

Evaluación de efectividad del proceso de pirólisis como método de disposición final de residuos sólidos aplicado a zona rural del Oriente Antioqueño - Colombia

Juan Daniel Gallego Villa,^a Mauricio Grisales Gallego,^a Alejandro Mejía,^a
Sandra Milena Galvis Ocampo^b

a SENA, Aprendices del Programa Tecnólogo en Control Ambiental del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, vinculados al Semillero de investigación de agropecuaria y de agroindustria - SIAGRO
b SENA, Instructora del Programa Tecnólogo en Control Ambiental del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, adscrita al Semillero de investigación de agropecuaria y de agroindustria - SIAGRO, samilenaga@misena.edu.co

Resumen

El objetivo de la pirólisis es disponer de forma sanitaria y ecológica los residuos sólidos cuyo proceso permite la disminución del volumen mismo de los residuos y entregando como producto final residuos líquidos a gaseosos. Esta investigación evaluó tres variables relacionadas a la efectividad y eficiencia de la pirólisis como una propuesta de disposición final para residuos inservibles en zonas rurales; lo que se alcanzó a través de la identificación del comportamiento en relación a tiempo, densidad de disposición y cantidad de producto final aplicado a estos residuos, con el uso de ensayos en campo en dos localidades diferentes con condiciones similares. Los resultados obtenidos permitieron determinar que es una opción viable en términos de reducción de materiales sobrantes (cenizas), así como la adecuación de lugares para la realización del proceso, lo anterior partiendo de una variable importante en el Oriente Antioqueño, como lo es la gestión del espacio, debido a la demanda y costos de los terrenos, es así como podría adoptarse este método para reducir las áreas improductivas dedicadas al soterramiento de residuos sólidos inaprovechables.

Palabras clave: Alternativas de uso, Eficiencia, Residuos inservibles, Cenizas.

1. INTRODUCCIÓN

Según Cortázar Dueñas (2015) la oportunidad de gestionar residuos de una manera eficiente y eficaz obteniendo de estos, ventajas en producción energética es una opción del presente inmediato, más que una posibilidad de índole futurista. Dentro de las tecnologías que apoyan estas iniciativas, se encuentran: la incineración, la pirólisis, la digestión anaerobia, la gasificación convencional y la gasificación por plasma; es importante destacar que cada una de las anteriormente mencionadas, se encuentra en diferente estado de desarrollo.

Noguera & Olivero (2010) determinan que el método de mayor utilización en Colombia para disposición final de los residuos sólidos son los rellenos sanitarios, método que en la actualidad está generando un impacto social negativo, asociado a la extensión de áreas de terreno que al culminar el proceso, tienen muchas limitaciones en su aprovechamiento, esto sumado al incremento poblacional que se está dando en las ciudades y que obliga al retiro de las zonas urbanas de estos sistemas, incrementando los costos de disposición en el mejor de los casos, en otros donde se imposibilita la construcción de los mismos y se hace necesario realizar trayectos más largos para disponer en sistemas de otros municipios, por lo anterior se hace necesario desarrollar nuevas metodologías que reduzcan los impactos ambientales asociados a disposición final de los residuos y a su aprovechamiento.

El tratamiento térmico de residuos tiene una historia larga y polémica. Las teorías más sencillas, básicas y contaminantes hacen referencia al proceso de quemar los residuos en un vertedero, o escombrera a cielo abierto. El bajo control de esta combustión, no propicia ningún tipo de contención o tratamiento de los gases, cenizas y otros residuos de la combustión, lo cual de acuerdo con Bernache Pérez (2012) genera contaminación medio ambiental.

En contraposición a estos métodos rudimentarios, se encuentran técnicas como la pirólisis, que es definida por Sedesol (2001) como un proceso fisicoquímico de alta complejidad, que se viene investigando y estructurando en los países desarrollados, particularmente en los Estados Unidos, esta se considera una opción que podría plantearse como alternativa para reciclar indirectamente los residuos sólidos; por la acción del calor, en una atmósfera baja de oxígeno, para obtener como producto final una mezcla de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua; esta práctica tiene como objetivo disponer de forma sanitaria y ecológica los desechos, reduciendo su volumen, al convertirlos en materiales sólidos, líquidos y gaseosos; posibilitando que éstos, puedan utilizarse como materias primas en sectores energéticos o en diversos procesos industriales (Gomez, Klose, & Rincon, 2008).

