

IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN EL MUNICIPIO DE TAURAMENA
CASANARE

DAVIS SAÚL MORENO GÓMEZ
LILIANA TERESA VIANCHA RINCÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL
YOPAL CASANARE

2019

IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN EL MUNICIPIO DE TAURAMENA
CASANARE

DAVIS SAÚL MORENO GÓMEZ
LILIANA TERESA VIANCHA RINCÓN

TRABAJO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR
DIANA MURILLO MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
INGENIERÍA AMBIENTAL
YOPAL CASANARE

2019

Dedicatoria

DAVIS SAÚL MORENO GÓMEZ

El presente documento del trabajo realizado se lo dedico a Dios todo poderoso quien me ha dado la fortaleza física, mental y espiritual para desarrollar y culminar de forma satisfactoria esta etapa de superación personal y formación académica.

Como ente principal de mi formación como persona y profesional dedico este trabajo a mi madre, pilar fundamental del ejemplo de persona, la cual me gustaría llegar a ser algún día.

También dedico este trabajo a todos y cada una de las personas que por una y otra razón se vieron afectas por cualquier motivo de mi formación académica, a todos ellos darles las gracias por seguir ahí, sin importar los inconvenientes.

A mi tutora diana murillo que desde el principio de mi carrera estuvo ahí, y además fue la directora de este trabajo agradecer su paciencia, consejo y esfuerzo por sacar esto adelante.

A cualquiera que falte agradecer y se me pase darle unas palabras en esta hoja, no los olvido y dedico mi esfuerzo a todos ellos.

LILIANA TERESA VIANCHA RINCÓN

Este trabajo lo dedico con amor, a mi querido esposo e hijos quienes han sido un gran apoyo para culminar una fase de mi gran proyecto, proyecto dedicado para ellos; donde aspiro a brindarnos un futuro mejor, darles el orgullo de tener una esposa y madre profesional.

Agradecimientos

DAVIS SAÚL MORENO GÓMEZ

Agradezco a mi Dios por permitirme culminar esta nueva experiencia en mi formación académica y profesional, por darme las facilidades y la satisfacción de culminarla, porque me ayude a lograr el buen aprovechamiento de lo adquirido en esta monografía y por sus bendiciones que nunca me ha abandonado. Sinceros agradecimientos a mi madre Otilia Gómez, por brindarme la vida, inculcarme la responsabilidad y el compromiso de finalizar lo iniciado; por cederme a través de su ejemplo los valores que como persona y sociedad debemos brindar, por llenarme de amor solo como una mamá a un hijo puede, agradecido nuevamente en Dios por la mamá que me dio. Completo agradecimiento a la Ing. Diana Murillo y la Ing. María José Jaramillo por su guía, asesoramiento y paciencia; durante todo este proceso y el de mi carrera en general, gracias a su tutoría somos unos excelentes profesionales, por último y no menos importante a Brigitte Barrera por ese apoyo incondicional y su valiosa opinión en muchas de las fases de este trabajo.

LILIANA TERESA VIANCHA RINCÓN

Agradezco en primer lugar a Dios porque gracias a él, estoy culminando un gran proyecto que me fije, a mis padres Danilo Vianchá y María Luz Rincón, por el apoyo que me han brindado en el transcurso de mi proyecto, a mi abuela quien a pesar de estar muy enferma espera el día de mi grado, a mi esposo y mis hijos por su comprensión y apoyo en cada una de estas etapas, las cuales no han sido fáciles, por último y no menos importante agradecer a los docentes por el conocimiento y sabiduría que me han compartido en este proceso de aprendizaje el cual es vital para mi crecimiento personal y profesional.

Contenido

Resumen.....	10
Summary.....	12
Introducción	14
Capítulo I.....	16
1. Generalidades.....	16
1.1. Identificación del Problema de Investigación	16
1.1.1. Descripción del problema.....	16
1.1.2. Pregunta de Investigación.....	19
1.1.3. Formulación de la Hipótesis de la Investigación.....	19
1.1.4. Sistematización del Problema.....	19
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivo general.....	20
1.2.2. Objetivos específicos.....	20
1.3. Justificación.....	20
1.4. Marcos de Referencia.....	22
1.4.1. Marco Teórico.....	22
1.4.1.1. Generación de residuos sólidos.....	22
1.4.1.2. Gestión de los residuos sólidos.....	24
1.4.1.3. Residuos sólidos-RS.....	26

1.4.1.4. Características y clasificación de los residuos sólidos.	26
1.4.2. Marco Conceptual.....	29
Capítulo II.....	31
2. Caracterización del Municipio de Tauramena.....	31
2.1. Localización y Extensión Territorial	31
2.2. Variables Socio Económicas	32
2.2.1. Demografía.	32
2.2.2. Necesidades básicas insatisfechas -NBI.	32
2.2.3. Actividades económicas.	34
2.3. Sistema de Gestión de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena	36
2.3.1. Fases de manejo de los residuos sólidos.....	37
2.3.1.1. Separación en la fuente.....	37
2.3.1.2. Recolección y transporte.	39
2.3.1.3. Tratamiento y Aprovechamiento.....	40
2.3.1.4. Disposición final.....	43
2.3.2. Generación de residuos sólidos en el municipio.	43
3. Metodologías de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos.....	46
3.1. Residuos Orgánicos.....	46
3.1.1. El compostaje.	49
3.1.1.1. Tecnologías aplicadas al compostaje.....	51

3.1.1.2. Casos de estudio.	54
3.1.2. Evaluación de alternativas de aprovechamiento de RS orgánicos por compostaje.	55
3.1.3. Lombricultura.	58
3.1.3.1. Proceso de lombricultura.	59
3.2. Residuos Reciclables Inorgánicos	60
3.2.1. Residuos plásticos.	60
3.2.2. Residuos de papel y cartón.	64
3.2.3. Reciclaje de metales ferrosos, no ferrosos y vidrio.	66
4. Resultados	69
4.1. Alternativa para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos.....	69
4.1.1. Sistema de compostaje en pilas con aireación forzada.	71
4.1.1.1. Estructura y tipos de pila.	71
4.1.1.2. Preparación del material.	73
4.1.1.3. Gestión de la aireación.	74
4.2. Alternativa para el Aprovechamiento de Residuos Plásticos.....	76
4.3. Aprovechamiento de los Residuos de Papel y Cartón.....	78
4.4. Aprovechamiento de Metales Ferrosos, No Ferrosos y Vidrio.....	79
Conclusiones	80
Recomendaciones	83
Referencias Bibliográficas	84

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de las características de los RS.	27
Tabla 2. Clasificación de los RS según su procedencia, factibilidad de manejo y disposición, y su grado de peligrosidad.....	28
Tabla 3. Clasificación de los RS según la fuente generadora.	28
Tabla 4. Distribución territorial municipio de Tauramena.....	31
Tabla 5. Usuarios reportados de los servicios de acueducto y alcantarillado.	32
Tabla 6. Problemáticas y causales asociados al aprovechamiento de residuos orgánicos.	42
Tabla 7. Generación de residuos sólidos según su tipo en el municipio de Tauramena.	44
Tabla 8. Métodos de aprovechamiento de los residuos orgánicos.	46
Tabla 9. Discriminación de alternativas de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.	48
Tabla 10. Cuadro comparativo procesos de aprovechamiento de los RS orgánicos.....	56
Tabla 11. Procesos de reciclaje químico de plástico.....	63
Tabla 12. Etapas de transformación del papel y cartón.	64

Índice de Figuras

Figura 1. Localización geográfica municipio de Tauramena.	31
Figura 2. Distribución del inventario ganadero del departamento.	35
Figura 3. Área sembrada cultivos permanentes municipio de Tauramena.	36
Figura 4. Camión de recolección de residuos sólidos.	39
Figura 5. Proceso de separación manual de residuos.	41
Figura 6. Aprovechamiento de RS reciclables.	41
Figura 7. Aprovechamiento de RS orgánicos.	43
Figura 8. Generación de residuos sólidos según su tipo en el municipio de Tauramena.	44
Figura 9. Proceso de compostaje.	49
Figura 10. Modelos de pilas estáticas de volteo.	51
Figura 11. Esquemas de pilas estáticas.	52
Figura 12. Sistemas cerrados de compostaje.	53
Figura 13. Compostador SAC 3000.	54
Figura 14. Pellets de plástico obtenidos mediante reciclaje mecánico.	61
Figura 15. Diagrama de flujo procesamiento de plástico.	62
Figura 16. Esquema general de extrusora.	62
Figura 17. Proceso de reciclaje de metales.	66
Figura 18. Fabricación del vidrio.	67
Figura 19. Dimensiones de las pilas de compostaje por aireación.	73
Figura 20. Tipos de equipos de sopladores.	75
Figura 21. Parámetros de la tubería de distribución.	76

Resumen

Esta monografía presenta las alternativas para el aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios del municipio de Tauramena, definidas a partir del análisis de los factores que intervienen dentro del proceso, para lo cual se realizó la descripción de las características del municipio y el estado actual del manejo de los residuos tanto en sus fases de separación en la fuente, recolección, transporte, tratamiento y/o disposición final, teniendo en cuenta los hallazgos presentados dentro de la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales y del Plan de Gestión Ambiental de la Planta Industrial de Residuos Sólidos - PIPRST.

Derivado del análisis de los documentos mencionados, se logró establecer que en el municipio de Tauramena se encuentra establecido un sistema de gestión de residuos sólidos-RS enfocado en el tratamiento post consumo a través de la PIPRST para la recuperación y el aprovechamiento de los residuos orgánicos a través del compostaje por volteo manual y la lombricultura; y la recuperación y separación de los inorgánicos a través de procesos manuales para su posterior venta. Es así como, se han logrado recuperar al año 207,8 toneladas correspondientes al 7% de un total de 2.968 toneladas generadas a nivel domiciliario.

Una vez se detalló el diagnóstico se procedió a realizar la descripción, análisis y establecimiento de las alternativas y tecnologías existentes para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos reciclables con base en las postulaciones descritas en la guía para la selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos (Ministerio de Ambiente, 2002) y otros autores.

Para el caso de los residuos orgánicos se identificaron procesos fisicoquímicos enfocados en la conversión de estos materiales en gas o abono orgánico a través de sistemas aerobios y

anaerobios, dadas las características y la infraestructura presente en el municipio se realiza el análisis y la elección del sistema enfocado en la producción de abono orgánico, teniendo en cuenta características como la utilización de recursos, la densidad poblacional y el volumen de generación de los sistemas de pilas manuales, sistemas de compostaje cerrados, pilas estáticas y la lombricultura. Se llega a la conclusión de que es necesario desarrollar procesos de pilas estáticas con aireación forzada y el mejoramiento del proceso de lombricultura para la obtención de tres productos el abono orgánico, el pie de cría de la lombriz californiana y el humus líquido.

En cuanto a los residuos plásticos se identificó que dentro de la PIPRST existe una maquinaria en desuso, por consiguiente se realizó un estudio de casos de implementación de procesos micro localizados para el aprovechamiento de este tipo de material, estableciendo que a través de la compra de una paletizadora, extrusora y la línea de enfriamiento se creará la línea de producción completa para la producción de productos a base de material reciclado plástico tipo PEAD y PET para el mercado regional.

Por último, se establece que, para los residuos de papel, cartón, metales ferrosos y no ferrosos, y el vidrio, dada la complejidad de las tecnologías, el alto costo de implementación y el volumen de generación de cada uno de estos residuos, factores descritos en la guía para la selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos (2002), se procedió a realizar la descripción de los procesos como el pulpeo y la fundición; posteriormente se realiza la recomendación de fortalecer los procesos de tratamiento, almacenamiento y compactación para comercializarlos posteriormente con terceros.

Palabras clave: Aprovechamiento, residuos sólidos, impactos ambientales, sostenibilidad, eficiencia de procesos.

Summary

This monograph presents the alternatives for the use of residues from residential services of the municipality of Tauramena, defined from the analysis of the factors that intervene in the process, for which the description of the characteristics of the municipality and the current state is made of the management of the waste in its phases of separation at the source, collection, transport, treatment and / or final disposal, taking into account the findings in the update of the Comprehensive Municipal Solid Waste Management Plan and the Environmental Management Plan of The Industrial Solid Waste Plant - PIPRST.

Derived from the analysis of the aforementioned documents, it was established that in the municipality of Tauramena a solid waste management system-RS focused on post-consumption treatment through the PIPRST for the recovery and use of organic waste is established. through composting by manual turning and vermiculture; and the recovery and separation of inorganics through manual processes for their subsequent sale. In this way, 207.8 tons corresponding to 7% of a total of 2,968 tons generated at home have been recovered by the year.

Once the diagnosis was detailed, the description, analysis and establishment of the alternatives and existing technologies for the use of recyclable organic and inorganic solid waste were based on the applications described in the guide for the selection of integral management technologies. of solid waste (Ministry of Environment, 2002) and other authors.

In the case of organic waste, physicochemical processes focused on the conversion of these materials into organic gas or fertilizer through aerobic and anaerobic systems were identified. Given the characteristics and the infrastructure present in the municipality, the analysis and choice of the system is carried out. focused on the production of organic fertilizer, considering

characteristics such as the use of resources, the population density and the volume of generation of manual piles systems, closed composting systems, static piles and vermiculture. It is concluded that it is necessary to develop static piles processes with forced aeration and the improvement of the vermiculture process to obtain three products: organic fertilizer, Californian worm breeding foot and liquid humus.

Regarding the plastic waste, it was identified that within the PIPRST there is a machinery in disuse, therefore a case study was carried out of the implementation of micro localized processes for the use of this type of material, establishing that through the purchase of a palletizer, extruder and the cooling line will create the complete production line for the production of products based on PEAD and PET plastic recycled material for the regional market.

Finally, it is established that, for waste paper, cardboard, ferrous and non-ferrous metals, and glass, given the complexity of the technologies, the high cost of implementation and the volume of generation of each of these residues, factors described in the guide for the selection of technologies of integral management of solid waste (2002), proceeded to make the description of processes such as pulping and smelting; Subsequently, the recommendation is made to strengthen the treatment, storage and compaction processes to commercialize them later with third parties.

Keywords: Exploitation, solid waste, environmental impacts, sustainability, process efficiency.

Introducción

En la actualidad el cuidado del medio ambiente se ha convertido en eje fundamental en la agenda internacional haciendo parte de la agenda de desarrollo proyectada para el 2030, como criterio a solucionar por parte de los países que integran las Naciones Unidas, dadas las problemáticas latentes generadas a partir del aumento en la producción per cápita de residuos que se ha cuadruplicado en los últimos años, sumado a los métodos de disposición final inadecuados, los hábitos de consumo y desecho y la acumulación de residuos no biodegradables ha tenido un impacto negativo sobre los recursos naturales y la salud de la población (Rodríguez, 2011).

Se trata de una problemática que se debe afrontar de forma íntegra, involucrando los criterios tecnológicos del manejo de los residuos con todos los actores y factores externos que pueden afectar la gestión de estos y que como consecuencia puedan llegar a generar afectaciones en el ambiente y en la salud pública derivados de los materiales no biodegradables, los lixiviados y la generación de vectores transmisores de enfermedades (moscas, ratones, cucarachas). Así mismo, como lo menciona Velázquez (2009), se requiere generar procesos descentralizados a nivel regional y local que partan de la educación y culturización de la población involucrándolos de forma activa en los procesos de separación y minimización de los residuos sólidos, siendo este factor fundamental para garantizar la eficiencia de los procesos de gestión.

Dentro de la gestión existen dos tipos de métodos que buscan dar tratamiento a los residuos sólidos, el primero utiliza la disposición final en rellenos sanitarios como método de eliminación de todos los residuos generados; el segundo busca a través del aprovechamiento de los materiales que por sus características físicas y químicas pueden volver a la cadena productiva para la generación de nuevos productos, minimizar los volúmenes dispuestos en rellenos sanitarios. Para ello se pueden utilizar diferentes tecnologías y procesos para el tratamiento de cada uno de los

tipos de residuos aprovechables, su eficiencia dependerá de las características del área en donde se desarrolle como los volúmenes de generación, los tipos de residuos, los niveles socioeconómicos, entre otros (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012).

Es por esto, que en este documento el lector encontrará los criterios fundamentales para la selección de alternativas óptimas eficientes operativa y económicamente en aras de su posterior desarrollo dentro de los procesos que se llevan a cabo en el municipio de Tauramena para el aprovechamiento de los residuos que allí se producen.

Capítulo I.

1. Generalidades

1.1. Identificación del Problema de Investigación

1.1.1. Descripción del problema. El crecimiento poblacional ha aumentado de forma exponencial pasando de 2.500 millones a 6.900 millones de personas entre los años de 1950 al 2010, los cuales generan alrededor de 680 millones de toneladas de residuos al año, derivados de los procesos de producción y consumo de productos por parte de la población (Tello Espinoza, y otros, 2010). Según el Banco Mundial (2018), se estima que para el año 2050 la población rondará los 9.600 millones de personas y se producirán cerca de 2.200 millones de toneladas de residuos al año, convirtiendo a los residuos en una problemática de carácter global, que como lo menciona Rodríguez (2011). *“No solo se trata de los volúmenes de generación, sino que, a su vez, la composición ha pasado de ser densa y orgánica a volumétrica, parcialmente no biodegradable y con componentes tóxicos”*.¹

Las problemáticas derivadas de los residuos sólidos según Jaramillo (2002), parte de dos factores; el primero referente a la utilización de materias primas no biodegradables y de fácil desuso en los procesos productivos para la generación de productos para el consumo; y el segundo a la utilización de tecnologías, procesos y métodos de disposición inadecuada de los mismos. Como consecuencia de lo anterior, se generan efectos nocivos sobre la salud de las personas y el medio ambiente, tales como: la proliferación de vectores transmisores de enfermedades, la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, la pérdida de fertilidad de suelo, la contaminación del aire, el deterioro paisajístico, entre otros.

