidación de los residuos por enzimas producidas por un consorcio microbiano; estas poblaciones microbianas se utilizan para generar tasas más altas de biodegradación de residuos orgánicos y proporcionar soluciones para producir fertilizantes orgánicos de alta calidad para minimizar impacto medioambiental. (D. Rodríguez, 2007).

La comercialización del producto final se realiza mediante la obtención de un compost estable que pueda asegurar nutrientes (N, P, C y K), sin la presencia de patógenos humanos, patógenos vegetales y sustancias nocivas para el medio ambiente y las comunidades. Son productos orgánicos compostados se pueden utilizar como fuente de materia orgánica del suelo y convertirse en una alternativa económica y ambientalmente viable. (Castrejón, M. 2015).

3.1.1 Fases Del Compostaje

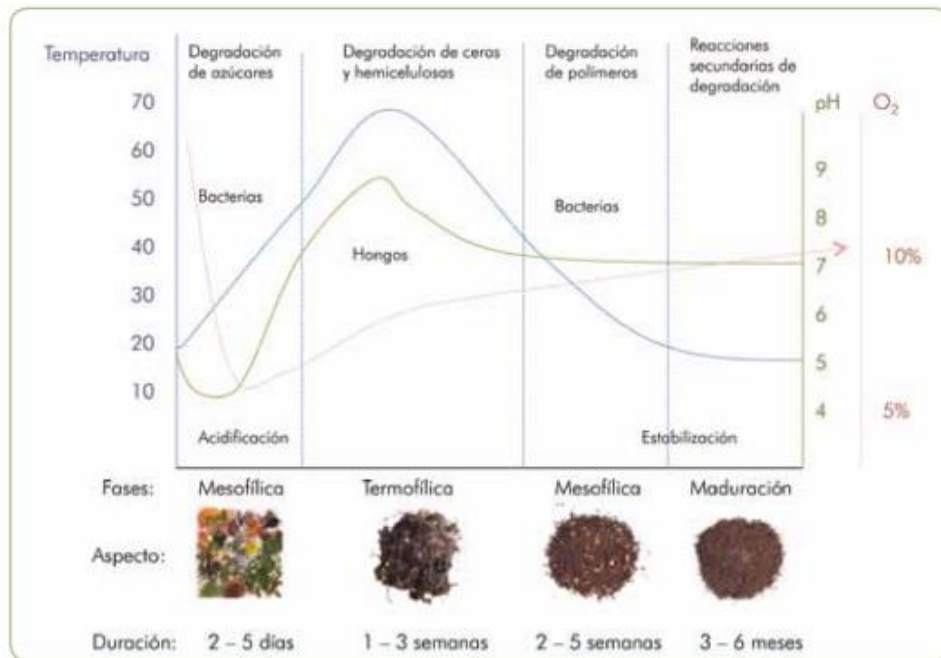
Se enuncian cuatro fases la cual se evidencian en la figura 6 durante el proceso del compostaje:

- 1. Fase Mesófila.** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4,0 o 4,5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días). (Román, P. Martínez, M. 2013)
- 2. Fase Termófila o de Higienización.** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. (Román, P. Martínez, M. 2013)
- 3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II:** La temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (Quevedo, P. 2019).

4. Fase de Maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Quevedo, P. 2019).

Figura 6.

Proceso de Compostaje



Nota. Poseso para la obtención del compostaje. Tomado de: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura, Román, P., & Martínez, M. (2013). *Manual de compostaje del agricultor* (No 1). Tomado De: <https://Www.Fao.Org/3/I3388s/I3388S.Pdf>

Para un buen proceso de transformación del sustrato los factores que interviene en el proceso crecimiento y desarrollo para la producción el compostaje es:

- **Temperatura:** uno de los factores más importantes que condicionan las reacciones bioquímicas de las células de los organismos. A medida que aumenta la temperatura, los procesos metabólicos se aceleran y la velocidad de la descomposición de la materia orgánica es afectada de manera directa hasta alcanzar un punto crítico, en el cual el proceso disminuye.

Esto último se debe, particularmente, a la desnaturalización de las proteínas que bloquean el metabolismo normal de los microorganismos implicados. (Sense Fronteres, 2018)

- **Oxígeno:** Los microorganismos involucrados en el proceso del compostaje son en su mayoría aerobios, por tal razón es imprescindible la incorporación de oxígeno por medio de los volteos manuales o mecánicos, o a través de la aplicación de aire forzado dentro de las pilas. Al reducir la disponibilidad de oxígeno, se reduce el crecimiento de los microorganismos aerobios, la velocidad de la transformación de los materiales se ve seriamente reducida y la generación de malos olores aumenta debido a que en esta condición proliferan microorganismos anaerobios. Estos, por medio de su metabolismo, generan compuestos orgánicos volátiles y amoniacales. (Sense Fronteres, 2018)
- **Humedad:** El protoplasma de las células microbianas y los residuos utilizados en el proceso de compostaje (restos vegetales y animales) están conformados por un considerable contenido de agua. Así, el contenido de humedad al inicio del proceso debe estar alrededor del 50 %. Esto con el propósito de aumentar las poblaciones microbianas que se encuentran naturalmente en los materiales utilizados, que con reacciones enzimáticas los transforman en moléculas orgánicas más estables. El aumento de humedad por encima de 60 % crea condiciones de anaerobiosis, que retrasa la transformación de los restos y aumenta la generación de olores desagradables, además de producir lixiviados que disminuyen los nutrientes del compost. (Bohórquez, W. 2019)
- **pH:** Constituye otro de los factores más importantes que influye en las reacciones bioquímicas de los microorganismos, puesto que cada microorganismo tiene un pH óptimo en el que su crecimiento se ve favorecido. El pH óptimo para el crecimiento de muchos microorganismos es una medida solo del pH extracelular. El pH intracelular debe permanecer cercano a la neutralidad para prevenir la destrucción de las biomoléculas de la célula. (Sense Fronteres, 2018)

- **Tamaño de la partícula:** A menor tamaño de las partículas de los restos vegetales y animales, mayor relación superficie/volumen, es decir, mayor actividad microbiana. Se recomienda un tamaño de partícula entre 1 y 5 cm, utilizando máquinas picadoras o herramientas manuales, como machetes. (Bohórquez, W. 2019)
- **Relación C/N:** dado que dos de los elementos más importantes para el metabolismo microbiano son el carbono y el nitrógeno, debe existir una adecuada relación de estos para que la degradación de los residuos sea eficiente. Se considera que una relación apropiada al inicio del proceso debe ser de 25 (25 unidades de carbono y 1 de nitrógeno) a 35 (35 unidades de carbono y 1 de nitrógeno). (Bohórquez, W. 2019)

3.2 Lombricompostaje

En este proceso se utiliza la lombriz de tierra para la transformación de residuos orgánicos, principalmente estiércoles en abonos orgánicos para utilizarlos en los cultivos. La especie de lombriz que se utiliza es la roja californiana *Eisenia foetid*, es una especie doméstica que se reproducen rápidamente y alcanzan altas densidades en un corto período de tiempo población, además es muy fácil de manejar. Los abonos orgánicos obtenidos son humus líquido y lombricompostaje, que se puede aplicar libremente a los cultivos ya que es difícil utilizar este fertilizante conducir a un envenenamiento excesivo. (Cobaleda, J. 2015).

El lombricompostaje se caracteriza por mejorar condiciones físicas y químicas que benefician la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Al mismo tiempo, a través de la reproducción en masa, se vuelve favorable de una fuente de proteína animal, utilizada como harina o alimento. Otros beneficios que se pueden mencionar es que incorpora materia orgánica y Microorganismos en el suelo, es un ajustador de pH que mejora las condiciones del suelo y aportes de macronutrientes y micronutrientes. (Cobaleda, J. 2015).

Las condiciones ambientales propicias para el cultivo de lombrices son: temperatura de 18°C a 20°C, humedad del lecho de 70% a 80%, pH entre 7.5 a 8 y con baja luminosidad. Bajo estas

condiciones la actividad de la lombriz es acelerada y come lo equivalente a su propio peso diariamente, excretando el 60% como humus, el cual es rico en sustancias orgánicas, minerales, fitoreguladores y enzimas. Además, la lombriz tiene una gran cantidad de proteína, aproximadamente entre el 70% y 80% de su peso, con un excelente contenido de aminoácidos. (UAESP, 2010).

3.3 Mosca soldado negro

También conocida como *hermetia illucens* es una mosca díptera de la familia *stratiomyidae* que son encontradas en todo el mundo, estas moscas toleran temperaturas extremas. Las temperaturas óptimas para el ciclo están entre el rango de 24 a 29.3°C. Cuando está en la fase adulta presentan una dieta basada en el néctar, pero en condiciones de cautiverio pueden sobrevivir varios días sin alimento. (Gómez, W. 2018)

Estas pueden desarrollarse en diferentes materiales orgánicos como frutas, vegetales, carne en proceso de descomposición y materia fecal. Después de cinco días de la fase adulta ocurre el proceso de la copula, el apareamiento se produce en el vuelo las hembras se encuentran en reposo atraen a los machos que se encuentran en vuelo de manera que estos descienden para la copula, la reproducción de esta especie se realiza por ovoposición. Los huevos presentan características cilíndricas, redondeados en sus extremidades, con longitudes aproximadamente de un milímetro de largo, presentan colores que varían de acuerdo con los días, como color crema cuando se encuentran recién puestos y varia a amarillo al madurar. Las hembras depositan aproximadamente 600 a 900 huevos en orificios cerca a materia en descomposición. (Gómez, W. 2018)

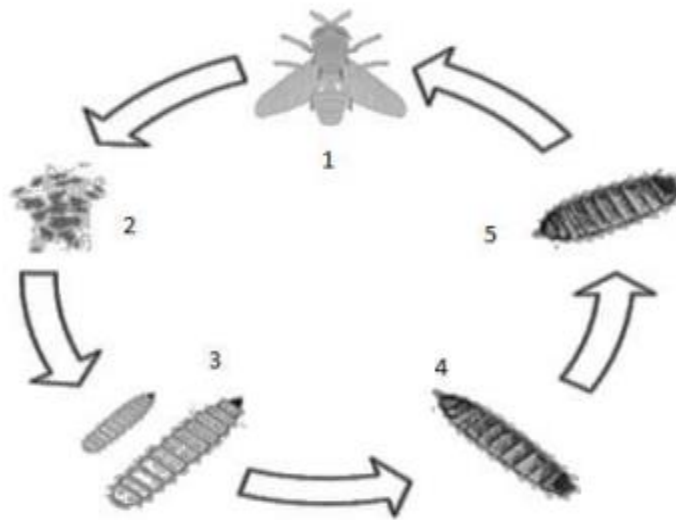
Las larvas nacen de cuatro a seis días después del desove y pueden alcanzar una longitud de un milímetro de largo, son de color blanco y su crecimiento es acelerado, presentando 6 estados larvales en los que mudan seis veces y pueden alcanzar una longitud de 3 cm. Los adultos emergen dos semanas después de la pupa. (Gobbi,2012).