En la literatura se identifica un gran número de defensores de los sistemas de tratamiento de residuos más modernos, los cuales identifican la pirólisis como una técnica reciente (PNUD, 1999), cuando en realidad no lo es. (Academia de Ingeniería Ambiental, 2010) La pirólisis es un proceso milenario, utilizado en la producción de carbón e igualmente de forma extensiva en las industrias química y petrolífera.

Según Esquer Verdugo (2009) un avance significativo para considerar la utilización de la pirolisis, como un método de disposición final de residuos sólidos, fue el estudio realizado por Essenhigh, Stumbar, & Kuwata (1969) en la Universidad de Nueva York, denominado *“Pruebas exploratorias de laboratorio de la destilación destructiva de residuos orgánicos, y los prospectos para la gasificación completa de la materia orgánica”*.

Con respecto a las técnicas de tratamiento térmico de residuos, teóricamente se han considerado dos líneas principales: 1. En las que interviene el oxígeno o con presencia de oxígeno, denominadas como: Técnicas de Incineración; y 2. Aquéllas que carecen de oxígeno, o en las que su uso es escaso, con el fin de someter los residuos a altas temperatura, entendiéndose que no hay combustión directa, siendo este el proceso que técnicamente se ha denominado pirólisis (también conocida como: termólisis) (Gomez, Klose, & Rincon 2008).

De acuerdo a lo argumentado por la Academia de Ingeniería Ambiental (2010) el rango de temperatura, en el cual se da el proceso de pirólisis, se encuentra entre los 400 °C y 800 °C. entregado como subproductos: gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirólisis; cuyas proporcionalidades estarán acordes a la composición mismas de los residuos utilizados en el proceso, las temperaturas específicas aplicadas en el mismo y el tiempo que este dure. La reducción del tiempo e incremento de la temperatura se establece como pirólisis rápida, y maximiza el producto líquido, de forma contraria si se aplican temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos, será una pirolisis lenta con la generación predominante de cenizas sólidas; proceso que se evidencia en la Figura 1 identificando los tipos de pirolisis con relación a las temperaturas, las materias primas y los resultados de las mismas en torno a subproductos.

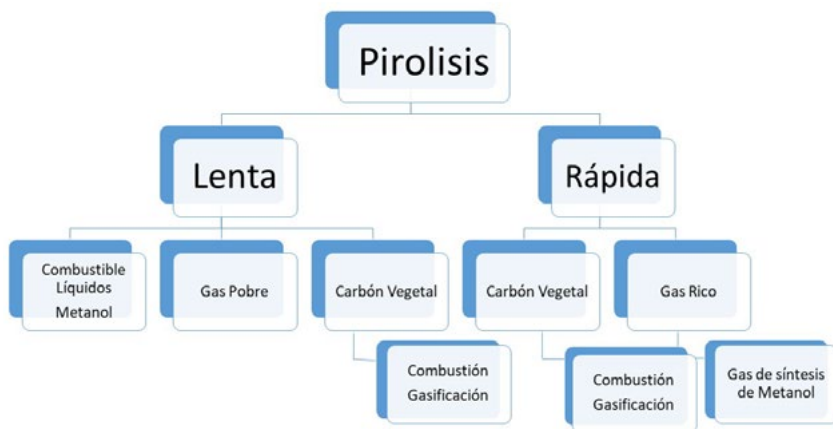


Figura 1. Esquema de diferencia entre pirolisis rápida y pirolisis lenta

Fuente. Centro tecnológico Nacional de la conservación alimentaria

Según el Grupo de Investigación Británico CADDET (1998) citado por La Academia de Ingeniería Ambiental (2010):

Las diversas técnicas de gasificación y pirólisis pueden producir residuos sólidos o líquidos en varias de sus fases; gestores opinan que estos materiales no son residuos que requieran eliminación, sino productos utilizables. Sin embargo, tal afirmación sigue sin ser demostrada y cualquier comparación de las diversas opciones de tratamiento de residuos debería considerar las emisiones al aire, el agua y la tierra (Academia de Ingeniería Ambiental, 2010, p. 97).