¹ Rodríguez. (2011). Residuos sólidos en Colombia: Su manejo es un compromiso de todos.

Otro factor que menciona el Jaramillo (2002), es la pérdida de valor económico dentro de la gestión de los residuos, ya que la presentación de los servicios de aseo en muchas ocasiones se realiza de forma empírica, sin una adecuada planificación de los criterios técnicos, económicos y sociales, conllevando a que los sistemas de manejo y disposición final no sean sustentables. Así mismo, siendo que las metodologías de gestión en los países en vía de desarrollo se encuentran enfocadas hacia la recolección y disposición final en rellenos sanitarios, se pierde el valor económico de aquellos residuos que por sus características fisicoquímicas pueden ser reutilizados evitando el consumo de materias primas vírgenes.

Colombia tiene el mismo comportamiento demográfico que el resto del mundo, en donde el fenómeno de migración del campo a la ciudad ha concentrado al 76,4% de la población en áreas urbanas y el 23,6% en áreas rurales (Banco Mundial, 2015). Así mismo, la gestión de los residuos sólidos en el país se encuentra enfocada hacia la eliminación de los vertederos a cielo abierto y la formalización de los rellenos sanitarios, que cumplan con las características que eviten la generación de problemáticas ambientales y de salud pública, que según Jaramillo (2002), se trata de la única alternativa admisible para dar disposición final a los residuos, aun así, es necesario promover el cambio de cultura de la población a través de procesos que incentiven la segregación en la fuente, la minimización del uso de artículos que contengan materiales no biodegradables y el reúso que evite el consumo de materias primas vírgenes.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (2015), en Colombia la producción per cápita de residuos sólidos es de 0,95 Kg, para una producción estimada de 24.600 toneladas diarias, que contienen en su gran mayoría materiales reciclables de los cuales se recuperan solo el 17%, cantidad que comparada con países como Holanda que recicla el 99% de sus residuos no es representativa. El área metropolitana del Valle de Aburra se presenta como la zona de mayor

avance en procesos y niveles de recuperación de residuos post consumo Ospina (2017), afirma que el avance en tecnologías y procesos estructurados para el aprovechamiento de los residuos sólidos en esta zona ha permitido recuperar un total de 1.800 toneladas/día de material aprovechable generando empleo a más de 3.600 personas.

En Colombia, aunque existe un marco normativo extenso que define los conceptos, lineamientos y métodos encaminados a la gestión integral de los residuos sólidos, su implementación está relacionada con la generación de procesos de manejo y disposición final, esto reflejado en las estadísticas proporcionadas por la Contraloría General de la Republica, quien señala que más de 24.000 toneladas diarias de reciclables (90% de los generado), no es aprovechado y tienen dos tipos de disposición final; la disposición inadecuada (botaderos a cielo abierto, disposición directa en el ambiente, suelo y fuentes hídricas) conllevando a múltiples problemáticas ambientales y de salud pública; y la disposición adecuada en rellenos sanitarios (Fanor, Marmolejo y Torres, 2012).

Actualmente en Tauramena Casanare se generan 264 ton/mes según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio-PGIRS (2015), a los cuales no se realiza ninguna actividad de clasificación en la fuente, es así como los usuarios presentan sus residuos (domiciliarios, comerciales y de producción) sin separar en bolsas, canecas y cajas.

Según el administrador a cargo de la Planta Industrial Procesadora de Residuos Sólidos de Tauramena – PIPRST desde el año 2017 Romario Bernal, en la actualidad los sistemas de aprovechamiento se realizan de forma empírica, es así como para el caso de los residuos orgánicos se implementa un proceso de compostaje tradicional el cual no cuenta con estándares, procedimientos, procesos y técnicas que permitan generar abonos orgánicos de alta calidad,

siendo la falta de planeación y el desconocimientos de los criterios mencionados la principal problemática.

Para el caso de los aprovechables no biodegradables se utiliza un proceso de separación manual que según el PGIRS (2015), tiene un porcentaje de rechazo del material seleccionado del 17,11% correspondiente a 95,76 Ton/año, esto a raíz de dos factores; el primero relacionado con la falta de segregación en la fuente por parte de los generadores; y el segundo por fallas en los procesos de separación dentro de la planta debido a que las bandas transportadoras se encuentran dañadas y existe un déficit de personal para realizar este proceso.

1.1.2. Pregunta de Investigación. Con base en lo anterior se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios se ajustan a las características del área urbana del municipio de Tauramena según las estadísticas de generación contempladas dentro del PGIRS?

1.1.3. Formulación de la Hipótesis de la Investigación. Se propone que la hipótesis de investigación se encuentre relacionada con la siguiente afirmación: Existen sistemas de procesamiento que permiten el aprovechamiento de los residuos sólidos de forma práctica, eficiente y adaptable a las características del municipio de Tauramena.

1.1.4. Sistematización del Problema.
¿Cuáles son las características sociales, económicas y ambientales del municipio de Tauramena, que intervienen en los procesos de gestión de los residuos sólidos?

- ¿Cuáles son las características físicas (tipos de residuos y cantidades) de los residuos generados por la población del municipio de Tauramena?
- ¿Qué tecnologías, métodos y procesos de aprovechamiento de los residuos sólidos existen en la actualidad?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general. Identificar alternativas de aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios en el municipio de Tauramena Casanare.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Clasificar las diferentes metodologías de aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios generados en el municipio de Tauramena mediante una revisión bibliográfica.
- Explicar el funcionamiento, características y aplicación de las alternativas que existen para mejorar el sistema de aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios.
- Realizar una evaluación general de alternativas teniendo en cuenta los criterios ambientales, tecnológicos y económicos del municipio de Tauramena.

1.3. Justificación

A nivel Colombia, la Constitución Política estipula que... *“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.”* (Const., 1991, art. 79);² Así mismo la (Unión Temporal PGIR Tauramena, 2015) se afirma que:

“Dentro del marco de cumplimiento del Plan de Gestión integral de residuos sólidos del municipio de Tauramena vigente, se construyó una Planta industrial de residuos sólidos - PIPRST, tecnología que va de la mano con los lineamientos de las nuevas políticas en materia de aprovechamiento, como lo contempla el Decreto 1077 (2015), expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, donde establece que los municipios deben

² Constitución Política de Colombia. (1991). [Cons.]. Artículo 79.

promover y fortalecer la actividad de aprovechamiento en el marco de actualización o formulación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS”. (p.459)

En el diagnóstico adelantado dentro del PGIRS del municipio y las afirmaciones realizadas por el administrador de la planta de aprovechamiento, se evidencia que existen herramientas que han permitido avanzar en los temas de aprovechamiento a través de la ejecución del PGIRS y la puesta en marcha de la PIPRST, pero existen factores por fortalecer y medidas correctivas por ejecutar; como es el caso del diseño y establecimiento de los procesos y procedimientos, la reparación de equipos y herramientas, la consecución de nuevo personal y su capacitación.

Es por esta razón, que esta monografía pretende establecer las bases conceptuales necesarias para el conocimiento de las diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios que se adapten a las características del municipio y que posteriormente sean el punto de partida para el fortalecimiento y/o reestructuración de procesos que se desarrollan en la actualidad.

1.4. Marcos de Referencia

1.4.1. Marco Teórico.

1.4.1.1. Generación de residuos sólidos. Los residuos están directamente relacionados con el trabajo, elaboración de alimentos, en los procesos productivos, en las actividades de esparcimiento y recreación, y demás actividades desarrolladas por el hombre. Desde los comienzos de la sociedad primitiva la humanidad ha utilizado los recursos naturales para su supervivencia, los residuos que se generaban eran dispuestos directamente sobre el ambiente ya que dadas sus características eran degradados fácilmente (Márquez, 2011). En las antiguas ciudades las personas desechaban los residuos sólidos que generaban en las calles, caminos o lotes baldíos, lo cual dio origen a problemáticas relacionadas con la proliferación de roedores y microorganismos transmisores de enfermedades (peste bubónica); dado que no se le daba ningún tipo de manejo a esta problemática se crearon epidemias a nivel mundial, uno de los casos más representativos en la historia se dio durante el siglo XIV con la llamada peste negra, enfermedad que aniquilo a la mitad de la población de Europa. A pesar de lo anterior, solo hasta el siglo XIX los gobiernos establecieron la relación entre el mal manejo de los residuos sólidos y la generación de riesgos sobre la salud de la población, dando comienzo a las primeras practicas enfocadas en la recolección y evacuación de los mismos hacia zonas apartadas del contexto urbano, como método para evitar la proliferación de roedores y moscas (Briganti, 2003).

Con la llegada de la revolución industrial, la inserción de las maquinas dentro de los procesos productivos y la utilización de materias primas sintéticas, junto con los fenómenos de migración del campo a la ciudad y el crecimiento poblacional acelerado pasando de 1,6 millones de personas para inicios del siglo XX a 2,5 para mediados del mismo siglo; conllevaron al aumento de la demanda de productos y servicios trayendo como consecuencia el incremento acelerado de

residuos sólidos, los cuales colapsaron el ciclo natural de reciclaje. Estos procesos han venido en aumento a través de los años teniendo un impacto negativo cada vez mayor, es por esto que los gobiernos se han visto en la necesidad de trazar estrategias en pro de disminuir las problemáticas derivadas de la generación de los residuos sólidos, a través de su minimización y manejo adecuado (Guevara, Maldonado y Vásquez, 2013).

Haciendo énfasis en el proceso de generación de los residuos Briganti (2003), aclara que los procesos de producción de los bienes de consumo utilizan en su gran mayoría materias primas vírgenes, las cuales después de su utilización por parte del individuo son retornadas al medio ambiente con un grado de degradación, a lo que se le conoce como “residuos” ya que ha perdido el valor para aquella persona que lo utiliza, el cual puede tener diferentes destinos: la disposición final en rellenos sanitario; o el aprovechamiento a partir de procesos como la incineración (para la producción de energía) o el reciclaje para darles una nueva vida útil. Si no se realiza ninguno de los procesos enunciados anteriormente, se generan problemáticas sobre la salud pública y el ambiente mencionadas por la Organización Panamericana de la Salud-OPS (2005), entre las que se encuentran:

- Sobre la salud pública: por la generación y proliferación de vectores transmisores de enfermedades y la presencia de residuos infecciosos, sustancias tóxicas y peligrosas.
- Sobre la seguridad personal: por la existencia de peligros para las personas que laboran en el reciclaje (quemaduras, cortadas, entre otros).
- Sobre el ambiente: derivados de factores como; la contaminación del aire, por la descomposición de los residuos y la emanación de vapores tóxicos; la contaminación del suelo y las fuentes hídricas, por el depósito directo de los residuos sólidos-RS en las fuentes de agua y el

mal manejo de los lixiviados; y la contaminación visual, por la acumulación de los RS dentro de las ciudades.

1.4.1.2. Gestión de los residuos sólidos. En términos generales (Varón, 2011), en su tesis afirma que. “La conceptualización de la gestión integral de los residuos sólidos ha sido ampliamente abordada a nivel nacional e internacional, dejando explícito que la gestión requiere acciones desde diferentes ámbitos buscando establecer en los programas planteados como solución, actividades que reduzcan la generación de residuos sólidos, promuevan el reciclaje, aprovechamiento, valorización y reutilización de los residuos y finalmente la disposición y/o tratamiento en condiciones ambientalmente viables” (p.14)

Cuando se habla de gestión integral de residuos sólidos, según la Organización Panamericana de la Salud-OPS (2005), se refiere a las actividades, programas y acciones que permiten un manejo adecuado de los mismos, evaluado esto desde un criterio técnico, ambiental, social y económico. En Colombia, el organismo rector de las actividades de gestión de los residuos sólidos es el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual define como un conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, de planeamiento, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para la administración de los residuos, desde su generación hasta su disposición final, a fin de obtener beneficios ambientales, optimización económica de su administración y aceptación social, respondiendo a necesidades y circunstancias de cada localidad y región (2012).

El sistema de gestión está integrado por un conjunto ordenado de etapas, entre las que se encuentran: la etapa de pre recogida tiene que ver con la minimización, manipulación, almacenamiento, separación en la fuente y presentación de los residuos para su recolección, en la cual interviene directamente el generador. La fase de recogida y transporte es de mayor inversión

y planificación, en la cual se puede ver claramente la responsabilidad de los entes gubernamentales y las iniciativas publico privadas; y por último la etapa de tratamiento que incluye los proyectos y actividades que permitan una eliminación o aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012); La técnica más utilizadas para la disposición final son los rellenos sanitarios.

Dentro del informe de la OPS (2005), se establecieron tres principios para alcanzar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos; la primera referente a la coordinación entre los aspectos funcionales de la minimización, la segregación, recolección y disposición final; la segunda sobre la coordinación en el espacio y tiempo de las actividades de manejo de residuos sólidos; por último, el trabajo conjunto entre el estado y las instituciones privadas partiendo bajo unos mismos objetivos y políticas para el manejo de residuos.

1.4.1.3. Residuos sólidos-RS. Los residuos sólidos, también mal llamados desechos, son el resultado del metabolismo de los organismos vivos y de los remanentes de las actividades productivas del hombre. Se los considera un contaminante cuando por sus características fisicoquímicas, se dificulte su integración a los ciclos, flujos y procesos ecológicos normales, cada vez es mayor el volumen de generación de residuos que por sus características fisicoquímicas tienen menos contenido biodegradable, haciéndolos más contaminantes y nocivos para la población y el ambiente (Organización Panamericana de la Salud, 2005). Otro de las definiciones del concepto de los residuos sólidos se encuentra dentro del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, el cual lo definen como (...) *“un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales de servicios que el generador abandona, bota, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento, transformación en un bien con valor económico o disposición final. Se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas”* (2012).³

1.4.1.4. Características y clasificación de los residuos sólidos. Se puede afirmar que existe una gran variedad de materiales que se diferencian por sus características fisicoquímicas pero que comparten un mismo criterio, el haber sido alterado a través de algún tipo de aprovechamiento lo cual los clasifica como residuos sólidos. Mas sin embargo dichas características permiten agrupar los materiales teniendo en cuenta su estructura composicional.

Con el fin de dar mayor claridad a las características y clasificación de los residuos sólidos se presentan el esquema para la separación en la fuente de los residuos sólidos presentado dentro de

³ Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2012). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS. Título F: Definiciones.

los lineamientos para la separación en la fuente de los residuos sólidos producidos por el sector residencial (Briganti, 2003).

Tabla 1.

Clasificación de las características de los RS.

Tipo	Aspecto	Descripción
Características Físicas	Composición gravimétrica	Peso porcentual de cada uno de los componentes de los residuos, en relación con el peso total de los mismos. Se expresa en unidades de porcentaje (%).
	Peso específico	Se conoce como grado de compactación, y es la reducción que puede tener el volumen de la masa de los residuos al ser sometida a una determinada presión. Se expresa en porcentaje (%).
	Producción per cápita	Indica la cantidad de residuos generados diariamente por un habitante de un determinado lugar. Se expresa con las siguientes unidades de kilogramo por habitante por día (Kg. / Hab. – día).
	Poder calorífico	Indica la capacidad potencial de generación de calor, de un determinado material cuando es quemado. Este parámetro es básico para el diseño de sistemas de tratamiento de residuos como la incineración. Sus unidades son kilocalorías por kilogramo (Kcal. /Kg).
Características Químicas	PH	Grado de acidez o alcalinidad de los residuos sólidos generados.
	Composición química	Indica los porcentajes de cenizas, materia orgánica, carbono, nitrógeno, humedad, potasio, relación carbono nitrógeno (C/N), calcio y fósforo, entre otros. Esto para definir el tipo de tratamiento más adecuado para los residuos.
Características Biológicas	Determina la presencia de microbios y agentes patógenos presentes en los residuos.	

Fuente. Briganti, 2003. Adaptado de *Lineamientos para la separación en la fuente de los residuos sólidos producidos por el sector residencial (estratos 4, 5 y 6) de la ciudad de Cartagena de Indias.*

Una vez establecidas las diferentes características de los residuos sólidos se hace necesario identificar la clasificación específica de cada uno de los materiales esto con el fin de dar el tratamiento post consumo idóneo. De acuerdo con los lineamientos del RAS, los residuos sólidos

se pueden clasificar según su procedencia, factibilidad de manejo y disposición y su grado de peligrosidad; también se pueden clasificar según la fuente generadora.

Tabla 2.

Clasificación de los RS según su procedencia, factibilidad de manejo y disposición, y su grado de peligrosidad.

De Acuerdo Con	Tipos de Residuos
Procedencia	Residenciales, industriales, institucionales, hospitalarios, de barrido
Factibilidad de manejo	Comunes o especiales
Grado de peligrosidad	Comunes o peligrosos

Fuente: RAS- *Título F*, por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012.

Tabla 3.

Clasificación de los RS según la fuente generadora.

Tipo	Fuente
Domésticos	Residencias unifamiliares y multifamiliares, edificios de apartamentos, de poca, mediana y gran altura.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, almacenes de impresos.
Industrial	Construcción, fabricación, manufacturas ligeras y pesadas, refinerías, plantas químicas, madera, minería, generación de electricidad, demolición, etc.
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales y otras.
Áreas comunes	Calles, avenidas, parques, terrenos vacantes, etc.
Agrícolas	Cultivos, huertos, viñedos, ordeñaderos, corrales de ganado y animales, granjas, etc.