Los adultos no son una especie molesta, ni son vectores de enfermedades. Las hembras adultas ponen sus huevos en grietas alrededor de los bordes de las fuentes de alimento de las larvas, pero

ni las hembras ni los machos comen mientras están vivos. La duración de cada etapa del ciclo de vida de *H. illucens* (figura 7) está influenciada por una variedad de factores bióticos y abióticos que pueden alterar significativamente el desarrollo de la especie en varias etapas. (Banks,2014)

Figura 7.

Ciclo de vida de la mosca soldado-negra 1. Adulto, 2. Huevo, 3. Estado larval, 4. Prepuda, 5. Pupa



Nota. Ciclo de vida de la mosca Soldado negra. Tomado de: Evaluación de un sistema de vermicultura utilizando larvas de hermetia illucens. Gómez, W. (2018). Titulo Digital. https://Repository.Upb.Edu.Co/Bitstream/Handle/20.500.11912/5180/Digital_36266.Pdf?Sequence=1

Para el desarrollo de sus larvas presenta ventajas en su alimentación, ya que posee una amplia dieta, en la cual se encuentra principalmente gran variedad de materia orgánica en descomposición desde residuos de alimentos hasta excrementos y tejidos, a diferencia de las demás especies de moscas, la *H. illucens* en su etapa adulta no ingresan a las viviendas humanas. (Gómez, W. 2018) La utilización de insectos para la gestión de restos orgánicos es una gran alternativa, ya que estas especies transforman estos desechos y los adhieren como fuente de energía convirtiéndolos en biomasa presentando alternativas como alimento proteico animal. Su alto contenido de proteína y otros macronutrientes y micronutrientes como ácidos grasos, carbohidratos, minerales y vitaminas, lo que conlleva a que pueda incluirse en la dieta alimenticia en la industria pecuaria como la ganadería, avicultura, acuicultura, porcicultura entre otras (Gobbi, 2012)

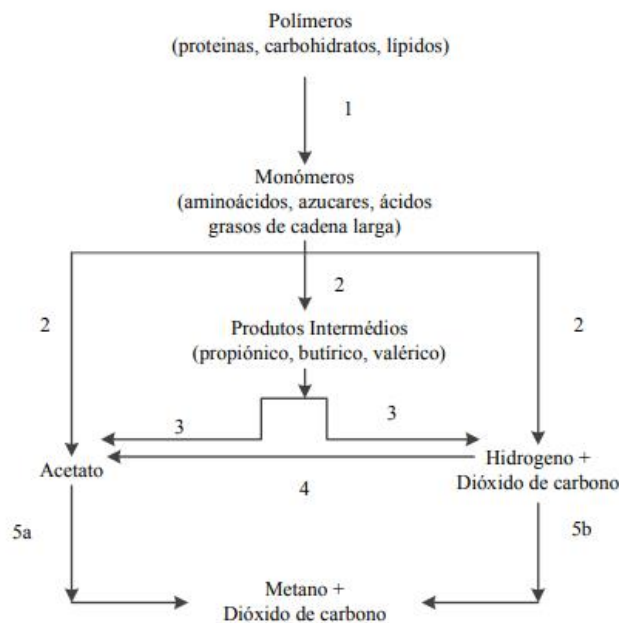
3.4 Técnicas térmicas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

3.4.1 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia consiste en una cadena secuencial de rutas metabólicas y acciones de los diferentes grupos tróficos de bacterias anaerobias, que participan en la conversión de la materia orgánica compleja en metano y dióxido de carbono. Debido a la complejidad del proceso, es esencial que exista una relación equilibrada y coordinada entre los distintos grupos de bacterias presentes. En la figura 8 observa un esquema típico del proceso de digestión anaerobia, siendo posible distinguir al menos 4 secuencias principales de degradación; hidrólisis, acidogénesis o fermentación, acetogénesis y metanogénesis. (Gonçalves, F. 2013)

Figura 8.

Esquema de reacciones del proceso de digestión anaerobia.



Nota. Fases del proceso de la digestión anaerobia. Tomado del: Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de residuos orgánicos pretratados térmicamente. Gonçalves, F. (2013). [Tesis Doctoral]. Universidad Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/4439/Tesis476-140226.pdf?sequence=1&isallowed=yhttps://www.fao.org/3/I3388s/I3388s.pdf>

En la etapa de hidrólisis constituye el primer paso de la degradación anaerobia. Es la conversión de los bio-polímeros (proteínas, carbohidratos y grasas) en sus monómeros (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga, respectivamente), por enzimas extracelulares producidas por bacterias hidrolíticas facultativas o estrictamente anaerobia. Es un proceso lento. La velocidad de degradación está afectada por un gran número de factores, destacando que, grandes partículas con baja superficie específica son generalmente hidrolizadas, y muchas veces la materia orgánica puede estar encapsulada en fibras (difícilmente degradable). Por las razones anteriores, la etapa de hidrólisis es considerada como la etapa limitante del proceso para residuos sólidos. (Gonçalves, F. 2013).

En la segunda etapa, acidogénesis o fermentación, Los monómeros producidos en la fase hidrolítica son absorbidos por diferentes bacterias facultativas y obligatorias, se degradan en ácidos orgánicos de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono (Arango, O. Sánchez, L. 2009). La concentración de hidrógeno formado como producto intermedio en esta etapa influye en el tipo de producto final formado durante el proceso de fermentación. Por ejemplo, si la presión parcial de hidrógeno fuera demasiada alta, esta podría disminuir la cantidad de componentes reducidos. En general, durante esta fase, azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos son convertidos en ácidos orgánicos y alcoholes. (Parra, R. 2015)

En la tercera etapa, la de acetogénesis, consiste en la transformación de los productos de la fermentación en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno por la acción de las bacterias homoacetogénicas y de las bacterias sin tróficas o productoras de hidrógeno. (Arango, O. Sánchez, L. 2009)

Como etapa final del proceso de digestión anaerobia ocurre la metanogénesis. En esta etapa se produce metano a partir de acético o hidrógeno y dióxido de carbono. Siendo el acético el principal precursor del metano (70% del metano proviene del acético) resulta evidente la importancia de esta conversión en todo el conjunto de las etapas de la digestión anaerobia. Las bacterias implicadas en la metanogénesis son, generalmente, divididas en dos grupos: bacterias hidrogenotróficas (hydrogenotrophic arhae) y acetoclásticas (aceticlastic methanogens). Las primeras controlan el potencial redox del medio, manteniendo la concentración de hidrógeno en niveles bajos, usando el

hidrógeno como dador de electrones y el dióxido de carbono como aceptador. Las bacterias acetoclásticas son responsables de la degradación del acetato, que es el principal precursor de metano. (Parra, R. 2015)

3.4.1.a Parámetros que influyen en la digestión anaerobia. Las bacterias anaerobias tienen diferentes parámetros para la degradación de los residuos, por lo que es necesario controlar los parámetros de operación para trabajar en condiciones favorables, para que los microorganismos puedan obtener el mejor rendimiento de depuración. Lo cual se nombrarán a continuación:

- **pH:** El pH óptimo está alrededor de 7 aunque se puede operar en el intervalo 6,5 a 7,5. Si el pH desciende por debajo de 4,5-5 puede producirse una inhibición de la actividad microbiana que afecta a las bacterias fermentativas disminuyendo la velocidad de digestión. El descenso del pH puede deberse a varias causas como una carga orgánica excesiva, variaciones de temperatura, acumulación de costra en el digester, sustancias no deseables, etc. (Palau, E.2012).
- **Contenido en solidos totales:** corresponden a la fracción sólida de materia orgánica a degradar. Esta variable permite definir el volumen del digester, ya que está directamente relacionado con la cantidad de agua a agregar, por lo tanto, a menores valores de ST mayor será el volumen de digester a utilizar para tratar la misma cantidad de sustrato. (Córdoba, 2016)
- **Relación C/N:** los nutrientes dependerán de la composición del material introducido en el digester. La relación C/N debe estar en torno a 30/1, valores inferiores pueden disminuir la velocidad de reacción. (Palau, E.2012).
- **Temperatura:** Afecta la actividad biológica, en especial la actividad enzimática. Si bien las bacterias metanogénicas son especialmente susceptibles a los cambios en la temperatura, las bacterias formadoras de ácidos también pueden verse afectadas. La temperatura de trabajo óptima puede variar, pero es especialmente importante mantener la misma en un valor constante a lo largo del proceso. (Córdoba, 2016)

3.4.2 Pirólisis

La pirólisis es una descomposición térmica que ocurre en ausencia de oxígeno. La pirólisis siempre es el primer paso en los procesos de combustión y gasificación, seguido de una oxidación total o parcial de los productos primarios. El proceso de pirólisis tiene tres etapas: la dosificación y alimentación de la materia prima, la transformación de la masa orgánica y, finalmente, la obtención y separación de los productos (coque, bio-aceite y gas). (Klug, M. 2012). La pirólisis es una reacción endotérmica. Según estudios, el requerimiento de calor Para La Pirólisis De Varias Biomosas Agrícolas Y De Madera Está En El Rango De 207 – 434 KJ/Kg (Bastidas, D., Miño, N., 2019)

El proceso tradicional de pirólisis permite transformar la biomasa en tres productos diferentes: el producto líquido, denominado alquitrán o bioaceite, el producto sólido, más conocido como carbón o char y el producto gaseoso el cual puede ser utilizado como gas combustible. (Urien, A.,2013)

3.4.2.a Tipos De Pirólisis. En la literatura, se entiende que las altas temperaturas y los cortos tiempos de reacción favorecen en la formación de productos condensables, mientras que las altas temperaturas y los tiempos de reacción más largos favorecen en la formación de productos gaseosos no condensables, debido a la aparición de reacciones secundarias. Los productos sólidos generalmente se obtienen a bajas temperaturas. Dependiendo de las condiciones del proceso se puede clasificar en las siguientes categorías: (Urien, A.,2013)

- **Pirólisis rápida:** Es un proceso continuo que tiene como interés la producción de combustible líquido a partir de biomasa. El requisito principal del proceso es la alta tasa de transferencia de calor (mayor a 10-200°C/s). La alimentación se calienta a altas temperaturas para tiempos de reacción cortos (menos de 2 s). Se obtiene un rendimiento de líquido tan alto, aproximadamente un 75%. Debido a que la reacción es de corta duración, la cinética química, velocidad de transferencia de calor y masa, y fenómenos de transición, afectan en la determinación química del producto. (Bastidas, D., Miño, N., 2019).

