

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL RELLENO DE
DOÑA JUANA PARA OBTENCIÓN DE ENERGÍA**

DANIEL FELIPE GARZÓN AMAYA

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2019**

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL RELLENO DE
DOÑA JUANA PARA OBTENCIÓN DE ENERGÍA**

DANIEL FELIPE GARZÓN AMAYA

**Monografía para optar el título de Especialista en
Gestión ambiental**

**Orientador(a):
MONIKA ECHAVARRIA
Bióloga**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN GESTION AMBIENTAL
BOGOTA D.C.
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., marzo 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Directora Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Emerson Mahecha Roa

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.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, a Dios,
y a los tutores que hicieron posible este trabajo.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCION | 14 |
| OBJETIVOS | 16 |
| 1. TECNICAS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS. | 17 |
| 1.1. PIROLISIS | 17 |
| 1.1.1. Reactor para pirolisis lenta. | 19 |
| 1.1.1. Reactores para pirolisis rápida o flash. | 18 |
| 1.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA | 22 |
| 1.2.1. Metanización | 24 |
| 1.3. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD | 25 |
| 1.3.1. Motores de combustión interna | 26 |
| 1.3.2. Turbinas de gas | 26 |
| 1.3.3. Microturbinas | 27 |
| 2. PARAMETROS DE LAS TECNICAS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS. | 30 |
| 2.1. PIROLISIS | 30 |
| 2.2. DIGESTION ANAEROBIA (METANIZACIÓN) | 31 |
| 3. PARAMETROS DEL RELLENO SANITARIO DE DOÑA JUANA | 32 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO DEL RSDJ | 32 |
| 3.2. ENTRADAS AL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA | 34 |
| 3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS | 35 |
| 3.3.1. Suelo | 37 |
| 3.4. EVIDENCIA DE LAS PROBLEMÁTICAS | 39 |
| 4. VIABILIDAD TÉCNICA DE LOS APROVECHAMIENTOS ENERGÉTICOS EN EL RELLENO DE DOÑA JUANA | 41 |
| 4.1 ANÁLISIS PARA LA PIROLISIS | 41 |
| 4.2. ANÁLISIS PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA | 43 |
| 4.2.1. Metanización. | 44 |
| 4.3. TRATAMIENTO DEL BIOGÁS | 46 |
| 4.3.1. Remoción del Dióxido de Carbono | 46 |
| 4.3.2. Remoción de Sulfuro de Hidrógeno | 47 |
| 4.3.3. Remoción de Hidrocarburos Halogenados | 47 |
| 4.3.4. Remoción de Siloxanos | 47 |
| 4.3.5. Remoción de Oxígeno y Nitrógeno | 47 |
| 4.4. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL BIOACEITE | 47 |
| 4.5. MARCO LEGAL | 49 |

| | |
|--------------------|----|
| 5. CONCLUSIONES | 57 |
| 6. RECOMENDACIONES | 58 |
| BIBLIOGRAFIA | 59 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Ventajas y desventajas de los tipos de generadores de energía. | 29 |
| Cuadro 2. Descripción de las zonas del relleno sanitario "Doña Juana" | 32 |
| Cuadro 3. Normas de la constitución política colombiana referente a residuos sólidos orgánicos. | 50 |
| Cuadro 4. Leyes de Colombia referente a residuos sólidos orgánicos. | 51 |
| Cuadro 5. Decretos de Colombia referente a residuos sólidos orgánicos. | 52 |
| Cuadro 6. Resoluciones de Colombia referente a residuos sólidos orgánicos. | 54 |

ÍNDICE DE IMAGENES

| | pág. |
|---|------|
| Imagen 1. Horno rotatorio | 18 |
| Imagen 2. Reactor de lecho burbujeante con un precipitador electroestático. | 19 |
| Imagen 3. Reactor de lecho circulante | 20 |
| Imagen 4. Reactor ablativo. | 21 |
| Imagen 5. Reactor cónico giratorio con el proceso integrado. | 22 |
| Imagen 6. Esquema general de la pirolisis. | 43 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Condiciones del residuo de la metanización | 25 |
| Tabla 2. Cantidad de flujo de gas de acuerdo al tamaño del motor. | 26 |
| Tabla 3. Parámetros de operación de procesos de pirolisis. | 30 |
| Tabla 4. Rendimiento de cada tipo de pirolisis según fracciones obtenida. | 31 |
| Tabla 5. Descripción del porcentaje de los productos de la pirolisis | 42 |
| Tabla 6. Calidad de gases de digestor según materia prima | 44 |

RESUMEN

Entendiendo el avanzado aumento y creación de residuos en el mundo y el inevitable agotamiento de espacio para su disposición, además, de sus afectaciones al medio y a la salud tanto de los humanos como los animales y cualquier ser vivo se planteó una alternativa para los residuos esencialmente los residuos orgánicos los cuales son los que más producen efectos como olores, vectores, daños al suelo y demás si no se disponen de buena manera.

Ya planteado ese pensamiento esta monografía se ubica principalmente en el relleno sanitario de Doña Juana situado en Bogotá, Colombia el cual es un claro ejemplo de todos los problemas que acarrea tener un relleno sanitario a tope ya que este ha presentado derrumbes, problemas a la comunidad, presencia de ratas, ratones, moscas y otros vectores perjudiciales; y más que verlo como un problemas se puede ver como una oportunidad usando estos desechos orgánicos como materia prima para otro proyecto como energía. Por esta razón, este trabajo contempla la obtención de biogás y/o bioaceite en el relleno de Doña Juana principalmente de los residuos orgánicos por medio de métodos biológicos o térmicos (Digestión anaerobia o pirolisis) analizando su viabilidad técnica con el fin de usarlos en generadores que produzcan energía eléctrica o calórica para que así pueda ser usada en comunidades aledañas al lugar en gestión.

Teniendo como ejemplo otros países que hayan incursionado en el tema e planteara los parámetros tanto de los métodos como del lugar en cuestión (relleno sanitario de Doña Juana) para finalmente ser cruzados y analizar si es viable el desarrollo del proyecto de una forma técnica.

Palabras claves: residuos orgánicos, relleno sanitario Doña Juana, aprovechamiento energético.

ABSTRACT

Understanding the advanced increase and creation of waste in the world and the inevitable exhaustion of available space, moreover, of its effects to the environment and to the health of humans as animals and any be alive raised an alternative to the waste essentially organic waste which those who are most produce effects like smells, vectors, damage to the ground and others if they do not have in a good way.

Already raised that thought this monograph is mainly located at the Doña Juana landfill located in Bogotá, Colombia, which is a clear example of all the problems that entails having a landfill butt since this has presented landslides, problems to the community, the presence of rats, mice, flies and other harmful vectors; and rather than seeing it as a problem can be seen as an opportunity using these organic waste as raw material for other projects such as energy. For this reason, this work includes obtaining biogas and/or minor in the filling of Doña Juana mainly organic waste through biological or thermal methods (Anaerobic Digestion or pyrolysis) analyzing their technical feasibility in order use in generators that produce electrical or caloric energy so that it can thus be used in communities surrounding the place in management.

Taking as an example other country who have dabbled in the subject and the parameters of both the methods and the site in question (Doña Juana landfill) to be raised to be finally crossed and analyze if feasible the development of the project in a technique.

Key words: organic waste, landfill Doña Juana, energy use.

INTRODUCCION

El tema de los residuos según menciona Moratorio et al¹ ha sido un tema de preocupación mundial ya que atañe al medio ambiente y por ende a todos los seres vivos, en caso de Europa la comisión de este continente genero una jerarquía para el manejo de estos residuos; con el fin de reducir la llegada de estos residuos a la disposición final, se pretende tener una gestión desde su producción con una reducción desde este punto y ya cuando esto no se pueda evitar incentivar a su reciclaje y/o reutilización ya en una siguiente instancia en donde no sea factible el reciclaje cuando la estrategia de recuperación de residuos no permita su utilización se recurre a la última opción menos deseable, disponer de estos desechos en un relleno sanitario o cualquier disposición final.

Según el Banco Mundial² la producción mundial de residuos aproximada de 1600 millones de toneladas ya se nota el deterioro que este genera en el medio ambiente, sin contar los numerosos costos que acarrea llevar la limpieza, tratamiento y aprovechamiento o disposición de estos residuos que cada día crece más, estos costos se estiman en unos 100 millones al año, y aun así se ven problemas.

Y a pesar de tal gestión según Moratorio et al³ la llegada de estos residuos a los rellenos es significativa y aun se esperan alternativas que le den uso a estos desechos aglomerados ya que la tecnología de solo el relleno no es suficiente; una de las más atractivas opciones que tienen estos desechos es el potencial energético aprovechable por medio del metano.

teniendo en cuenta que en América latina la mitad de los residuos urbanos son orgánicos tiende a ser una oportunidad darle valor dado el caso que puede ser aprovechado para energía o simple compostaje que a su vez da nuevas opciones de trabajo y generar crecimiento económico; por estos motivos esta energía alternativa ha sido de gran interés no solo por el impacto económico sino que se le

¹ MORATORIO, Diego; ROCCO, Ignacio; CASTELLI, Marcelo. Conversión de residuos sólidos urbanos en energía. En: Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica [Base académica Ebsco Host]. Montevideo. 2012, vol. 10, p. 115-126. ISSN 1510-7450. [Consultado el Dic 7 ,2018]. Disponible en: http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_solidos_urbanos-en_energia.pdf

² BANCO MUNDIAL. Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. [Sitio web]. Sec. Noticias. Septiembre 20,. [Consultado el Dic 7 ,2018]. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

³ MORATORIO; ROCCO; CASTELLI. Op. Cit., p. 115-126.

suma el ambiental, social y hasta político ya que son energías limpias y evitan que el problema de los residuos crezca.

Ya para el caso específico de Colombia según⁴ se produce alrededor de 10 millones y se estima que un porcentaje mayor al 60% pertenece a orgánico un 10% es reciclado y el restante es inorgánico; también dicen las estadísticas que más de un 50% de las basuras tienen un mal manejo, y más que un problema este trabajo busca presentar una solución y en vez de generar contaminación y quitar espacio se espera que se pueda generar energía y oportunidad de trabajo.

⁴ CARDENAS, Olga Lucía; SOTELO ROJAS, Hernando; CHÁVEZ PORRAS, Álvaro. Diseño y proyección logística de un centro de acopio y manejo de residuos sólidos para el relleno sanitario Doña Juana. Universidad Militar Nueva Granada. 2011. [Consultado el Dic 7 ,2018]. Disponible en: https://www.umng.edu.co/documents/10162/745280/V3N1_3.pdf

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión de la literatura recopilando las técnicas de aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y evaluar la viabilidad técnica para su aplicación en el relleno de Doña Juana.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las técnicas de aprovechamiento energético de los residuos orgánicos en Holanda, Suiza y Estados Unidos.
- Determinar los parámetros de las técnicas por el cual se obtiene energía a partir de los residuos orgánicos.
- Identificar las características del relleno de Doña Juana y sus desechos orgánicos.
- Evaluar la viabilidad de las técnicas identificadas para ser aplicadas en el relleno de Doña Juana.

1. TECNICAS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS.

1.1. PIROLISIS

Según menciona Aristizabal⁵ este proceso se da por una descomposición en presencia de calor y ausencia de oxígeno, y posterior a este paso se hace la combustión y/o gasificación incluso si se desea hacer solo gasificación o combustión la pirolisis debe ser el primer paso. Y adiciona Greepeace⁶ que al ser este un proceso sin oxígeno es muy apetecido ya que reduce problemas como corrosividad, polimerización y alta viscosidad, y respecto a la mejor aplicabilidad sin dudar sería la obtención de energía ya sea mecánica o térmica.

Tal como indica Aristizabal⁷ este es un proceso que maneja la temperatura y las presiones para su funcionamiento, a través de los años se ha descubierto que al realizar cambios en estos parámetros obtenemos distintos resultados y por ende tenemos diferentes tipos de pirolisis (pirolisis lenta, pirolisis rápida y pirolisis flash) que se realizan en distintos reactores, los reactores para pirolisis flash son los mismos ya que soportan altas temperaturas.

1.1.1. Reactor para pirolisis lenta: A continuación, se presenta toda la información relacionada con los reactores de pirolisis lenta.

- **Horno rotatorio:**

Según Cortazar⁸ es un horno de forma cilíndrica que va girando para tener un quemado parejo y mayor eficiencia en el intercambio de calor, además, tiene una inclinación entre 1° – 10° para garantizar el avance de los residuos y así se obtenga el secado y la descomposición del mismo; por su esquema de avance lento este equipo es usado únicamente para pirolisis lenta.