Fuente: RAS- *Título F*, por Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012.

1.4.2. Marco Conceptual. Para la determinación de los conceptos relacionados con el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos, se toma como base lo descrito dentro del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012), y su actualización, obteniendo los resultados propuestos a continuación.

- ***Sistema de Manejo de Residuos Sólidos:*** conjunto de actividades encaminadas hacia la integración de los procesos de separación en la fuente, almacenamiento temporal, transporte, acopio y disposición final de los mismos, en donde se deben tener en cuenta los criterios de eficiencia y sostenibilidad, en donde los actores involucrados (entidades públicas, empresas y población en general), sean garantes de que dichos procesos se realicen de forma óptima y/o tomen medidas que eviten posibles impactos negativos a nivel social, ambiental y económico.

- ***Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS):*** Conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos y actividades, definidos por el ente territorial para la prestación del servicio de aseo, basado en la política de gestión integral de residuos sólidos, el cual se obliga a ejecutar durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un Plan Financiero Viable que permita garantizar el mejoramiento continuo de la prestación del servicio de aseo, evaluado a través de la medición de resultados.

- ***Residuo Sólido:*** Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición

final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

- ***Residuo Sólidos Aprovechable:*** Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

- ***Reciclaje:*** Proceso mediante el cual se aprovecha y transforma los residuos sólidos recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. Consta de varias etapas: proceso de tecnología limpia, reconversión industrial separación, recolección selectiva, acopio, reutilización, transformación y comercialización.

Capítulo II.

2. Caracterización del Municipio de Tauramena

2.1. Localización y Extensión Territorial

El municipio de Tauramena se encuentra ubicado al sur del departamento de Casanare y cuenta con una extensión territorial de 2.607 Km² correspondientes al 5,8% de la extensión total del departamento que corresponde a 44.640 Km² (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016).

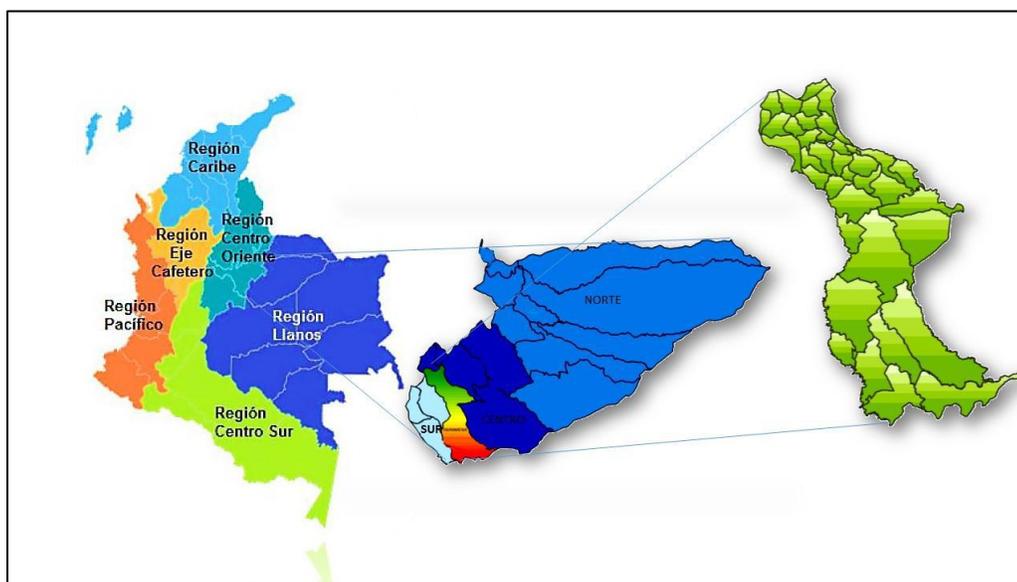


Figura 1. Localización geográfica municipio de Tauramena. Fuente: Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016. Pagina web oficial.

Del total de la extensión del municipio el 0,1% equivalen a la zona urbana (2.44 Km²) y el restante 99,9% se identifica como zona rural, el cual cuenta con la siguiente distribución:

Tabla 4.

Distribución territorial municipio de Tauramena.

Categorías	Cantidad
Barrios	12
Centros Poblados	3
Corregimientos	1

Categorías	Cantidad
Veredas	37

Fuente: Elaboración propia, datos del *Plan de Desarrollo Municipal de Tauramena 2016-2019*, 2016.

2.2. Variables Socio Económicas

2.2.1. Demografía. Según las estadísticas presentadas por el DANE para el año 2014 la población fue de 20.862 habitantes de los cuales el 66% correspondiente a 13.780 se ubican en el área urbana del municipio, mientras que el restante 28% (5.786 habitantes) se ubican en el área rural y el 6% (1.206) en centros poblados (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016).

Así mismo, se demuestra que existe una mayoría de población masculina frente a la femenina en donde por cada 100 mujeres hay 118 hombres; y en donde el 66% del total de la población están en edad productiva, edades entre los 15 y los 60 años (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016).

2.2.2. Necesidades básicas insatisfechas -NBI. Este componente esta integrados por todos los criterios que permiten distinguir el grado en que la población goza de los principios básicos para su buen desarrollo entre los que encontramos acceso a saneamiento básico, agua potable, educación y salud.

- **Agua potable y saneamiento básico:** Estos dos componentes forman parte fundamental para que la población goce de una mejor calidad de vida; es así como dentro del Plan de Desarrollo del Municipio de Tauramena (2016), se reportan un total de 5.076 usuarios del servicio de acueducto y 4.372 usuarios del servicio de alcantarillado distribuidos de como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Usuarios reportados de los servicios de acueducto y alcantarillado.

Zona	Acueducto	Alcantarillado
Urbano	4204	4117

Zona	Acueducto	Alcantarillado
Rural	561	41
Centros Poblados	311	214

Fuente: Elaboración propia, datos del *Plan de Desarrollo Municipal de Tauramena 2016-2019*, 2016.

Es así como en lo concerniente con el servicio de acueducto a nivel urbano se cuenta con 3 fuentes de abastecimiento el río Chitamena, un pozo profundo y el río Caja, lo cuales se encuentran interconectados con 3 tanques con una capacidad de 2400 m³ en donde se realiza el correspondiente tratamiento. Con este sistema se ha logrado alcanzar una cobertura a nivel urbano del 99%, del 83% en los centros poblados y del 27% de la población del área rural. Para el caso del servicio de alcantarillado se reporta que para el año 2015, la cobertura alcanzó el 65% del total de la población del municipio, siendo el área urbana y los centros poblados los de mayor cobertura con el 98% y el 62% respectivamente; mientras que el área rural solo tiene una cobertura del 5% (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016).

Según lo reportados en el diagnóstico municipal la principal dificultad que se presenta para alcanzar una mayor cobertura de estos dos componentes a nivel rural es la falta de implementación de estrategias acordes al hecho de que se trata de población dispersa.

- **Salud:** El municipio cuenta con la empresa social del estado ESE Hospital Local, que cubre el primer nivel de complejidad tales como; medicina externa, odontología, urgencias y algunos de segundo nivel como pediatría, ginecología, obstetricia y laboratorio clínico. Así mismo, cuenta con traslado asistencial básico para pacientes que requieran atención de mayor complejidad, siendo el Hospital de Yopal el centro de referencia para la atención.

- **Educación:** Dentro del municipio se cuenta con 9 instituciones avaladas por el ministerio de educación de las cuales 5 corresponden al ente oficial y 4 de carácter privada, que para el 2016 atendieron un total de 6.356, el 93% fueron atendidos por las instituciones oficiales

mientras que el 7% en las privadas. Del total de la población estudiantil el 73% se encuentra en el ciclo de básica primaria, el 11% (700 estudiantes) en educación media y el 9% (572 estudiantes) en educación preescolar (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016).

2.2.3. Actividades económicas. Al igual que la mayoría de los municipios del departamento de Casanare, Tauramena se caracteriza por tener una vocación petrolera y agropecuaria siendo estos sectores los de mayor aportación a los ingresos del municipio, por tal razón a continuación se describe cada una de sus características.

- **Componente pecuario:** Este componente integra la explotación ganadera, porcina y equina, se realiza énfasis en la ganadera puesto que representa el 1,6% del producto interno bruto de país y genera alrededor de 950.000 empleos directos. Se trata de una actividad que en el departamento de Casanare constituye un área aproximada de 3.499.806 hectáreas en donde se estableció para el 2014 un hato total de 1.919.200 cabezas de ganado doble propósito (carne y leche), se trata de una actividad que abarca el 87% del área útil de producción del departamento.

Tauramena se ubica en séptimo puesto en el inventario ganadero del departamento con el 6,66% de cabezas de ganado que para el año 2016 corresponden a un total de 122.200 cabezas de ganado, en donde se encuentran razas como cebuinas (Bos Indicus), Guzerat, Gyr, nelore y el brahmán, simental, charole, entre otros, que han sido cruzados con ganado criollo; se trata de una actividad que involucra a 1.422 productores (Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016).

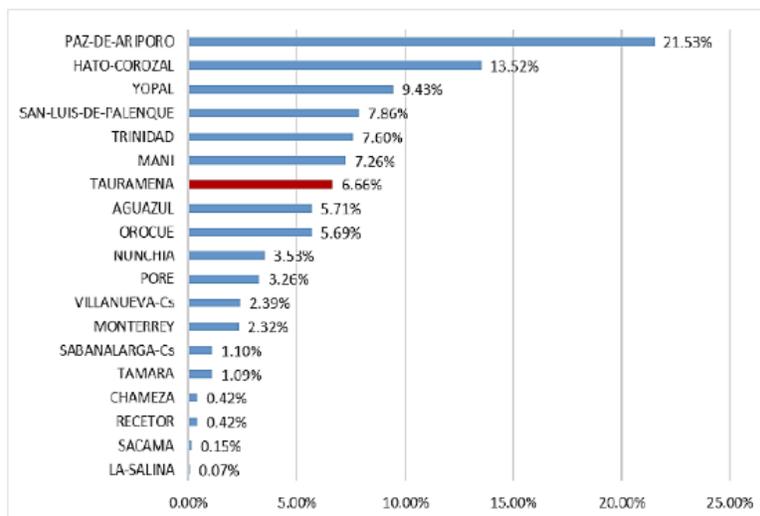


Figura 2. Distribución del inventario ganadero del departamento. Recuperado de *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019*, (p. 344), por la Alcaldía Municipal de Tauramena, 2016.

- **Componente agrícola:** Dentro de este componente se encuentran tres tipos de cultivos los transitorios, permanentes y anuales, los cuales dentro del municipio corresponden para el año 2014 a 14.576 hectáreas de cultivos, distribuidos de la siguiente forma; los transitorios equivalentes al 45% (6.618 has) de cultivos de arroz y plátano; los permanentes con el 54% (7.952 has) en cultivos de cítricos, papaya, piña, palma de aceite, caña y plátano; y por último los anuales con el 5% (5 has) en cultivos de yuca principalmente (Documento de Diagnóstico y Caracterización Municipal, 2016).

Para el caso de los cultivos permanentes se encuentra para el 2014 un total de 7.952 hectáreas sembradas siendo la palma de aceite la de mayor aportación con el 94% (7.489 has), esto debido en gran medida a la inversión privada para la creación de la planta de procesamiento de aceite de palma, esto ha generado un aumento en la producción de este cultivo que para el 2016 equivale a 15.578 hectáreas sembradas de palma de aceite (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR, 2016).

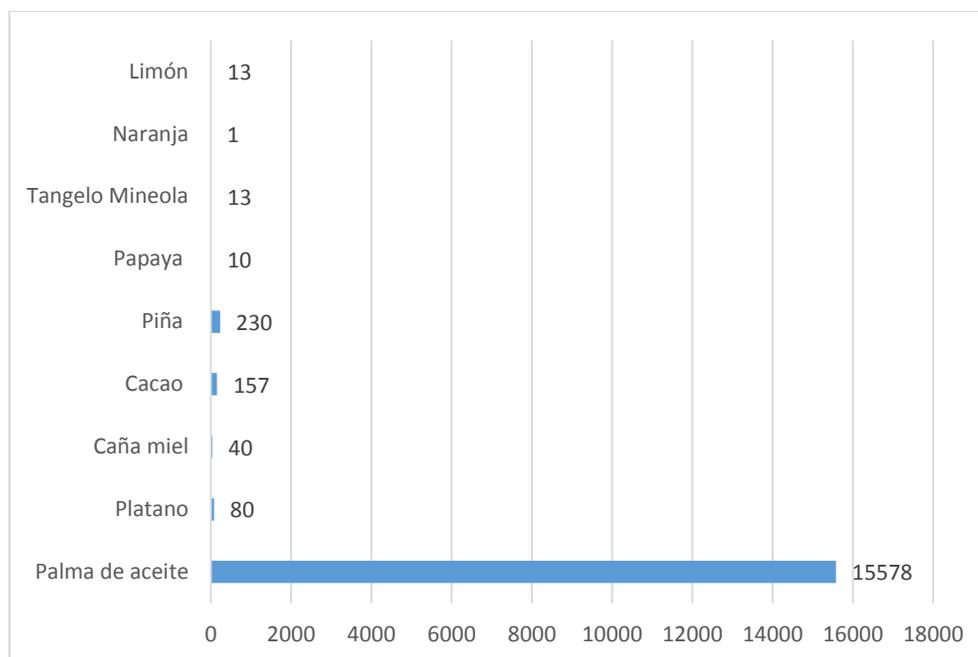


Figura 3. Área sembrada cultivos permanentes municipio de Tauramena. Elaboración propia, datos de la *Oficina de Planeación y Prospectiva – MADR*, 2016.

- **Componente hidrocarburos:** para el 2009 el departamento de Casanare se ubicaba como el segundo productor de petróleo con un promedio de 110.334 barriles/día, solo era superado por el departamento del Meta con un promedio de 201.195 barriles/día. La producción de Casanare se encuentra distribuida en 8 municipios, siendo los de mayor participación Aguazul (40,6%), Yopal (22,7%), Maní (11,7%), Tauramena (7,8%) y Orocué (7,1%); el porcentaje restante (10,2%) está integrado por los municipios de Trinidad (5%), San Luis de Palenque (3,6%) y Paz de Ariporo (Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015, 2012).

2.3. Sistema de Gestión de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena

El manejo de los residuos sólidos se encuentra a cargo de la Empresa de Servicios Públicos de Tauramena-EMSET S.A. E.S.P, quien se encarga de la recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final de los mismos. Para el caso del aprovechamiento en el año 2000 se construyó la planta industrial procesadora de residuos sólidos – PIPRST y la licencia

para el funcionamiento y puesta en marcha fue otorgada mediante resolución No. 200.41.09.1227 del 21 de octubre del 2009 (Méndez, 2017).

2.3.1. Fases de manejo de los residuos sólidos. Conforme a lo establecido en el RAS Titulo F (2012), el manejo de los residuos sólidos integra el conjunto de actividades encaminadas a dar el tratamiento idóneo a los materiales presentados por los generadores y que deben estar dirigidas hacia el aprovechamiento y/o disposición final de los mismos, de tal forma que se eviten generar impactos sobre el ambiente y la salud de los seres vivos, integrando las fases que van desde la separación en la fuente hasta el aprovechamiento y/o disposición final.

A continuación se describen la forma en que EMSET S.A. E.S.P las desarrolla tomando como base referencial el diagnóstico realizado dentro de la actualización del PGIRS (2015) y los hallazgos de Méndez (2017) en la actualización del plan de manejo ambiental de la planta industrial procesadora de residuos sólidos – PIPRST del municipio.

2.3.1.1. Separación en la fuente. Este proceso se encuentra a cargo del generador y está integrado por los tres componentes de mayor favorabilidad dentro de la jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos, los cuales son; la prevención en los hábitos de consumo de productos o servicios que contengan materiales contaminantes, la minimización y reutilización de los materiales al interior de los hogares y por último, la debida separación y presentación de aquellos residuos que no se sujeten a los dos primeros componentes, permitiendo un alto nivel de aprovechamiento al evitar la contaminación de los materiales reciclables (Graziani, 2018).

Según lo descrito por la Secretaría de Infraestructura de Tauramena (2015), se trata de la principal problemática que aqueja el sistema ya que no existen metodologías estructuradas que permitan medir el nivel de separación en la fuente de los generadores, ya que en la encuesta realizada dentro del diagnóstico el 86% de la población asegura que realiza la separación en la

fuelle, pero en contra partida los funcionarios de la EMSET S.A. E.S.P dentro de la mesa de trabajo aseguraron que los usuarios no realizan la separación de los residuos; sumado a lo anterior el proceso se ve afectado por el hecho de que no se están utilizando los módulos de los vehículos que realizan la recolección mezclando los residuos durante este proceso, lo cual no permite medir el nivel de segregación en la fuente por parte de los generadores.

Por otro lado existen fallas en la continuidad y cubrimiento de las campañas educativas dirigida a concientizar a los usuarios sobre la importancia del reciclaje, la minimización, la reutilización y la correcta forma de realizar la presentación de los residuos sólidos, atribuido a la falta de presupuesto para la implementación de las mismas y reflejado en los resultados de la encuesta donde el 55% de los usuarios afirmaron no haber recibido ningún tipo de información sobre el tema (Secretaría de Infraestructura de Tauramena, 2015). Lo anterior trae como consecuencia que los usuarios no se apropien del tema y no desarrollen procesos adecuados de separación de los residuos que generan.

2.3.1.2. Recolección y transporte. La EMSET tiene trazadas 4 micro rutas de recolección dentro del área urbana del municipio que integran el 100% de los barrios, para el cumplimiento de las mismas se cuenta con un vehículo compactador de caja cerrada, cuatro operarios de recolección y 2 conductores que se relevan por turnos (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena, 2015).