En pro de identificar la viabilidad de aplicación de la pirolisis a baja escala como un método sencillo, con óptimos resultados, que reduce costos de disposición por lo menos en lo concerniente a residuos inservibles, se proyecta, evaluar tres variables relacionadas a la efectividad y eficiencia para disposición final para residuos inservibles en zonas rurales; teniendo en cuenta que estas variables se relacionan con: el comportamiento en relación a tiempo, la densidad de disposición y la cantidad de producto final.

La densidad se establece como una relación entre la masa y el volumen de una sustancia. En relación a los combustibles sólidos se identifican diferentes tipos de densidad acorde al volumen que se considere en cada caso. Una de ellas es la densidad a granel que se denota como la relación entre la masa del sólido y el volumen total del recipiente que lo contiene. (Gomez, Klose, & Rincon, 2008).

Los objetivos de la presente investigación se enmarcaron en: evaluar tres variables relacionadas a la efectividad y eficiencias de la pirolisis como una propuesta de disposición final para residuos inservibles en zonas rurales; lo que se alcanzó a través de identificar el comportamiento en relación a tiempo, densidad de disposición y cantidad de producto final aplicado a residuos sólidos inservibles en un proceso de pirolisis, con el uso de ensayos en campo en dos localidades diferentes en condiciones similares.

2. METODOLOGÍA

Investigación aplicada en la que se pretende la evaluación de variables para el desarrollo de una metodología aplicable a la disposición final de residuos sólidos inservibles, partiendo de un método pre experimental, en el que se partirán de tres variables concretas y significativas en el proceso, cuyas definiciones, formulas ya están establecidas, una variable independientes y dos variables dependientes (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES, 1999), se realizara evaluación de las mismas, aplicando nueve repeticiones en cada ensayo, evaluando en cada una de ellas su comportamiento para ser comparadas con procesos de disposición final actual utilizado (Alvitres, 2000).

Para lo anterior se evaluará la conducta de tres variables:

Densidad: Se define como una relación entre la masa y el espacio que esta ocupa,

se establece la densidad variable independientes ya que no fue objeto de la investigación cambiar el tamaño de las partículas, por el contrario, la intencionalidad será procesarlas tal cual se genera por el productor del residuo; se referencia la densidad también como el peso específico de los residuos sólidos sirve principalmente para determinar el volumen ocupado por una masa de residuos.

Para determinar la densidad se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{masa} &= \text{kg de materia inservible depositada en el tanque} \\ \text{volumen} &= \text{ancho} * \text{largo} * \text{altura de la masa de residuos en el tanque} \end{aligned}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa kg}}{\text{volumen m}^3}$$

Ecuación 1. Calculo de densidad

Ecuación 1. Calculo de densidad

Fuente: (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales (CEPIS), 1999)

Tiempo: Es una magnitud física con la que se mide la duración o separación de acontecimientos; es el segundo.

Se ha establecido el tiempo como una variable dependiente asociada a la masa (kg) de residuos que ingresa al proceso y a la temperatura °C a la cual se active el tanque de pirólisis.

Residuo final: Se determina como residuo o subproducto final a la masa solida (kg) que se extrae posterior a la terminación del proceso, se ha identificado como una variable dependiente ya que la cantidad de residuos, se encuentra directamente proporcional a la temperatura suministrada, es decir a menor temperatura se tendría menor obtención de residuo final; así mismo se menciona este como un subproducto ya que no se ha realizado una caracterización que permita establecer la composición físico- química de dicho producto para determinar la utilización de mismo en otros procesos, así mismo en esta investigación no se tuvo este como una variable de análisis. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012).

Teniendo las variables establecidas se partió de la aplicación de la misma técnica, en dos ubicaciones geográficas diferentes, Municipio de Rionegro sector Llano Grande vereda Cabeceras y el Municipio de San Vicente vereda La Porquera ambas con similares condiciones climatológicas y en cada una de ellas se aplicó siete repeticiones para obtención de datos.