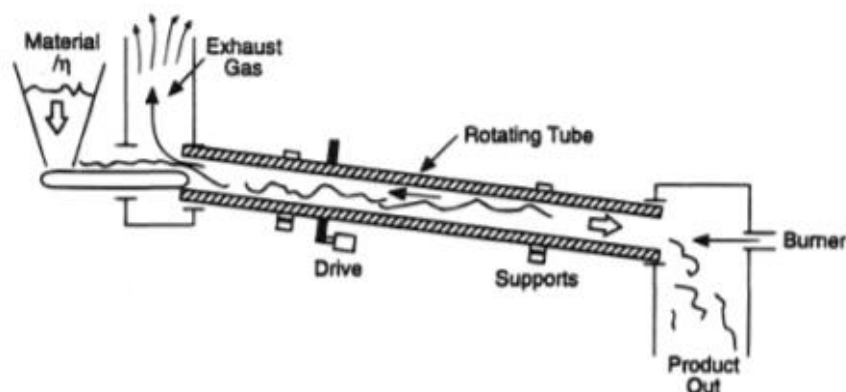
⁵ ARISTIZABAL, Catalina and SÁCHICA, María Stella. El Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Domiciliarios No Tóxicos. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Abogadas. Pontificia Universidad Javeriana. EN BOGOTÁ D.C. 2001. P. 36. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere2/Tesis54.pdf>

⁶ Greenpeace. Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución. En: Greenpeace [Base académica Ebsco Host]: Buenos Aires, Argentina: 2011. p. 11. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf.

⁷ ARISTIZABAL y SÁCHICA. Op. Cit., P. 36

⁸ CORTAZAR DUEÑAS, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Ingeniera Química. Universidad del País Vasco, 2014. P. 35. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://addi.ehu.es/handle/10810/14888>

Imagen 1. Horno rotatorio



Fuente: CORTZAR DUEÑAS, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. P. 36.

1.1.2. Reactores para pirolisis rápida o flash: La información presentada a continuación hace referencia a los reactores de pirolisis rápida o flash.

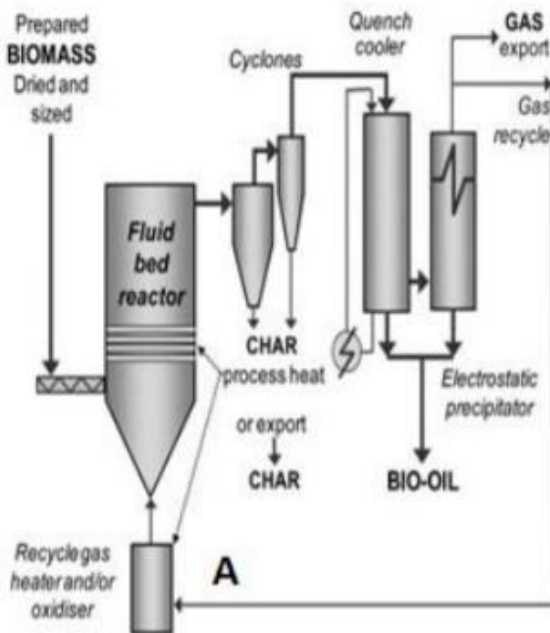
- **Reactor de lecho burbujeante:**

Según afirma Cortázar⁹ es un equipo de amplio uso debido a sus características que aumentan su eficiencia de transferencia de calor ya que se puede controlar la temperatura; en cuanto a tiempos de residencia están directamente relacionados con el control del agente de fluidización, que es ocasiones se usa como gas de recirculación en el sistema; y la ceniza o el char dura más tiempo en el sistema que los vapores y los productos obtenidos. Adicionalmente menciona Klug¹⁰ cuando se desea una mejor calidad del producto final (bioaceite) se usa reactores con lechos de arena.

⁹ CORTAZAR DUEÑAS. Op. Cit., P. 36.

¹⁰ KLUG, Michael. Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. En: Revista de Química PUCP. Lima, Perú. vol. 26, no. 1 – 2. 2012. P. 39. ISSN 1012-3946. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547/5543>

Imagen 2. Reactor de lecho burbujeante con un precipitador electrostático.



Fuente: Cortzar Dueñas, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. p. 37.

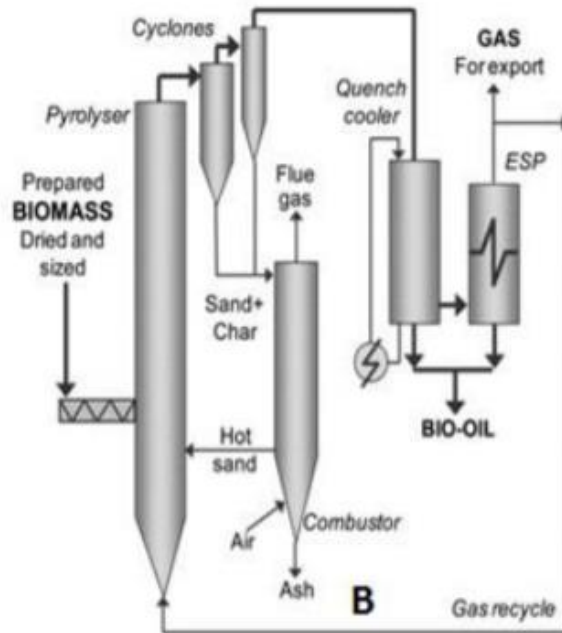
- **Reactor fluidizado circulante:**

Ledesman¹¹ añade que este reactor opera quemando el char como fuente de retroalimentación y evitar usar fuente de externa que añada calor a las arenas que regresan al lecho, el char se quema en el combustor con un suministro de calor dado por las arenas que recirculan en el sistema. Y Cortázar complementa diciendo que en este sistema el tiempo de transferencia de calor no son muy bajos por su baja velocidad de transferencia¹².

¹¹ LEDESMA MONTAÑO, Isabel. Diseño de una planta piloto de pirólisis rápida de la fracción orgánica de rechazo de RSU. Trabajo de grado. Ingeniería de las Tecnologías Industriales; Universidad de Sevilla. Dep. Ingeniería Química y Ambiental. 2017. P. 36. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf.

¹² CORTAZAR DUEÑAS. Op. Cit., P. 37

Imagen 3. Reactor de lecho circulante



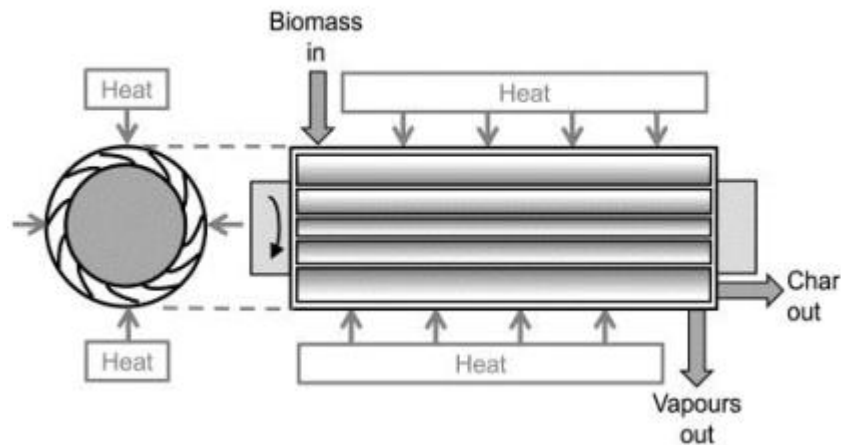
Fuente: Cortzar Dueñas, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. p. 37.

- **Reactor ablativo:**

Según Cortázar¹³ Es un reactor que usa fuerza centrífuga para alcanzar altas velocidades de impacto de las partículas que se descomponen de la alimentación que se le introduce al reactor (biomasa o desechos orgánicos) con las paredes del mismo; gracias a estos altos impactos entre las partículas y las paredes se da una alta transferencia de energía calórica de las paredes a la materia prima, permitiendo así tiempos de residencia del gas bajos y un 80% de producto líquido.

¹³ CORTAZAR DUEÑAS. Op. Cit., P. 37

Imagen 4. Reactor ablativo.



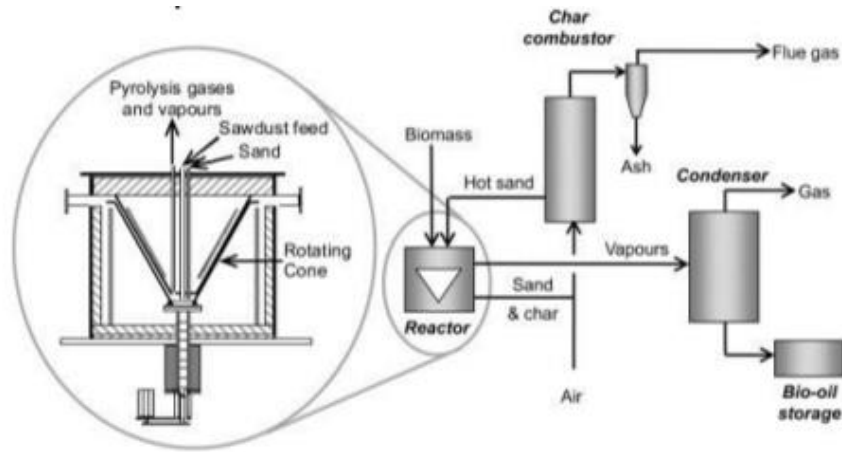
Fuente: Cortzar Dueñas, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. p. 37.

- **Reactor cónico rotatorio:**

Como asevera Obando¹⁴ este reactor usa fuerza centrífuga al igual que el anterior (reactor ablativo) pero con una mayor calidad de mezcla durante el proceso que permite un procesos de calentamiento mas rapido reduciendo asi los tiempos de residencia del gas y como consecuencia al proceso la cantidad de char es casi minima.

¹⁴ OBANDO, Gabriel Andres. Condiciones de diseño de un Reactor de Pirolysis a escala de laboratorio para la obtención de biocarbón a partir de Residuos Orgánicos Sólidos. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Manizales, Colombia 2015. P. 22. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2590/1/informe%20final%20trabajo%20in%20vestigacion%20Gabriel_Obando_2016.pdf

Imagen 5. Reactor cónico giratorio con el proceso integrado.



Fuente: Cortzar Dueñas, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. p. 38.

1.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA

Hernández y Tamayo¹⁵ afirman que este proceso permite la formación de biogás que es principalmente metano y dióxido de carbono y lodo que es una suspensión acuosa compuesta de microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica, estos productos se dan gracias a una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno.

Consuelo¹⁶ añade que los residuos con alto contenido de humedad son los más aptos para este tipo de procesos como césped, comida, hierba, hojas incluso hasta aguas residuales; de estas materias primas se obtiene como principal

¹⁵ HERNÁNDEZ CEBALLOS, Arley Camilo; TAMAYO GUERRA, Walter and LEÓN VÉLEZ, Oscar Arteaga. Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, aplicables en los municipios de la jurisdicción de Cornare. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Especialista en Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ingenierías. Caldas, Antioquia. 2016. P. 136. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1774/1/Aprovechamiento_residuos%20sólidos_organicos.pdf

¹⁶ CONSUELO DIAZ, Maria; ESPITIA VARGAS, Sandra and MOLINA PEREZ, Francisco. Digestión Anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. P. 11-25. ISBN 958-70 t-196-1. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/43178/2/9587011961_Parte%201.pdf

resultado el biogás, que como lo mencionamos antes en una mezcla de metano, dióxido de carbono y otros componentes (hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, oxigeno, nitrógeno) el cual el primero se encuentra entre un 50% a un 70% y el segundo entre un 30% y un 50% y el ultimo representa porciones mínimas; esto varía dependiendo de materia prima entrante del proceso y por ende la cantidad de gas que está entre los 350 l/kg de solidos degradables. Según menciona Castells¹⁷ y aunque no tiene un alto poder calorífico para operaciones industriales sirve en operaciones domesticas tales como calefacción, motores eléctricos domésticos, cocina, entre otros.

señala Yabu¹⁸ que la ausencia de aireación y la producción de gas en procesos anaerobios le dan ventaja sobre los procesos aerobios, aunque sea ambas alternativas de depuración biológica frente a los problemas de residuos tanto de aguas como orgánicas fermentables, ya que permite autonomía en la planta de tratamiento.

Lorenzo y Obaya¹⁹ expresan que en esta operación encontramos cuatro etapas de degradación (en su forma completa, aunque en ocasiones se usa dos (líquidos) o tres en donde un gran número de microorganismos descomponen la materia orgánica en un patrón en serie o en serie-paralelo; las etapas son hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis pero para residuos líquidos se pueden usar únicamente acidogénesis y metanogénesis.

- **HIDRÓLISIS O LIQUEFACIÓ:** En esta primera etapa contiene enzimas o también conocidas como exoenzimas provenientes de bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular, y cumplen la función de solubilizar los compuestos orgánicos, es decir, convertir polímeros en monómeros correspondientes a cada polímero.
- **ACIDOGÉNESIS:** En esta etapa se convierten los monómeros resultantes de la hidrolisis en ácidos orgánicos como por ejemplo butíricos y acéticos.

¹⁷ ELIAS CASTELLS, Xavier. Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos, 2009. P.138. ISBN 9788499693781. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3229178>

¹⁸ YABU, Hironori; et al. Thermophilic two-stage dry anaerobic digestion of model garbage with ammonia stripping. En: JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING. March 1. vol. 111, no. 3, p. 314. ISSN 1389-1723. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172310003592>

¹⁹ LORENZO ACOSTA, Yaniris; OBAYA ABREU, Ma Cristina, La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [en línea] 2005. P. 37. [Fecha de consulta: 21 de septiembre de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>> ISSN 0138-6204

- ACETOGÉNESIS O ACIDOGÉNESIS INTERMEDIARIA: Esta etapa es una adición a la anterior (acidogénesis) con el fin de obtener mayor descomposición de productos en ácido acético, hidrógeno y CO₂.
- METANOGÉNESIS: Es una etapa metabólica que busca mayor producción de CH₄ a partir de la unión de H₂ y CO₂ o ácido acético u otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol (El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible)²⁰.