- **Pirolisis intermedia:** Se lleva a cabo en un rango de temperatura de 300-500°C. Se producen reacciones químicas más controladas por las condiciones de operación. Se obtienen de esta operación rendimientos de líquidos de hasta 55 %, menor en comparación a la pirólisis rápida, pero la alimentación puede contener grandes tamaños de partícula como gruesa, triturada. (Bastidas, D., Miño, N., 2019).
- **Pirolisis lenta:** Es un proceso que se lleva a cabo a bajas temperaturas (300- 700°C) y velocidades de calentamiento lentas, para tiempos de reacción prolongados (desde horas hasta días). Las condiciones del proceso permiten la obtención de productos gaseosos, líquidos y sólidos. Por otra parte, este proceso es muy tolerante en el contenido de humedad en la alimentación. (Bastidas, D., Miño, N., 2019).
- **Torrefacción:** Es un proceso de operación lenta que se realiza en un rango de temperatura de 225 – 300°C. Su objetivo es aumentar la densidad de energía y propiedades de la biomasa. El producto final es un material sólido, seco y ennegrecido que se encuentra libre de sustancias volátiles por el desprendimiento de agua contenida en la biomasa, y descomposición parcial de los biopolímeros (celulosa, hemicelulosa, lignina) en volátiles orgánicos. (Bastidas, D., Miño, N., 2019).
- **Hidropirólisis:** Es un proceso que aún se encuentra en estudio. En este, las reacciones se producen bajo presiones de hidrógeno, lo cual dificulta y minimiza la formación de radicales libres. Además, la cantidad de hidrocarburos insaturados se reduce, lo que aumenta la calidad del bioaceite formado. (Bastidas, D., Miño, N., 2019).

3.4.2 Gasificación

El proceso de gasificación, conocido como oxidación parcial de sólidos carbonosos, transformará los residuos sólidos en una mezcla de especies gaseosas formada principalmente por CO, CO₂, H₂, CH₄, H₂O, y N₂. El gas será oxidado con el aire secundario buscando aumentar la eficiencia de combustión global, y reduciendo los impactos ambientales negativos, asociados a la formación de

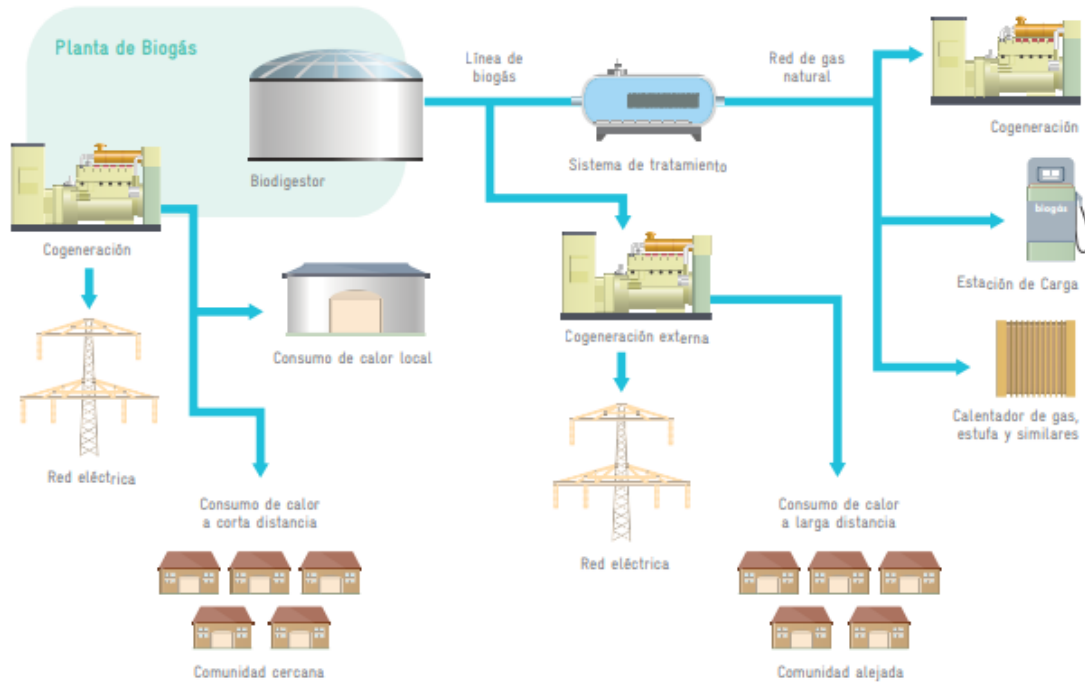
emisiones contaminantes. En las calderas de parilla móvil la transformación termoquímica del sólido se desarrolla de modo similar al lecho fijo, donde los principales subprocesos son el secado, la devolatilización, la oxidación y la reducción. (Bohórquez, N. Pérez, J. 2019)

En la gasificación, la energía química presente en los residuos sólidos se convierte en energía contenida en un gas. Este gas se puede utilizar de forma mucho más flexible (como materia prima de procesos químicos o como combustible en calderas, motores, turbinas, o pilas de combustible). Las cenizas pueden considerarse un residuo o bien valorizarse, usándolas como material de construcción o como fertilizante, fabricación de vidrio, entre otros. Así pues, la gasificación es una técnica energéticamente eficaz para reducir el volumen de los residuos sólidos y recuperar su energía, convirtiéndose en una de las vías más adecuadas a mediano y largo plazo para la obtención de energía en el marco del desarrollo sostenible. (Sánchez, J. 2012)

3.4.3 Biogás

Es una mezcla de gases principalmente compuesta de CH_4 y CO_2 y en menor medida de otros gases, como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y, en ciertos casos, siloxanos. Un metro cúbico de biogás, tiene un contenido energético aproximado de entre 6 y 6,5 kWh, por lo que es una viable fuente energética. Dependiendo del uso que se da al biogás, este requerirá cierto nivel de acondicionamiento, ya que puede ser empleado como sustituto de gas natural, combustible para generador termoeléctrico combinado, también llamado CHP por sus siglas en inglés (Combined Heat and Power) o para automóviles. Después de las etapas de deshidratación y desulfuración, puede ser usado como combustible en una caldera para la producción de calor o en un sistema de cogeneración para la producción de electricidad y de calor, como se observa en la figura 9. Otra forma es convertir al biogás a biometano, si el biogás es limpiado hasta llegar a ciertos estándares, puede ser inyectado a la red de gas. (Gix México, 2018)

Figura 9.
Usos del Biogás



Nota. Obtención del biogás y aprovechamiento del gas. Tomado de: *Aprovechamiento Energético a partir de Residuos Urbanos en México* GIZ México. (2018). *Proyectos de.* <https://www.giz.de/en/downloads/giz2019-ES-EnRes-Proyectos-de-Aprovechamiento.pdf>

Este gas se forma durante la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, residuos agrícolas, industriales y municipales. Los sustratos de origen agrícola son principalmente residuos de la producción agrícola, hortícolas y vegetales. Residuos de la producción ganadera (estiércol, estiércol líquido) y cultivos energéticos. Los residuos de origen industrial se clasifican en: alimentos, carne, leche, azúcar, papel, farmacéuticos o grasa. Los sustratos de origen urbano son principalmente sedimentos, productos de plantas de tratamiento de aguas residuales, fracción orgánica húmeda de residuos municipales, recortes de césped y plantas y hostelería. (Makishah, 2017) Uno de los gases que producen estos residuos es el metano el cual se le puede utilizar para la fabricación de biogás con ayuda de un proceso, el cual es la fermentación que se utiliza para convertir estos desechos en un sustrato valioso para la producción de gas. (Giz México.2018)

La composición química del biogás indica que el componente más abundante es el metano (CH₄); este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero y el dióxido de carbono (CO₂) que contiene pequeñas proporciones de otros gases tales como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Por lo que una composición aproximada de ello se representa en la tabla 11:

Tabla 11.

Composición del Biogás

Componentes	Concentración
Metano (CH ₄)	50-75%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25-45%
Agua (H ₂ O)	2-7% vol
Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	20-20.000 ppm
Nitrógeno (N ₂)	<2% Vol
Oxígeno (O ₂)	<2% Vol
Hidrógeno (H ₂)	<1% Vol

Nota. Concentración y componentes del biogás.

Tomado de: La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. Tobares., L. (2012).