Para el análisis de datos se partió de la estadística descriptiva utilizando cálculos numéricos de tendencia central, como es el caso de la media aritmética, mediana y moda. (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), 1999)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al determinar la densidad en cada uno de los ensayos es necesario la medición de datos como la masa de residuos a procesar y las medidas del espacio que estas ocuparon en relación a ancho, largo y altura que ocuparon los residuos, tal como se muestra en las Tablas 1 y 2, cuyos datos permitieron obtener una densidad promedio de los residuos.

Tabla 1

Datos para obtención de densidad piloto 1

Ancho del area de pirolisis (m)	Largo del area de pirolisis (m)	residuos para pirolisis (m)	Volumen para pirolisis (m3)	Densidad kg/m3
0,5	0,5	0,02	0,005	300
0,5	0,5	0,03	0,006	320
0,5	0,5	0,06	0,015	233
0,5	0,5	0,05	0,013	240
0,5	0,5	0,07	0,018	371
0,5	0,5	0,09	0,023	356
0,5	0,5	0,02	0,005	300
0,5	0,5	0,03	0,006	320
0,5	0,5	0,07	0,016	258
Moda				300
Mediana				300

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 2

Datos para obtención de densidad piloto 2

Ancho del area de pirolisis (m)	Largo del area de pirolisis (m)	Altura los residuos para pirolisis (m)	Volumen para pirolisis (m3)	Densidad kg/m3
0,4	0,4	0,05	0,008	250
0,4	0,4	0,07	0,011	339
0,4	0,4	0,09	0,014	104
0,4	0,4	0,08	0,013	234
0,4	0,4	0,04	0,006	313
0,4	0,4	0,07	0,011	286
0,4	0,4	0,07	0,011	339
0,4	0,4	0,08	0,013	227
0,4	0,4	0,04	0,006	469
Moda				339
Mediana				286

Fuente: Elaboración propia (2019)

El cálculo de la densidad de los residuos sólidos urbanos son elementos importantes en el diseño y evaluación de sitios para la disposición de los residuos sólidos, permite prever el tamaño del sitio de disposición, esta variable podrá estar afectada por el tamaño mismo de la partícula, la humedad que esta contenga; es determinante en el cálculo y diseño del sistema de confinamiento para la pirólisis así mismo incide sobre la efectividad en el sostenimiento de la temperatura en el horno, que concluye el resultado final sea incremento o disminución en el tiempo de pirólisis. (Pinzon Casas, 2016).

Para esta investigación se estableció el cálculo de la densidad de los residuos sólidos inservibles sin la manipulación en el cambio de su tamaño, esto con la proyección que la metodología al ser aplicada con posterioridad no incurriera en la posibilidad de adquisición de maquinaria para el corte o desgaste del producto en sí.

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales - CEPIS, (1999), estudios realizados han determinado que la densidad para residuos sueltos se estiman en un rango de 250 a 300 kg/m³, en concordancia con el resultado obtenido que fue 293 kg/m³, lo que muestra la viabilidad de implementación de un horno familiar para la pirólisis de residuos sólidos como método de disposición final, y referenciado con datos del mismo informe en el que se estima una producción per-cápita para Antioquia de 0,65 kg/persona día con grupos familiares promedio de 4 personas/vivienda y cuya producción de residuos inservibles está por debajo del 30 por ciento del total de la producción de una vivienda, se evidencia la factibilidad técnica inicial para el desarrollo de estructuras asociadas a la pirólisis en áreas rurales.