1.2.1. Metanización: Lorenzo y Obaya²¹ denomina metanización al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos, dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno.

según Consuelo²², durante el proceso de transformación de la materia orgánica (digestión) dichas bacterias producen un gas denominado por su origen biogás, el cual se compone fundamentalmente de metano (CH₄) y de dióxido de carbono (CO₂); los porcentajes de participación de estos gases son variables y dependen de las condiciones fisicoquímicas en que se desarrolla la "digestión" de la materia orgánica; sin embargo, se puede considerar que el biogás es una mezcla de gases que está compuesta básicamente por:

- Metano (CH₄): 40 - 70 % vol.
- Dióxido de carbono (CO₂): 30 - 60% vol.
- Hidrógeno (H₂): 0 - 1% vol.
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S): 0 - 3% vol.”²³

Según Lorenzo y Obaya²⁴ para que este proceso se le presenta cuatro etapas fundamentales que son hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis tal como se explicó anteriormente sin incluir acidogénesis intermedia.

Además, agrega Emison²⁵ de generar biogás combustible, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes, su composición varía de acuerdo con el desecho utilizado, y en promedio un análisis en base seca es el siguiente:

²⁰ LORENZO ACOSTA; OBAYA ABREU. Op. Cit. P. 37.

²¹ Emison. METANIZACIÓN. [sitio web]. Bogotá D.C. Co. Dic 12, 2009 [Consultado el Oct 23,2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/23986937/METANIZACION>

²² CONSUELO DIAZ. Op. Cit., p. 20

²³ Emison. Op. Cit.

²⁴ LORENZO ACOSTA. Op. Cit. P. 37.

²⁵ Emison. Op. Cit.

Tabla 1. Condiciones del residuo de la metanización

| Parámetro | Valor |
|-------------------------|--------------|
| pH | 7.5 |
| Materia orgánica | 85% |
| Nitrógeno | 2,6% |
| Fósforo | 1,5% |
| Potasio | 1,0% |

Fuente: Emison. METANIZACIÓN. [Sitio web]. Bogotá D.C. Co. Dic 12, 2009 [Consultado el Oct 23,2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/23986937/METANIZACION>

Según Emison²⁶ la aplicación del efluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcancen con cualquier materia orgánica. Y agrega Yabu²⁷, la necesidad para las bacterias anaeróbicas de una atmósfera sin oxígeno obliga a confinar los residuos a tratar, en ambientes cerrados e impermeables denominados biodigestores.

1.3. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Según Kumar²⁸ la energía siempre ha sido la aplicación más rentable en cuanto al uso de residuos. Este proyecto es usado en tres cuartas partes de Estados Unidos y partes de Holanda, suiza. Después de la quema de las energías de gas de rellenos (LGF siglas en ingles) en equipos como motor de combustión interna, turbina de gas o microturbinas se obtiene dicha energía.

²⁶ Ibid.

²⁷ YABU, et al. Op. Cit., p. 312-319

²⁸ KUMAR, Ashutosh and SHARMA, M. P. Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. En: SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES AND ASSESSMENTS. vol. 5, p. 54.

1.3.1. Motores de combustión interna: Según la US EPA²⁹ el motor de combustión interna cuenta con bajos costos, alta eficiencia y el tamaño del motor complementa la salida del gas en algunos rellenos. Estos motores de combustión interna tienen un estándar de caudal de materia prima (LFG) entrante de 300 a 1.100 cfm en donde mínimo el 50 por ciento debe ser metano para realizar un proceso sostenible, además, debe este gas tener la capacidad de producir de 800 kW a 3 MW. A continuación, se muestra en la siguiente imagen con los tamaños de motor y su posible entrada de flujo.

Tabla 2. Cantidad de flujo de gas de acuerdo al tamaño del motor.

| Engine Size | Gas Flow (50% Methane) |
|-------------|------------------------|
| 540 kW | 204 cfm |
| 633 kW | 234 cfm |
| 800 kW | 350 cfm |
| 1.2 MW | 500 cfm |

cfm: cubic feet per minute kW: kilowatt MW: megawatt

Fuente: US EPA, OAR. Landfill Gas Energy Project Development Handbook. [1]. -04-21T01:52:18-04:00. [Consultado el Septiembre 23, 2018]. Disponible en: <https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook>

Según Rajaram³⁰ la eficiencia estandar de estos motores suelen ser del 30 al 40 por ciento, pero se ha notado mayores eficiencias en aplicaciones de cogeneración, donde existe una recuperacion del calor residual en el sistema de refrigeracion dl motor para hacer agua caliente, o del escape del motor para hacer vapor a baja presión.

1.3.2. Turbinas de gas: Según US EPA³¹, estas turbinas son principalmente usadas para proyectos de gran escala ya que los flujos de entrada superan los 1.300 cfm, y así mismo genera energía de mínimo de 3 MW, por tal razón son usados en proyectos grandes de electricidad. Añade Kumar y Sharma³² que el

²⁹ US EPA, OAR. Landfill Gas Energy Project Development Handbook. 2017. P. 3-4. [Consultado el 23 septiembre, 2018]. Disponible en: <https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook>

³⁰ RAJARAM, Raj; SIDDIQUI, Faisal Zia and KHAN, M. Emran. From landfill gas to energy: Technologies and challenges. Editorial: CRC press, 2011.

³¹ US EPA. Op. cit., p.3-4.

³² KUMAR and SHARMA. Op. cit., p. 55.

costo por kW de capacidad de generación de gotas como el tamaño de la turbina de gas aumenta causando un igual aumento en la eficiencia en la producción de electricidad. Según US EPA³³, las turbinas de este tipo que usan un ciclo simple que son usadas para el mismo propósito de generación de energía con materia prima generada de materia orgánica alcanza una eficiencia de 20 a 28 por ciento a una carga completa, pero con una carga parcial la eficiencia denota un decaimiento notable; por otro lado, en turbinas con ciclo combinado el cual consiste en la recuperación de calor residual provenientes de los gases de escape de turbina de gas que proporciona energía adicional, puede tener una eficiencia de un 40 por ciento más o menos. Pero al igual que las turbinas de ciclo simple una carga parcial reduce su eficiencia sustancialmente.

Menciona Rajaram³⁴ que estas turbinas cuentan con un par de ventajas respecto a los motores de combustión interna que son que tienen mayor resistencia a la corrosión y menores tasas de emisiones de óxido de nitrógeno; adicionalmente son más compactas y adicionalmente los costos de mantenimiento y operación son más bajos; sin embargo, para cumplir con las especificaciones de materia prima entrante del fabricante es necesario quitar los siloxanos a través de tratamientos.

Además, turbinas de gas son relativamente compactas y con bajos costos de operación y mantenimiento (O&M) en comparación con motores de combustión interna. Sin embargo, afirma US EPA³⁵ que puede requerirse tratamiento de LFG para remover siloxanos para cumplir las especificaciones del fabricante.

Añade US EPA³⁶ que una desventaja de estas turbinas es que la comprensión necesaria del gas debe ser alta alrededor de 165 psig o mayor, y por consiguiente se necesita más fuerza del sistema para lograr dicho sistema de comprensión (provocando una pérdida de carga parasitaria elevada).

1.3.3. Microturbinas: Afirma US EPA³⁷ que a pesar de que tiene mayor costo por proyecto que se basa en dólar por KW que el motor de combustión interna la

³³ US EPA. Op. cit., p.3-4.

³⁴ RAJARAM, Raj; SIDDIQUI, Faisal Zia and KHAN, M. Emran. From landfill gas to energy: Technologies and challenges. CRC press, 2011.

³⁵ US EPA. Op. Cit., p. 3-4

³⁶ Ibid. p. 3-4

³⁷ Ibid. p. 3-4

microturbina es más comercial para aplicaciones en rellenos sanitarios por diversas razones como:

- Necesita menor volumen de entrada que los motores de combustión interna
- Requiere menor porcentaje de metano en el caudal inicial (35%)
- Genera menor escape de óxidos de nitrógeno
- Puede añadir o quitar turbinas, así como cambios en la calidad del gas
- Debido a su baja capacidad de generación se le es fácil realizar interconexión, relativamente.³⁸

Señala US EPA³⁹ que dependiendo la capacidad de energía requerida y disponibilidad de materia prima las microturbinas tienen diferentes tamaños (30, 70 y 250 kW). Esto trae beneficios tales como:

- Reduce costo capital (a un dólar por kilovatio de la base de la capacidad instalada) para las microturbinas de sí mismo.
- Reduce costos de mantenimiento
- Reduce el balance de costos de instalación, reduciendo el número de microturbinas para llegar a la capacidad dada y poder reducir tubería, cableado y costos de fundación
- Mejora eficiencia (la tasa de calor de la microturbina de 250 kW se espera que sea alrededor del 3.3 por ciento mejor que los 70 kW y de 12.2 por ciento más de 30-kW)⁴⁰

³⁸ Ibid. p. 3-4

³⁹ Ibid. p. 3-4

⁴⁰ Ibid. p. 3-4

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de los tipos de generadores de energía.

| | Ventajas | Desventajas | Tratamiento |
|-----------------------------|--|--|---|
| Motor de combustion interna | <ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia comparada con turbinas de gas y microturbinas. • Buen tamaño que coinciden con la salida de gas de muchos vertederos. • Costo relativamente bajo en base de la capacidad instalada de kW en comparación con turbinas de gas y microturbinas. • Aumenta eficiencia cuando el calor de los residuos es recuperado. • Puede Agregar o quitar motores para seguir las tendencias de recuperación de gas. | <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de costo relativamente alto • El aire contiene relativamente altas emisiones. • Aumentan los costos en zonas marginales con poca electricidad. | Como mínimo, requiere de tratamiento primario de LFG; para un rendimiento óptimo del motor, tratamiento secundario puede ser necesario |
| Turbina de gas | <ul style="list-style-type: none"> • Costo por kW de capacidad de generación de gotas como el tamaño de la turbina de gas aumenta, y la eficiencia de la misma mejora. • Eficiencia aumenta cuando el calor es recuperado. • Más resistente a daños por corrosión. • Menos emisiones de óxidos de nitrógeno. • Relativamente compacto | <ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia con carga parcial en la unidad. • Requiere cargas parasitarias altas. • Alta compresión de gas • Aumentan los costos en zonas marginales con poca electricidad. | Como mínimo, requiere de tratamiento primario de LFG; para un rendimiento óptimo de la turbina, el tratamiento secundario puede ser necesario |
| Microturbina | <ul style="list-style-type: none"> • Requiere menor flujo de gas • Puede funcionar con menor porcentaje metano • Bajas emisiones de óxido de nitrógeno • Relativamente de fácil capacidad de interconexión para agregar y quitar unidades | Aumentan los costos en zonas marginales con poca electricidad. | Requiere un tratamiento bastante extenso de primario y secundario de LFG |

Fuente: US EPA, OAR. Landfill Gas Energy Project Development Handbook. [1]. -04-21T01:52:18-04:00. p. 3-7 [Consultado el septiembre 23,2018]. Disponible en: <https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook>

2. PARAMETROS DE LAS TECNICAS DE APROVECHAMIENTO ENERGETICO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS.

2.1. PIROLISIS

De acuerdo con Aristizabal⁴¹ dentro de la pirolisis se comprenden 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, bioaceite y gas), y estos procesos se realizan en tres diferentes tipos de pirolisis que se diferencian por sus condiciones y por sus productos; pirolisis lenta, pirolisis rápida, pirolisis flash.

- **PIROLISIS LENTA:** es el primer proceso que se hizo de pirolisis y se conoce como pirolisis convencional y maneja tiempos alrededor de 8 minutos y temperaturas de 300-600 °C y su actividad lenta provoca una mayor producción de char (o ceniza) que el producto deseado⁴².
- **PIROLISIS RÁPIDA:** Es un proceso que aumenta las temperaturas respecto a la pirolisis lenta que son de 600-1000 °C por ende reduce los tiempos de residencia a menos de medio minuto. Este proceso es muy utilizado industrialmente para bioaceite⁴³.
- **PIROLISIS FLASH:** En procesos que se desean menores tiempos de retención la temperatura aumenta alrededor de 1200°C, dando tiempos de menos de 10 segundos⁴⁴.

Tabla 3. Parámetros de operación de procesos de pirolisis.

| Tecnología de pirólisis | Tiempo de residencia del sólido, s | Velocidad de calentamiento, K/s | Tamaño de partícula, mm | Temperatura, °C |
|--------------------------------|---|--|--------------------------------|------------------------|
| Lenta | 450 – 550 s | 0.1 – 1 | 5-50 | 550 – 950 |
| Rápida | 0.5 – 10 s | 10 - 200 | <1 | 850 – 1250 |
| Flash | <0.5 s | >1000 | <0.2 | 1050 – 1300 |

Fuente: CORTZAR DUEÑAS, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. p. 34.

⁴¹ ARISTIZABAL. Op. Cit., p. 52.

⁴² CORTZAR DUEÑAS. Op. Cit., p. 34.

⁴³ Ibid. p. 34.

⁴⁴ KLUG, Op. Cit., p. 38.