Figura 4. Camión de recolección de residuos sólidos. Recuperado de *Documento de diagnóstico y caracterización municipal* (p. 71.), por la Alcaldía Municipal de Tauramena, 2015.

Como se mencionó anteriormente, existen falencias durante el proceso de recolección ya que los operarios no hacen uso de los compartimientos diferenciados para los residuos aprovechables y los inservibles, esto a raíz de la falta de formación del personal y la deficiente identificación de los compartimientos (Méndez, 2017). Así mismo se logró evidenciar dentro del diagnóstico realizado en el PGIRS (2015) la falta de micro rutas, frecuencias y horarios diferenciados para cada tipo de residuos (aprovechables y no aprovechables), siendo esto de vital importancia para incentivar la separación en la fuente por parte de los usuarios del sistema, hacer más eficientes los procesos de aprovechamiento y por ende aumentar el nivel de materiales recuperados.

Una vez son recolectados los residuos dentro de cada una de las micro rutas son transportados a la planta industrial procesadora de residuos sólidos – PIPRST ubicada en el corregimiento Paso Cusiana, dicho lugar se encuentra acondicionado para realizar los procesos de aprovechamiento y a su vez cuenta con espacios para inservibles.

2.3.1.3. Tratamiento y Aprovechamiento. La PIPRST cuenta con una infraestructura conformada por la caseta de entrada y bascula, las áreas de descargue, de separación de residuos reciclables, de separación de residuos orgánicos, de secado, de almacenamiento de humus, área administrativa, relleno sanitario, un pozo profundo y un tanque elevado. Así mismo se cuenta un total de 12 operarios para el desarrollo de todas las actividades de la planta (Méndez, 2017).

Según lo descrito por Méndez (2017), la planta se encuentra en un nivel de funcionamiento del 50% en lo concerniente con los procesos de aprovechamiento esto debido a que todas las fases de aprovechamiento se realizan de forma manual, ya que los equipos con los que se cuenta tales como cinta transportadora, maquinaria para la transformación de Tereftalato de polietileno-PET (lavadora, aglutinadora, molino) y el molino para el procesamiento de residuos orgánicos se encuentran inactivos o en desuso por motivos técnicos y económicos.

Cada una de las fases que se desarrollan para el aprovechamiento de los residuos sólidos se describe a continuación:

- **Selección de residuos:** una vez se descargan los residuos en sus respectivas áreas se procede a realizar la selección de los materiales de forma manual, ya que como se mencionó anteriormente la banda transportadora se encuentra fuera de servicio. Dentro de este proceso se evidencio en el diagnóstico del PGIRS que existe una constate acumulación de residuos en las áreas de selección obligando a que el camión compactador deposite directamente los residuos en las celdas del relleno sanitario; se trata de un proceso ineficiente afectado por la falta de segregación en la fuente y la recolección selectiva de los residuos, así como se menciona la escasez de recursos económicos para la contratación del personal suficiente para el proceso y la reparación de la banda transportadora que permita un mejor rendimiento (Secretaría de Infraestructura de Tauramena, 2015).



Figura 5. Proceso de separación manual de residuos. Recuperado de *Documento de diagnóstico y caracterización municipal* (p. 187), por la Alcaldía Municipal de Tauramena, 2015.

Dentro de los procesos de la planta se ha dado prioridad a los residuos entregados por las empresas privadas ya que estos se encuentran preseleccionados facilitando su selección y posterior aprovechamiento según sea el caso.

- ***Aprovechamiento de residuos reciclables:*** Para el caso de los residuos no biodegradables aprovechables se realiza el acopio y prensado de los mismos (plásticos, papel y cartón) y posteriormente se comercializan con terceros.



Acopio de RS



Prensado de RS

Figura 6. Aprovechamiento de RS reciclables. Recuperado de *Actualización del Plan de Manejo Ambiental de la Planta Industrial Procesadora de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena-Casanare -PIPRST* (p. 27), por Méndez, 2017.

- ***Aprovechamiento de residuos orgánicos:*** Estos residuos son aprovechados utilizando dos métodos; el primero a través de compostaje por volteo manual; y el segundo a través de la lombricultura. A partir de estos dos procesos se obtienen dos productos según lo mencionado en

el PGIRS (2015) el abono orgánico en presentaciones de bulto de 50 Kg y el pie de cria de la lombriz californiana.

Como primera medida los residuos son dispuestos en un modulo de deshidratación para eliminar el exceso de humedad, posteriormente son acopiados en celdas adecuadas para cada proceso. Se cuenta con un total de 100 celdas; 70 para el proceso de compostaje y 30 para lombricultivo; se trata de una infraestructura amplia y proyectada para el procesamiento del total de los residuos sólidos domiciliarios de tipo orgánico.

Según lo establece el diagnóstico realizado dentro de la actualización del PGIRS (2015), existen diversas problemáticas asociadas a estos procesos, las cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Problemáticas y causas asociados al aprovechamiento de residuos orgánicos.

Problemática	Causas
Presencia de vectores transmisores de enfermedades (moscas, ratas, insectos)	Material orgánico reposedo durante mucho tiempo en las celdas de deshidratación
Generación excesiva de lixiviados y malos olores	Fallas en los procesos de control en factores de temperatura y humedad
Aumento en el tiempo de producción	Molino de trituración del material dañado
Perdida de subproductos	Dentro de la lombricultura se pierde el sustrato liquido.
Desperdicio de infraestructura	Falta de personal para el desarrollo de los procesos
Perdida de material organico aprovechable	Fallas en los procesos de producción

Fuente: Elaboración propia, información de Mendez (2017) y Alcaldía Municipal de Tauramena (2015).



Celdas de Aprovechamiento	Producto final
---------------------------	----------------

Figura 7. Aprovechamiento de RS orgánicos. Recuperado de *Actualización del Plan de Manejo Ambiental de la Planta Industrial Procesadora de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena-Casanare -PIPRST* (p. 192), por Méndez, 2017.

2.3.1.4. Disposición final. Todos los residuos que no son recuperados dentro de los procesos anteriormente mencionados tanto aprovechables con no aprovechables son dispuestos en la celda de rechazo del relleno sanitario, la cual tiene una capacidad de 14.865 m³.

Existen varias problemáticas en la operación del relleno sanitario debido a dificultades de presupuesto, entre ellas se mencionan la falta de construcción de 2 piscinas de lixiviados causando el rebosamiento de la única que se encuentra en operación; la falta de maquinaria para la compactación de los residuos lo cual permite que los mismos pasen a la piscina de lixiviados llenándola de sólidos volátiles, el acceso para los vehículos dificulta la libre movilidad y la disposición de los residuos, entre otras (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena, 2015).

2.3.2. Generación de residuos sólidos en el municipio. La caracterización realizada durante la actualización del PGIRS estableció una producción de 3.780 toneladas de residuos al año en el municipio de Tauramena, las cuales son procesadas y/o dispuestas en la planta industrial procesadora de residuos sólidos – PIPRST. Es así como, dentro del estudio realizado se identificaron los porcentajes de producción por tipo de residuo, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7.
Generación de residuos sólidos según su tipo en el municipio de Tauramena.

Tipo De Residuo	Producción Total Anual Ton	Representación Porcentual	Ton/Año
Papel		2,64%	99,8
Cartón		4,49%	169,7
Vidrio		1,61%	60,9
Plásticos		2,85%	107,7
Bolsas	3.780	13,39%	506,1
Chatarra Ferrosa		0,24%	9,1
Chatarra No Ferrosa		0,43%	16,3
Residuos de Comida y Alimentos		52,89%	1.999,2
Inservibles		21,46%	811,2

Fuente: Elaboración propia, datos del *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio*, por Alcaldía Municipal de Tauramena, 2015.

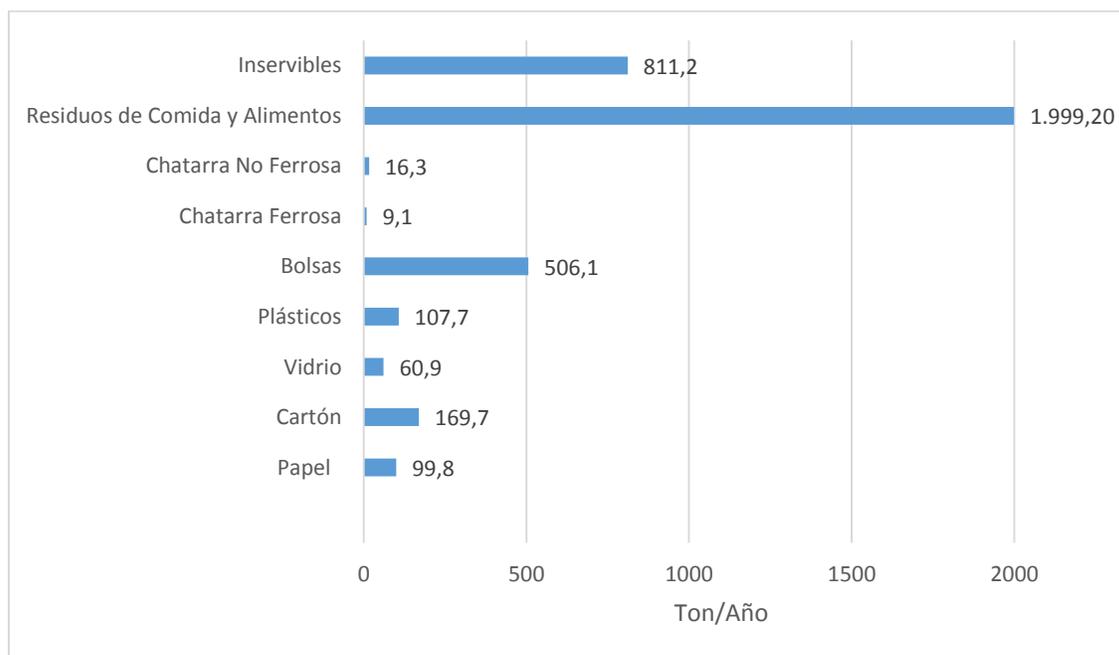


Figura 8. Generación de residuos sólidos según su tipo en el municipio de Tauramena. Elaboración propia, datos del *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio*, Alcaldía Municipal de Tauramena, 2015.

Como se observa en la información presentada anteriormente, el 78,6% de los residuos generados a nivel urbano en el municipio de Tauramena son aprovechables y representan un total de 2.968 toneladas al año aproximadamente. Según los hallazgos de Méndez (2017), durante el 2017 solo se aprovechó el 7% de los residuos integrando los reciclables inorgánicos y los orgánicos generados lo cual correspondería a 207,8 toneladas al año, mientras que las restantes 2.761 fueron dispuestas en el relleno sanitario; se trata de una fracción mínima aprovechada debido a las problemáticas que se han descrito en los apartes anteriores y que como consecuencia traen los siguientes efectos:

- Disminución de la vida útil del relleno sanitario.
- Afectación al medio ambiente por presencia rebosamiento de la única piscina de lixiviados con que cuenta el sistema.
- Falta de sostenibilidad económica de la planta por pérdida de ingresos económicos.
- Impactos negativos a nivel social, económico y ambiental en el municipio.
- Desgaste de recursos naturales por la explotación de materias primas vírgenes para la producción de productos que pueden utilizar materiales reciclables.

Los hallazgos presentados en este capítulo permiten establecer que dentro del municipio de Tauramena existe un sistema de gestión integral de los residuos sólidos, pero el mismo, tiene diversas falencias en cada una de sus etapas que evita la generación de procesos sostenibles. Se trata como lo menciona Baptista, et al., (2014) de generar procesos a través de la planeación económica y social involucrando al generador como actor participe de la gestión de los residuos; generando procesos de tratamiento y aprovechamiento eficientes que permitan recuperar gran cantidad de residuos aprovechables garantizando la sostenibilidad económica del sistema y contribuyan al cuidado del medio ambiente, a lo que se conoce como desarrollo sostenible.

3. Metodologías de Aprovechamiento de los Residuos Sólidos

Se realizó una búsqueda de bases bibliográficas con la finalidad de encontrar datos y/o artículos relacionados con las bases conceptuales de los métodos de aprovechamiento y casos de estudio desarrollados a nivel mundial y nacional, los cuales son la base fundamental para la selección de las alternativas.

3.1. Residuos Orgánicos

Dadas las características de este tipo de residuos se cuenta con una variedad amplia para su aprovechamiento a partir de procesos biológicos, termoquímicos y fisicoquímicos, lo cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8.

Métodos de aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Tipos de Proceso	Métodos de Aprovechamiento
Biológicos y Bioquímicos	Producción de lombriz roja californiana, humus sólidos y líquido derivado del proceso.
	Generación de abono orgánico mediante el proceso de compostaje.
	Producción de biogás mediante procesos de digestión anaerobia.
Termoquímicos	Combustión para la generación de energía.
	Gasificación para la producción de biogás.
	Producción de combustible líquido mediante procesos de Licuefacción.
	Producción de carbón vegetal mediante procesos de Pirolisis.
Fisicoquímicos	Producción de alcohol etílico a partir de la fermentación.
	Producción de Biodiesel a partir de residuos vegetales.
	Utilización de residuos orgánicos para la alimentación animal.

Fuente: Elaboración propia, información de la *Guía Técnica Colombiana GTC 53-7*, por ICONTEC, 2000.

De los métodos mencionados anteriormente, se hace necesario discriminar aquellos que, por su complejidad, niveles de inversión y recursos ya establecidos dentro de la PIPRST no se adaptan a las características del municipio de Tauramena. Para ello se toman como referencia los factores mencionados dentro de Guía Para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos (2002), los cuales son los siguientes:

- **Factor 1 (F1) La priorización de las tecnologías:** Factor en donde se categorizan las tecnologías existentes desde la más deseable hasta la poco deseable o no viable, esto a raíz de proposiciones de la guía y de los recursos con que se cuenta en la PIPRST.
- **Factor 2 (F2) Necesidades y requerimientos:** Las recomendaciones que se realizan dentro de la guía entorno a las zonas donde es posible la implementación de las tecnologías, en donde se tienen en cuenta el nivel de complejidad de los procesos, las necesidades técnicas, económicas y operativas, los antecedentes de aplicación en zonas con características similares, entre otros.
- **Factor 3 (F3) Densidad poblacional y volúmenes de generación:** Se especifica en la guía que para que algunas tecnologías sean sostenibles es necesario contar con el número de habitantes que generen cierta cantidad de residuos, que aseguren que la infraestructura necesaria para su implementación va a ser utilizada eficientemente.
- **Factor 4 (F4) Utilización de recursos:** Existen tecnologías que demandan dentro de su funcionamiento recursos como energía, agua, gas; y ya que se busca un modelo de desarrollo sostenible, dentro de la guía mencionada anteriormente, se realiza la comparación entre el uso de recursos para el correcto funcionamiento de determinada tecnología frente a su rendimiento para determinadas zonas.

Teniendo en cuenta cada uno de los factores, se procede a realizar la discriminación de las alternativas de aprovechamiento calificando con (+) si el factor es positivo y (-) si el factor es negativo dentro de la alternativa identificada, esto permitirá la descripción de las alternativas de aprovechamiento que se adapten al municipio de Tauramena y los recursos con los que se cuenta en la PIPRST.

Tabla 9.

Discriminación de alternativas de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

ALTERNATIVA	F 1	F 2	F 3	F 4	CARACTERÍSTICAS CONTEMPLADAS
Lombricultura	+	+	+	+	Simplicidad en los procesos Generación de subproductos Recomendado por guía para poblaciones inferiores a 20.000 habitantes Poca demanda de recursos Existe infraestructura construida dentro de la PIPRST
Compostaje	+	+	+	+	Simplicidad en los procesos Bajos costos de implementación Mayor autonomía en los procesos Recomendado por guía para cualquier tipo de población Poca demanda de recursos Existe infraestructura construida dentro de la PIPRST
Digestión anaerobia	+	-	-	+	Recomendado por guía para cualquier tipo de población. El área de estudio cuenta con gas natural y sistema de alcantarillado
Incineración	-	-	-	-	Recomendado solo para población con más de 60.000 habitantes
Gasificación	-	-	-	-	Se requiera uso constante de energía. Se requiere un material bien seleccionado Mayores costos de inversión
Licuefacción	-	-	-	-	No recomendado para poblaciones pequeñas Solo procesa determinados residuos Altos costos de inversión
Pirolisis	-	-	+	-	Altos costos de inversión Utilización constante de energía
Fermentación	-	-	-	+	Solo se procesan residuos ricos en carbohidratos
Biodiesel	-	-	-	-	Solo se procesan residuos de tipo aceite vegetal
Alimentación animal	-	+	-	+	Categorizado por la guía como posible pero no deseable Requiere mayores medidas de control que eviten posibles brotes de enfermedades

Fuente: Elaboración propia, información de la *Guía Para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos*, por el Ministerio de Ambiente, 2002.

Conforme a la estipulación de los factores se encontró que las alternativas que se adaptan a la infraestructura de la PIPRST son el compostaje y la lombricultura. Para el caso de las dos alternativas se procede a realizar la descripción de los procesos y tecnologías que se pueden llegar a implementar.

3.1.1. El compostaje. El compostaje es un proceso biológico mediante el cual las materias orgánicas se convierten en abono orgánico, por medio de la intervención de microorganismos que generan el proceso de fermentación.

