

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”



TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MÁSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Título: Evaluación del proceso de tratamiento de los residuos sólidos urbanos en el municipio Miranda del estado Zulia en sus etapas de recogida, transporte, uso final y aprovechamiento energético.

Maestrante: Ing. Nil Hernández Magdaleno

Tutores: Dr. Wilfredo Francisco Martín
MSc. Milagros Montesinos Pérez

Cabimas Abril 2012

DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

“Carlos Rafael Rodríguez”

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizado a que el mismo sea utilizado por la Universidad para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe de tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellido. Firma.

Firma Vice Decano

Firma de Tutor

Sistema de Documentación y Archivo
Nombre y Apellido. Firma.

Dedicatoria

Dedico este trabajo especial de grado a todos aquellas personas que siempre han estado acompañándome en todos los momentos de mi vida en los buenos y en los malos. Que en forma incondicional me han brindado su apoyo. Nombrar a cada uno seria una mezquindad de mi parte porque ellos saben quiénes son y siempre los llevé en mi corazón.

Eternamente agradecido con ellos siempre.

Agradecimiento

Agradezco a dios por permitirme ser parte de este grupo de maestrante, y tener la oportunidad de compartir con los profesores de la hermana República de Cuba, y conocer su país. Agradezco los conocimientos adquiridos los cuales nos servirán para usos en nuestro país en el área de la eficiencia energética nacional.

Resumen

El mundo actualmente enfrenta una crisis energética, motivado por la carencia de las energías fósiles y sus altos costos y niveles de contaminación, razón por la cual surge la necesidad de orientar hacia nuevas fuentes de energía y entre ellas los residuos sólidos urbanos (RSU) representa una alternativa energética y ambiental.

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación de los RSU producidos en el municipio Miranda del Estado Zulia, Venezuela y su aprovechamiento energético. Para lo cual se evaluaron tres alternativas, reciclaje, planta recuperadora de energía y un relleno sanitario.

Según el estudio realizado la mejor propuesta tanto energética como ambiental la representa el reciclaje de los RSU, motivado a que se disminuye el consumo energético y las emisiones contaminantes de CO₂, se le da un uso a un material que ya cumplió con su vida útil, además de generar empleo a las comunidades del municipio.

Las opciones de planta recuperadora de energía y relleno sanitario representan una alta inversión económica para el municipio y poco beneficio energético y ambiental.

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción..... | 1 |
| Capítulo I: El estado del arte sobre los residuos sólidos urbanos..... | 5 |
| 1.1 Generalidades sobre los residuos sólidos urbanos..... | 5 |
| 1.2 Producción de RSU en el mundo..... | 6 |
| 1.2.1 Clasificación de los RSU..... | 8 |
| 1.2.2 Criterio para la clasificación de los RSU..... | 9 |
| 1.3. Composición de los RSU..... | 11 |
| 1.4 Caracterización de los RSU..... | 13 |
| 1.5 Disposición final de los RSU..... | 15 |
| 1.5.1 Almacenamiento de los RSU..... | 16 |
| 1.5.2 Recolección de los RSU..... | 17 |
| 1.5.3 Transporte de los RSU..... | 18 |
| 1.6 Tratamiento de los RSU..... | 20 |
| 1.7 Proceso de conversión de los RSU en energía..... | 21 |
| 1.7.1 Reutilización y reciclaje de los RSU..... | 21 |
| 1.7.2 Proceso de conversión biológica de los RSU..... | 22 |
| 1.7.3 Método térmico de conversión de los RSU..... | 23 |
| 1.7.4 Plantas de recuperación energética de RSU plástico..... | 24 |
| 1.7.5 Relleno sanitario..... | 28 |
| 1.7.6 Utilización de biogás..... | 31 |
| Conclusiones parciales..... | 33 |

| | |
|--|----|
| Capítulo II: Manejo de los RSU en el municipio Miranda..... | 35 |
| 2.1 Caracterización de los RSU en el municipio Miranda..... | 35 |
| 2.1.1 Determinación del número de muestra..... | 37 |
| 2.1.2 Metodología de trabajo..... | 37 |
| 2.1.3 Proceso de muestreo y clasificación de los RSU..... | 38 |
| 2.1.4 Composición de los RSU..... | 38 |
| 2.1.5. Resultados de la caracterización..... | 38 |
| 2.2 Principales dificultades en cuanto a la etapa de recogida, transporte y uso de los RSU en el municipio Miranda..... | 41 |
| 2.3 Manejo de los RSU desde el punto de vista legislativo en el municipio Miranda..... | 45 |
| 2.4 Manejo de los RSU desde el punto de vista ambiental técnico y energético en el municipio Miranda..... | 48 |
| Conclusiones parciales..... | 49 |
| Capítulo III: Alternativa de usos y análisis de los resultados..... | 50 |
| 3.1 Propuesta de uso de los RSU como alternativa energética limpia y de mejoramiento de la calidad del ambiente en el municipio Miranda..... | 50 |
| 3.1.1 Reciclaje de los RSU..... | 51 |
| 3.1.2 Planta de recuperación de RSU a partir de plástico..... | 57 |
| 3.1.3 Propuesta de relleno sanitario para la producción de biogás..... | 59 |

| | |
|--|----|
| 3.2 Análisis económico, técnico, y ambiental de la alternativa..... | 65 |
| 3.2.1 Efecto económico del reciclaje..... | 65 |
| 3.2.3 Efecto económico de relleno sanitario..... | 66 |
| 3.2.3 Efecto económico de la planta de recuperación energética de RSU plástico..... | 66 |
| Conclusiones parciales..... | 67 |
| Conclusiones..... | 69 |
| Recomendaciones..... | 70 |
| Bibliografía..... | 71 |
| Anexos..... | 74 |