La eficiencia de cada pirolisis varía dependiendo de la materia prima. Aun así, se tiene un rango⁴⁵

Tabla 4. Rendimiento de cada tipo de pirolisis según fracciones obtenida.

| Proceso | Rendimiento (%) | | |
|------------------|-----------------|---------|---------|
| | Líquidos | Char | Gas |
| Pirólisis lenta | 40 – 50 | 10 – 20 | 20 – 30 |
| Pirólisis rápida | 60 – 75 | 15 – 25 | 10 – 20 |
| Pirólisis flash | <10 | <10 | >80 |

Fuente: CORTZAR DUEÑAS, María. Estudio Comparativo De Tecnologías Comerciales De Valorización De Residuos Sólidos Urbanos. Universidad del País Vasco, 2014. p. 34.

2.2. DIGESTION ANAEROBIA (METANIZACIÓN)

Conforme a Lorenzo y Obaya⁴⁶ al ser un proceso biológico sensible conlleva condiciones presentes en el medio que llevan a una correcta degradación y posterior producción. Estos factores pueden ser tanto físicos como químicos los cuales incluyen:

- Componentes del residuo
- Compatibilidad del residuo o el digestor con las cargas, tiempos de retención (hidráulica y celular).
- Temperatura: evitar cambios bruscos y repetitivos de la temperatura en el proceso (temperatura optima 35°C).
- Acidez: Es determinante referente a la producción de biogás en cuanto a porcentaje y cantidad. Teniendo los mayores valores en un pH entre 6,6 y 7,6, que se controlan adicionando y controlando nutrientes.
- Contenido de solidos: se han visto mejores resultados en procesos con contenido de solido menor al 10% por tal motivo se prefiere la biomasa con alto contenido de humedad.
- Nutrientes: al ser alimento de las bacterias que descomponen estos nutrientes deben contener azufre, carbono, algunas sales minerales, fosforo, nitrógeno.
- Buena relación de la cantidad de carbono con el nitrógeno y el fosforo.
- Tóxicos: debe evitar elevadas cantidades de N y S que generen compuestos tóxicos como amoníaco o azufre, A parte del oxígeno, inhiben la digestión de concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas, además de metales pesados, metales alcalinos y alcalinotérreos.
- Evitar una cantidad por encima de la carga orgánica o toxica permitida en el proceso⁴⁷

⁴⁵ CORTZAR DUEÑAS. Op. Cit., p. 34.

⁴⁶ LORENZO ACOSTA; OBAYA ABREU. Op. Cit., P. 38.

⁴⁷ Ibid. P. 38.

3. PARAMETROS DEL RELLENO SANITARIO DE DOÑA JUANA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO DEL RSDJ

Como menciona Quintero⁴⁸ la ciudad de Bogotá cuenta con un lugar donde se designa la basura llamado Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ) ubicado en la localidad 19 (Ciudad Bolívar) al lado izquierdo del río Tunjuelo, vía Villavicencio por la Autopista, esta al sur de la sabana de la ciudad, entre los barrios Mochuelo alto y Mochuelo bajo; ha tenido un crecimiento espacial por zonas las cuales suman entre si 626 Ha, tal como se muestra en la ilustración 10.

Cuadro 2. Descripción de las zonas del relleno sanitario "Doña Juana"

| ZONA | PERIODO DE OPERACIÓN | VIDA ÚTIL (AÑOS) | ÁREA ACUPADA (Ha) | ESTADO |
|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------|
| Zona I (Área 1) | Nov (88) a Sep (93) | 4.2 | 50.2 | Clausurado |
| Zona I (Área 2) | Sep (93) a Feb (95) | 2.3 | 20.8 | Clausurado |
| Zona Mansión | Feb (95) a Oct (95) | 0.66 | 10 | Clausurado |
| Zona II (Área 1) | Oct (95) a Sep (97) | 2 | 25 | Clausurado |
| Zona II (Área 2 y 3) | Oct (98) a Jul (00) | 2 | 6.1 | Clausurado |
| Zona IV | Sep (97) a Ene (99) | 1.4 | 19 | Clausurado |
| Zona VI | En caso de Emergencia | 1/12 | 3.2 | Operando |
| Zona VII | Ene (99) a Dic (02) | 3.0 | 40 | Clausurado |
| Zona VIII | Mar (02) | 6.2 | 41 | Operando |
| Celda Hospitalarios | Jun (98) | | 1.5 | Operando |
| Zona de Biosólidos | Oct (2002) | N.A | | Operando |

Fuente: ENGINEERS, SCS. Informe de evaluación relleno sanitario Doña Juana. En: METHANE TO MARKETS, BOGOTÁ. Pag 3.

⁴⁸ QUINTERO TORRES, Diana Isabel. El papel de la gestión territorial en la ubicación de rellenos sanitarios. Caso de estudio: relleno sanitario Doña Juana, Bogotá, Colombia. En: PERSPECTIVA GEOGRÁFICA. Bogotá, Colombia. vol. 21, no. 2. 2016, p. 251. ISSN 0123-3769

Zona I (primera área): En esta zona se depositó basura durante un poco menos de 5 años con su posterior clausura y en su lugar se sembró un prado.

Zona I (Segunda área): En este lugar se construyó omitiendo tanto manejo de residuos peligrosos como tratamiento de lixiviados, pero sí se colocaron chimeneas de piedra en todas las capas del relleno para el manejo de los gases, pero al igual que la primera área esta clausurada ya que llenó su límite y tiene prado sembrado.

Zona Mansión: Esta zona operó solamente por 8 meses y se le construyó un sistema de extracción forzada de gases. Actualmente está clausurada y con prado.

Zona II: Esta zona estaba presupuesta a una vida útil entre 4 y 5 años con un almacenamiento de 3 millones de toneladas, pero colapsó cuando almacenaba alrededor de un millón de toneladas y duró su vida útil alrededor de 2 años. En cuanto a control de lixiviado, el manejo recaía en la recirculación dentro de la masa de basura, es decir, dependía del sistema de drenaje para equilibrar el balance de líquido entrante con el saliente; pero hubo fallas en el drenaje y por ende cayó el sistema acumulando gases y líquido en la parte de almacenamiento aumentando la presión en el subsuelo, cambiando también las características del material y debido a la geometría del terreno generó un derrumbe que terminó afectando el río Tunjuelito.

Después del derrumbe se realizó un plan de contingencia, donde el plan inicial consistió en realizar varios monitoreos (monitoreo de la estabilidad tanto de la zona deslizada como de la zona rellena; de las aguas superficiales tanto de los lixiviados como el río Tunjuelito; monitoreo de los gases producidos que generan malos olores principalmente metano, H₂S y NH₃ y por último monitoreo de elemento que tengan un nivel importante de radioactividad), atención tanto a la comunidad como al orden público. Tras este error se designó una nueva zona con un mejor diseño de recirculación y chimeneas de PVC para control de líquidos y gases; esta zona se denominó zona 4.

Como control de la zona de derrumbe se constituyeron tres áreas; la primera área fue la del colapso y fue clausurada inmediatamente y posteriormente revegetalizada; la segunda área se utilizó como reacomodación de los desechos que se derrumbaron instalándole un sistema de extracción forzada de gases, una vez hecho eso, sería clausurada y se sembraría prado; y la última área (Área 3) tendría la misma función reacomodación de basura y posterior clausura.

Zona III: El plan inicial de esta zona era que estuviera designado para los desechos peligrosos. Pero su decisión final fue disponer de este para desechos convencionales convirtiéndose así en una parte de la Zona II.

Zona IV: Se usó como plan de contingencia o zona de emergencia después del deslizamiento ocurrido hacia el río Tunjuelito, solo tuvo una actividad de un poco más de un año hasta su inevitable clausura y revegetación.

Zona V: Partió inicialmente como otro sitio de deposición de residuos, pero en su lugar se instaló una planta de lixiviados.

Zona VI: Después de tantos imprevistos se implementó esta zona como de emergencia para un tiempo de un mes.

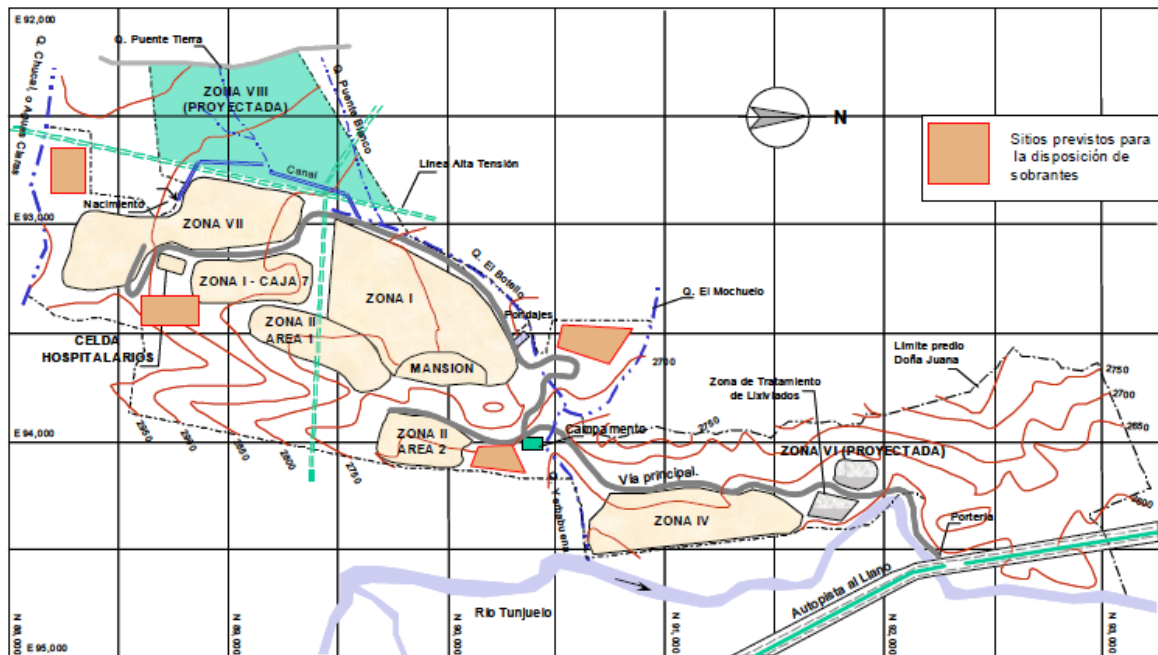
Zona VII: Tuvo una capacidad de un poco más de tres millones de toneladas y después fue clausurada para septiembre del 2002 después de un poco menos de tres años.

Zona VIII: Inicia tras el cierre de la Zona VII se abre esta zona que se ubica en la parte sur-occidental del relleno

Zona de Disposición de Residuos Hospitalarios: Ha operando desde el inicio del relleno y cuenta con tres trincheras.

Zona de Biosólidos: Opera desde el 2002 con el fin de la disposición técnica de los lodos provenientes de los tratamientos de lixiviados.⁴⁹

Mapa 1. Mapa general de las zonas del relleno sanitario “Doña Juana”



Fuente: FLECHAS, Juan. Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento y/o destrucción térmica del biogás del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá D.C., aplicando el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de kyoto. En: INSTNAME: UNIVERSIDAD LIBRE. -11-29T22:11:11Z. p 34.

3.2. ENTRADAS AL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA

Menciona Quintero⁵⁰ A la fecha del 2015 la ciudad de Bogotá generaba un monto aproximado de 6.500 toneladas diarias de basura o residuos sólidos, con un alto porcentaje de en desecho con capacidad de ser reciclados o reutilizados (un poco más de 70%). Con esta introducción las instituciones de Educación Superior PRIES genero unos datos pertinentes sobre el relleno de Doña Juana⁵¹:

⁴⁹ URIBE PINZÓN, Felipe Luis; and SOTELO ROJAS, Hernando. Análisis de las características fisicoquímicas de los suelos empleados como cobertura final en el Relleno Sanitario Doña Juana. En: UNIVERSIDAD MILITAR, 2010.

⁵⁰ QUINTERO TORRES. Op. Cit., p. 253

⁵¹ Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Resolución 1484; (3 agosto 2018). Por la cual se asume la competencia del Proyecto “Relleno Sanitario Doña Juana” y se toma otras determinaciones. Bogotá D.C. 2018.

- Teniendo en cuenta la producción diaria (27.300 toneladas) y anual (10'037.500) de Colombia por persona se están produciendo un kilogramo de basura diaria de todo tipo (desechos residenciales, industriales, comerciales, institucionales y de barrido de calles y áreas públicas).
- En Colombia solo se recoge el 10% de los residuos sólidos.
- Los residuos orgánicos componen el 65% de todos los desechos sólidos de Colombia.
- Al relleno de Doña Juana solo llegan 6.000 toneladas diarias.
- La licencia del relleno se extendió hasta 2022 con una tasa de entrada de 8.300 Ton/día y 1,07 Ton/m³⁵²

3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Este lugar geográfico donde se sitúa el relleno de Doña Juana sobresalió por las siguientes características:

- Gran área para depositar desechos.
- Capacidad de recibir alto tráfico automotriz por su cercanía a la autopista.
- Poca actividad agrícola.
- Zona Arcillosa que proporcionaba impermeabilidad con bajos costos.
- Contaba con material de cobertura de calidad y considerable volumen.
- Opcional para recoger residuos peligrosos.⁵³

Según Engineers, SCS⁵⁴ una de las características más importantes de la anterior mencionadas es la impermeabilidad de las arcillas aun así esta tiene dos especificaciones técnicas, que son las siguientes:

La capa de arcilla: Afirman Sotelo y Uribe⁵⁵ que debe asumir una permeabilidad máxima de 1×10^{-6} cm/s. En contingencias a que el estrato tenga de permeabilidad superior, se hace una sustitución en el área implicada en un espesor de 50cm.