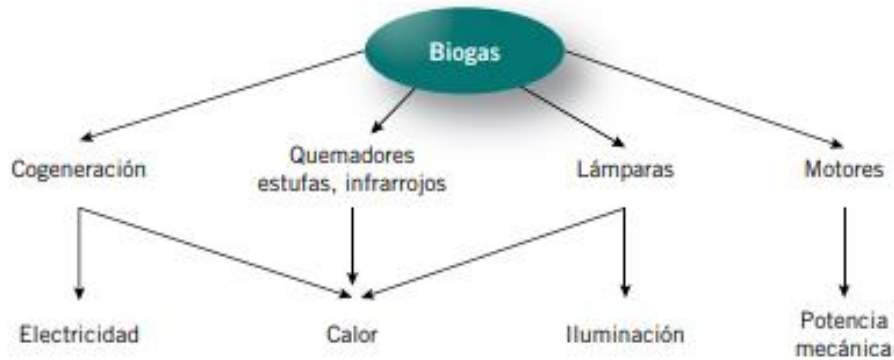
Petro técnica

https://www.petrotecnica.com.ar/1_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf

El proceso puede producir biofertilizantes, lo que lo convierte en una forma atractiva de utilizar los desechos para generar energía y compost. El principal determinante del poder calorífico del biogás es la cantidad de metano que tenga en su mezcla. El poder calorífico puede variar en un rango de 4 300 a 6 450 kcal/Nm³. Si bien es un menor poder calorífico que el de otros gases, es suficiente como para usarse para calefacción, cocina, heladeras a gas, lámparas e incluso grupos electrógenos y microturbinas para la generación de energía eléctrica y/o térmica (cogeneración). (González, V. Damasseno, S. 2019)

Figura 10.

Principales usos del biogás



Nota. Usos de la obtención del biogás Tomado de: La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. Tobares., L. (2012). Petro técnica.

https://www.petrotecnica.com.ar/1_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf

La figura 10 muestra los principales usos del biogás. En el caso particular de la electricidad, ésta se genera a través de motores de combustión interna instalados en la planta de biogás. Estos motores funcionan con el biogás generado por la digestión anaeróbica y se alimentan del biogás directamente del digestor, que posee una reserva de dos o tres días de capacidad. El biogás requiere un sistema de acondicionamiento para purificar el contenido de sulfhídrico y vapor de agua. Así, son necesarias instalaciones específicas en la línea de distribución, así como la implementación de inyección regulada de oxígeno en el gasómetro con el fin de reducir el sulfhídrico. (Tobares. L.2012).

El biogás ha surgido como una fuente eficaz de energía renovable, al ser una mezcla de diferentes gases producidos a partir de la acción de los microorganismos anaerobios sobre sustratos orgánicos. El proceso de fermentación debe realizarse en condiciones adecuadas para las bacterias del metano (como temperatura, pH, contenido de C: N). Esto involucra principalmente microorganismos mesofílicos para la fermentación (temperatura 32-42°C). Para el metano anaeróbico la fermentación requiere un pH de 6,8-7, 4. las bacterias metanogénicas consumirán rápidamente el nitrógeno para crear proteínas, y no estará disponible para parte del carbono contenido en la materia

prima, lo que reducirá la producción de biogás. Por el contrario, si la relación C: N es demasiado pequeña ($<10:1$), el amoníaco producido eleva el pH por encima de 8,5. (Monika Kúznia, 2015).

El biogás crudo puede combustionarse sin ningún tipo de depuración. Sin embargo, al margen del uso que se le dé al biocombustible, hay algunas impurezas que deben eliminarse para garantizar la vida útil de todos los componentes, como el vapor de agua y el sulfuro de hidrógeno (sulfhídrico). En cuanto al biogás de rellenos sanitarios, será fundamental eliminar también los siloxanos para garantizar el rendimiento consistente de la maquinaria de uso habitual, como motores de combustión, calderas o turbinas. La remoción del CO_2 se justifica, únicamente, en los casos en los que se quiere obtener biometano, es decir, metano en una concentración de 84% o más ($\text{CH}_4 \geq 84\%$) para inyectar a una red de distribución de gas natural o para gas natural vehicular (GNV). (González, V. Damasseno, S. 2019).

3.4.4 Obtención De Biogás Por Medio De Biodigestores

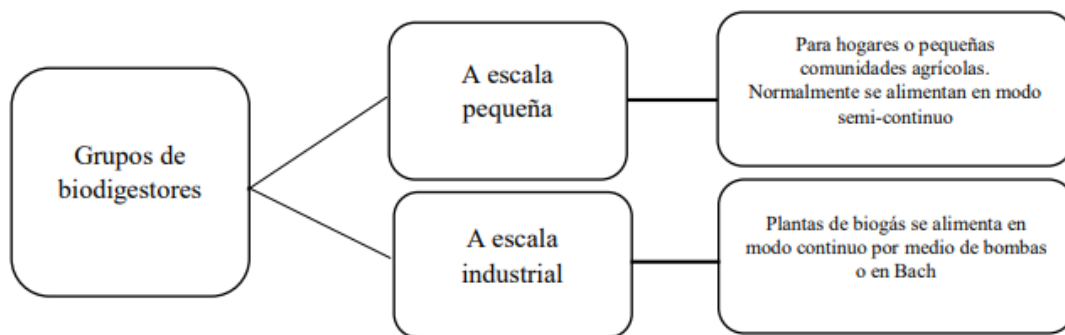
Los residuos sólidos orgánicos se pueden transformar por medio de la acción de microorganismos, en una mezcla de gases llamada biogás. Esta mezcla de diferentes gases se produce por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, principalmente formada por metano (CH_4). Asimismo, es un combustible ecológico, puesto que, al quemarse, produce monóxido de carbono y agua. Este primero sale a la atmósfera, donde es captado por plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis. (Hernández, M. Rodríguez, R. Peralta, L. 2017)

Para la obtención de energía es necesario la implementación de un aparato que convierta los residuos orgánicos en biogás y así se pueda generar energía, una de las alternativas para que esto se lleve a cabo es el uso de biodigestores. Ya que es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos sólidos orgánicos y urbanos. (Tavizón, E. 2010).

3.4. 5.a Biodigestores. Los biodigestores son un contenedor cerrado de cualquier forma, tamaño y material, en el cual se almacena residuos orgánicos que al descomponerse en ausencia de oxígeno genera biogás. La materia prima está compuesta principalmente por materia orgánica, como desechos agrícolas, residuos de animales, residuos humanos, etc. (Reyes, E. 2017). Un biodigestor básico está conformado por: área de premezclado, digestor, sistemas de captación de biogás y de distribución del efluente. Los biodigestores se pueden clasificar de acuerdo con su tamaño (escala pequeña o a escala industrial). En la figura 11, se hace una relación de las principales aplicaciones de estos dos grupos.

Figura 11.

Clasificación por grupos de los biodigestores



Nota. Grupos de los Biodigestores. Tomado de: Diseño De Un Biodigestor Tubular Para Zonas Rurales De La Región Piura. Saavedra, R. Alamo, M. (2017). De [Http://Www.Perusolar.Org/Wp-Content/Uploads/2017/12/Garcia-Rafael_Biodigestor.Pdf](http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_Biodigestor.Pdf)

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

Los residuos orgánicos al ser introducidos en el Biodigestor son descompuestos de modo que el ciclo natural se completa y las basuras orgánicas se convierten en fertilizante y biogás, el cual evita que el gas metano esté expuesto ya que es considerado uno de los principales componentes del

efecto invernadero. La utilización de biogás puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al Diesel como fuente energética en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción. La conversión de aparatos al funcionamiento con gas es sencilla. (Arce, J. 2011).

3.4.5.b Tipos de biodigestores

- **Por tipo de operación**

- **Flujo continuo:** La carga en este tipo de biodigestores se realiza de manera periódica, y se descarga en forma simultánea en la misma cantidad en que se ingresan los residuos orgánicos, siendo un proceso ininterrumpido. Este tipo de biodigestores son de gran tamaño y requiere de una inversión tecnológica, porque es necesario el seguimiento y control de los desechos orgánicos para su rápida fermentación. (Bolívar, H. Ramírez, E. 2012)
- **Flujo Discontinuo:** También es conocido como biodigestor de lote o batch, la carga se realiza una sola vez, descargándose cuando ha dejado de producir biogás o los desechos orgánicos se encuentren suficientemente degradados, luego se repite la operación de carga. Este tipo de biodigestor suelen ser usados cuando los desechos orgánicos a procesar los tenemos de manera intermitente. (Aldana, D. Viera, J. 2017)
- **Flujo Semicontinuo:** Los biodigestores de flujo semicontinuo son los más usados a nivel doméstico, se cargan por gravedad una vez por día, así producen una cantidad de biogás constante en el día. También generan un efluente, el biofertilizante, el cual también se descarga diariamente para el riego de las plantas. Suelen ser biodigestores que no necesitan mucha mano de obra y tampoco un mantenimiento complejo. (Aldana, D. Viera, J. 2017)

- **Por Su construcción**

- **Biodigestor de cúpula fija o tipo chino:** Tiene como una de sus principales características que trabaja con presión variable; sus principales desventajas son: la presión del gas no es constante y la cúpula debe ser completamente hermética, lo cual genera cierta complejidad en las construcciones y costos adicionales en impermeabilizante, sin embargo, este modelo presenta diversas ventajas, los materiales de construcción son fáciles de adquirir, y con una larga vida útil si se le realiza un mantenimiento adecuado. Este tipo de biodigestores están contruidos en una sola estructura que por regla general es echa de material rígido (concreto, bloques o ladrillos). Debido a la alta presión que puedan alcanzar en su interior. Se recomienda su construcción en forma de domo, y bajo tierra. (Celis, M. 2020).
- **Biodigestor de Tipo Hindú:** Están formados por un cilindro de mampostería en su parte inferior (con un tope para apoyar la campana) y una campana flotante que almacena el gas en la parte superior. Son fáciles de entender y operar. Ellos proporcionan gas a una presión relativamente constante ($\approx 0,1$ atm) y el volumen de gas almacenado se identifica por la posición de la campana. A medida que la producción de gas aumenta, la campana metálica se desplaza hacia arriba indicando un incremento de la cantidad de biogás contenida en el biodigestor. (Barrera, C. Odales, L. Pérez, A. 2020).
- **Biodigestor de Tipo Tubular:** Está hecho de plástico inflable. Estos digestores vienen en volúmenes desde 2.2 a 13.5 m₃, siendo los de 6m³ los utilizados comúnmente. Este diseño combina la cámara de digestión, el tanque de sedimentación y el gasómetro en una sola unidad. El sustrato no ocupa todo el volumen del digestor, ya que debe quedar un espacio para el gas. Así, a medida que la bolsa se hincha, el gasómetro se va formando y llenando. El funcionamiento de este digestor se basa en la tecnología de digestión anaeróbica de flujo pistón, por la forma en la que se desplaza la carga en su interior. (Saavedra, R. Alamo, M. 2017).