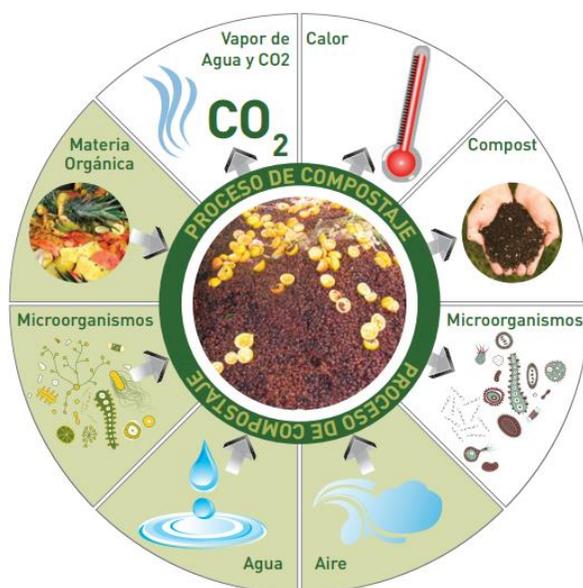


Figura 9. Proceso de compostaje. Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2012.

Según (Mendoza Juárez, 2012) en su tesis plantea que el proceso de compostaje contiene las etapas descritas a continuación.

Etapas de acondicionamiento: esta etapa preoperativa consiste en la preparación de los residuos orgánicos retirando las impurezas que puedan contener y adecuándolos a partículas de entre 5 y 8 cm ya sea a través del picado manual o utilizando un molino.

Etapas mesofílica: En esta etapa existe la presencia de bacterias y hongos mesofílicos.

Dado a su actividad metabólica que realizan, hay un aumento de la temperatura de hasta 45

°C, el pH disminuye debido a la descomposición de lípidos y proteínas en aminoácidos, favoreciendo la aparición de hongos mesofílicos más tolerantes a las variaciones de pH. En esta etapa se debe de mantener la humedad entre 40% y 60%, dado que el agua distribuye los nutrientes por toda la masa (p.7)

Etapa termofílica: En esta etapa la temperatura sigue ascendiendo hasta llegar a valores de 75 °C, trayendo como consecuencia la muerte de las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos, apareciendo las bacterias, hongos y actinomicetos termofílicos, su actividad microbiana genera calor haciendo que la temperatura aumente, por lo que el pH incrementa hasta estabilizarse, permaneciendo constante hasta el final de proceso. El compost se va tornando un color oscuro (p.7)

Etapa de enfriamiento: Una vez que los nutrientes y la energía comienzan a disminuir, la actividad de los microorganismos termofílicos disminuye, por lo que la temperatura también lo hace hasta llegar a la temperatura ambiente, provocando la muerte de estos y reapareciendo los microorganismos mesofílicos al llegar a temperaturas entre 40 °C y 45 °C, siguiendo con el proceso hasta que toda la energía sea utilizada (p.7)

Etapa de maduración: En esta etapa la temperatura y el pH se estabilizan, si es el caso que el pH sea ácido, el compost nos indica que todavía no está maduro. El color del producto final debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque, no visualizando algunas partículas de los residuos iniciales. El compost como producto final debe presentar ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos, que aseguren su calidad, uso y comercialización, cumpliendo con los estándares de calidad. Es importante mencionar que este análisis sugiere la detección de algunos metales pesados, ocasionando alguna

variación en el producto final y por ende la afectación en los posteriores procesos alimenticios humanos y animales (p.7)

3.1.1.1. Tecnologías aplicadas al compostaje. Para el caso de este proceso existen dos clases de sistemas que manejan diferentes tecnologías para la producción de compost.

El primer tipo de sistema es el abierto, se trata de un proceso aerobio que se realiza mediante la conformación de pilas que según su nivel de producción pueden utilizar diferentes tecnologías, entre las que encontramos:

- **Pilas de volteo manual:** Se trata de un modelo utilizado para la producción de compost a baja escala, ya que, al utilizar al personal para realizar los volteos con palas, estas no pueden ser de grandes proporciones.
- **Pilas de volteo mecanizado:** Aunque utiliza el mismo método para la aireación de los residuos orgánicos, este modelo permite tratar grandes cantidades de residuos orgánicos al utilizar maquinaria para el proceso de volteo y sistemas de riego que permiten obtener un producto de mayor calidad y en un periodo más corto.



Pilas de Volteo Manual



Pilas de Volteo Mecanizado

Figura 10. Modelos de pilas estáticas de volteo. Recuperado de *Manual de compostaje del agricultor*, por la FAO, 2013.

- **Pilas estáticas de aireación pasiva:** se trata de un modelo que utiliza un sistema de tuberías interconectadas que se encuentra en la base de la pila, con múltiples inserciones que permiten el flujo de aire como medio para la regulación de la temperatura (Rynk, 1992).

- **Pilas estáticas con aireación forzada:** este modelo utiliza el mismo sistema de tuberías que el anterior el cual se encuentra acoplado a un compresor que envía las corrientes de aire exactas para garantizar el desarrollo del proceso de aprovechamiento de grandes cantidades de residuos orgánicos (Rynk, 1992).

Ya que se trata de un modelo que garantiza un flujo de aire según los requerimientos necesarios para regular los parámetros de humedad y temperatura, permite la generación de un proceso de compostaje más efectivo.

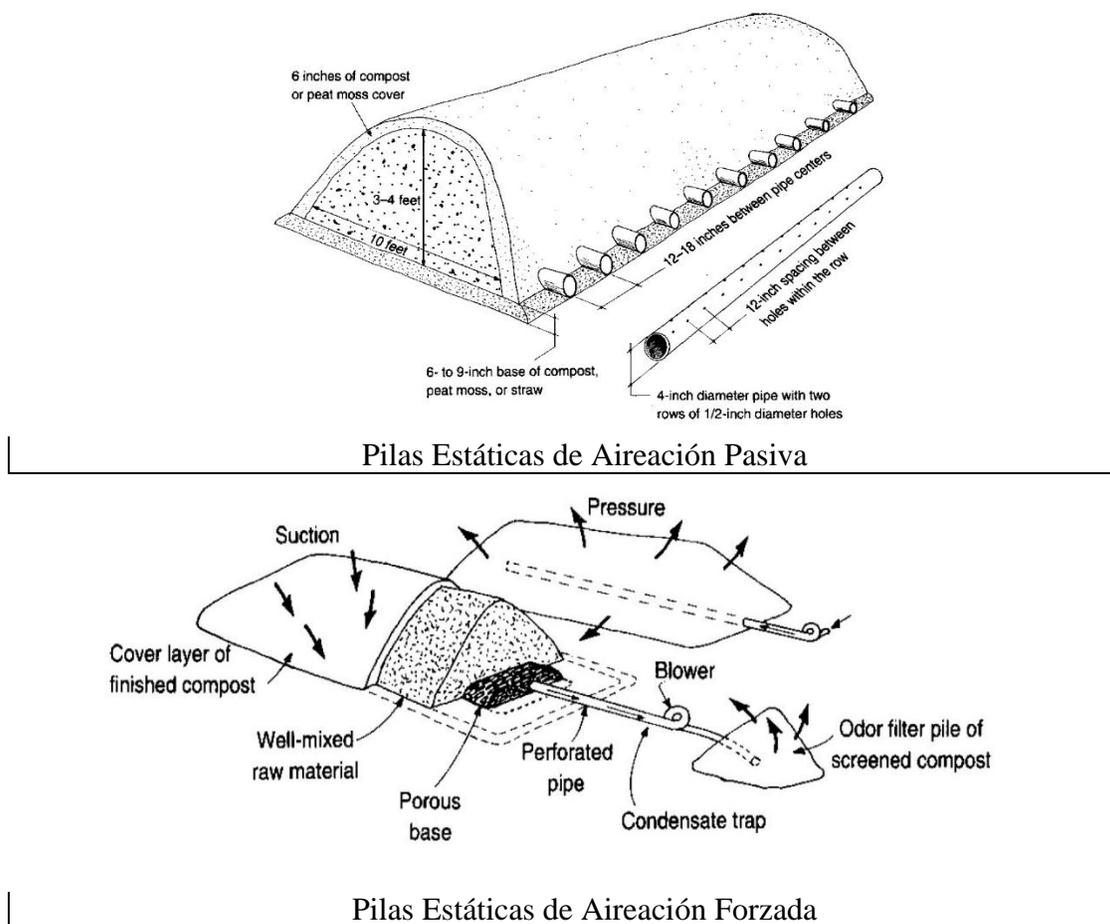


Figura 11. Esquemas de pilas estáticas. Recuperado de *On-Farm Composting Handbook*, por Rynk, 1992.

El segundo tipo de sistemas es el cerrado, el cual busca crear alternativas micro localizadas para el tratamiento de volúmenes bajos de residuos en pequeños espacios, se trata de modelos de

anaerobios que favorecen el tratamiento de lixiviados, el control de agentes externos como el viento y la lluvia y evitan la presencia de moscas y roedores: más que todo se trata de sistemas de tipo domiciliario. Dentro de este tipo de sistemas existen dos subdivisiones los sistemas continuos y los discontinuos; en el caso del primero se realizan cargas de residuos previamente homogenizados con materiales absorbentes (aserrín, residuos de jardín, tamo de arroz) relación 3 partes por una parte; en los sistemas discontinuos se realiza una sola carga del compostador llenándolo en su totalidad (Ministerio de Ambiente, 2002).



Figura 12. Sistemas cerrados de compostaje. Recuperado de *Manual de compostaje del agricultor*, por la FAO, 2013.

En Colombia una de las zonas que mayor avance ha tenido en la innovación de sistemas de aprovechamiento de residuos es el Área Metropolitana del Valle de Aburra, una de las iniciativas

identificadas dentro del rastreo bibliográfico ha sido la adelantada por la empresa Earthgreen (2012), quienes desarrollaron sistemas de aireación pasiva a diferente escala enfocados en involucrar a los usuarios en los procesos de compostaje con el fin de incentivar a la población para que aprovechen los residuos que generan.



Figura 13. Compostador SAC 3000. Recuperado de *Manual de Compostaje*, por Earthgreen, 2012.

3.1.1.2. Casos de estudio. Estos tipos de sistemas han sido adelantados a nivel mundial a diferentes escalas como lo describe Velázquez (2009), a continuación, se mencionan los casos más relevantes.

La producción de compost en Europa se estimó para el año 2006 en 11. 840.797 toneladas, de las cuales Alemania produce 5 millones siendo este país el de mayor avance en la generación de procesos de aprovechamiento utilizando sistemas de pilas de volteo y de aireación pasiva. En Barcelona España utilizan un esquema de compostaje que involucra a 55000 hogares del sur de la ciudad, en donde a partir de procesos de separación y recolección selectiva se aprovechan los

residuos en plantas de producción de compost mediante la implementación de sistemas abiertos en pilas de aireación forzada. Se estima que el índice de recuperación de este tipo de residuos oscila entre el 30% y el 45% del total del tonelaje generado (1.100.000 toneladas anuales).

En Bombay India cuentan con una planta que funciona desde 1992 y utiliza el mismo sistema de aireación forzada con una capacidad de procesar 300 ton/día. Se estima que en este país el 89,6% de los residuos biodegradables son aprovechados mediante procesos de compostaje, en donde se involucra a la población como parte primordial para la generación de procesos de separación selectiva en la fuente.

En México la planta de mayor producción de compost se encuentra en Bordo Poniente la cual inicio sus actividades en 1998, cuenta con una superficie de 12.000 m² y una capacidad de 120 Ton/día y produce 30 Ton/día de abono orgánico, mediante la utilización de pilas de volteo mecanizado. Esta planta se presenta como uno de los casos de éxito a nivel de América Latina y el Caribe, para el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios (2009).

3.1.2. Evaluación de alternativas de aprovechamiento de RS orgánicos por compostaje. Ya que existen múltiples tipos de sistemas para el aprovechamiento de los RS orgánicos por compostaje, se hizo necesario realizar una evaluación de las tecnologías a partir del análisis de sus características.

Dicha evaluación parte del establecimiento de variables correlacionadas entre los sistemas con el fin de realizar la comparación de su rendimiento, por tal motivo, se trata de un análisis cualitativo cuyos resultados se presentan en el cuadro comparativo presentado en la Tabla 10.

Tabla 10.

Cuadro comparativo procesos de aprovechamiento de los RS orgánicos.

Variable	Sistemas Abiertos				Sistemas Cerrados	
	Pilas con volteo manual	Pilas con volteo mecanizado	Pilas de aireación pasiva	Pilas de aireación forzada	Continuos	Discontinuos
Coste de inversión	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Elevado	Elevado
Coste de funcionamiento	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Elevado
Requerimiento de espacio	Importante	Importante	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Control de aireación	No existe	No existe	Medio	Total	Total	Total
Sensibilidad a factores externos	Alto	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Autonomía	Baja	Baja	Media	Alta	Alta	Media
Sensibilidad al nivel de humedad	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Control de olores	No existe	No existe	Medio	Total	Total	Total
Capacidad de tratamiento	0,5 – 5 ton/día	> a 200 ton/día	0,5 - 50 ton/día	10 – 200 ton/día	<0.5 ton/sem	< 0.5 ton/sem
Tiempo de obtención del compost	4 a 6 meses	4 a 4,5 meses	3,5 a 4 meses	2 a 2,5 meses	4 a 6 meses	4 a 6 meses
Adaptación a la infraestructura de la PIPRST	Total	No se adapta	Se adapta	Se adapta	No se adapta	No se adapta

Fuente: Elaboración propia, información de la *Guía para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos*, por el Ministerio de Ambiente, 2002.

Conforme a lo planteado en el cuadro comparativo se establece lo siguiente:

- Los sistemas cerrados no apartan un mejoramiento en los procesos, esto debido a que con ellos se busca crear sistemas de aprovechamiento para cada uno de los usuarios, siendo ellos los encargados de realizar cada una de las etapas de proceso de compostaje por consiguiente no harían ningún tipo de aporte sobre los planteado del PGIRS del municipio. Se trata de una alternativa de enfoque micro localizado en donde cada uno de los generados produzca el abono orgánico, por consiguiente, no se cuenta con estrategias de seguimiento y control que permitan vigilar que los procesos se realicen adecuadamente.
- Los sistemas abiertos de pilas con volteo manual y mecanizado sufren de inconsistencias que no las presentan como las adecuadas para la planta; por un lado las de volteo manual que son las actuales, han venido generando problemáticas ambientales y de salud para los trabajadores debido a que son propensas a fallas en los controles de temperatura y humedad que afectan la calidad del producto y evitan el aprovechamiento de una proporción importante de los residuos orgánicos generados; para el caso de las pilas de volteo mecanizadas la infraestructura con la que cuenta la planta no es apta para la utilización de equipos mecanizados ya que las celdas de aprovechamiento no cuentan con los espacios necesarios para permitir el tránsito de algún tipo de vehículo para realizar dicha labor.
- El sistema de pilas estáticas con aireación pasiva en la cual se utilizan ductos plásticos que cuentan con orificios en la tubería que permiten la libre circulación del aire natural para la aireación de las celdas de compostaje cuenta con la ventaja de evitar la utilización de recursos y las adecuaciones que se deben hacer a la infraestructura de la planta no repercuten un costo mayor. La problemática radica en que dichas celdas se encuentran bajo cubierta y encerradas por

muros, lo cual no permite la libre ventilación, descartando esta alternativa ya que los muros evitan en cierta medida la proliferación de roedores.

3.1.3. Lombricultura. Es la técnica de criar en cautiverio lombrices de tierra (lombriz roja californiana *Eisenia Foetida*) que confinadas en contenedores ingieren los residuos orgánicos en descomposición, para que a través de su digestión conviertan la materia orgánica en humus “Vermicompost” rico en nutrientes para toda clase de cultivos (Guía Técnica Colombiana GTC 53-7: Guía de aprovechamiento de los residuos de orgánicos no peligrosos, 2000).

Se destaca que a partir de la lombricultura se adquiere tres productos; como producto principal la lombriz adulta, utilizada como complemento alimenticio para la cría de animales y bajo estrictos controles de sanidad también se puede producir para su utilización en productos alimenticios para el ser humano; y como productos remanentes está el Vermicompost utilizado como abono y el humus líquido que contiene una mayor concentración de nutrientes (Garavito, Morales y Chávez, 2012). Las ventajas de este sistema es que una vez incubado el primer pie de cría su proceso de reproducción permite que no sea necesario la compra de ese insumo, por el contrario, se contara con un número superior de especies para su venta. A su vez, este proceso permite el tratamiento de grandes cantidades de residuos orgánicos.

3.1.3.1. Proceso de lombricultura. Permite el procesamiento de diferentes residuos orgánicos como el estiércol de animal, el cual debe ser pretratado bajo fermentación anaerobia para posteriormente utilizarlo en la lombricultura; y los residuos orgánicos domiciliarios que al final del proceso se pueden utilizar como abono orgánico.

En la Guía de Lombricultura (Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior, 2002) se describen las 4 etapas generales del proceso para la obtención de los productos, las cuales se presentan a continuación.

- **Acondicionamiento:** se preparan las camas de máximo 40 cm de altura y deben contener un buen sistema de drenaje, luego se depositan los residuos orgánicos que deben someterse a un proceso de desintoxicación mediante volteos periódicos durante cada etapa hasta su finalización. Una vez dispuestos los residuos se procede a colocar el pie de cría de la lombriz.

- **Riego y adición de residuos:** con el fin de conservar la humedad y la temperatura que favorezcan el proceso, se deben realizar dos riegos por semana a los contenedores. La adición de residuos para el manejo de volúmenes pequeños se puede efectuar directamente sobre las camas que ya se encuentran en desarrollo del proceso.

- **Periodo de humificación:** según la GTC 53-7 (2016); el Vermicompost se obtiene en un periodo de seis meses, pero a los 3 meses se pueden desarrollar cultivos sobre los desechos orgánicos ya que para ese periodo ya estarían estabilizados.