Geomembrana texturizada: Aseveran Sotelo y Uribe⁵⁶ Debe ser un material de HDPE de grosor de 60 milímetros fusionada mediante termofusión. Se realiza control de calidad a juntas y reparaciones los cuales deben cumplir con:

- "Geotextil no tejido. NT3500 o 350g/m
- Rajón 1-4". Producto triturado. Espesor 25 cm.

⁵² Ibid.

⁵³ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

⁵⁴ ENGINEERS, SCS. Informe de evaluación relleno sanitario Doña Juana. En: METHANE TO MARKETS, BOGOTA. 2007.

⁵⁵ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

⁵⁶ Ibid.

- Grava 1-4". Canto rodado. Espesor 10cm residuos sólidos.”⁵⁷

Al ser este un relleno que funciona todo el tiempo de Domingo a Domingo con cuenta con una cobertura diaria, pero Según Quintero⁵⁸ para compensar esto se usa una cobertura de plástico verde entretejida recubierta en una de sus caras por una película de polietileno (mejora la impermeabilidad) usada de forma temporal que cubre los desechos que no están en proceso de cierre final o en área de descargue.

Para agregar Sotelo y Uribe⁵⁹ aseguran que la cobertura final consta de una capa de arcilla de espesor 80 cm que debe tener una permeabilidad máxima de 1×10^{-6} cm/s; sólo se usa material seleccionado; una capa de mezcla Biosólido -Tierra Negra de 40 cm de espesor y finalmente una empradización.

Afirma la Alcaldía Mayor de Bogotá⁶⁰ que el control de aguas lluvias se realiza mediante un sistema de canales de recolección tanto revestidos en piedra (áreas clausuradas) como provisionales en los puntos de contacto entre las vías temporales y los residuos.

Según el ministerio de ambiente⁶¹ las zonas VII y VIII cuentan con un sistema de conducción de lixiviado con una línea principal de conducción de 12 pulgadas de diámetro, más varios sistemas de conducción secundaria conectados a la principal y a cuatro piscinas de almacenamiento; esta planta de tratamiento de lixiviados la cual entró en operación en febrero de 2002 y consta de procesos físicos, químicos y biológicos.

Menciona Flechas⁶² que este tratamiento cuenta entre 8 y 13.9 litros por segundo (l/s) de capacidad hidráulica y 10,500 kg/día de carga orgánica; pero se reportó

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ QUINTERO TORRES. Op. Cit., p. 256

⁵⁹ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

⁶⁰ Alcaldía Mayor de Bogotá. Bloqueos en relleno sanitario Doña Juana. En: EL ESPECTADOR. Bogotá. Oct 27,2014.

⁶¹ Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Resolución 1484; (3 agosto 2018). Por la cual se asume la competencia del Proyecto “Relleno Sanitario Doña Juana” y se toma otras determinaciones. Bogotá D.C. 2018.

⁶² FLECHAS, Juan. Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento y/o destrucción térmica del biogás del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá D.C., aplicando el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de Kyoto. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Título de Ingeniero Ambiental. Universidad libre. Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C. 2006. P. 34. [Consultado 20 noviembre 2018]. Archivo pdf. Disponible en:

para el 2016 un caudal promedio de 23 l/s llegando a un máximo de 35 litros por segundo, lo que los llevo a la necesidad de usar y disponer de un lugar de almacenamientos para estos lixiviados, el cual llamaron piscina de lixiviados.

Agrega Sotelo y Uribe⁶³ que la cantidad de residuos se comprende con la profundidad, el cual se sabe que para las últimas zonas en uso y la zona nueva que se pretende usar (Zona VII y Zona VIII) tienen respectivamente 22 m y 40 m, sabiendo también que se usa un compactador que tiene 35 toneladas de fuerza (CAT 826 de 35), se puede calcular densidades “in situ” superiores a 1.15 ton/m³.

Adiciona Flechas⁶⁴ que el relleno sanitario de Doña Juana cuenta con un perímetro cerrado con postes de concreto y alambre de púas; las zonas de almacenamiento y tratamiento de lixiviados están cerradas por postes de acero y malla eslabonada; y en cuanto a la personal cuenta con vigilancia permanente los cuales en el día son 14 guardias y en la noche son 15 guardias contratados; y no cuenta con recicladores solo con el acceso en la puerta principal para camiones de basura.

3.3.1. Suelo: Sotelo y Uribe⁶⁵ mencionan que cuando hablamos del suelo y subsuelo hay que tener en cuenta los siguientes aspectos: fertilidad y características químicas (minerales y orgánicos). Uno de los ítems a tomar en cuenta para la evaluar el suelo es el color u oscuridad, el cual indica que tal fértil puede ser un suelo entre más fuerte sea el tono a menos que el suelo tenga exceso de humedad o material mineral. El siguiente ítem importante es la textura que la da el tamaño de la partícula y se clasifican en arena, limo y arcilla.

- **Suelo Arenoso:** Para clasificar un suelo de tipo arenoso las partículas deben estar entre 0.05 y 2 mm. Es un suelo fácil de ver e identificar por su sensación rugosa al tacto. Este tipo de suelo presenta la gran desventaja de que no puede retener líquidos, por ende, son suelos con poca vegetación, pero su ventaja es que poco se inunda ni sumerge.
- **Suelo Limoso:** Para clasificar un suelo de tipo limoso las partículas deben estar entre 0.002 y 0.05 mm. Estas partículas ya son más difíciles de ver y debe usarse un microscopio, su característica es que es muy compacto, son fértiles y por lo general se encuentran cerca de lecho de río o cuerpos de agua.
- **Suelo Arcilloso:** Para identificar este tipo de suelo la partícula debe ser menor a 0.002 mm, este suelo se compone por arcilla principalmente y su

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11011/PROYECTO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁶³ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

⁶⁴ FLECHAS. Op. Cit., p. 35.

⁶⁵ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

principal característica es que al contacto con el agua se vuelve pesada y pegajosa y en la ausencia de esta se torna dura y compacta. Para los cultivos puede ser buena o mala ya que tiene mal drenaje y tiende a retener agua.⁶⁶

Para tener un buen desarrollo vegetal es importante tener en cuenta la textura del suelo, material orgánico, minerales, retención de agua y nutrientes. Según mención Flechas⁶⁷ la identificación de estos elementos esenciales permitirá el crecimiento y completo desarrollo de las zonas verdes en las partes ya clausuradas y así darle un mejor manejo a los nutrientes que da el suelo, estos nutrientes se clasifican en macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre), micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro), y otros que los proporciona el aire (carbono, oxígeno e hidrógeno), y dependiendo de lo que la planta necesite se puede suministrar lo necesario; y agrega Flechas⁶⁸ que en estos suelos nativos se identificó poca disponibilidad de fosforo, potasio y azufre, niveles normales de nitrógeno (lo recomendado).

Ya tomando como referencia el relleno de Doña Juana, especialmente la Zona IV que contiene cobertura vegetal Sotelo y Uribe⁶⁹ comentan que los niveles de acidez de esta zona no es el adecuado, pero se mantiene dentro de la norma; tiene variaciones de potasio en donde hay puntos donde es muy baja y otros muy alta; respecto al nitrógeno y el azufre tienen concentraciones altas y el nitrógeno tiende a variar entre 64.5 y 367.9 ppm; lo cual cambia los índices de fertilidad y las características generales del suelo.

Menciona Flechas⁷⁰ que en estos cambios tan extremos de componentes de la cobertura en relación con el suelo nativo pueden deberse a la procedencia de la cubierta, lo que produce variaciones en las lecturas; esto también provoca inestabilidad además el cambio de nitrógeno y las interacciones suelo-clima del sitio de donde proviene el suelo que tapa las zonas del relleno ayudan a este factor.

Hablando ya en tema de la cobertura Sotelo y Uribe⁷¹ explican que esta se compone de un pasto que cuenta con una altura alrededor de 1 metro lo cual

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ FLECHAS. Op. Cit., p. 36.

⁶⁸ Ibid. p. 37.

⁶⁹ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

⁷⁰ Ibid.

⁷¹ URIBE PINZÓN and SOTELO ROJAS. Op. Cit.

previene la erosión generada por los vientos, también contiene arbustos al azar, en términos fisicoquímicos presenta una acidez de 5-6, con exceso de N y S con niveles estables de P, K y Ca, y bajos niveles de Mg; cabe mencionar que es un suelo franco arenoso. Estas características pueden ser óptimas para la reforestación y para las especies nativas de Sumapaz, pero es necesario ver la evolución de estas especies en combinación al suelo nativo que presenta tantas variaciones en los componentes.

3.4. EVIDENCIA DE LAS PROBLEMÁTICAS

Los desechos son un tema delicado y más los residuos sólidos urbanos (RSU) que su variadas características químicas y físicas generan problemas de varios tipos (salubridad y deterioro al ambiente). Según Martínez y Montoya⁷² estos efectos son provocados principalmente por contaminación atmosférica, contaminación edáfica, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, afectación por olores y proliferación de plagas y aparición de focos infecciosos; estos serán explicados a continuación:

- Contaminación atmosférica: la generación de metano que se da por la degradación de la materia orgánica que ayudan a al efecto invernadero y es uno de los principales gases siendo veinte veces más que el dióxido de carbono y estadísticamente el que contribuye al 50% de emisiones producidos en los rellenos sanitarios. Sin contar a las otras emisiones como lo son el cloruro de vinilo y el cloruro de metilo y otros orgánicos volátiles.
- Contaminación edáfica: la depositación de elementos no biodegradables en el suelo hace cambiar las propiedades del suelo ya sean químicas, físicas y hasta biológicas. Que a gran escala y palabras más coloquiales se refiere a la desaparición de la flora y fauna del sector por la pérdida de ciclos bioquímicos y nutrientes esenciales de suelo. Y en muchos casos el derrame de lixiviados provoca acidificación y salinización de suelo en cuestión afectando directamente el crecimiento de la calidad microbiana.
- Contaminación de las aguas superficiales o subterráneas: la principal causa es por la lixiviación que es un fenómeno dado por la suma de la percolación de las aguas lluvia y la liberación de líquido de los residuos orgánicos que arrastran materia orgánica y en ocasiones materiales tóxicos a las aguas subterráneas y superficiales aledañas.
- Afectación por olores: la acumulación de residuos urbanos y la posterior degradación con ayuda del sistema climático como el viento y la temperatura produce malos olores a las poblaciones cercanas por la producción de H₂S.

⁷² MARTÍNEZ SEPÚLVEDA, José Alejandro and MONTOYA GÓMEZ, Nancy Johana. Análisis preliminar de la viabilidad de obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En: PRODUCCIÓN + LIMPIA. vol. 2, no. 8, p. 75

- Proliferación de plagas y aparición de focos infecciosos: por la misma degradación y acumulación de residuos orgánicos urbanos que producen olores, estos también producen vectores o plagas como insectos o roedores que pueden ocasionar enfermedades en comunidades cercanas⁷³.

⁷³ Ibid. p. 75

4. VIABILIDAD TÉCNICA DE LOS APROVECHAMIENTOS ENERGÉTICOS EN EL RELLENO DE DOÑA JUANA

Cuando se habla de tratamientos térmicos es inevitable no reconocer el lento avance de esta técnica debido a que se debe tener en cuenta las dificultades que este atañe como lo es la alta producción de ceniza, poca producción de energía y los malos diseños y/u operación por la ingeniería inadecuada; además de estos retos, también se enfrenta con el mal recicle, poca efectividad financiera, y la dificultad de permisos y controles de la comunidad (parte política) al cual se debe afrontar el encargado o dueño del tratamiento.

Para tener como referencia según Homma y Días⁷⁴ en Suiza y Alemania utilizan los residuos urbanos en un 68% y un 60% del total producido anualmente respectivamente y lo destinan para uso energético en términos de calor y electricidad en el 2016. Y se espera que con esa recuperación energética se supla un 2% del total de energía requerida en Estados Unidos.

4.1 ANÁLISIS PARA LA PIROLISIS

Uno de los beneficios de este tratamiento es la recirculación del producto (gas de combustión) como combustible para la misma máquina (siempre y cuando tenga el suficiente poder calorífico) y aunque se puede usar un combustible aparte lo preferible siempre es reutilizar el Biogás ya que reduce costos y optimiza.

Según menciona Montoya⁷⁵ la pirolisis tiene la versatilidad que permite escoger el diseño según la necesidad de producto que se desee, si se desea biomasa (producto sólido) se utiliza un reactor de pirolisis lenta y si se desea mayor producción de bio-aceite (producto líquido) se usa un reactor de pirolisis rápida tal como se observa en la Tabla 2; por último, ya para el caso de producto gaseoso se prefiere la gasificación que es un proceso pirolítico que usa la oxidación parcial de un líquido o sólido para producir gas.