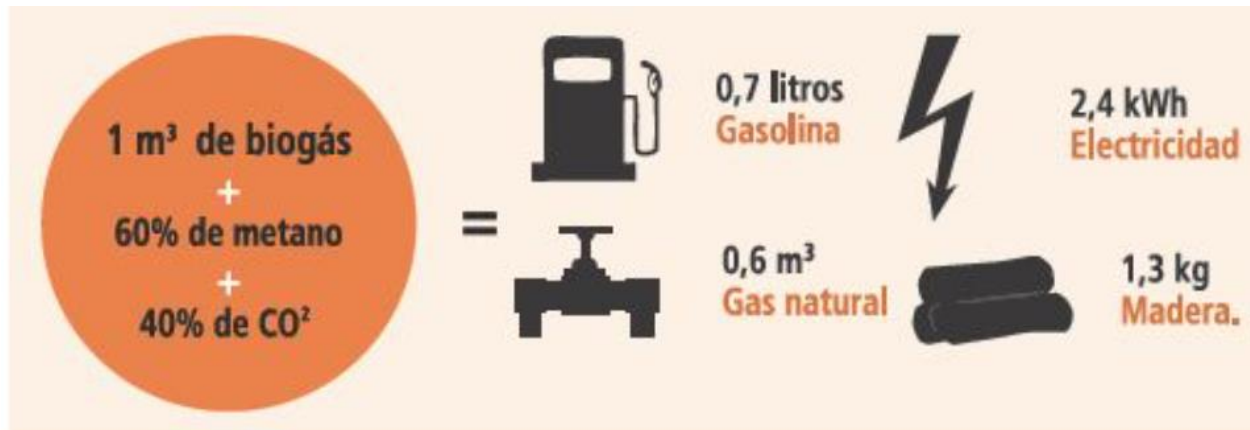
3.4.5 *Aplicaciones Del Biogás*

Dependiendo del poder calorífico del biogás, se puede utilizar para generar electricidad, en medios de iluminación y calefacción para cocinar alimentos, como combustible para calderas, espacios de calefacción o equipos de refrigeración. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento

de los quemadores o de los equipos que funcionan a base del biogás. En la figura 12 se puede observar el valor energético de 1m³ de biogás con un 60% de metano y un 40% de CO₂:

Figura 12.

Valor energético



Nota. Valor energético de la obtención de 1 m³ de biogás. Tomado de: Manual de Biogás. García. V. (2015): https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf

- **Estufas de biogás**

Las estufas que emplean biogás deben ser de fácil y simple operación, flexibles en cuanto a tamaño, fáciles de limpiar y reparar, de bajos costos y alta eficiencia en el uso del combustible. En la mayoría de las viviendas se cocina en dos fogones, por ello se da preferencia a quemadores de dos llamas. Los quemadores deben ser graduados al principio y a continuación deben ser fijados, así se mantiene un alto rendimiento. El rendimiento es bueno, si un litro de agua hierve rápidamente (entre 8-12 minutos). Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado, en tal caso, el rendimiento es bajo. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 hasta 20 centímetros de columna de agua es la más apropiada para cocinar. (García. V. 2015)

- **Combustión directa**

El uso más simple que se le puede dar al biogás es la combustión directa en cocinas residenciales, calefones, heladeras rurales, lámparas de gas, pantallas de calefacción de galpones y/o calderas para generación de agua caliente o vapor. Para esto, solo se precisa eliminar el sulfhídrico y el vapor de agua. En cocinas residenciales, calefones domiciliarios, heladeras rurales y/o lámparas de gas, basta con una presión de 7 mbar, lo que se logra a nivel domiciliario con los sistemas de gasómetros descritos anteriormente. En el caso de calefacción de galpones zootécnicos y/o calderas industriales, será necesario utilizar equipos adicionales que garanticen una presión constante de alimentación al quemador del biogás. Para esto se utilizan sopladores de canal lateral y/o lobulares: estos equipos no comprimen el biogás, pero logran aumentar la presión hasta por lo menos 200 mbar, y garantizan un caudal constante de alimentación al punto de consumo final. (González, V. Damasseno, S. 2019).

- **Turbina de gas**

Entre las turbinas de gas, un rasgo significativo que las caracteriza es que se adaptan mucho mejor a las características del biogás, pudiendo trabajar con contenidos elevados de H_2S y concentraciones bajas de CH_4 . Tienen una emisión baja de NO_x a la atmósfera y una rápida puesta en marcha, es decir, alcanza en poco tiempo su generación nominal o lo que se conoce como plena carga, lo que la hace muy útil para cubrir picos de consumo. Al ser una máquina rotativa presenta una clara ventaja frente a los motores alternativos, por la ausencia de movimientos alternativos y de rozamientos entre superficies sólidas, lo que se traduce en menores problemas de equilibrado y menores consumos de aceite lubricante, lo que otorga un mantenimiento sencillo y una elevada fiabilidad. Las desventajas que imponen la negativa de la elección para nuestro proyecto son dos, la alta velocidad de rotación y su bajo rendimiento (30-35%) comparado con los motores alternativos Diesel. (Asís, H. Dopazo, F. Gianoglio, P. 2010)

- **Motor de combustión interna**

El biogás con un grado medio de pureza se puede utilizar en motores de combustión interna (motores de ciclo Otto -gasolina- y motores Diesel). Los motores de ciclo Otto pueden funcionar solamente con biogás, aunque necesitan de otros combustibles en el momento del arrancado. Los

motores de ciclo Diesel constan de un sistema mixto de biogás y Diesel que permite utilizar distintas proporciones de ambos combustibles. Sin embargo, los motores de combustión interna tienen como desventaja principal las elevadas concentraciones de NO_x y CO que emiten a la atmósfera. Debido a su baja inversión, su destacable rendimiento y considerando la potencia disponible, debido a la cantidad de metros cúbicos de biogás generado por los desechos orgánicos de nuestra ciudad, es el mecanismo de transformación de energía que elegimos para nuestro proyecto que a continuación desarrollaremos más sobre la elección del tipo de motor elegido. El motor que irá acoplado al generador funcionaría de manera dual, en el arranque lo haría con gas oíl por sus propiedades detonantes y luego una vez en régimen comenzaría a alimentarse con biogás. La proporción de consumo sería en porcentajes 30% de gas oíl ya que se utiliza en el arranque y cada tanto durante su funcionamiento, en un tiempo estipulado por mantenimiento, con la finalidad de lubricar los mecanismos en contacto con el combustible y utiliza un 70% de biogás. Afectando el rendimiento del motor que es de un 35% nos quedaría un valor de potencia eléctrica. (Asís, H. Dopazo, F. Gianoglio, P. 2010)

- **Refrigeradores**

Las máquinas de refrigeración tipo absorción, operados con amoniaco y agua, el termosifón de circulación automática son equipos típicos que pueden funcionar con biogás. La variación diaria en la composición y presión del biogás afecta el funcionamiento de los refrigeradores. Aún en plantas con campana flotante la presión del gas varía mucho según la cantidad de gas almacenado. Por eso se requieren boquillas de inyección especiales y resistentes a la incandescencia, sobre todo, si el refrigerador posee un regulador con termostato y la llama enciende solo cuando es necesario. En cada arranque existe el peligro de que la llama sea interrumpida, entonces fluye el gas sin ser quemado, por eso, la alimentación del biogás debe ser interrumpida automáticamente si la llama se apaga. Al utilizare biogás en refrigeradores se debe consultar en todo caso a un experto en aparatos a gas. (García. V. 2015)

En la tabla 12 se observa el consumo y eficiencia que pueden llegar a tener diferentes artefactos si utilizan el biogás como fuente de energía

Tabla 12.

Consumo y eficiencia de diferentes artefactos usando biogás

Artefacto	Consumo	Rendimiento (%)
Quemador de cocina	300 – 600 l / h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 – 170 l / h	30 – 50
Heladera de 100 L	30 -75 l / h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m ³ / kwh Hph	25 – 30
Quemador de 10 kW	2 m ³ / h	80 - 90
Infrarrojo de 200 Kw	30 l / h	95 – 99
Cogenerador	1 kw electricidad 0,5 m / kwh: 2 kw térmica	Hasta 90

Nota. Consumo y rendimiento usando biogás como combustible. Tomado de: Manual de Biogás. (García. V. 2015) https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf

- **Generación eléctrica con microturbinas**

Estos equipos funcionan bajo el principio del ciclo Brayton (o Joule), que modela el comportamiento de turbinas como las de los aviones, y son una alternativa menos difundida que los motores Biogás-Otto para producir energía eléctrica y/o térmica a partir de biogás. Las microturbinas consisten en un generador de energía acoplado a una turbina de gas y/o biogás a pequeña escala. El aire es comprimido e introducido en la cámara de combustión a alta presión y mezclado con el biogás; la mezcla combustiona, se expande y sale a través de la turbina. Normalmente, estos sistemas se utilizan en instalaciones con potencias inferiores a los 200 kWe. (González, V. Damasseno, S. 2019).

3.4.6 Energía Renovable

La recuperación de energía a través del aprovechamiento de los residuos se puede definir como un proceso de tratamiento de residuos que puede generar electricidad o calor a partir de los desechos que podrían depositarse en vertederos, generando así energía. Lo que implica el uso de tecnología de combustión moderna para recuperar energía de los residuos sólidos urbanos. (Fagbenle, 2013)

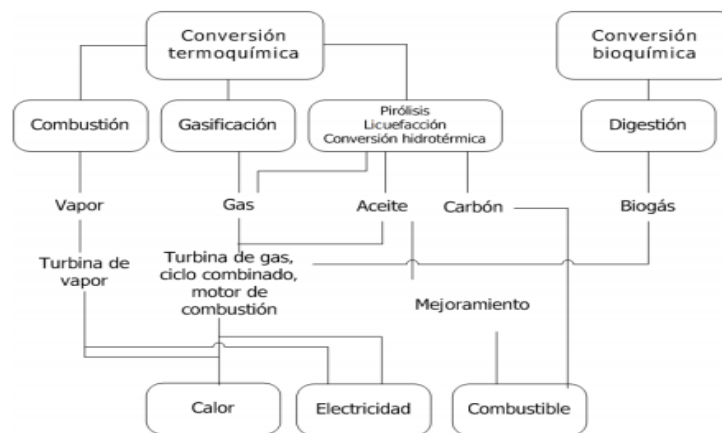
El proceso consiste en la conversión de los residuos sólidos en productos gaseosos, líquidos y sólidos mediante reacciones químicas inorgánicas. Este proceso se puede dar de tres formas: combustión, gasificación y pirólisis. En la combustión y en la gasificación la reacción química que se produce es exotérmica, lo que significa que se libera energía directamente.