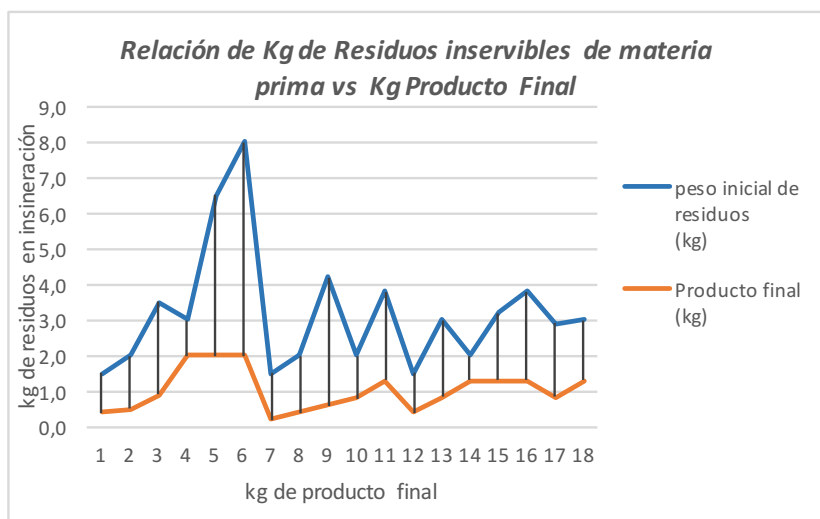


Figura 2. Relación de Residuos iniciales con producto final

Fuente: Elaboración propia (2019)

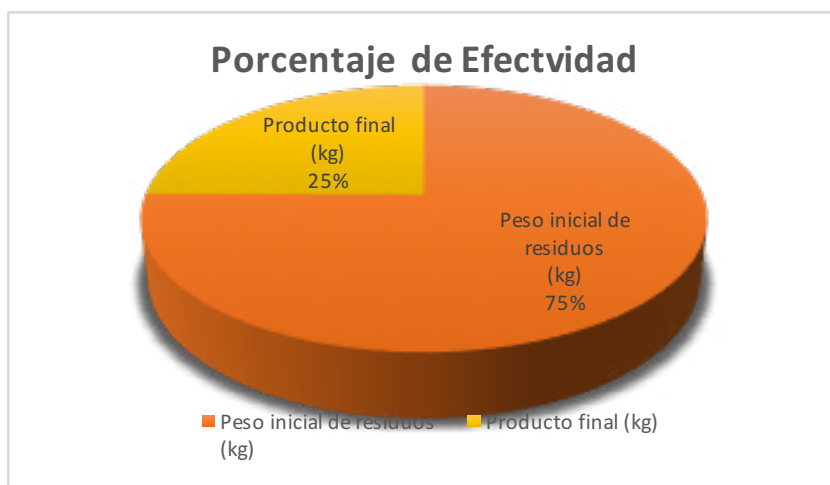


Figura 3. Porcentajes de efectividad según ensayos de campo

Fuente: Elaboración propia (2019)

La variable de producto final (Figura 2) traducido a cenizas estables generadas del proceso como residuo final, son difícilmente comparables, ya que se debe tenerse en cuenta las temperaturas y el tiempo en que estas son producidas en el proceso; aun así y teniendo como punto de partida el sistema actual de disposición final que es el relleno sanitario, se considera la pirólisis como un método de alta eficiencia, teniendo en cuenta que reduce en un setenta y cinco (75%) la materia prima introducida al proceso, resultado que se refleja de manera considerable en las áreas disponibles al almacenamiento de este residuo y que por ende será un reductor importante en áreas improductivas dentro de los sistemas de producción agrícola unifamiliares.

Con respecto a los rellenos sanitarios, que es el referente comparativo de mayor demanda se tiene, según Kiss Kofalusi & Encarnación Aguilar (2006) el tiempo de descomposición y reducción de la masa dispuesta en estos, está asociada a la tecnología utilizada en los mismos, incluyendo las condiciones ambientales prevalentes a través de la altura de la celda, o el perfil total del relleno, la tecnología de compactación y el tipo de cubierta.

Adicionalmente autores como Johannessen (1999) argumentan que la edad del relleno puede influenciar en la descomposición, al igual que la capacidad de reacción de los materiales depositados el cual a largo plazo va disminuyendo; entendiendo esto que la disposición por enterramiento como es el caso de relleno sanitario estará expuesta a una serie de condiciones tanto internas como externas para llegar a determinar el tiempo en que reducirán su masa y por ende el área que estos ocupan como relación de densidad, obteniendo así un impacto paisajístico bastante fuerte, al igual que pérdida de áreas con potencial aprovechable en otras actividades económicamente más rentables.