⁷⁴ HOMMA, Yoshito; DÍAZ CHIMIN, Maribel. Obtención De Gasolina Y Gasóleo, A Partir De La Pirólisis De Materiales Plásticos De Desecho. En: Revista tecnológica [Base academica Scielo]. La Paz, Bolivia. Julio. Vol. 12. No. 18. 2016. p. 35. ISSN 1729-7532. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1729-75322016000100007&script=sci_arttext

⁷⁵ MONTOYA ARBELÁEZ, Jorge Iván; et al. Pirólisis rápida de biomasa. 1st ed. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 41. ISBN 978-958-761-774-0. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GHYRAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR17&dq=MONTOYA+ARBEL%C3%81EZ,+Jorge+Iv%C3%A1n.+Pir%C3%B3lisis+r%C3%A1pida+de+biomasa&ots=Ti6yNOP-Tz&sig=plhvXLnC7oSKHXfxX3-iODoMmus#v=onepage&q=MONTOYA%20ARBEL%C3%81EZ%2C%20Jorge%20Iv%C3%A1n.%20Pir%C3%B3lisis%20r%C3%A1pida%20de%20biomasa&f=true>

Tabla 5. Descripción del porcentaje de los productos de la pirolisis

| Tipo | Condiciones | % Líquido | %Sólido | %Gas |
|---------------|---|------------------|----------------|-------------|
| Rápida | °T reactor= 500°C Tasa calentamiento= >1000°C/s Tiempo residencia= cortos 1s | 75 | 12 | 13 |
| Intermedia | °T reactor= 400 - 500°C Tasa calentamiento= 1 - 1000°C/s Tiempo residencia= cortos 1- 10s | 50 | 25 | 25 |
| Torrefacción | °T reactor= 290°C Tasa calentamiento= 1°C/s Tiempo residencia= 30 min | 0 - 5 | 77 | 23 |
| Carbonización | °T reactor= 400 - 500°C Tasa calentamiento= 1°C/s Tiempo residencia= largos – horas, días | 30 | 35 | 35 |

Fuente: MONTOYA ARBELÁEZ, Jorge Iván. Pirólisis rápida de biomasa. 1st ed. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 42.

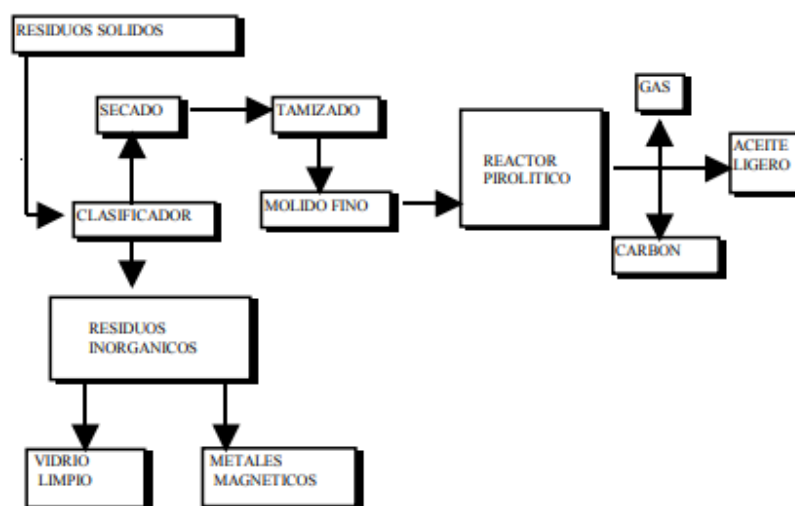
Teniendo en cuenta lo anterior, en este caso se requiere un reactor de pirolisis rápida que trabaje de forma continua tal como lo hace el reactor de lecho fluidizado, según menciona Obando⁷⁶ el cual es el más usado para operaciones industriales; además cuenta con la facilidad de fácil transmisión de calor lo que permite una facilidad en generar productos gaseosos no condensables, pero cuanta con la desventaja de generar elevados costos de energía.

Según menciona SEDESOL⁷⁷ este proceso no solo necesita del reactor, sino que además cuenta con un esquema general como se muestra en la ilustración 12 donde se seleccionan los residuos necesarios para el proceso (desechos orgánicos) y los separa de los elementos que pueden causar toxicidad o no sean adecuados para el sistema a través de un clasificador, después se realiza un secado con el fin de eliminar la humedad de cada partícula por medio de evaporización y cuando esas variables han sido controlados solo falta controlar el tamaño de la partícula según pida el proceso por medio de tamizado para la separación de las partículas grades de las pequeñas y las que no cumplan el requisito (sean demasiado grandes) se pasan por un molino fino, y de ahí pasa directo al reactor.

⁷⁶ OBANDO. Op. Cit., p. 27.

⁷⁷ SEDESOL. Manual Técnico, Administrativo para el servicio de Limpia Municipal [sitio web] p. 104. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: <https://docplayer.es/15481573-6-1-antecedentes-6-0-pirolisis-sedesol.html>

Imagen 6. Esquema general de la pirolisis.



Fuente: SEDESOL. Manual Técnico, Administrativo para el servicio de Limpia Municipal [sitio web] p. 104. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: <https://docplayer.es/15481573-6-1-antecedentes-6-0-pirolisis-sedesol.html>

4.2. ANÁLISIS PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

En estos tratamientos tanto anaerobio como aerobios son una gran opción para la limpieza biológica tanto de líquidos (aguas residuales) como sólidos fermentables (residuos orgánicos) y como adicional a eso tiene la capacidad de generar producto (Biogás) para aprovechamiento energético.

Según ⁷⁸ al ser recomendable tener alto nivel de humedad en la biomasa, el proceso de producción de biogás genera altos contenidos de lixiviados, es una relación directa, y se ha demostrado que la recirculación de lixiviados aumenta la generación de Biogás.

Las condiciones climáticas son bajas en el relleno de doña Juana lo cual ayuda a menor producción de vectores como moscas, roedores, olores entre otros. Pero las bajas temperaturas en el proceso implican tiempos de retención más altos.

Al tener mucha variedad de material orgánico los componentes químicos también lo son y la acidez del suelo también ayudan a eso; por ende, los componentes entrantes generan altas cantidades de contaminantes al proceso y por ende al

⁷⁸ CONSUELO DIAZ. Op. Cit., p. 17.

resultado final que es el biogás; por este caso, es necesario que se haga tratamiento del gas para tener mejores resultados en la generación de energía⁷⁹.

Tabla 6. Calidad de gases de digestor según materia prima

| Sustrato | Biogás (m ³ /kg sobre ms) | Metano (m ³ /kg sobre ms) |
|---------------------|---|---|
| Fangos de EDAR | 0,43 | 0,34 |
| RSU | 0,61 | 0,38 |
| Fangos de papeleras | 0,25 | 0,15 |
| Residuos mataderos | 0,24 | 0,15 |
| Residuos de cerveza | 0,43 | 0,33 |
| Residuos lácteos | 0,98 | 0,78 |
| Estiércol vacuno | 0,40 | 0,90 |
| Estiércol porcino | 0,26 | 0,21 |
| Hojas de patatas | 0,53 | 0,40 |
| Hojas de maíz | 0,49 | 0,41 |
| Hojas de remolacha | 0,46 | 0,39 |

Fuente: ELIAS CASTELLS,Xavier. Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 165. ISBN 9788499693781

4.2.1. Metanización: Según Castells⁸⁰ este proceso anaerobio tiene la característica de producir un 80% de metano y CO₂ (biogás), y un 20% de biomas, a diferencia de los aerobios los cuales producen un 80% de biomasa y el resto de biogás. Este primero es el más favorable para el relleno sanitario ya que este gas es el que se va a usar para generar energía y la biomasa que quede se puede usar como biocarbon o compostaje dependiendo las características que esté presente. Adicionalmente Castells⁸¹ que para que esto suceda la metanización tiene un proceso básico como se muestra en la ilustración 14 y la cual se explica a continuación:

- Primero se debe hacer la debida separación y clasificación teniendo en cuenta que este sistema adopta residuos húmedos como lo son los desechos de comida y jardín entre otros.
- Una vez ya separado dicho residuo se deposita en el digestor anaerobio.

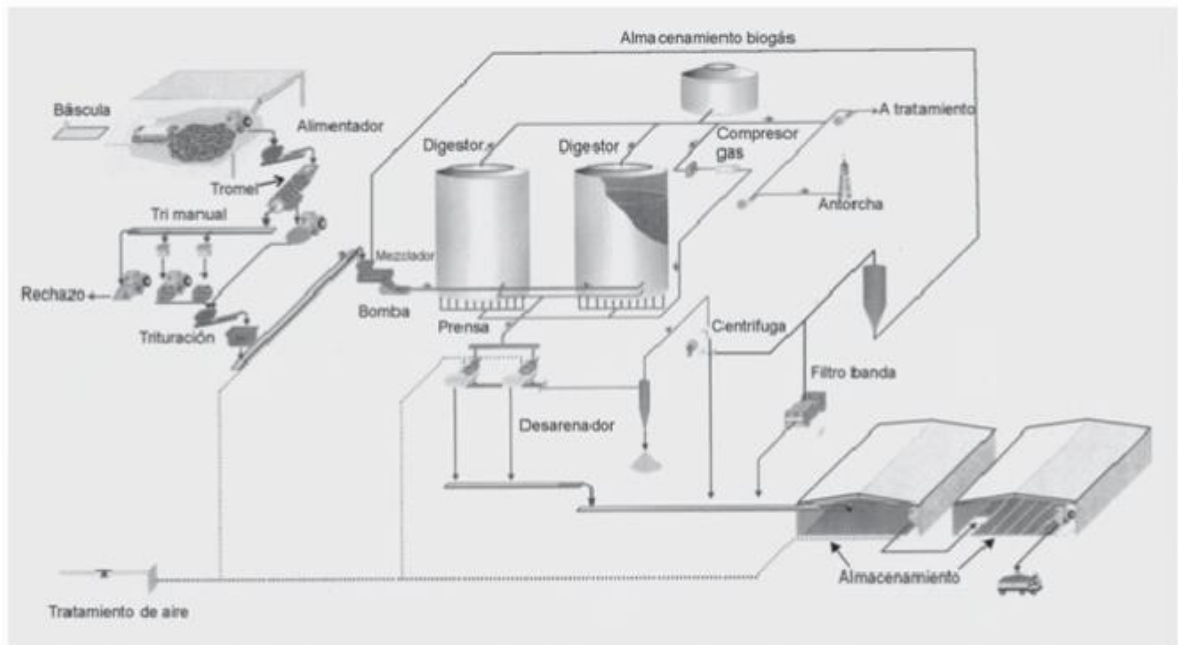
⁷⁹ ELIAS CASTELLS,Xavier. Op. Cit. p. 165.

⁸⁰ Ibid. p. 161.

⁸¹ Ibid. p. 161.

- Dentro del digestor se genera el Biogás ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) que sufre un proceso de lavado, compresión y almacenamiento. Con tiempos de retención de 30 – 35 días
- El porcentaje de metano, dióxido de carbono y otros elementos depende de las propiedades fisicoquímicas de la materia orgánica entrante al digestor; y por tal motivo se realiza una depuración el cual separa el metano de los otros componentes. Aproximadamente la capacidad energética que se obtiene es de 100 m^3 por tonelada según experiencias europeas después de la depuración.
- El 20% aproximado restante del proceso, que es la biomasa resultante se deposita en la parte inferior para ser recogida.⁸²

Imagen 7. Esquema básico de un proceso de metanización



Fuente: ELIAS CASTELLS, Xavier. Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 162. ISBN 9788499693781

Es necesario dejar en claro tal como menciona ⁸³ que la entrada perjudica directamente la salida, es decir que elementos como metales pesados en la entrada puede generar producción de elementos tóxicos en la salida como dióxinas o furanos; también hay que tener en cuenta que la producción de biogás

⁸² Ibid. p. 162.

⁸³ YABU, et al. Op. Cit., p. 314.

es directa con la materia fermentable digerida que no es la misma no siempre es la misma entrante.

Aun así, como menciona ICIDCA⁸⁴ cuenta con varias ventajas como la disminución de gases efecto invernadero, compuestos orgánicos volátiles y malos olores, también permite un fácil acceso de la parte sólida que se va a digerir, un positivo balance en cuanto a energía que sirve para reducir necesidad energía en caso de procesos térmicos posteriores.

4.3. TRATAMIENTO DEL BIOGÁS

Los tratamientos de este relleno son importantes ya que un buen biogás genera mejor y mayor energía ya que los contaminantes bajan el poder calorífico del gas. Por tal motivo según Espinel y Giraldo se usan varios tratamientos, pero los más importantes para mejorar la calidad de dicho combustible son los siguientes:

- “Remoción del Dióxido de Carbono
- Remoción de Sulfuro de Hidrógeno
- Remoción de Hidrocarburos Halogenados
- Remoción de Siloxanos
- Remoción de Oxígeno y Nitrógeno”⁸⁵

4.3.1. Remoción del Dióxido de Carbono: Como dicen Espinel y Giraldo el metano es uno de los componentes que ayuda a la calidad del biogás, por ende, entre más enriquecido este de metano más ganancias se obtendrán y esto se puede obtener quitando el dióxido de carbono del biogás; y esto se hace principalmente con los siguientes métodos:

- “Membranas.
- Lavado con agua.
- Tamiz de carbón molecular.
- Lavado con glicol polietileno.”⁸⁶

⁸⁴ ICIDCA. Op. Cit., p. 45.