En la gasificación la biomasa genera gas de síntesis, una mezcla de CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂O, hidrocarburos, H₂S, alquitrán y otras especies traza. Las composiciones generalmente dependen de las variables operativas del gasificador, como características de la materia prima, medios de gasificación (vapor, aire, oxígeno, CO₂, plasma), temperatura, presión y tipo de catalizador, si se utiliza. (Natarianto Indrawan, 2019)

En el pirólisis, la reacción es endotérmica, pero se obtiene un gas derivado cuyo poder calorífico también puede aprovecharse en una combustión posterior. En la figura 10, se muestra diferentes opciones de conversión de los residuos en formas de energía renovable:

Figura 10.

Opciones de conversión de biomasa a formas secundarias de energía



Nota. Conversión del Biogás en fuentes de energía secundarias. Tomado de: Conversión De Residuos Sólidos Urbanos En Energía. Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, 115-126. Moratorio, D. (2012) <https://core.ac.uk/download/pdf/335340914.pdf>

Esta necesidad crece con el fin de reducir los altos costos asociados con la producción de portadores de energía tradicionales y al agotamiento de sus campos, y por otro, el deterioro ambiental a nivel mundial. En varios casos, en relación con el aumento constante de los precios del petróleo, el gas y el carbón, obteniendo un combustible alternativo a partir de residuos que contienen carbono (residuos sólidos residenciales, residuos biomédicos, cultivos y productos de la actividad vital animal) se vuelven cada vez más necesarios y rentables. (V. E. Messerle A. L. Mossé, 2020)

3.4.7 Biocombustibles

Un biocombustible es un carburante obtenido mediante el tratamiento físico o químico de la materia vegetal o de residuos orgánicos. Los biocombustibles pueden obtenerse en estado sólido, gaseoso y líquido. (Zamudio, D., García, J. 2019). Los biocombustibles más reconocidos y utilizados son el bioetanol y el biodiesel; sin embargo, también es común el uso del biopropanol y el biobutanol. (Salinas, E., Gasca, V.2009)

Los biocombustibles son aquellos biocarburantes como alcoholes, éteres, ésteres y otros productos químicos que provienen de compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de plantas silvestres o de cultivo, que sustituyen en mayor o en menor parte el uso de la gasolina en el transporte o destinados a producir electricidad. Los biocomponentes actuales proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. El empleo de estos biocombustibles tiene como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que sobrecalientan la superficie terrestre y aceleran el cambio climático. (Salinas, E., Gasca, V.2009)

Las clasificaciones de los biocombustibles más utilizadas corresponden a sus procesos generación, con biocombustibles de primera, segunda y tercera generación.:

Los biocombustibles de primera generación son producidos a partir de productos agrícolas tradicionales como caña de azúcar, trigo, maíz, palma aceitera, soya, entre otros. Estos biocombustibles son producidos y comercializados en cantidades significativas por diversos países y con tecnologías convencionales. Su producción genera gran discusión debido a que compiten con

los cultivos alimenticios por recursos como: suelo, fertilizantes y agua. Los biocombustibles de primera generación los componen el biodiesel, bioetanol y el biogás. (Alejos, C., Calvo, E, 2015).

Los de segunda generación pueden ser producidos a partir de diversas materias primas de tipo biomasa, incluyendo la biomasa leñosa y la no leñosa; en resumen, de materiales lignocelulósicos. Los biocombustibles de segunda generación se pueden dividir en: 1) de biomasa a sólido, mediante un proceso mecánico-térmico, 2) de biomasa a líquido, a través de procesos térmicos, químicos y biológicos, y 3) de biomasa a gas, a través de procesos térmicos y biológicos. (Kheang, L.2016)

La materia prima más utilizada es el residuo lignocelulósico procedente de la industria maderera y de la agricultura. Este residuo representa una de las fuentes biológicas más infrautilizadas e infravaloradas, y se ve como una fuente prometedora de biocombustibles. El 75% de la biomasa vegetal se compone de polisacáridos. Hay un depósito de azúcares enorme que no se aprovecha dentro de la agricultura, ya que la fracción de azúcares que se aprovecha para la alimentación es ínfima en comparación con los polisacáridos que se presentan en la pared celular del resto de la planta, es decir, de las partes no comestibles. (Cortes, M., Gata, E., Pipió, A., 2017)

La tercera generación abarca a los biocombustibles originados a partir de microalgas, macroalgas y algas verde-azules, que crecen en cuerpos acuáticos o aguas marinas. Éstas consumen grandes cantidades de CO₂ (dióxido de carbono) durante su crecimiento y producen aceites, proteínas y carbohidratos, a partir de los cuales se puede obtener biodiésel, bioturbosina, bioetanol e hidrógeno renovable. Al ser utilizados los biocombustibles liberan CO₂; no obstante, la misma cantidad de CO₂ es captada por las plantas durante su crecimiento, y así se regula el ciclo natural del carbono sin aumentar su concentración en la atmósfera. (Zamudio, D., García, J. 2019)

4. CONCLUSIONES

Con base en el estudio realizado se puede concluir, que gestionar adecuadamente los residuos sólidos orgánicos que son generados por la población ayudara a un mejor aprovechamiento ya que tienen gran potencial para generar energía y ayudar a las comunidades que no cuentan con el servicio.

En Colombia y en Bogotá actualmente, el aprovechamiento de los residuos orgánicos va principalmente dirigido a la producción de compostaje y alimentación de los animales, y los que no son utilizados con este fin van a los rellenos sanitarios que es donde se genera la contaminación mayormente y esto hace las poblaciones aledañas a estos lugares sufran o de enfermedades, contaminación, entre otros.

Para el aprovechamiento de los de residuos en general hay diferentes alternativas que benefician a la comunidad y al medio ambiente. Es cuestión de los entes gubernamentales ayuden a la que las comunidades conozcan de estas tecnologías y sean de gran ayuda para todos y se pueda tomar conciencia del mal manejo de los residuos. Por ejemplo, el biogás en una de las fuentes más rentables para la generación de energía a partir de los residuos sólidos orgánicos, ya que esta solución contribuye con el medio ambiente ayudando al país a disminuir los gases de efecto invernadero, además evita que los residuos sean vertidos en el agua, suelo, aire ya que este disminuye el uso de combustibles fósiles.

BIBLOGRAFÍA

- A.C. (2018). *Manual De Producción De Compost*. Ingeniería Sin Fronteras. [Https://Esf-Cat.Org/Wp-Content/Uploads/2018/12/Manual-Produccion-De-Compost-Esf.Pdf](https://Esf-Cat.Org/Wp-Content/Uploads/2018/12/Manual-Produccion-De-Compost-Esf.Pdf)
- Aguilar, J. M. (6 De 12 De 2020). *Bogotá* . Obtenido De Bogotá: [Https://Bogota.Gov.Co/Yo-Participo/Blogs/Basura-En-Bogota-Una-Responsabilidad-De-Todos-Los-Ciudadanos](https://Bogota.Gov.Co/Yo-Participo/Blogs/Basura-En-Bogota-Una-Responsabilidad-De-Todos-Los-Ciudadanos)
- Alejos, C., & Calvo, E. (2015). *Vista De Biocombustibles De Primera Generación*. Revista De Investigación De Ingeniería Química. [Https://Revistasinvestigacion.Unmsm.Edu.Pe/Index.Php/Quim/Article/View/11784/10542](https://Revistasinvestigacion.Unmsm.Edu.Pe/Index.Php/Quim/Article/View/11784/10542)
- Aldana, D. M., & Viera, J. (2017). *Proyecto De Implementación De Sistemas Biodigestores Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos Generados Por Usuarios Residenciales En La Región Piura*. Piura. <https://onx.la/90609>
- Área De Sostenibilidad Inerco Consultoría Colombia. (2018, Diciembre). *Valorización Energética De Residuos: Proyecto Wte Colombia*. Unidad De Planeación Minero-Energética (Upme). [Https://Bdigital.Upme.Gov.Co/Bitstream/001/1339/5/Productos%201%2c2%20y%203_V2.Pdf](https://Bdigital.Upme.Gov.Co/Bitstream/001/1339/5/Productos%201%2c2%20y%203_V2.Pdf)
- Arce, J. J. (2011). *Diseño De Un Biodigestor Para Generar Biogás Y Abono A Partir De Desechos Orgánicos De Animales Aplicables En La Zonas Agrarias Del Litoral*. [Tesis] Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. [Https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/1593/15/Ups-Gt000209.Pdf](https://Dspace.Ups.Edu.Ec/Bitstream/123456789/1593/15/Ups-Gt000209.Pdf)
- Arévalo, A. Angelica Johana (2020). *Doña Juana: Imaginario Social De Un Conflicto Ambiental Por La Basura*. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital. 2020. Pág. 23-37. [Tesis Posgrado] Universidad Distrital

[https://Repository.Udistrital.Edu.Co/Bitstream/Handle/11349/23074/Angelicajohanaarev
aloe Vila2020.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://Repository.Udistrital.Edu.Co/Bitstream/Handle/11349/23074/Angelicajohanaarev
aloe Vila2020.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)

Arias, C. A. (2018). MINAAMBIENTE. Gestión Integral De Residuos Sólidos. *Mincomercio Industria Y Turismo*, 46-47. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

Asís., H., Dopazo., F., & Gianoglio., P. (2010). *Producción De Energía A Partir De Biogás Obtenido De Residuos Sólidos Urbanos*. Scielo. [Http://Www.Edutecne.Utn.Edu.Ar/Cytal_Frvm/Cytal_2012/Tf/Tf019.Pdf](http://Www.Edutecne.Utn.Edu.Ar/Cytal_Frvm/Cytal_2012/Tf/Tf019.Pdf)