- **Cosecha de lombrices y abono:** pasados tres meses la población de lombrices ya se ha duplicado por tal razón la cama se puede expandir para el procesamiento de un mayor volumen de residuos orgánicos. Al transcurrir los 6 meses se debe realizar el retiro de las lombrices y después el Vermicompost para colocarlo a secar y posteriormente comercializarlo ya sea en su estado natural o cernido.

3.2. Residuos Reciclables Inorgánicos

Los residuos inorgánicos reciclables se encuentran integrados por los plásticos, papel, cartón y vidrio, para cada uno de ellos existen diversos procesos para su aprovechamiento, por tal motivo se realizó un análisis de los dichos procesos teniendo en cuenta el principio descrito por Velázquez (2009), en lo relacionado a la asertividad y aceptabilidad de los procesos según las características del entorno donde se van a aplicar, para este caso el municipio de Tauramena. Por tal razón se especifican tecnologías que se adapten a la línea productiva con la que cuenta la planta industrial procesadora de residuos sólidos – PIPRST, en la cual se utiliza el reciclaje mecánico para clasificar los residuos aprovechables inorgánicos que ingresan.

3.2.1. Residuos plásticos. Este tipo de residuos dentro del proceso realizado en la planta son seleccionados, compactados y posteriormente comercializados con terceros, lo cual genera una pérdida de valor económico derivado de la falta de procesamiento para producir un bien o una materia prima para la elaboración de otros productos.

Se evidencio dentro del diagnóstico realizado en la actualización del PGIRS (2015), que existe una maquinaria que podría tratar dichos residuos (lavadora, molino, aglutinadora), lo cuales conformarían una línea de producción para la obtención de microfibra de plásticos como el Pet y las bolsas.

Con el fin de identificar la alternativa que mejor se adapte a la infraestructura existente, los recursos y la característica de los residuos (plástico Pet y bolsas) se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el tema y los resultados se muestran a continuación.

- ***Plan de negocios para una empresa recicladora de plástico Pet, en la ciudad de Bogotá D.C.:*** Según lo descrito por Pachón (2007), las características del plástico permiten generar materias primas para una infinidad de productos principalmente por su maleabilidad. Es así como

el autor presenta la obtención de pellets de plástico reciclado como una alternativa para generar valor a los residuos plásticos en especial al tipo Pet.



Figura 14. Pellets de plástico obtenidos mediante reciclaje mecánico. Paletizadora para plástico en funcionamiento, por RMACHINES SA DE CV, 2016.

Pachón (2007) demuestra que existe una alta demanda de este tipo de materias primas, pero que a su vez el nivel de exigencia en la calidad del producto representa una barrera para las nuevas empresas, ya que la industria que utiliza esta materia prima exige un nivel de pureza superior al 90%, de lo contrario la materia prima es descartada.

- ***Plan de negocios para la puesta en marcha de una empresa productora de maderas plásticas en el área metropolitana de Bucaramanga:*** Oliveros & Fontecha (2014), proponen la generación de madera plástica reciclada a partir de la combinación de diferentes de dos tipos de plásticos el polietileno de alta densidad (PEAD) 20% y el polietileno tereftalato (PET) 80%. Este producto sustituto de la madera convencional y con múltiples aplicaciones, se presenta como una alternativa para la generación de productos entre los que se encuentra los postes para cerramiento, muebles para el hogar, utensilios varios.



Figura 15. Diagrama de flujo procesamiento de plástico. Recuperado de *Plan de negocios para la puesta en marcha de una empresa productora de maderas plásticas en el área metropolitana de Bucaramanga* (p. 44), Oliveros, 2011.

Conforme al diagrama anterior, se concluye que las aplicaciones de producción del plástico gracias a su termo difusión tienen un amplio nivel aplicación y que contemplando la infraestructura y equipos con los que cuenta la PIPRST, se tendría que adquirir la maquina extrusora, la línea de enfriamiento y los elemento para corte y armado.

El proceso de extrusión consiste en hacer pasar el material plástico previamente seleccionado, triturado, lavado y secado por acción de la presión a través de un orificio, de manera tal que la extrusora lo caliente dirigiéndolo por un tornillo rotatorio hacia el molde que estará adaptado según las necesidades del producto (Oliveros & Fontecha, 2014).

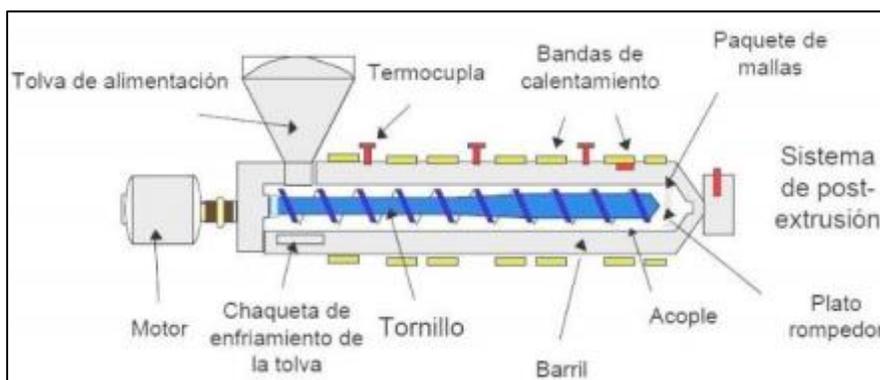


Figura 16. Esquema general de extrusora. Recuperado de *Plan de negocios para la puesta en marcha de una empresa productora de maderas plásticas en el área metropolitana de Bucaramanga* (p. 47), Oliveros, 2011.

Una vez se obtenga el producto se pasa por el sistema de enfriamiento para solidificarlo y evitar deformaciones; por último, se corta según las especificaciones del producto.

- **Otros métodos de aprovechamiento:** Existen otro tipo de aprovechamiento de los residuos plásticos entre los que se encuentran la incineración y el reciclaje químico.

Como se detalla en la Guía Ambiental (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004), se trata de procesos de mayor complejidad que requieren un alto grado de inversión y demanda un flujo de cantidad de residuos, la ventaja de estos procesos es que no demanda una preselección de materiales según su tipo para obtener productos de calidad.

Por otra parte, se encuentra los procesos de incineración controlada de los residuos plásticos para la obtención de energía, esta alternativa se utiliza para las fracciones de residuos que dada su contaminación o complejidad para ser aprovechados a partir del reciclaje mecánico o químico. Este método incinera los residuos plásticos de alto valor calorífico por su procedencia de hidrocarburos hasta producir vapor de alta presión para la generación de energía o como combustible complementario para hornos industriales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

Tabla 11.

Procesos de reciclaje químico de plástico.

Proceso	Descripción
Pirolisis	Es el craqueo de las moléculas por calentamiento en el vacío (es decir, en ausencia de oxígeno). Este proceso genera hidrocarburos líquidos o sólidos que pueden ser luego procesados en refinerías.
Hidrogenación	En este caso los plásticos son tratados con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas son rotas y convertidas en un petróleo sintético que puede ser utilizado en refinerías y plantas químicas.
Gasificación	Los plásticos son calentados con aire o con oxígeno, así se obtienen como gases de síntesis, el monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser utilizados para la producción de metanol o amoníaco.

Chemolysis	Este proceso se aplica a poliésteres, poliuretanos, poli- acetales y poliamidas. Requiere altas cantidades separadas por tipo de resina. Consiste en la aplicación de procesos solvolíticos como hidrólisis, glicólisis o alcoholólisis para reciclarlos y transformarlos nuevamente en sus monómeros básicos para la repolimerización en nuevos plásticos.
Metanólisis	Es un avanzado proceso de reciclado que consiste en la aplicación de metanol en el PET. Este poliéster (el PET) es descompuesto en sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser luego repolimerizados para producir resina virgen.

Fuente: *Principales Procesos Básicos de Transformación de la Industria Plástica y Manejo, Aprovechamiento y Disposición de Residuos Plásticos Post-Consumo* (p. 78), por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004.

3.2.2. Residuos de papel y cartón. Para este tipo de residuos el proceso de transformación se enfoca en la obtención de papel y cartón a través de la reconversión de la pulpa “Repulpeo”; para que este proceso arroje una materia prima de buena calidad se debe asegurar que los residuos estén debidamente preseleccionados con el fin de evitar su contaminación con materiales que afecten el proceso productivo GTC 53-4 (2003). Las etapas son descritas por Avilez, Et al (2012), las cuales se mencionan en la Tabla 12.

Tabla 12.

Etapas de transformación del papel y cartón.

Proceso	Descripción
Selección de residuos	Para lograr un producto de calidad se debe separa el papel y cartón de otros residuos no aptos para el proceso, como lo son cartones de bebidas, papel higiénico, papel térmico, etiquetas adhesivas.
Trituración del papel	Con el papel previamente seleccionado se humedecen los residuos y se pasa por una trituradora con el fin de romperlo y trituras elementos como clips, grapas y otras impurezas.
Preparación de pulpa secundaria	El papel triturado se mezcla con agua, se calienta y se machaca hasta conseguir una pasta, que se pasa por el pulper que cuenta con una hélice que disgrega las fibras hasta deshacer el papel.
Limpieza de impureza en la pasta	Como el papel desecho carga impurezas se coloca en un tanque con agua para que por medio de flotación se separen las tintas.
Refinación	Las fibras en suspensión se tratan mediante un proceso de fricción entre sí y contra una superficie metálica para unir las

Proceso	Descripción
	entre si creando los puentes de hidrogeno que le dan la resistencia al papel.
Formación de la hoja	La hoja se forma pasado a una maquina dotada con una tela en donde se deposita la pasta y posteriormente se homogeniza para luego pasarlo por un rodillo de secado que elimina la humedad del papel.
Corte y/o envolvimiento	Finalmente, el producto se corta a la medida o se enrolla dependiendo los requerimientos.

Fuente: Elaboración propia, información de *Empresas Recicladoras en Mexico*, por Avilez, 2012.

Este proceso se puede utilizar integrando el papel y el cartón lo cual definiría una sola línea de producción para estos dos tipos de residuos, aun así dentro de la Guía para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos (2002), se menciona que este proceso tiene una alta demanda de recurso hidrico y es necesario realizar la ingeniería del proyecto teniendo en cuenta procesos de resirculacion del recurso y manejo de aguas residuales dado el alto nivel de materiales contaminantes que se desprenden del lavado y la preparación de la pulpa secundaria.

3.2.3. Reciclaje de metales ferrosos, no ferrosos y vidrio. Para este tipo de materiales los procesos de aprovechamiento se encuentran compuestos por dos grandes fases; la primera, dirigida hacia la preparación de los residuos según los requerimientos de los procesos productivos en las que se encuentra la separación de los residuos de impurezas y la preparación de los mismos, para lo cual se utilizan procesos mecánicos como el prensado, corte o fragmentación; la segunda fase se relaciona con el proceso de fundición a través de hornos siderúrgicos para la obtención de materias primas y/o productos para la industria (Agencia de Residuos de Cataluña, 2010).

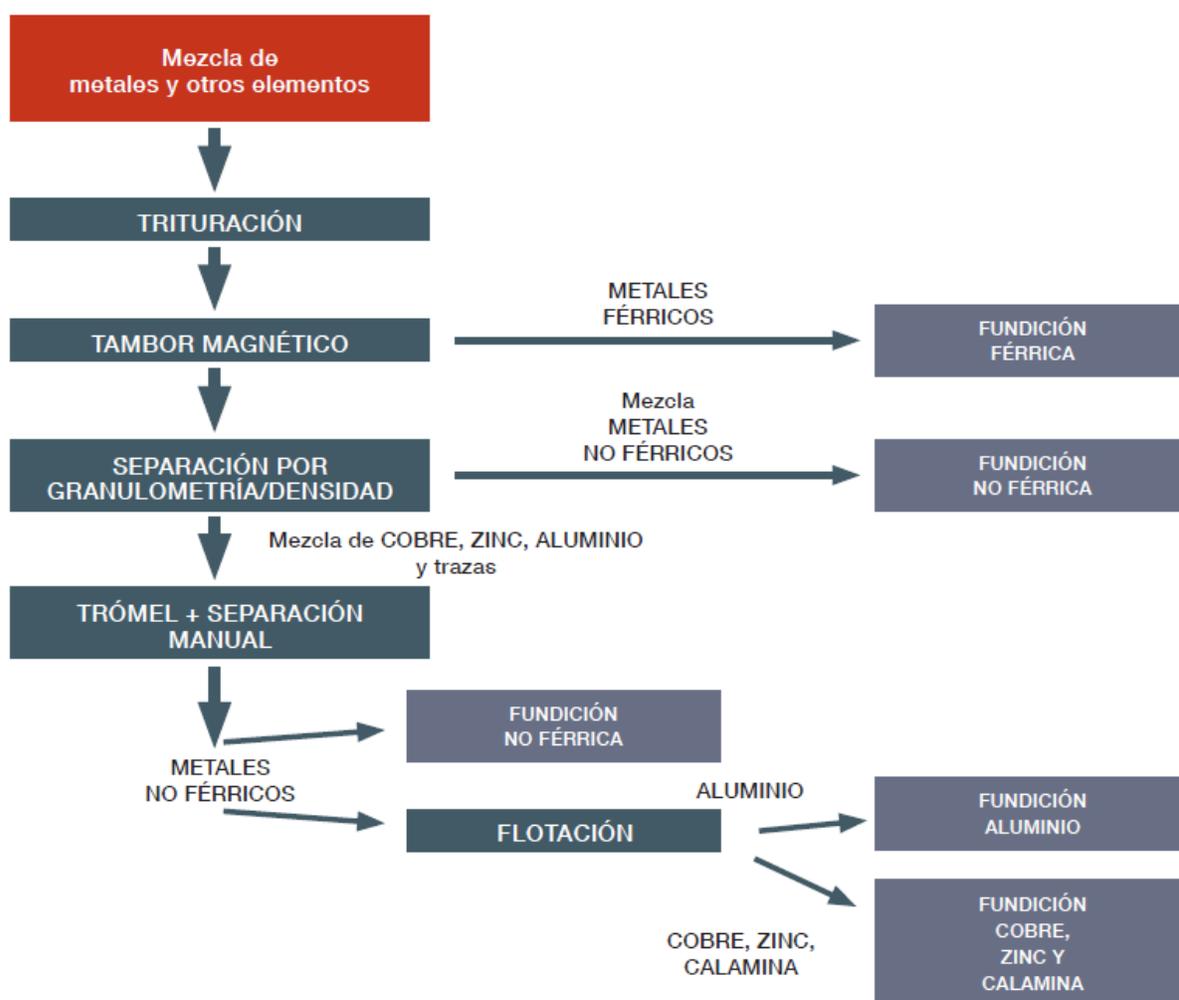


Figura 17. Proceso de reciclaje de metales. Recuperado de *Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de Metales en Cataluña*, por la Agencia de Residuos de Cataluña, 2010.

Para el caso del vidrio el proceso es similar al de los metales, en donde el material pasa por plantas para su tratamiento de tal forma que se obtenga una materia prima libre de impurezas. Posteriormente, es llevada a las fábricas en donde se mezcla con arena, sulfato de sodio o carbonato y piedra caliza mezclándolos a través de su fundición a temperaturas entre los 1.500 y 2.000 °C, por último, se moldea según el producto que se quiera obtener (Aula en el Mundo, s.f.).

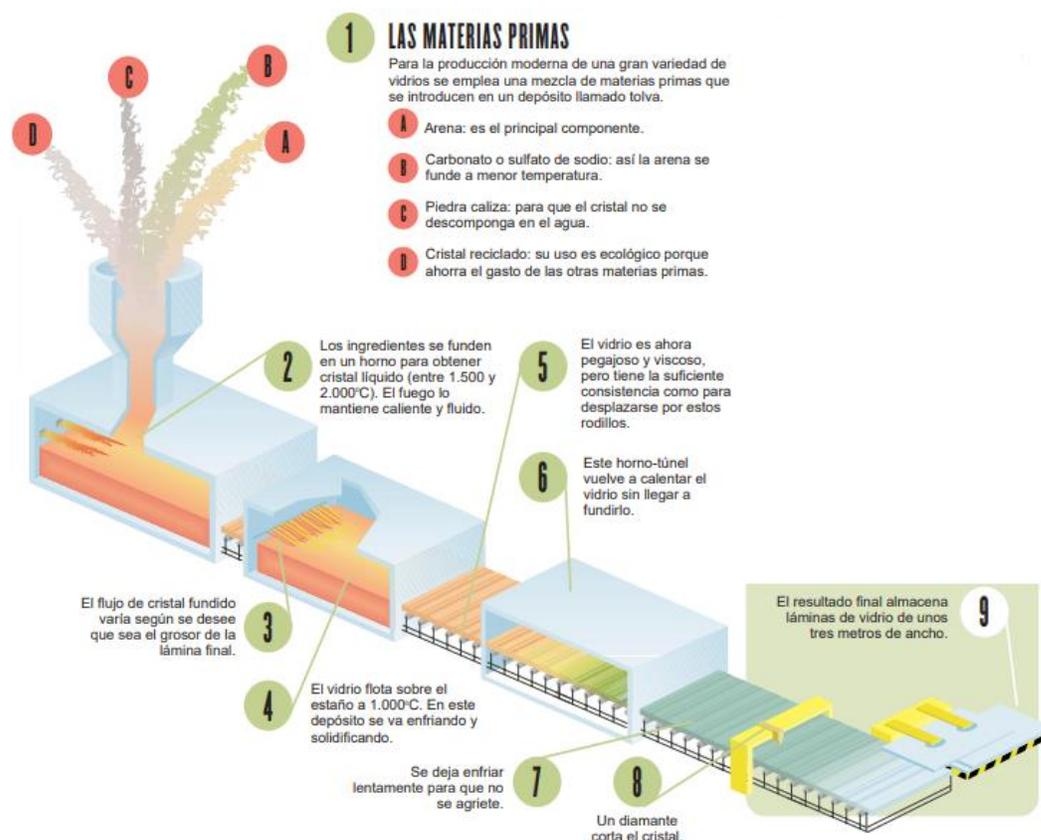


Figura 18. Fabricación del vidrio. Recuperado de *Aula en el mundo*, s.f.