Tabla 3
Datos campo para cálculo de efectividad

<i>Peso inicial de residuos (kg)</i>	<i>Tiempo de pirolisis (min)</i>	<i>Producto final (kg)</i>	<i>% de residuos final</i>	<i>% de Efectividad</i>
1,5	380	0,4	26,6	73,3
2,0	240	0,5	25,0	75,0
3,5	300	0,9	25,6	74,3
3,0	296	2,0	66,6	33,4
6,5	323	2,0	30,7	69,3
8,0	670	2,0	25,0	75,0
1,5	253	0,2	13,3	86,7
2,0	620	0,4	20,0	80,0
4,2	260	0,6	14,2	85,8
2,0	64	0,8	40,0	60,0
3,8	128	1,3	34,4	65,6
1,5	150	0,41	38,1	61,9
3,0	200	0,83	36,8	63,2
2,0	164	1,31	36,9	63,2
3,2	128	1,3	34,4	65,6
3,8	128	1,3	34,4	65,6
2,9	200	0,83	36,8	63,2
3,0	200	0,83	36,8	63,2
2,0	164	1,31	36,9	63,2
3,2	128	1,3	34,4	65,6
3,8	128	1,3	34,4	65,6
2,9	200	0,83	36,8	63,2
3,0	200	0,83	36,8	63,2
2,0	164	1,31	36,9	63,2
3,2	128	1,3	34,4	65,6
3,8	128	1,3	34,4	65,6
2,9	200	0,83	36,8	63,2
3,0	164	1,31	36,9	63,2

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 4
Resultados de medidas de tendencia central en las variables evaluadas

	<i>Peso inicial de residuos (kg)</i>	<i>Densidad kg/m3</i>	<i>Tiempo de pisolisis (min)</i>	<i>Producto final (kg)</i>	<i>% de residuos final</i>	<i>% de Efectividad</i>
Promedio	3,14	293,00	238,61	1,04	32,82	67,17
moda	2,00	319,50	128,00	1,30	34,42	65,58

Fuente. Elaboración propia (2019)

Las medidas de tendencia centran permiten dar una visión unificada a partir de una serie de datos obtenidos en campo comparables con otros estudios que den posibilidad a la generación de escenarios o conclusiones a partir de la misma; es así como uno de

los resultados obtenidos en la Tabla 4 con relación al tiempo de pirolisis de la materia prima, se muestran como un valor alto comparable con otros sistemas de incineración que podrían reducir este tiempo de manera considerable; situación que es contraria a lo que pretende este método teniendo en cuenta que a mayor lentitud en la pirolisis se puede reducir visiblemente la cantidad de emisiones generada a la atmosfera y en caso de proyectar el complemento para este tipo de metodologías podría mejorar de forma importante la calidad del residuo final entorno a que podría ser convertidos en un subproducto aprovechable en finca, que aún es susceptible de ser analizado para su respectiva caracterización.

Lo anterior se sustenta al tener en cuenta lo argumentado por Garcia Cortes (1993) en relación a que el proceso de pirolisis se optimiza cuando se lleva a cabo muy lentamente con tiempo de reacción de horas e incluso de días; si la reacción ocurre en tiempos no superiores a segundos se favorece el rendimiento en líquidos combinados a temperaturas de 650°C mientras que a temperaturas superiores se maximiza la producción de gas.

CONCLUSIONES

Acorde al cálculo de la densidad, se determina una amplia posibilidad de aplicar pirolisis a los residuos inservibles rurales ya que, al ser un valor alto con respecto a otros residuos como el caso de los reciclables, permitirán el desarrollo de un horno de alto rendimiento, que demande bajo espacio para su funcionamiento y que esté al alcance de las comunidades rurales su adquisición o construcción en caso de querer aplicar esta metodología de disposición final.

Los resultados permiten determinar que es una opción viable en términos de reducción de materiales sobrantes cenizas, así como la adecuación de lugares para la realización del proceso, lo anterior partiendo de una variable importantes en el Oriente Antioqueño en términos de manejo del espacio, debido a la demanda y costos de los terrenos, es así como podría adoptarse este método para reducir las áreas improductivas dedicadas al enterramiento de residuos sólidos inservibles en las áreas rurales; resultados son adaptables a todo Oriente de Antioquia, en consideración a la composición físico química general de los residuos y las condiciones climatológicas.