Ávila-Hernández, M; Campos-Rodríguez, R; Brenes-Peralta, L; Jiménez-Morales, M. (2017) Generación De Biogás A Partir Del Aprovechamiento De Residuos Sólidos Biodegradables En El Tecnológico De Costa Rica, Sede Cartago. *Tecnología En Marcha*. Vol. 31-2. Abril-Junio 2018. Pág 159-170. <https://onx.la/90610>

Bastidas, D. X., & Miño, N. A. (2019). *Caracterización Comparativa Del Proceso De Pirólisis De Dos Biomosas*. Universidad Central De Ecuador. DSPACE [Http://Www.Dspace.Uce.Edu.Ec/Bitstream/25000/19356/1/T-Uce-0017-Iqu-052.Pdf](http://Www.Dspace.Uce.Edu.Ec/Bitstream/25000/19356/1/T-Uce-0017-Iqu-052.Pdf)

Banks, I, J. (2014). To Assess The Impact Of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae On Faecal Reduction In Pit Latrines. London <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/2171>

Benqin Yang, Z. H. (2017). *Advances In Biodrying Technologies For Converting Organic Wastes Into Solid Fuel*. Taylor & Francis, 1950-1969. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2017.1322100>

Blanco, H. M. (10 De Enero De 2019). *Lr*. Obtenido De [Lr: https://Www.Larepublica.Co/Responsabilidad-Social/Colombia-Podria-Aprovechar-](https://Www.Larepublica.Co/Responsabilidad-Social/Colombia-Podria-Aprovechar-)

Cerca-De-40-De-Los-116-Millones-De-Toneladas-De-Residuos-Que-Genera-Al-Ano-2813141

Bohórquez Santana, Wilson, "El Proceso De Compostaje" (2019). Libros En Acceso Abierto. 72. <https://Ciencia.Lasalle.Edu.Co/Libros/72>

Bucheli Campos, L. R., & Vera Gasca, T. (2014). Evaluación De Las Causas Y Efectos Ambientales De La Operación Actual Del Relleno Sanitario Doña Juana Para La Determinación De Los Impactos Generados Por La Localización Del Mismo. Retrieved From https://Ciencia.Lasalle.Edu.Co/Ing_Ambiental_Sanitaria/501

Caicedo, A. S. (2004). Gabinete ambiental. *Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos*. Santiago De Cali. <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/varios/pgris.pdf>

Castrejón-Godínez, E. S.-S.-H. (2015). Analysis Of Solid Waste Management And Greenhouse Gas Emissions In México: A Study Case In The Central Region. *Scientific Research Publishing*, 146-159. https://www.researchgate.net/publication/276384894_Analysis_of_Solid_Waste_Management_and_Greenhouse_Gas_Emissions_in_Mexico_A_Study_Case_in_the_Central_Region

Celis, M. P. (2020). *Biodigestores Como Alternativa Para El Aprovechamiento De Los Residuos Orgánicos Generados En Zonas Rurales*. Dspace. Recuperado 4 De Enero De 2022, De <https://Dspace.Tdea.Edu.Co/Bitstream/Handle/Tdea/1446/Informe%20biodigestores.Pdf?Sequence=1&Isallowed=>

Cepal, Rondón, E., Szantó, M., & Pacheco, J. (2016). *Guía General Para La Gestión De Residuos Sólidos Domiciliarios* (N.º 2). Naciones Unidas. Tomado De : <https://Www.Cepal.Org/Es/Publicaciones/40407-Guia-General-La-Gestion-Residuos-Solidos-Domiciliarios>

Chacín, C. P. (2008). Manejo Integrado De Residuos Sólidos: Programa De Reciclaje. Instituto Pedagógico De Caracas . *Revista De Investigación N° 63.*, 173-200. Tomado De : <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376140378008.pdf>

Cardoso, E. L., Odales, L., & Carabeo, A. (2020). *Recopilación De Aspectos Teóricos Sobre Las Tecnologías De Producción De Biogás A Escala Rural*. Scielo. Recuperado 18 De Enero De 2022, De <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v40n2/2224-6185-rtq-40-02-303.pdf>

Cobaleda, J. (2015). *Evaluación Del Proceso De Lombricompostaje Mediante La Utilización De Lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) Para La Producción De Abonos Con Los Residuos Orgánicos Generados En La Cafetería Central De La Universidad Del Valle*. Universidad Del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/15882/0527746.pdf?sequence=1&isallowed=Y>

Córdoba, V. (2016). *Estudio De La Cinética De La Digestión Anaeróbica De Residuos Orgánicos Y Agroindustriales*. Conicet. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84167/Conicet_Digital_Nro.92ad98c9-303f-4735-b493-3e4ad6764bd1_A.pdf?sequence=2&isallowed=Y

Cortés, M. D., Gata, E. M., & Pipió, A. (2017). *Biocombustibles: Tipos Y Estrategias De Producción*. Upo. <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/numero35/destacado-1.pdf>

Departamento Nacional De Planeación. (2016). *Disposición Final De Residuos Sólidos (No 9)*. <http://webdav.superservicios.gov.co:8080/content/download/23144/187347/version/1/file/informe+nacional+2016+disposici%C3%B3n+final+de+residuos+s%C3%B3lidos+%281%29.pdf>

- Fagbenle, O. M. (2013). Renewable Municipal Solid Waste Pathways For Energy Generation And Sustainable Development In The Nigerian Context. *International Journal Of Energy And Environmental Engineering* , 1-17. Springer Link <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-4-42>
- Flores, D. (2003). Guía Práctica N°2 Para El Aprovechamiento De Residuos Sólidos Orgánicos. *Ipes*, 8-12. <http://rfd.org.ec/biblioteca/pdfs/LG-056.pdf>
- Ferreira, L. C. (2013). *Evaluación De La Biodegradabilidad Anaerobia De Residuos Orgánicos Pre-Tratados Térmicamente* . España : [Tesis Doctoral] Universidad De Valladolid . <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/4439>
- García, A. C. (2020). *Diagnóstico Y Análisis De La Transformación Socioambiental En El Área De Influencia Del Relleno Sanitario Doña Juana En La Vereda Mochuelo Alto Entre Los Años 2010 A 2020*. [Tesis Posgrado] Repositorio Uan. <Http://Repositorio.Uan.Edu.Co/Bitstream/123456789/2028/1/2020auracristinagarc%C3%Adaot%C3%A1lora.Pdf>
- García, V. (2015). *Manual De Biogás*. Gba. Tomado De: Https://Www.Gba.Gob.Ar/Sites/Default/Files/Agroindustria/Docs/Manual_De_Biogas01.Pdf
- Gladys Jaramillo Henao, L. M. (2008). *Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia*. Antioquia. BiBloteca Digital. [Tesis de Grado] Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Giz México. (2018). *Proyectos De Aprovechamiento Energético A Partir De Residuos Urbanos En México*. Tomado De <Https://Www.Giz.De/En/Downloads/Giz2019-Es-Enres-Proyectos-De-Aprovechamiento.Pdf>

- Gobbi, D. P. (2014). *Biología Reproductiva Y Caracterización Morfológica De Los Estadios Larvarios De Hermatita Illucens. Bases Para Su Producción Masiva En Europa. España.* <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/28345>
- Gómez, W. L. (2018). *Evaluación De Un Sistema De Vermicultura Utilizando Larvas De Hermetia Illucens Para El Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Generados En La Plaza De Mercado La Rosita.* Digital. https://Repository.Upb.Edu.Co/Bitstream/Handle/20.500.11912/5180/Digital_36266.Pdf?Sequence=1
- Gonçalves, L. (2013). *Evaluación De La Biodegradabilidad Anaerobia De Residuos Orgánicos Pre-Tratados Térmicamente.* [Tesis Doctoral.] Universidad de Valladolid <https://Uvadoc.Uva.Es/Bitstream/Handle/10324/4439/Tesis476-140226.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Yhttps://Www.Fao.Org/3/I3388s/I3388s.Pdf>
- González, V., & Damasseno, S. (2019). *Guía Teórico-Práctica Sobre El Biogás Y Los Biodigestores.* Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura. [Http://Www.Probiomasa.Gob.Ar/_Pdf/Guiadebiogasybiodigestores-19-08-29.Pdf](http://Www.Probiomasa.Gob.Ar/_Pdf/Guiadebiogasybiodigestores-19-08-29.Pdf)
- González-Sánchez, S. P.-F.-V. (2015). Residuos Agroindustriales Con Potencial Para La Producción De Metano Mediante La Digestión Anaerobia. *Revista Argentina De Microbiología*, 229-235. Science Direct <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754115000826>
- Gutiérrez, L. R. (2018). La Generación De Residuos Orgánicos En Cundinamarca Y Sus Mecanismos De Aprovechamiento En La Generación De Eneías Limpias. 5-8.: https://Repository.Ucc.Edu.Co/Bitstream/20.500.12494/17416/1/2019residuos_Mecanismos_Aprovechamiento.Pdf

Herrera, A., & Prieto, R. (2019). *Análisis De Sostenibilidad Ambiental Del Relleno Sanitario Doña Juana, En La Cuenca Del Río Tunjuelo A Través De La Metodología Iica Para La Determinación De Huella Hídrica*. Repositorio Usta. <https://Repository.Usta.Edu.Co/Bitstream/Handle/11634/16067/2019andresherrera.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y>

Huérfano, M. C. (2020). *Impactos Ambientales Sobre El Manejo De Residuos Sólidos Del Relleno Sanitario De Doña Juana En Bogotá, D.C.* Pedagógica. <http://Repository.Pedagogica.Edu.Co/Bitstream/Handle/20.500.12209/12879/Impactosambientalessobreelmanejoderesiduossolidosdelrellenosanitariodo%C3%B1ajuanabogotadc.Pdf?Sequence=1>

Informe De Disposición Final De Residuos Sólidos – 2017. (2018). Dnp. https://Superservicios.Gov.Co/Sites/Default/Archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2._Disposicion_Final_De_Residuos_Solidos_-_Informe_2017.Pdf

Klug, M. (2012). *Vista De Pirólisis, Un Proceso Para Derretir La Biomasa*. Revista Química, Pucp. <https://Revistas.Pucp.Edu.Pe/Index.Php/Quimica/Article/View/5547/5543>