⁸⁵ ESPINEL, D.; GIRALDO, E. Evaluación económica del uso de las celdas de combustible para generar energía utilizando biogás proveniente de un relleno sanitario. 2002. p.1

⁸⁶ Ibid. p. 2

4.3.2. Remoción de Sulfuro de Hidrógeno: Uno de los problemas al transportar gas o líquido es la corrosión lo cual según afirma Espinel y Giraldo se da en los gases por la presencia de sulfuro de hidrogeno lo cual evita problemas en los tanques, compresores o maquinas del sistema, los métodos as reconocidos son:

- “Dosificación de aire y oxígeno al biogás.
- Desulfuración biológica.
- Lavado con hidróxido de sodio
- Lavado con selexol.
- Carbón activado impregnado.
- Lavado con agua.”⁸⁷

4.3.3. Remoción de Hidrocarburos Halogenados: Otros componentes según menciona Espinel y Giraldo⁸⁸ que generan corrosión y por consiguiente daños mecánicos es la presencia de hidrocarburos halogenados en altas concentraciones los cuales pueden ser removidos presurizando las cámaras de rellenas de carbón activado.

4.3.4. Remoción de Siloxanos: Espinel y Giraldo⁸⁹ añaden que por medio de absorción en un medio líquido se pueden remover los componentes de sílice los cuales dañan las maquinas del proceso en ocasiones.

4.3.5. Remoción de Oxígeno y Nitrógeno: Añade Espinel y Giraldo⁹⁰ que muchas veces en operaciones en que se maneje gas o biogás suceden las explosiones por la presencia de oxígeno en altas concentraciones y cuando contiene nitrógeno también aparece es signo de que este está siendo absorbido y pasa cuando se usan tubos permeables en el transporte. Para eliminar estos elementos del biogás se puede usar bajas temperaturas o membranas.

4.4. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL BIOACEITE

Este es un producto que posee una composición compleja y por ende varios parámetros fisicoquímicos y ya que proviene de variados tipos de biomasa no tiene un estándar definido, pero para efectos comerciales y de almacenamiento se disponen de unas características que hacen provechoso este producto.

⁸⁷ Ibid. p. 3

⁸⁸ Ibid. p. 3

⁸⁹ Ibid. p. 3

⁹⁰ Ibid. p. 3

Tal como menciona Montoya⁹¹ la primera característica es la cantidad de humedad miscible en el aceite ya que hay estudios que demuestran que un 15% de presencia de humedad en el aceite ayuda al rendimiento de las calderas, pero ya un 20% no es beneficioso ya que retarda el proceso de combustión y reduce el poder calorífico.

También encontramos como característica inherente la presencia de oxígeno en estos combustibles según menciona Montoya⁹² cerca de un 35% a un 40%; y para efectos de rendimiento entre más bajo sea la concentración de oxígeno mejor será el poder calorífico por tal razón aun este combustible no supera a los combustible provenientes del petróleo; adicionalmente el oxígeno es causa de incendios y explosiones cerca de combustible, dando como prioridad tener especial cuidado en el transporte y almacenamiento para que no exista y entrada y escape de aire.

Otra característica importante según Montoya⁹³ es la viscosidad, propiedad que muestra la facilidad de flujo de un elemento líquido, la cual tiende a ser variada en los bioaceites ya que varía sus propiedades dependiendo de los residuos de los que provengan; aun así, a pesar de esto encontramos un mejor comportamiento que los combustibles fósiles ya que a temperaturas moderadas (80°C) reducen de forma notable su viscosidad, aunque puede ser contraproducente por el contenido de oxígeno en el combustible, en tal caso puede usarse disolventes polares como la acetona, metanol o etanol.

Una de las causas de corrosión según afirma Montoya⁹⁴ en los equipos de almacenamiento, transporte y combustión es la característica acida que suele tener estos combustibles debido a la presencia de ácidos carboxílicos (ácido fórmico y ácido acético) los cuales combinados con alta temperatura y agua son causantes de una rápida corrosión.

En cuanto a problemas según asegura Montoya⁹⁵ que puede causar el bioaceite encontramos erosión, tapón y/o deterioro en motores y válvulas y esto es debido al contenido de ceniza en estos combustibles el cual debe ser menor del 0,1% en peso; las posibles causas de la presencia de esta ceniza podrían ser metales o compuestos como sodio potasio o vanadio o en caso de los compuestos cetonas, aldehídos o los mismos ácidos carboxílicos.

⁹¹ MONTOYA ARBELÁEZ. Op. Cit., p. 111.

⁹² Ibid. p. 111

⁹³ Ibid. p. 112

⁹⁴ Ibid. p. 113

⁹⁵ Ibid. p. 114

4.5. MARCO LEGAL

Dentro del marco jurídico, para el manejo de los residuos sólidos orgánicos, existen reglamentaciones del orden internacional, nacional y distrital, que han permitido establecer diferentes lineamientos normativos para el buen manejo de los residuos, lo que conlleva a contemplar mejores prácticas para el componente de aprovechamiento, tratamiento y caracterización de los diferentes residuos en cualquier municipalidad, en especial para el buen manejo de estos residuos en el Distrito Capital. Dentro de las buenas prácticas se cuenta con lo siguiente:

4.5.1. Marco Normativo: A continuación, se muestran las normas relacionadas al manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos que están contemplados en el Marco Normativo (decretos, constitución, leyes) la Expedición de Sentencia Nacional y la resolución del Nivel Nacional en cuanto a manejo de RSOO:

Marco Normativo nacional

- Constitución Política: Rescata temas relacionados con la protección del medio ambiente y el derecho de la comunidad de gozar de un ambiente sano. Contiene la prohibición expresa de introducir al territorio Nacional sustancias Tóxicas o peligrosas. Según la constitución política de Colombia⁹⁶ los artículos relevantes son:

⁹⁶ Constitución política de Colombia. 1991. Gaceta Constitucional No. 116 de 20 de julio de 1991.

Cuadro 3. Normas de la constitución política colombiana referente a residuos sólidos orgánicos.

| NORMA | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| Constitución Nacional de Colombia. 1991 | En los artículos 1, 3, 4, 8, 13, 23, 25, 44, 48, 79, 80, 86, 88, 332, 334, 365, 366, 367 y 370, se declara y fijan deberes y DERECHOS FUNDAMENTALES, tareas del Estado, con relación al derecho al trabajo, a la dignidad, a un ambiente sano, a proveer los servicios públicos de agua y saneamiento ambiental, las tareas de regulación de las fuerzas económicas del mercado, a la función social que debe cumplir la empresa, a administrar y proteger los recursos naturales. Las sentencias T-291/2009-; apartes de las sentencias T-724/2003, T-291/2009, C-793/2009, C-928/2009 de la Corte Constitucional, confirman algunas de estas obligaciones y los responsables de hacerlas cumplir. |
| Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998. Ministerio del Medio Ambiente | Esta política define los principios de la Gestión Integral para todos los tipos de residuos. Establece el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino al Relleno Sanitario. Define las categorías de Residuo Aprovechable y No Aprovechable, para impedir o minimizar los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente, que ocasionan los residuos de todo orden, y minimizar la generación y la disposición final como alternativa ambiental deseable. |
| Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. 2005. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. | Directrices para la Gestión de Residuos Peligrosos. Incluye Suelos Contaminados. |

Fuente: EARTH Green Colombia. Normatividad manejo de residuos orgánicos en Colombia. [Sitio web]. Medellín CO. P. 14. [Consultado el Dic 3,2018]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>

- Leyes

Cuadro 4. Leyes de Colombia referente a residuos sólidos orgánicos.

| LEYES | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| Decreto - Ley 2811 de 1974. Presidencia de la República. | El Código Nacional de los Recursos Naturales es la base para las autorizaciones, concesiones y autorizaciones para el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales y se definen procedimientos generales para cada caso. |
| Ley 09 de 1979 | El Código Sanitario Nacional fija una serie de normas relacionadas con la protección del ambiente y la salud humana. En esta ley se presentan unos aspectos importantes que bien podrían ser asumidos a través de la reglamentación de la Ley 99/93 o que pueden ser aplicados en la ausencia de reglamentación específica, toda vez que no se encuentran derogados explícitamente. |
| Ley 99 de 1993 | Por medio de la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se establece formalmente el Sistema Nacional Ambiental. Se responsabiliza a todos y cada uno de los actores del desarrollo de la tarea de conservar y aprovechar de manera racional los recursos naturales y el ambiente. Define que las Autoridades Ambientales, serán las responsables de formular y verificar el cumplimiento de las políticas y normas ambientales. |
| Ley 142 de 1994 / Ley 632 de 2000 | Algunos elementos normativos y políticas existentes a la fecha, establecen y reconocen las conductas y procedimientos que se deben aplicar con relación a como valorar servicios y actividades de aprovechamiento de residuos. La Ley 142/94 en sus Art. 9 y 146 establece taxativamente que el servicio que se paga es el que se mide y fija claramente la función ecológica de los servicios públicos. |
| Ley 388 de 1997 | Esta ley define el marco general del ordenamiento territorial que debe ser aplicado por los entes territoriales y en el que se debe incluir la variable ambiental dentro del escenario de desarrollo urbanístico. |
| Ley 1259/2009 | El Comparendo Ambiental controla a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como fomentar las buenas prácticas ambientalistas. |

Cuadro 5. (Continuación)

| | |
|--|---|
| <p>Ley 1252/2008 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial</p> | <p>Regula dentro del marco de la gestión integral, la protección de la salud humana y el ambiente, lo relacionado con la importación y exportación de residuos peligrosos, su minimización desde la fuente, la producción más limpia; su disposición adecuada, la eliminación responsable de las existencias de estos dentro del país. Así mismo se regula la infraestructura de la que deben ser dotadas las autoridades aduaneras y zonas francas y portuarias.</p> |
| <p>Ley 1333 de Julio 21 de 2009</p> | <p>Establece el nuevo régimen sancionatorio ambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se incorporan los Principios Ambientales y Constitucionales • Establece un Régimen de responsabilidad objetiva • El daño ambiental se califica como infracción ambiental • Define la función de las medidas preventivas y regula el régimen de las sanciones • Establece los tipos de sanciones • Se crea el Registro Único de Infractores Ambientales-RUIA |

Fuente: EARTH Green Colombia. Normatividad manejo de residuos orgánicos en Colombia. [Sitio web]. Medellín CO. P. 14. [Consultado el Dic 3, 2018]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>

- Decretos.

Cuadro 6. Decretos de Colombia referente a residuos sólidos orgánicos.

| <p>DECRETOS</p> | <p>DESCRIPCIÓN</p> |
|--|--|
| <p>D. 1594 de 1984. Ministerio de Agricultura</p> | <p>Decreto que regula lo relacionado con el control de los efluentes líquidos de los distintos procesos productivos. Es la norma que regula los procesos de sanciones relativas al incumplimiento de normas ambientales, así como el procedimiento para el trámite y obtención del permiso de vertimiento de residuos líquidos. Fue derogado parcialmente por el Decreto 3930/2011 de Vertimientos. Aplica a los vertimientos de lixiviados producidos en los Rellenos Sanitarios.</p> |
| <p>D. 2676 del 22 Dic. del 2000 del Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente</p> | <p>Reglamenta ambiental y sanitariamente, la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, generados por personas naturales o jurídicas.</p> |
| <p>D. 1713 de 2002. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.</p> | <p>Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.</p> |

Cuadro 7. (Continuación)

| | |
|--|--|
| D. 1505 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por el cual se modifican parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la definición de aprovechamiento, el acatamiento de parte las autoridades municipales al PGIRS, su actualización y la garantía de participación de los Recicladores. |
| D. 1140 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones. |
| D. 838 de 2005. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. (Puntaje selección de Sitios). |
| D. 4741 de 2005. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. |
| D. 979 de 2006. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Modifica artículos 7,10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Sobre calidad de aire: Áreas Fuente. |
| D. 1299 de 2008. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Departamentos Ambientales en las Empresas. |
| D. 2820/2010. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Licencias Ambientales. El Art. 9, numeral 10 que establece la competencia de las CARS (Corporaciones Ambientales Regionales) "la construcción y operación de instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos, y la construcción y operación de rellenos de seguridad para residuos hospitalarios en los casos en que la normatividad sobre la materia lo permita". El numeral 12, del mismo artículo, establece que la construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20.000 toneladas/año, requieren de Licencia Ambiental. |
| D.3930/2011 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones. La aplicación de esta norma, exige a los operadores de Rellenos Sanitarios, altas eficiencias en el tratamiento de los lixiviados. |

Fuente: EARTH Green Colombia. Normatividad manejo de residuos orgánicos en Colombia. [Sitio web]. Medellín CO. P. 15. [Consultado el Dic 3,2018]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>

- Resoluciones a Nivel Nacional

Cuadro 8. Resoluciones de Colombia referente a residuos sólidos orgánicos.