El alcance de esta investigación es un inicio al desarrollo de alternativas de disposición final para las zonas rurales más aisladas; es imperativo el desarrollo de otras investigaciones que continúen soportando la posibilidad de implementar la pirolisis como método de tratamiento de los residuos sólidos inservibles rurales; dentro de lo que se considera el la estandarización del procedimiento de iniciación del fuego y la estabilización del rango de temperatura que conlleven posiblemente al aumento de la eficiencia del producto final, así mismo escalar para la caracterización físico- química del producto final (cenizas), se deberá tener en cuenta la emisión de gases en cuento a concentración y altura, permitiendo así proyectar otras estrategias de aprovechamiento de dicho residuo.

REFERENCIAS

- Academia de Ingeniería Ambiental. (2010). *Cuadernillo de apoyo para la asignatura de: Tecnologías limpias y Recursos Renovables*. En D. Romero Fonseca. México.
- Alvitres, V. (2000). Planificación de la Investigación. En V. Alvitres, *Método Científico* (p.205). Perú: Ciencia.
- Bernache Pérez, G. (diciembre de 2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos un estudio de la región Centro Occidente de Mexico. *Revista Internacional contaminación y ambiente*, 28, 97 - 105. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a14.pdf>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales (CEPIS). (1999). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Colombia: Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/analisis/colombia/colombia4.html>
- Cortázar Dueñas, M. (2015). *Estudio comparativo de tecnologías comerciales de valorización de residuos sólidos urbanos*. Universidad del País Vasco. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10810/14888>
- Esquer Verdugo, R. (2009). *Reciclaje y tratamiento de los residuos sólidos urbanos*. Instituto Politécnico Nacional Escuela superior de ingeniería y arquitectura. México.
- Essenhig, R., Stumbar, J., & Kuwata, M. (1969). Combustion behavior of suspended paper spheres. *Symposium (International) on Combustion*, 12. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0082078469804480>
- García Cortes, A. N. (1993). Estudio termoquímico y cinético de la pirólisis de residuos sólidos urbanos. Tesis, Universidad de Alicante. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/4157>
- Gomez, A., Klose, w., & Rincon, S. (2008). *Pirólisis de Biomasa*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: kassel. Recuperado de <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-457-8.volltext.frei.pdf>
- Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES). (1999). En Y. GALLARDO DE PARADA, A. MORENO GARZON, & ICFES (Ed.), *Aprender a Investigar*. Santa Fé de Bogotá: ARFO editores LTDA. Obtenido de <http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/CEUL/mod4analisisinform.pdf>
- Johannessen, L. (1999). *Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal solid Waste Landfill*. Urban Waste Management Thematic Group, Working Paper, World Bank, Urban Development Division.
- Kiss Kofalusi, G., & Encarnación Aguilar, G. (Abril - Junio de 2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en el sitio de disposición final. *Gaceta Ecológica*, 79. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2877246>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Bogotá, Colombia: ISBN: 978-958-57464-0-4.

- Noguera , K., & Olivero , J. (2010). *Los rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano*. *Revista Academica Colombiana de Ciencia*, XXXIV. Recuperado de <http://www.utsvirtual.edu.co/sitio/blogsuts/residuosolidos/files/2015/11/Rellenos-saanitarios-en-L.America-caso-Colombia.pdf>
- Pinzon Casas, R. D. (2016). Producción, recolección y disposición de residuos sólidos urbanos, análisis del sistema de gestión en el Municipio de Puerto Asis. Universidad de Manizales. Manizales: Universidad de Manizales, Facultad de ciencias contables, economicas y administrativas. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2829/Producci%C3%B3n%20recolecci%C3%B3n%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20an%C3%A1lisis%20del%20sistema%20de%20gesti%C3%B3n%20en%20el%20municipio%20de%20>
- PNUD. (Septiembre de 1999). A Revolutionar Pyrolysis Process for turning Waste-to-Energy. *BIO ENERGY NEWS*, 3. Recuperado de www.undp.org.in/programme/GEF/september/page10-25.htm
- Sedesol. (2001). *Manual Técnico Administrativo para el servicio de limpieza Municipal*. Venezuela. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/296126453/Manual-Tecnico-Residuos-Solidos-Municipales-SEDESOL>