Makishah, N. H. (2017). Bioenergy: Microbial Biofuel Production Advancemen. *International Journal Of Pharmaceutical Research&Allied Sciences*, 93-106. <https://ijpras.com/storage/models/article/W0JDdFW1M9hQDGGbNkMnli28TW9LBxpcGG4id2VAtG3Tib3XxjWqN3cy350S/bioenergy-microbial-biofuel-production-advancement.pdf>

Mediana, J. A., Jiménez, I., & Aguirre, I. (2002). *Minimización Y Manejo Ambiental De Los Residuos Sólidos* (1.^A Ed., Vol. 6). Semarnat. Tomado De: <http://Www.Ingenieroambiental.Com/4014/Minimiza6.Pdf>

Molano Camargo, Frank (2019). "El Relleno Sanitario Dona Juana En Bogotá: La Producción Política De Un Paisaje Tóxico,1988-2019*". *Historia Critica*°74:127-149. Scielo

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S012116172019000400127&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Moratorio, I. R. (2012). Conversión De Residuos Sólidos Urbanos En Energía. *Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica*, 115-126. Tomado De: [Https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/335340914.Pdf](https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/335340914.Pdf)

Monika Kuźnia, . W. (2015). Analysis Of The Combustion Products Of Biogas Produced From Organic Municipal Waste. *Journal Of Power Technologies* , 157-165. <https://papers.itc.pw.edu.pl/index.php/JPT/article/view/655>

Minam. (2015). *Contaminación Ambiental Causada Por Los Residuos Sólidos*. Obtenido De [Https://Www.Minam.Gob.Pe/Proyecolegios/Curso/Curso-Virtual/Modulos/Modulo2/2primaria/M2_Primary_Sesion_Aprendizaje/Sesion_5_Primary_Grado_6_Residuos_Solidos_Anexo4.Pdf](https://Www.Minam.Gob.Pe/Proyecolegios/Curso/Curso-Virtual/Modulos/Modulo2/2primaria/M2_Primary_Sesion_Aprendizaje/Sesion_5_Primary_Grado_6_Residuos_Solidos_Anexo4.Pdf)

Natarianto Indrawan, A. K. (2019). Distributed Power Generation Via Gasification Of Biomass And Municipal Solid Waste. *Journal Of The Energy Institute*, 1-21. Science Direct : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967120301239>

Palau, E., & Virginia, C. (2012). *Digestión Anaerobia De Residuos De Biomasa Para La Producción De Biogás*. Riunet. <https://onx.la/526e3>

Parra, R. A. (2016). *Digestión Anaeróbica: Mecanismos Biotecnológicos En El Tratamiento De Aguas Residuales Y Su Aplicación En La Industria Alimentaria*. Scielo. [Http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Pml/V10n2/V10n2a14.Pdf](http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Pml/V10n2/V10n2a14.Pdf)

Penagos J, J. A. (2011). Reducción De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia Por Medio Del Compostaje Líquido. *Ingeniare,[Tesis de Grado] Universidad Libre-Barranquilla.*, 37-44. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/643>

Programa Para La Gestión De Residuos Sólidos Orgánicos Para La Ciudad De Bogotá. (2010).
Unidad Administrativa Especial De Servicios Públicos.
https://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/Programaorganicos.Pdf

Quevedo, P. (2019). *Estudio De Factibilidad De Un Sistema De Aprovechamiento Para El Manejo Integral Y Disposición Final De Los Residuos Sólidos Orgánicos En El Casco Urbano Del Municipio De Granada- Cundinamarca.* [Tesis de Grado] Repositorio Usta.
<https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/23140/13/2019paulaquevedo.Pdf>

Rachel Namuli, C. B. (2011). Energy, A Computer Program For Modeling The Conversion Of Organic Waste To. *Energies.* <https://www.mdpi.com/1996-1073/4/11/1973>

Reyes, E. A. (2017). *Vista De Generación De Biogás Mediante El Proceso De Digestión Anaerobia, A Partir Del Aprovechamiento De Sustratos Orgánicos.* Farem. Recuperado 27 De Enero De 2022, De <https://www.camjol.info/index.php/farem/article/view/5552/5248>

Román, P., & Martínez, M. (2013) Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura, *Manual De Compostaje Del Agricultor* (No 1). Tomado De: <https://www.fao.org/3/I3388s/I3388s.Pdf>

Salinas Callejas, Edmar; Gasca Quezada, Víctor Los Biocombustibles El Cotidiano, Núm. 157, Septiembre-Octubre, 2009, Pp. 75-82 [Tesis der Grado] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco Distrito Federal, México <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>

Sánchez, J. L. (2012). *Modelación De La Incineración De Residuos Sólidos Urbanos Como Alternativa Complementaria Al Relleno Sanitario Doña Juana En Bogotá.* Repositorio Javeriana. [Tesis de Grado] universidad javeriana <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8977/S%C3%A1ncheztolosajorge%C3%B3n2012.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y>

- Saavedra, R., Alamo, M. V., & Marcelo, M. D. (2017). *Diseño De Un Biodigestor Tubular Para Zonas Rurales De La Región Piura*. Perusolar Org. Recuperado 2 De Febrero De 2022, De [Http://Www.Perusolar.Org/Wp-Content/Uploads/2017/12/Garcia-Rafael_Biodigestor.Pdf](http://Www.Perusolar.Org/Wp-Content/Uploads/2017/12/Garcia-Rafael_Biodigestor.Pdf)
- Sandoval, C. (2007). Caracterización Microbiológica De Lodos Anaerobios Utilizados En El Tratamiento De La Fracción Orgánica De Los Residuos Sólidos Urbanos . *Scientia Et Technica*, <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5503>
- Salamanca, E. (2014). *Estrategias Para El Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En La Plaza De Mercado De Fontibón, Bogotá D.C.* Scielo. [Https://Ridum.Umanizales.Edu.Co/Xmlui/Bitstream/Handle/20.500.12746/1931/Salamanca_Castro_Eduad_Mauricio_2014.Pdf?Sequence=1](https://Ridum.Umanizales.Edu.Co/Xmlui/Bitstream/Handle/20.500.12746/1931/Salamanca_Castro_Eduad_Mauricio_2014.Pdf?Sequence=1)
- Sierra, J. A.-N.-M. (Julio De 2014). *Redalyc*. Obtenido De Redalyc : [Https://Www.Redalyc.Org/Pdf/206/20633274006.Pdf](https://Www.Redalyc.Org/Pdf/206/20633274006.Pdf)
- Siles, F. A. (2012, Junio). *Generación De Energía Erétricas A Partir De Producción De Biogás*. [Https://Tesis.Ipn.Mx/Bitstream/Handle/123456789/10549/136.Pdf?Sequence=1&Isallosed=Y](https://Tesis.Ipn.Mx/Bitstream/Handle/123456789/10549/136.Pdf?Sequence=1&Isallosed=Y)
- Silva Dos Santosa, N. D. (2018). Assessment Of Potential Biogas Production From Multiple Organic Wastes In Brazil: Impact On Energy Generation, Use, And Emissions Abatement. *Resources, Conservation & Recycling*, 54-63.
- Social, C. N. (2016). Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos. *Departamento Nacional De Planeación*, 1-73.
- Soh, L. (2016). Biocombustibles De Segunda Generación De La Biomasa De Palma De Aceite. *Palmas*, 37(Especial Tomo Ii), Pp. 137-148.

- Tavizón, E. V. (2010). *Diseño De Un Biodigestor Para Desechos Orgánicos De Origen Vegetal*. Centro De Investigación En Materiales Avanzados. [Http://Mwm.Cimav.Edu.Mx/Wp-Content/Uploads/2015/04/Tesis-Tavizon-Alvarado-Eva-Patricia.Pdf](http://Mwm.Cimav.Edu.Mx/Wp-Content/Uploads/2015/04/Tesis-Tavizon-Alvarado-Eva-Patricia.Pdf)
- Tobares., L. (2012). *La Importancia Y El Futuro Del Biogás En La Argentina*. Petrotecnica. [Https://Www.Petrotecnica.Com.Ar/1_2013/Petrotecnica/Pdfssinpublic/Laimportancia.Pdf](https://Www.Petrotecnica.Com.Ar/1_2013/Petrotecnica/Pdfssinpublic/Laimportancia.Pdf)
- Uaesp. (2020). *Plan Integral De Residuos Sólidos*. Bogota. Pág. 23. (2018) Tomado De: [Https://Www.Ciudadlimpia.Com.Co/Site/Images/Image_Redicion_Cuentas/Informe%20d%202018/Audiencia%202019%20ciudad%20limpia.Pdf](https://Www.Ciudadlimpia.Com.Co/Site/Images/Image_Redicion_Cuentas/Informe%20d%202018/Audiencia%202019%20ciudad%20limpia.Pdf)
- Upme. (2018). *Valorización Energética De Residuos: Proyecto Wte Colombia (N.º02)*. Inerco. Tomado De: [Https://Bdigital.Upme.Gov.Co/Bitstream/001/1339/5/Productos%201%2c2%20y%203_V2.Pdf](https://Bdigital.Upme.Gov.Co/Bitstream/001/1339/5/Productos%201%2c2%20y%203_V2.Pdf)
- Urien, A. (2012). “*Obtención De Biocarbones Y Biocombustibles Mediante Pirólisis De Biomasa Residual*”. Consejo Superior De Investigación Científica. [Https://Digital.Csic.Es/Bitstream/10261/80225/1/Biocarbones_Cenim_Csic.Pdf](https://Digital.Csic.Es/Bitstream/10261/80225/1/Biocarbones_Cenim_Csic.Pdf)
- V. E. Messerle A. L. Mossé, A. B. (2020). Recycling Of Organic Waste In A Plasma Reactor. *Journal Of Engineering Physics And Thermophysics*, 987-997.
- Zamudio, D., García, J. F., & Gutiérrez, C. (2019). *Conversión De Residuos A Biocombustibles*. Novedades Científicas. [Https://Www.Revistaciencia.Amc.Edu.Mx/Images/Revista/70_1/Pdf/Residuosbiocombustibles.Pdf](https://Www.Revistaciencia.Amc.Edu.Mx/Images/Revista/70_1/Pdf/Residuosbiocombustibles.Pdf)