| RESOLUCIONES NACIONALES, REGIONALES Y ACUERDOS MUNICIPALES | DESCRIPCIÓN |
|--|--|
| R. 1096 de 2000. Ministerio de Desarrollo Económico (RAS). | Tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, que adelanten las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces. En el título F de la sección II, presenta las definiciones, criterios de identificación de residuos urbanos, su separación, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, disposición final, criterios de ubicación de instalaciones para el tratamiento y disposición de residuos peligrosos, etc. En el Título J, se dan los criterios y especificaciones para los proyectos de aprovechamiento a nivel rural. |
| R. 1045 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. |
| Resolución 351 y 352 del 2005 de la CRA | Los estudios econométricos, que fundamentan las constantes de las ecuaciones para el cálculo tarifario de las Resoluciones 351 y 352 del 2005 de la CRA, contienen las producciones per cápita por estrato socio económico, y se concluye con base en mediciones técnicamente bien hechas, que son mucho menores que las usadas hasta la vigencia de la Resolución 151/2001, con lo cual se dan los argumentos que es posible establecer valores reales de lo que se recoge, se transporta y se dispone en relleno sanitario, por lo cual se puede demostrar que el aprovechamiento, influencia directamente, no sólo el Valor medio de referencia de la disposición final, sino también los de recolección y transporte. En el Artículo 17, se da valor marginal y de "indiferencia" del aprovechamiento para el Generador, por lo cual se considera que tanto el valor como la forma de establecerlo no genera valor real de incentivo al aprovechamiento en la estructura tarifaria actual. |
| R. 1023 de 2005. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. |

Cuadro 9. (Continuación).

| | |
|---|--|
| R CRA 233/02.Tarifa Multiusuario | Multiusuario: usuarios agrupados en unidades inmobiliarias, centros habitacionales, conjuntos residenciales, condominios o similares bajo el régimen de propiedad horizontal vigente o concentrados en centros comerciales o similares que se caracterizan porque presentan en forma conjunta sus residuos sólidos a la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios –ESPD– (Decreto 1713 de 2002 o normas que lo modifiquen) y solicitan medición como base de la facturación del servicio ordinario de aseo. |
| R. CRA 247/2003 | Reglamenta aspectos específicos de la R. 233, en lo relacionado con los requisitos específicos para solicitar la Tarifa Multiusuario. |
| R. 1552 de 2005. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por la cual se adoptan los manuales para evaluación de estudios ambientales y de seguimiento ambiental de proyectos y se toman otras determinaciones. |
| R. 601 de 2006. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. | Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. (Olores) |
| R. 879/2007 del Área Metropolitana. | Por medio del cual se adopta la Metodología para realizar los Planes de Manejo Integral de Residuos (PMIRS), por parte de grandes generadores. |
| Acuerdo 440/2009 del Municipio Medellín: Guía presentación y aplicación del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS) | Por el cual se adopta el Manual para el Plan de Manejo de Residuos Sólidos (PMIRS), definido por el Área Metropolitana, según Resolución Metropolitana 879/2007 |
| R. ICA 2640 de 2007 R. ICA-2912 de Sep. 6-2010. | R. 2640. Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano. En el numeral f del Art. 14, se establece que "queda prohibido alimentar porcinos con residuos de la alimentación humana o con vísceras o carnes de otras especies animales". La R. 2912, estableció el 4 de Mayo del 2010, para la aplicación de los términos y plazos de la R.2640. |

Cuadro 10. (Continuación).

| | |
|---|--|
| Norma Técnica Colombiana NTC 5167 | Por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Reglamenta los límites actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia parámetros para los análisis microbiológicos. |
| R. ICA No. 0015021 Ene 2003 | Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. |
| Acuerdo Metropolitano 04 del 26 de Febrero del 2006 | Por medio de la cual se adopta el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional |

Fuente: EARTH Green Colombia. Normatividad manejo de residuos orgánicos en Colombia. [Sitio web]. Medellín CO. P. 17. [Consultado el Dic 3,2018]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>

5. CONCLUSIONES

Al revisar la literatura se puede concluir que en tema al aprovechamiento energético de desechos orgánicos existe un gran interés en tecnologías de pirolisis y digestión anaerobia ya que son los procesos que mayor avance y estudio ofrecen ya que a comparación con otras tecnologías como procesos de plasma la cual usa temperaturas entre 20.000°C y 30.000°C son económicamente más viables. Además, el avance que ha tenido a nivel industrial estas tecnologías ayuda a tener más confiabilidad gracias a los datos de producción que evidencia la viabilidad del proyecto.

Al determinar los parámetros de cada método se puede entender que los factores más importantes en ambas técnicas son la temperatura, tiempos de retención y la calidad de biomasa entrante (sin contaminantes).

Al analizar las características del relleno sanitario Doña Juana pudimos concluir la afectación en el suelo por la variedad de sustancias entrantes y la reducción de espacio debido a la constante entrada de basura. Aun así, se puede evidenciar zonas libres para la instalación de alguno de estos métodos y vías de acceso asequibles a camiones con el fin de transportar los desechos a la zona de aprovechamiento energético.

Como ultima conclusión la digestión anaerobia (metanización) es una técnica que requiere de mayor tratamiento previo, mayor tiempo de retención y adicional requiere de un tanque de almacenamiento posterior del biogás, aun así, con esta alternativa se logran estabilizar los RSU, permitiendo la recuperación de los materiales reutilizables que no se vean afectados en mayor medida por el proceso de fermentación; así se generarían nuevas fuentes de trabajo en procesos de reciclaje. Por otro lado, la pirolisis es un proceso que requiere mayor temperatura y por ende mayor costo energético además el proceso de reciclaje debe ser más riguroso por temas de peligrosidad, aun así, es una alternativa que busca reducir el volumen de desechos en el relleno y a su vez tiene producción de bioaceite y biogás los cuales se pueden usar de igual manera para el aprovechamiento energético, la cual la hace la mejor opción aun así los métodos presentados son viables de una forma técnica.

6. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta el relleno de Doña Juana como foco principal se puede plantear un plan de reciclaje o clasificación que es de gran ayuda previo a realizar un proyecto de aprovechamiento energético ya sea de residuos orgánicos o de plástico el cual también existe suficiente información sobre el tema.

BIBLIOGRAFIA

Alcaldía Mayor de Bogotá. Bloqueos en relleno sanitario Doña Juana. En: EL ESPECTADOR. Bogotá. Oct 27,2014.

ARISTIZABAL, Catalina and SÁCHICA, María Stella. El Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Domiciliarios No Tóxicos. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Abogadas. Pontificia Universidad Javeriana. EN BOGOTÁ D.C. 2001. P. 1-89. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/derecho/dere2/Tesis54.pdf>

BANCO MUNDIAL. Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. [Sitio web]. Sec. Noticias. Septiembre 20,. [Consultado el Dic 7 ,2018]. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

CARDENAS, Olga Lucía; SOTELO ROJAS, Hernando; CHÁVEZ PORRAS, Álvaro. Diseño y proyección logística de un centro de acopio y manejo de residuos sólidos para el relleno sanitario Doña Juana. Universidad Militar Nueva Granada. 2011. [Consultado el Dic 7 ,2018]. Disponible en: https://www.umng.edu.co/documents/10162/745280/V3N1_3.pdf

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Resolución 1484; (3 agosto 2018). Por la cual se asume la competencia del Proyecto “Relleno Sanitario Doña Juana” y se toma otras determinaciones. Bogotá D.C. 2018.

CONSUELO DIAZ, Maria; ESPITIA VARGAS, Sandra and MOLINA PEREZ, Francisco. Digestión Anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2002. P. 11-25. ISBN 958-70 t-196-1. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/43178/2/9587011961_Parte%201.pdf

EARTH Green Colombia. Normatividad manejo de residuos orgánicos en Colombia. [Sitio web]. Medellín CO. P. 14-18. [Consultado el Dic 3,2018]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/aprenda-mas-pyr/85-normatividad-manejo-de-residuos-organicos-en-colombia>

ELIAS CASTELLS, Xavier. Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos, 2009. P.138. ISBN 9788499693781. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3229178>

Emison. METANIZACIÓN. [Sitio web]. Bogotá D.C. Co. Dic 12, 2009 [Consultado el Oct 23, 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/23986937/METANIZACION>

ENGINEERS, SCS. Informe de evaluación relleno sanitario Doña Juana. En: METHANE TO MARKETS, BOGOTA. 2007.

FLECHAS, Juan. Estudio de prefactibilidad para el aprovechamiento y/o destrucción térmica del biogás del relleno sanitario Doña Juana en Bogotá D.C., aplicando el mecanismo de desarrollo limpio del protocolo de kyoto. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Título de Ingeniero Ambiental. Universidad libre. Facultad de Ingeniería. Bogota D.C. 2006. P. 15-115. [Consultado 20 noviembre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11011/PROYECTO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Greenpeace. Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución. En: Greenpeace [Base académica Ebsco Host]: Buenos Aires, Argentina: 2011. p. 3-37. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf.

HERNÁNDEZ CEBALLOS, Arley Camilo; TAMAYO GUERRA, Walter and LEÓN VÉLEZ, Oscar Arteaga. Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, aplicables en los municipios de la jurisdicción de Cornare. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Especialista en Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ingenierías. Caldas, Antioquia. 2016. P. 26-168. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1774/1/Aprovechamiento_residuos%20solidos_organicos.pdf

HOMMA, Yoshito; DÍAZ CHIMIN, Maribel. Obtención De Gasolina Y Gasóleo, A Partir De La Pirólisis De Materiales Plásticos De Desecho. En: Revista tecnológica [Base academica Scielo]. La Paz, Bolivia. Julio. Vol. 12. No. 18. 2016. p. 35-37. ISSN 1729-7532. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1729-75322016000100007&script=sci_arttext

KLUG, Michael. Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. En: Revista de Química PUCP. Lima, Perú. vol. 26, no. 1 – 2. 2012. P. 37-40. ISSN 1012-3946. [Consultado 23, octubre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547/5543>

KUMAR, Ashutosh and SHARMA, M. P. Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. En: SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES AND ASSESSMENTS. vol. 5, p. 54.

LEDESMA MONTAÑO, Isabel. Diseño de una planta piloto de pirólisis rápida de la fracción orgánica de rechazo de RSU. Trabajo de grado. Ingeniería de las Tecnologías Industriales; Universidad de Sevilla. Dep. Ingeniería Química y Ambiental. 2017. P. 1-91. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf.

LORENZO ACOSTA, Yaniris, OBAYA ABREU, Ma Cristina, La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [en línea] 2005. P. 37. [Fecha de consulta: 21 de septiembre de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>> ISSN 0138-6204

MARTÍNEZ SEPÚLVEDA, José Alejandro and MONTOYA GÓMEZ, Nancy Johana. Análisis preliminar de la viabilidad de obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. En: PRODUCCIÓN + LIMPIA. vol. 2, no. 8, p. 72-84

MONTOYA ARBELÁEZ, Jorge Iván; et al. Pirólisis rápida de biomasa. 1st ed. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p. 41. ISBN 978-958-761-774-0. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GHYRAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR17&dq=MONTOYA+ARBEL%C3%81EZ,+Jorge+Iv%C3%A1n.+Pir%C3%B3lisis+r%C3%A1pida+de+biomasa&ots=Ti6yNOP-Tz&sig=plhvXLnC7oSKHXfxX3-iODoMmus#v=onepage&q=MONTOYA%20ARBEL%C3%81EZ%2C%20Jorge%20Iv%C3%A1n.%20Pir%C3%B3lisis%20r%C3%A1pida%20de%20biomasa&f=true>

MORATORIO, Diego; ROCCO, Ignacio; CASTELLI, Marcelo. Conversión de residuos sólidos urbanos en energía. En: Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica [Base académica Ebsco Host]. Montevideo. 2012, vol. 10, p. 115-126. ISSN 1510-7450. [Consultado el Dic 7 ,2018]. Disponible en: http://www.um.edu.uy/docs/10_conversion_de_residuos_solidos_urbanos-en_energia.pdf

OBANDO, Gabriel Andres. Condiciones de diseño de un Reactor de Pirolisis a escala de laboratorio para la obtención de biocarbón a partir de Residuos Orgánicos Sólidos. [Repositorio Digital]. Trabajo de grado. Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Manizales, Colombia 2015. P. 14-66. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2590/1/informe%20final%20trabajo%20investigacion%20Gabriel_Obando_2016.pdf

QUINTERO TORRES, Diana Isabel. El papel de la gestión territorial en la ubicación de rellenos sanitarios. Caso de estudio: relleno sanitario Doña Juana, Bogotá, Colombia. En: PERSPECTIVA GEOGRÁFICA. Bogotá, Colombia. vol. 21, no. 2. 2016, p. 251-276 ISSN 0123-3769

RAJARAM, Raj; SIDDIQUI, Faisal Zia and KHAN, M. Emran. From landfill gas to energy: Technologies and challenges. Editorial: CRC press, 2011.
SEDESOL. Manual Técnico, Administrativo para el servicio de Limpia Municipal [sitio web] p. 101-105. [Consultado 3 de diciembre, 2018] Archivo pdf. Disponible en: <https://docplayer.es/15481573-6-1-antecedentes-6-0-pirolisis-sedesol.html>

URIBE PINZÓN, Felipe Luis; and SOTELO ROJAS, Hernando. Análisis de las características fisicoquímicas de los suelos empleados como cobertura final en el Relleno Sanitario Doña Juana. En: UNIVERSIDAD MILITAR, 2010.

US EPA, OAR. Landfill Gas Energy Project Development Handbook. 2017. P. 3-4. [Consultado el 23 septiembre, 2018]. Disponible en: <https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook>

YABU, Hironori, et al. Thermophilic two-stage dry anaerobic digestion of model garbage with ammonia stripping. En: JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING. March 1. vol. 111, no. 3, p. 314. ISSN 1389-1723. [Consultado 20, septiembre, 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172310003592>