Como se puede observar, se trata de procesos de aprovechamiento complejos dados los aspectos e impactos negativos que se generan tanto para el ambiente como para las comunidades en donde se desarrollan, que si no son controlados de manera efectiva traen como consecuencia el desgaste de los recursos naturales producto de la generación de emisiones y la contaminación del agua y el suelo con sustancias utilizadas durante los procesos (Sosa, Banda y Guerrero,

2013). También se debe tener en cuenta que estos procesos de aprovechamiento requieren un nivel de inversión alto tanto para la puesta en marcha, la operación y las medidas de control que eviten generar impactos negativos al entorno.

Sumado a lo anterior, según el Ministerio de Ambiente (2002) recomienda el desarrollo de estas alternativas en lugares con una población superior a 60.000 habitantes, con el fin de garantizar el nivel de residuos necesarios para el aprovechamiento de la capacidad instalada y un posible mercado para la comercialización de los productos generados.

4. Resultados

4.1. Alternativa para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos

Para este tipo de residuos se establecen dos tipos de procesos para su aprovechamiento; el primero enfocado en la reingeniería de los procesos de compostaje presentes en la PIPRST para el diseño y desarrollo del sistema de pilas de compostaje por aireación forzada; el segundo, ya existente es el procesamiento del material orgánico por intermedio de la lombricultura para la obtención de tres productos.

Lo anterior sustentado en los siguientes factores:

- La infraestructura de la planta es acorde a este modelo, las adecuaciones necesarias no representan un cambio drástico ya que se cuenta con el espacio para la adecuación de los ventiladores y las celdas tienen las características idóneas para generar un circuito cerrado e interconectado para la aireación asistida.
- Este sistema permite generar ciclos de verificación y control sobre la temperatura y el nivel de humedad del compost que evita las problemáticas ambientales tales como la proliferación de vectores (roedores, moscas, insectos, entre otros), ya que cada pila debe contar con un recubrimiento de material que aisle los residuos orgánicos (aserrín, polisombra, residuos de poda, entre otros) de ambiente; igualmente se evita el exceso de humedad y temperatura que son los causales en la actualidad del alto volumen de lixiviados y malos olores.
- La autonomía del sistema también evita un desgaste y pérdida de tiempo de los operarios con los que cuenta la planta, tiempo que puede ser aprovechado en las actividades de separación de los residuos que llegan diariamente.

- Por último, el rendimiento en el tiempo de producción supera a los demás sistemas, lo cual permitiría tratar una mayor cantidad de residuos orgánicos en menor tiempo y a la vez obtener una mayor cantidad de compost para su comercialización y adquisición de mayores ingresos económicos para la planta.

Uno de los casos de estudio que apoyan las afirmaciones realizadas se presenta en la prueba piloto realizada por la empresa Earthgreen empresa privada en el municipio de El Santuario Antioquia, en donde se llevó a cabo la implementación del sistema de pilas por aireación forzada, demostrando una capacidad de tratamiento de 3 toneladas al día de residuos, evitando la generación de las problemáticas ambientales (lixiviados, vectores, malos olores), mejorando la capacidad operacional y el ambiente laboral, disminuyendo los costos de producción, aprovechando eficientemente los espacios y aumentando el nivel de ingresos por la venta de una mayor cantidad de compost (Soluciones Earthgreen para Residuos Orgánicos en Municipios, 2014 abril 18).

Para el caso de la lombricultura se establece la necesidad de generar una mejora en la infraestructura y la estandarización del proceso; la primera medida dirigida a crear un sistema diferenciado de recolección del sustrato líquido derivado de este proceso ya que se trata de humus líquido con un alto valor de nutrientes que puede ser comercializado dentro del sector agrícola del municipio; la segunda medida dirigida a regular los criterios de humedad y temperatura en las celdas con el fin de conservar el ambiente requerido para el correcto crecimiento de la lombriz durante las etapas de Vermicompostaje, para ello es necesario adquirir los equipos para realizar dichas labores. Con lo anterior se podrían generar tres productos a base de este proceso los cuales serían el humus sólido, el pie de cría de la lombriz californiana y el humus líquido derivando en un aumento en los ingresos de la planta producto de su venta.

4.1.1. Sistema de compostaje en pilas con aireación forzada. Como se mencionó dentro del apartado correspondiente a los modelos de compostaje, se trata de un sistema que suprime la necesidad de realizar el volteo del material orgánico con el fin de que el mismo se airee.

Para el diseño del sistema se deben tener en cuenta los parámetros para la construcción de las pilas estáticas de aireación forzada descritos por Rynk (1992) en el documento titulado “On-Farm Composting Handbook”, en relación a la estructura y a forma de las pilas, las mezclas de los materiales y la gestión de la aireación.

4.1.1.1. Estructura y tipos de pila. Existen dos tipos de pilas de compostaje las individuales o las extendidas, la selección del tipo de pila a utilizar dependerá de factores como la cantidad y el tiempo de generación de material a compostar.

Las pilas de compostaje individuales se realizan con una única carga de materiales, se utiliza para los casos en que la acumulación de materiales es periódica (semanal, quincenal, mensual) o para los casos en los cuales se quiera realizar experimentación por lotes sobre el comportamiento del proceso con el fin de ajustar parámetros y así lograr la eficiencia y la idoneidad del producto terminado.

Cuando los materiales a compostar se generan diariamente o no se pueden almacenar, es necesario generar pilas extendidas, la cual consiste en una serie de celdas con un volumen determinado (dependiendo de la producción de material) que se apilan unas contra otra.

Aunque existen dos tipos de pilas, su estructura es similar en cuanto a medidas y elementos, los cuales deben cumplir los siguientes parámetros:

- Se deben generar canales perimetrales para la captación y contención de posibles lixiviados causados por fallos inesperados en el proceso que deriven en excesos de humedad en la mezcla de material orgánico.
- La base de la pila debe estar compuesta por una capa de material poroso y absorbente de humedad de un grosor de 10 a 15 centímetros. La idea es que este material permita retener el exceso de humedad y evitar que los huecos de la tubería de distribución de aire sean tapados por el material orgánico.
- En la base de la pila también se debe ubicar un tubo de material PVC al cual se le conectará al soplador, cuyo diámetro sea de 4 pulgadas y de largo 1,5 metros inferior al largo de la pila.
- El material para compostar se debe ubicar encima de la capa de material poroso, cuya base debe medir máximo 3 metros y una altura de entre 1 a 1,5 metros. Lo largo de la pila dependerá exclusivamente de la potencia del sistema de aireación, pero Rynk (1992) aconseja que lo largo de la pila no exceda los 25 metros.
- Una vez se halla ubicado el material a compostar se debe cubrir el mismo con material de recubrimiento esto con el fin de aislar el proceso del entorno evitando los malos olores y la proliferación de vectores.

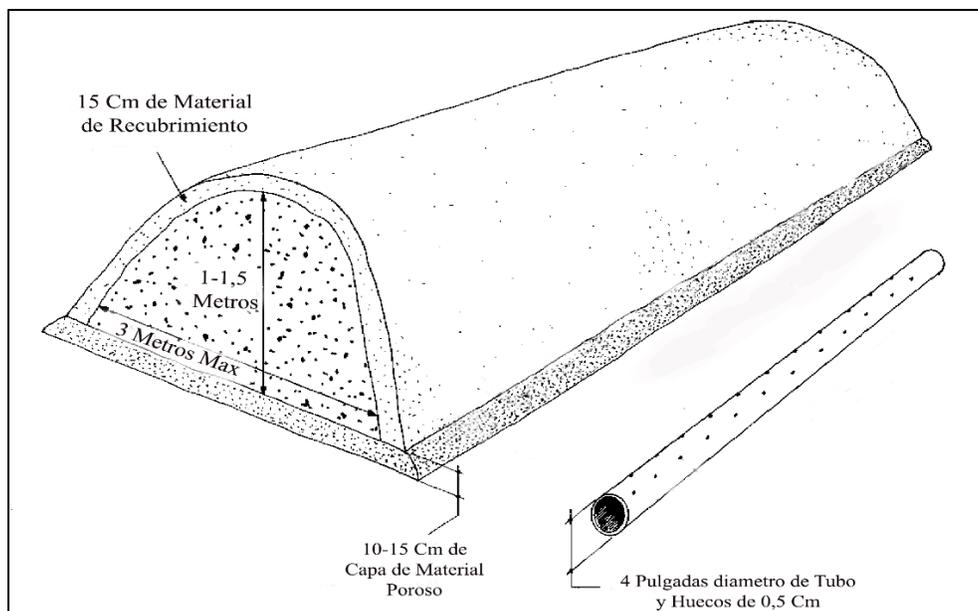


Figura 19. Dimensiones de las pilas de compostaje por aireación. Recuperado de *On-Farm Composting Handbook* (p. 45), Rynk, 1992.

4.1.1.2. Preparación del material. Ya que este sistema es estático y no se realizan torneados adicionales al material orgánico, es necesario realizar una adecuada preparación del material orgánico y demás materiales que se utilizarán en el proceso.

Como primera medida se debe tener en cuenta que el material que se utiliza como cama o base debe permitir la circulación de aire y la generación de canales de aireación dentro de la pila, por ello se recomienda materiales como hojarasca gruesa, astillas de madera o paja. Una vez se cree la base se debe realizar el siguiente proceso para la preparación del material orgánico a procesar:

- El proceso de molido debe arrojar partículas de aproximadamente 5 cm, con el fin de evitar que con partículas más pequeñas se compacten la mezcla.
- Para aumentar el nivel de oxigenación se recomienda preparar una mezcla entre residuos orgánicos-80% y material absorbente-20% (aserrín, tamo de arroz o compost ya madurado) que

permita regular el nivel de humedad y temperatura en la pila, generar canales de distribución de aire y evitar olores que afecten el entorno.

- Lo más importante dentro de la preparación de la mezcla es tener en cuenta que una vez se esté conformando la pila se debe evitar comprimir la mezcla, ya que esto puede generar el taponamiento de los canales de distribución de aire, afectando totalmente el proceso.

4.1.1.3. Gestión de la aireación. Siendo la temperatura el componente más importante para garantizar que el proceso de compostaje se realice de forma eficiente, el sistema de aireación forzada contribuye en gran medida para garantizar la temperatura idónea dentro del proceso que varía entre los 50°C y los 75°C dependiendo de la etapa.

Dentro del sistema de aireación se tienen dos métodos de aplicación con los sopladores; la primera en la cual los sopladores realizan la aireación de forma constante; y la segunda, donde los sopladores se activan de forma intermitente ya sea manual o automáticamente. Para el primer caso Rynk (1992) recomienda realizar pruebas piloto ya que la utilización de los sopladores de forma continua permite tasas de flujo de aire más bajas porque el oxígeno y el enfriamiento se suministran constantemente, pero también derivan a que la temperatura no sea uniforme en la pila afectando el proceso microbiano en las secciones que se encuentre alejada de la tubería de repartición.

Para el segundo caso, los sistemas intermitentes permiten una mayor regulación de la temperatura ya sea a través de la utilización de sensores automáticos como es el caso de los termopares o los termistores que disparan los sopladores dependiendo de la necesidad; o, equipos para la medición de la temperatura de forma manual y la programación del encendido de los sopladores en determinados periodos de tiempo.

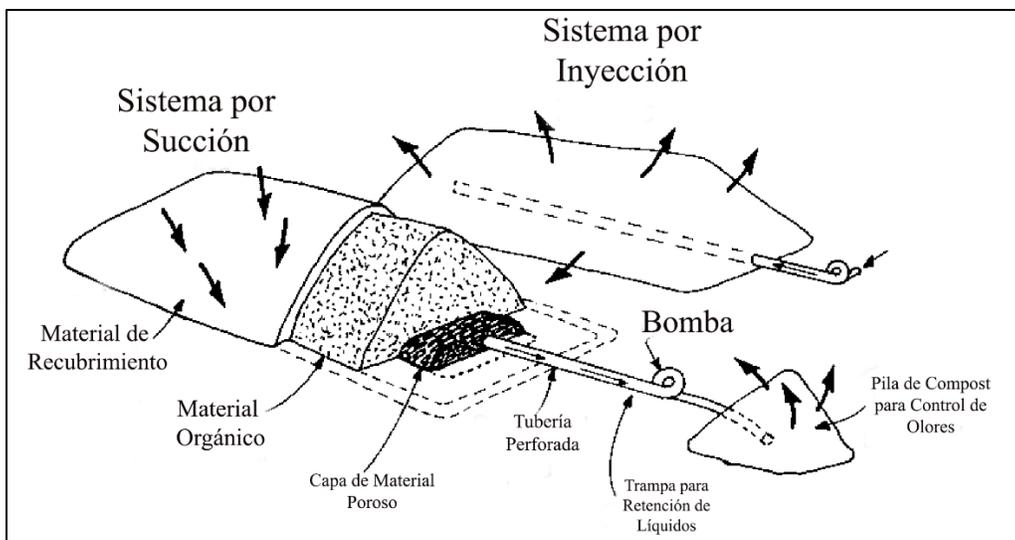


Figura 20. Tipos de equipos de sopladores. Recuperado de *On-Farm Composting Handbook* (p. 45), Rynk, 1992.

Como se observa en la figura 20, existen dos tipos de equipos de sopladores para llevar a cabo la gestión de la aireación, el primero utiliza ventilación para generar una inyección de aire que recorre la tubería realizando la aireación de adentro hacia fuera, el segundo mediante una bomba de succión regula la temperatura de afuera hacia dentro. Para seleccionar un soplador, es necesario conocer las condiciones de aire comprimido del sistema, así como el caudal de aire requerido, ya que este debe tener la capacidad de mantener la velocidad del aire en la tubería de 2.000 pies por minuto.

Por último y sumado a los parámetros de la tubería descritos anteriormente, se hace necesario que ha esta se le realicen dos hileras de agujeros a las 5 y 7 en punto a una distancia el uno del otro de máximo 30 cm como se muestra en la siguiente figura.

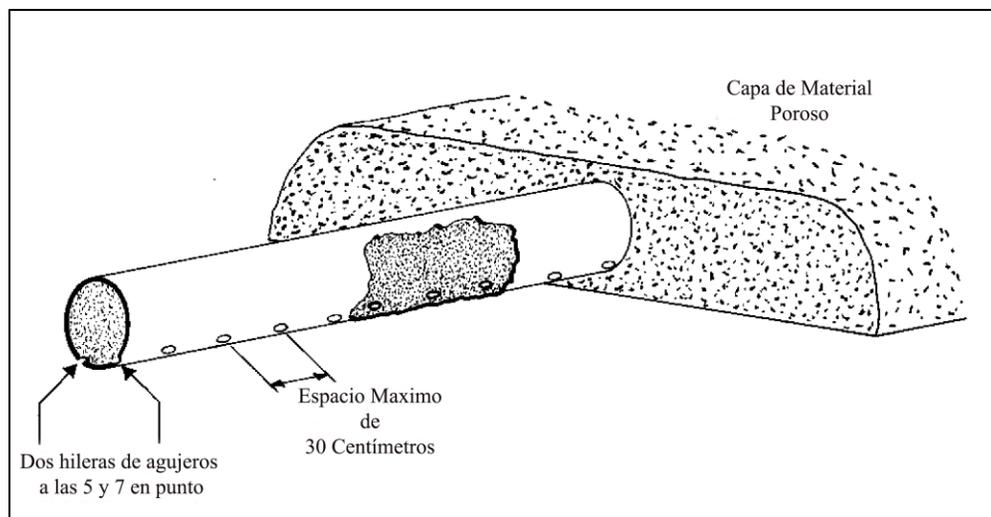


Figura 21. Parámetros de la tubería de distribución. Recuperado de *On-Farm Composting Handbook* (p. 45), Rynk, 1992.

Una vez se cuente con el sistema ajustado a las necesidades del área y siguiendo los parámetros descritos anteriormente el proceso de compostaje en condiciones normales tiene un tiempo estimado de entre 3 a 5 semanas (Rynk, 1992).

4.2. Alternativa para el Aprovechamiento de Residuos Plásticos

Conforme a lo establecido dentro de las alternativas de aprovechamiento de este tipo de residuos, se establece lo siguiente:

- Los procesos de reciclaje químico no se adaptan ya que los requerimientos de inversión son demasiado altos dado que la infraestructura con la que se cuenta en la planta no cuenta con los requerimientos para su desarrollo, así mismo según lo planteado dentro de la Guía para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos (2002) y la la guía ambiental sobre los Principales Procesos Básicos de Transformación de la Industria Plástica y Manejo, Aprovechamiento y Disposición de Residuos Plásticos Post-Consumo (2004), se menciona que para que el sistema de aprovechamiento por reciclaje químico sea sostenible económica y

operativamente que permita lograr la recuperación de la inversión y la obtención de ganancias a largo plazo, se necesita un volumen de generación de este tipo de residuos superior a las 10 ton/día y en el municipio según la caracterización realizada en el PGIRS (2015) solo se producen 1,69 toneladas al día.

- Para el caso del proceso de incineración de los residuos plástico la Guía para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos (2002), recomienda este proceso solo para poblaciones con más de 60.000 habitantes.

Por consiguiente, la alternativa de reciclaje mecánico se presenta como la de mayor adaptabilidad para la planta, dados los siguientes factores:

- Se cuenta con la infraestructura y los equipos para el desarrollo de una línea de producción al 50% integrando los equipos que son la lavadora, molino y la aglutinadora. Se requiere la adquisición de una paletizadora, la extrusora, los moldes, el sistema de enfriamiento y las herramientas de corte.

- Según las características del municipio y la región los productos que se ajustan a sus necesidades están dirigidos hacia el sector agropecuario, por tal motivo la madera plástica se presenta como la mejor alternativa, ya que la misma puede ser utilizada para la construcción de establos, postes para cerramientos de potreros, dispensarios de sal y bebederos para el ganado entre otros productos que por sus características de durabilidad, aislamiento de corrientes para los cercamientos y resistencia a las temperaturas, lo presentan como un sustituto idóneo de la madera convencional; contribuyendo a la vez con la conservación de los recursos naturales ya que se evitaría la tala de árboles.

4.3. Aprovechamiento de los Residuos de Papel y Cartón

Se identificó una tecnología para el procesamiento del papel y cartón para su transformación en papel reciclado, sin embargo, para dicha tecnología no se cuenta con los equipos ni el espacio necesarios para su implementación, que sumado al hecho de que se trata de un proceso que demanda una gran cantidad de agua y obliga a generar ciclos de tratamiento de aguas residuales con el fin de recuperar dicho recurso contaminado por impurezas y tintes del papel, no se recomienda su desarrollo.

También se identificó una empresa a nivel regional o local que demande este tipo de productos, por consiguiente, existirían dos alternativas; la primera sería generar un producto final (cuadernos, blocks, entre otros útiles escolares); y la segunda sería proceder a vender el papel reciclado en la industria nacional. Dichas alternativas acarrearían un aumento en los costos de producción y distribución, demandarían mano de obra especializada para los procesos y el diseño e implementación de cadenas de comercialización para la distribución del producto; factores con los cuales no se cuenta en la actualidad, sumado al hecho de que se tendría que competir con las grandes empresas que se dedican a la transformación del papel hace inviable esta alternativa.

Otro de los motivos que afectarían el desarrollo de estos procesos es la licencia ambiental con la que cuenta la planta, la cual tendría que ser rediseñada dada la necesidad de una concesión de agua más amplia y la aprobación del sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que como se mencionó anteriormente la demanda de agua dentro del proceso de transformación del papel aumentaría.

Por lo anterior, se establece la necesidad de mantener el ciclo de recolección, selección y compactación de este tipo de materiales para su posterior comercialización, aprovechando así la infraestructura y los equipos con los que se cuenta (prensas hidráulicas).

4.4. Aprovechamiento de Metales Ferrosos, No Ferrosos y Vidrio

Dadas las características y complejidad de las tecnologías de aprovechamiento de este tipo de materiales, se puede establecer que para el área del municipio de Tauramena es inapropiado el desarrollo de este tipo de procesos dadas las características de los mismos, por tal razón se recomienda continuar con los procesos que se realizan enfocados en la recolección, tratamiento (separación, acopio) y comercialización con terceros encargados de transportar y dirigir los residuos hacia la industria específica; a su vez es necesario generar los procesos de culturización de la ciudadanía para que presente los residuos debidamente separados e identificados, con el fin de que materiales como el vidrio puedan causar daños al personal que realiza la recolección.

Conclusiones

Al terminar el análisis realizado en este trabajo, en primera medida se puede concluir que el municipio de Tauramena se presenta como un área idónea para el desarrollo de alternativas de aprovechamiento de los residuos, esto debido a que cuenta con la infraestructura necesaria para las fases de separación y tratamiento de los residuos, así como con áreas productivas para el desarrollo de los procesos de transformación integradas dentro de la planta industrial procesadora de residuos sólidos – PIPRST, a su vez el nivel de residuos aprovechables generados a nivel domiciliario corresponden al 78,5% (2.968 ton/año), los cuales a través del tratamiento y transformación se pueden convertir en productos para la agroindustria local y regional.

Teniendo en cuenta la actualización del plan de manejo ambiental de la PIPRST adelantado por Méndez (2017) y el PGIRS del municipio de Tauramena (Secretaría de Infraestructura de Tauramena, 2015), documentos recopilados y analizados, se desarrolló el diagnóstico en donde se identificaron problemáticas de tipo operacional, ambiental y de salud pública que afectan en la actualidad a la planta, tales como; el detrimento de equipos por fallas técnicas y falta de personal que los opere; la generación de impactos negativos sobre el medio ambiente producto de los procesos de compostaje en donde se genera gran cantidad de lixiviados, malos olores y proliferación de vectores, creando espacios de trabajo en malas condiciones que afectan la salud y el rendimiento de los operarios de la planta.

Se lograron identificar múltiples alternativas para el aprovechamiento de los residuos, las cuales fueron comparadas según los criterios de adhesión a la infraestructura con la que se cuenta en el municipio, el mejoramiento de los procesos y la obtención de productos útiles para la región estableciendo lo siguiente:

- Para el caso de los residuos orgánicos se estableció que la alternativa de aprovechamiento que cumple con los criterios expuestos anteriormente es el sistema de pilas estáticas con aireación forzada, mediante la cual se obtendría abono orgánico para el sector agrícola. Las bondades de este sistema permitirían un rendimiento eficiente dentro de los procesos gracias a su autonomía y fácil control de los estándares de humedad y temperatura disminuyendo los tiempos de generación de compost de 4 meses a un promedio de entre 3 a 5 semanas y evitando la generación de malos olores, lixiviados y la proliferación de vectores. También este sistema se adapta a la infraestructura de la planta y la reingeniería del sistema con el que se trabaja en la actualidad no acarrearía una inversión alta.

Adherido a este sistema se propone la continuidad de la lombricultura pero mejorando los aspectos de las pilas para la recolección del sustrato líquido mediante la construcción de canales perimetrales, ya que este producto es de gran valor en el mercado dada la alta concentración de nutrientes para el suelo, el cual en la actualidad se está desechando.

- En cuanto a los residuos plásticos se plantea la adquisición de una paletizadora, una extrusora y una línea de enfriamiento, así como de la reactivación de la línea de lavado y triturado de este tipo de materiales conformando una línea de producción completa para la transformación del plástico de alta densidad PEAD y el tereftalato PET en madera plástica para usos agrícolas, como postes plásticos, secciones para corrales, saleros, entre otros; siendo los anteriores de gran demanda en el mercado regional y local. A su vez esta alternativa permitiría adquirir mayores ingresos derivados de la venta de un producto terminado y contribuir al cuidado del medio ambiente al disminuir la tala de árboles para la obtención de madera convencional.

- Los residuos de papel, cartón, metales ferrosos y no ferrosos, y el vidrio, dada su complejidad para el aprovechamiento y la inexistencia de maquinaria y equipo dentro de la

planta para su transformación en un producto final, se propone que solo se deben mejorar las etapas de separación, prensado y/o almacenamiento para posteriormente comercializarlos, con acciones como la reparación de la banda transportadora, la capacitación continua del personal sobre los procesos, el análisis y evaluación de la distribución de la planta con el fin de aprovechar de forma eficiente los espacios. Esto con el fin de evitar que la reingeniería de la planta conlleve a una alta inversión que evite su desarrollo.

Por último se concluye que existen oportunidades de mejora que se encuentra acordes con lo que se cuenta dentro del municipio, este proyecto permite el conocimiento de los factores que permitirían desarrollar procesos que como consecuencia generen una mayor sostenibilidad económica y ambiental de la planta, impulsando el desarrollo del municipio y convirtiéndolo en un posible caso de éxito en lo relacionado con la correcta gestión integral de los residuos sólidos que se generan a nivel domiciliario.

Recomendaciones

Con el análisis relocalizado dentro de la investigación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Es de vital importancia implementar las estrategias de educación ambiental a nivel institucional, comercial y con la población en general del área urbana del municipio de Tauramena que contribuyan a que se concienticen sobre el papel que tiene cada uno de ellos dentro de la gestión de los residuos que generan, haciendo hincapié en los procesos de reciclaje, minimización y separación idónea de los residuos para su posterior presentación. Se trata de una labor que tiene que ser constante y aplicada a través de los colegios y hogares con el fin de abarcar la totalidad de la población.
- Así mismo, se requiere un mejoramiento en los procesos de recolección y transporte a partir del diseño de micro rutas de recolección selectiva ya que estos factores no se encuentran dentro del PGIRS, esto contribuiría con dos factores primordiales; el primero referente a incentivar a la población demostrándole que la labor que ellos realicen durante la separación en la fuente si aporta al sistema; y la segunda a conservar las características de los residuos evitando su mezcla durante la recolección y transporte; por ultimo facilitaría las fases de separación y tratamiento dentro de la planta aumentando la eficiencia en la producción.
- Se hace necesario realizar el estudio técnico, operativo y económico necesario para la implementación de las alternativas postuladas, con el fin de tener el conocimiento detallado sobre los niveles de inversión y reingeniería de la planta, planificando cada uno de los aspectos que permitan un desarrollo eficiente y sostenible del sistema.

Referencias Bibliográficas

- Acurio, G., Rossin , A., Teixeira, P., & Zepeda, F. (1997). *Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.
- Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior. (2002). *Guía de lombricultura*. La Rioja.
- Agencia de Residuos de Cataluña. (2010). *Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de Metales en Cataluña*.
- Alcaldía Municipal de Tauramena. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019*. Tauramena. Obtenido de <http://www.tauramena-casanare.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Plan%20de%20Desarrollo%20Territorial%202016%20-%202019,%20Diagn%C3%B3stico.pdf>
- Alcaldía Municipal de Tauramena. (20 de Noviembre de 2018). Localización geográfica municipio de Tauramena. Obtenido de <http://www.tauramena-casanare.gov.co>
- Alcaldía Municipal de Yopal. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015*. Yopal.
- Aula en el Mundo. (s.f.). *La fabricación del vidrio*. Obtenido de https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/lamina_elmundo_vidrio.pdf
- Avilez, M., Melendez, H., Rivas, E., & Rivera, B. (2012). *Empresa Recicladoras en Mexico*. Tesis para optar al título de Contador Público, Instituto Politécnico Nacional, Mexico. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11639/1/emprecicladoras.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Obtenido de

https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7177/Situacion_de_la_gestion_de_residuos_solidos_en_America_Latina_y_el_Caribe.pdf?sequence=1

Banco Mundial. (2015). Estimaciones de personal del Banco Mundial sobre la Base de las Perspectivas de la Urbanización Mundial de las Naciones Unidas. Obtenido de https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?end=2015&locations=CO&start=1960&view=chart&year_high_desc

Banco Mundial. (31 de Enero de 2018). *Tres grandes ideas para lograr ciudades y comunidades sostenibles*. Obtenido de Bancomundial.org: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/01/31/3-big-ideas-to-achieve-sustainable-cities-and-communities>

Baptista, F., Concepción, D., Castillo, G., & González, E. (2014). Gestión de los Residuos Sólidos y sus Impacto Económicos, Sociales y Medioambientales. (Y. Albernas, Ed.) *Centro Azúcar, 41*.

Briganti, M. (2003). *Lineamientos para la Separación en la Fuente de los Residuos Sólidos Producidos por el Sector Residencial (estratos 4, 5 y 6) de la Ciudad de Cartagena de Indias*. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile.

Constitución Política de Colombia. (1991). *Artículo 79*.

Earthgreen. (2012). *Sistema autónomo de compostaje, Manual de usuario*. Medellín.

Fanor Alirio, V., Marmolejo, L., & Torres Lozada, P. (Junio de 2012). Alternativas para Fortalecer la Valorización de Materiales Reciclables en Plantas de Manejo de Residuos

- Sólidos en Pequeños Municipios. (U. M. Granada, Ed.) *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 59 - 73.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia- UNICEF. (2005). *Diagnóstico integral de residuos sólidos y análisis brecha: municipios menores de 50.000 habitantes*.
- Garavito, N., Morales, N., & Chávez, Á. (2012). *Descripción de Metodologías del Sistema de Lombricultura para Gestión de Residuos Sólidos Orgánicos*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C.
- Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos, oportunidades en América Latina*. Banco de Desarrollo de América Latina, Buenos Aires. doi:DC2018000591
- Guevara, P., Maldonado, C., & Vásquez, A. (2013). *El Manejo de los desechos sólidos en el municipio de Quezaltepeque, departamento de la Libertad*. Trabajo de Investigación para Obtener el Grado de: Licenciado en Ciencias Jurídicas, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Hidalgo, L., & Mideros, D. (2017). *Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (2000). *Guía Técnica Colombiana GTC 53-7: Guía de aprovechamiento de los residuos de orgánicos no peligrosos*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. (2004). *Guía Técnica Colombiana GTC 53-2: Guía de aprovechamiento de los residuos plásticos*. . Bogotá D.C.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC. (2003). *Guía Técnica Colombiana GTC 53-4: Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el Reciclaje de Papel y Cartón*. Bogotá D.C.
- Jaramillo, J. (2002). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales - GIRSM*. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Medellín. Obtenido de <https://ambiente.lapampa.gob.ar/images/stories/Imagenes/Archivos/Guia.pdf>
- Márquez, L. (2011). *Residuos sólidos* (LibrosEnRed ed., Vol. Volumen 1). LibrosEnRed.
- Méndez, F. (2017). *Actualización del Plan de Manejo Ambiental de la Planta Industrial Procesadora de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena-Casanare "PIPRST"*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Bogotá.
- Mendoza Juárez, M. A. (01 de Octubre de 2012). *Repositorio Institucional de la Universidad de Piura*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1728/ING_515.pdf.txt?sequence=2
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. (2016). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA*. Bogotá. Obtenido de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Ministerio de Ambiente. (2002). *Guía para la Selección de Tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Principales Procesos Básicos de Transformación de la Industria Plástica y Manejo, Aprovechamiento y Disposición de Residuos Plásticos Post-Consumo*. Bogotá. Obtenido de <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guias-ambientales-sector-plasticos.pdf>

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS. Título F: Definiciones.*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). Decreto 1077.

Montoya, K., & Roncancio, K. (2016). *Análisis De Alternativas Tecnológicas Para La Valorización Y Disposiciónfinal De Residuos Plásticos En La Ciudad De MANIZALES.*
Tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental, Universidad Católica de Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales.

Oliveros, A., & Fontecha, E. (2014). *Plan de Negocios para la Puesta en Marcha de una Empresa Productora de Maderas Plásticas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.*
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Obtenido de
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/152083.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO. (2013).
Manual de compostaje del agricultor.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Informe de la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe.*
Washington D.C.

Ospina Zapata, G. (03 de de Noviembre de 2017). Buscan recoger 120 toneladas de basura en 4 ciudades. *El Colombiano.* Obtenido de
<http://www.elcolombiano.com/antioquia/limpiemos-colombia-movilizar-a-40-mil-ciudadanos-BJ5290553>

Pachón , Y. M. (2007). *Plan de Negocios para una Empresa Recicladora de Plástico Pet, en la Ciudad de Bogotá D.C.* Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de
<https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis43.pdf>

- Pontificia Universidad Javeriana, seccional Cali. (2018). *Normas APA Sexta Edición*. Cali.
- Reinosa, V. (2011). *Evaluación de alternativas para el manejo de los residuos sólidos en el municipio de Balboa Risaralda*. Trabajo de grado para optar al título de Administrador Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Rmachines SA DE CV (Dirección). (2016). *Recuperadora de plásticos obtenidos mediante reciclaje mecánico* [Película]. Mexico. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=IFOkQ-vGxJA>
- Rodríguez, S. (2011). Residuos Sólidos En Colombia: Su manejo es un compromiso de todos. (U. S. Tomás, Ed.) *Residuos Sólidos*, 92-97.
- Rynk, R. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Obtenido de [https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20Farm Compost%20manual%201992.pdf](https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20Farm%20Compost%20manual%201992.pdf)
- Secretaría de Infraestructura de Tauramena. (2015). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Tauramena.
- Soluciones Earthgreen para Residuos Orgánicos en Municipios* (2014 abril 18). [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=oHbX4CqVZuo>
- Sosa, B., Banda, R., & Guerrero, E. (2013). Industrias de Fundición: Aspectos Ambientales e Indicadores de Condición Ambiental. *Revista de Metalurgia*, Vol. 49, 5-9.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2017). *Informe nacional de aprovechamiento - 2016*. Bogotá D.C.
- Tello Espinoza, P., Martínez Arce, E., Daza, D., Soulier Faure, M., Terraza, H., & Carmén, D. (2010). *Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en*

ALC. Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de

<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

Unión Temporal PGIR Tauramena. (21 de agosto de 2015). *Alcaldía de Tauramena*. Recuperado el 25 de junio de 2019, de Alcaldía de Tauramena: <http://www.tauramena-casanare.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Objetivos%20y%20Metas%20del%20PGIRS.pdf>

Universidad Externado de Colombia. (2018). *Manual de citación normas APA*. Bodotá D.C.

Varón, L. (2011). *Aspectos Arquitectónicos para la Gestión de Residuos Sólidos en Edificios Residenciales: Un paso a la sostenibilidad urbana*. Tesis magister, Universidad Nacional de Colombia., Bogotá DC.

Velázquez Orta, T. (2009). *Estudio de Evaluación de Tecnologías Alternativas o Complementarias para el Tratamiento o Disposición Final de los Residuos Sólidos Urbanos*. Instituto de Ingeniería UNAM., México.