INTRODUCCIÓN

El manejo de los RSU (Residuos Sólidos Urbanos), en Europa, Asia, América Latina y el Caribe, ha sido complejo, y ha evolucionado paralelamente al crecimiento económico, poblacional, crecimiento urbano, y el nivel de industrialización. Para abordar los RSU es necesario conocer los aspectos técnicos, en cuanto a la recolección, transporte, uso y disposición final, además de su influencia en la salud, en el medio ambiente, y los usos que se le puedan dar.

El problema de los RSU ha sido identificado desde hace décadas, especialmente en áreas metropolitanas, las soluciones parciales que se han logrado no abarcan en su totalidad a las ciudades intermedias, y menores, convirtiendo este tema en una problemática social.

Para el caso Venezuela existen leyes que regulan los RSU, esta ley se denomina “Ley de residuos y desechos sólidos”, promulgada en el año 2004, la cual consta de 109 artículos, y en su disposición general establece: que tiene por objeto y aplicación de un marco jurídico, a la producción y gestión responsable de los residuos y desechos sólidos, cuyo contenido normativo y utilidad práctica se debe en general la reducción de los RSU al mínimo y evitar situaciones de riesgo, para la salud humana y calidad del ambiente. La ley establece que la gestión integral de los RSU son competencia directa de cada municipio, lo cual ha originado poca coordinación entre las diferentes instituciones nacionales y regionales con competencia en esta gestión. Lo cual ha originado que la ley en la mayoría de los casos no sea aplicada, trayendo

consigo una serie de anomalías que van desde la colocación en las calles de los RSU, hasta la quema indiscriminada de estos.

El sistema de recolección y transporte, funcionan en forma aceptable en algunas ciudades, el mayor problema se encuentra en el uso final de los RSU, ya que estos son depositados en vertederos a cielo abierto, sin ningún tipo de control, lo que representa una fuente interminable de contaminación atmosférica, hídrica, y del subsuelo.

El estado Zulia representa el de mayor número de habitantes en Venezuela, aproximadamente 3353354, representando el 12.33 % del total de Venezuela, el cual consta de 21 municipios, cada uno con su respectivo vertedero a cielo abierto. Para nuestro trabajo de investigación se estudia el municipio Miranda, aproximadamente con 83.900 habitantes, representando el 2.50 % del total de todo el estado Zulia. El municipio Miranda es un municipio costero, donde se encuentra ubicada el complejo petroquímico más grande de todo Sur América, además de poseer amplias instalaciones de gas, petróleo, producción de sal, industria pesquera y camaronera siendo uno de los municipios más productivos de toda Venezuela, donde se estudiara todo lo referente a la problemática, en cuanto a la recolección, transporte y uso final de los RSU del municipio y su posible aprovechamiento.

Problema Científico:

Existe actualmente en el municipio Miranda toda una serie de problemas ambientales, económicos, con la recogida, transporte, y uso final de los RSU, que requieren una valoración final integral de la problemática en busca de un aumento de su eficiencia y eficacia desde el punto de vista económico, ambiental y energético.

Hipótesis:

Un estudio integral de la problemática de los RSU que valore los aspectos técnicos, legislativos, de seguridad e higiene del trabajo, administrativo y económico, a partir de un análisis crítico de toda la información existente permitirá a las autoridades competentes, apliquen soluciones más ventajosas que contribuyan a la sustentabilidad ambiental y energética del municipio objeto de estudio.

Objetivo General:

Evaluar el proceso de tratamiento de los residuos sólidos urbanos en el municipio Miranda Estado Zulia en sus etapas de recogida transporte, uso final, y su aprovechamiento energético.

Objetivos Específicos:

1. Diagnosticar la situación del proceso de manejo de los RSU desde el punto de vista técnico, legislativo, de seguridad e higiene de trabajo, administrativo, y económico.
2. Caracterizar el manejo de los residuos sólidos urbanos del municipio Miranda.
3. Proponer alternativas de solución energética para el uso de los RSU en el municipio Miranda.

Diseño Metodológico de la Investigación

El presente trabajo según el tipo de investigación está basado en un diseño descriptivo y proyectivo, puesto que presenta la descripción de un fenómeno a ser solucionado. Según Areas (2006), la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

Por otro lado Bavaresco (2006), refiere que la investigación proyectiva, también llamada proyecto factible, tiene como propósito crear una propuesta o alternativas o modelo, con el fin de dar solución a un problema o necesidad de tipo práctico.

Es descriptiva porque se describen los procedimientos a partir de un criterio o modelo teórico permitido donde se pueden identificar la característica propia de este estudio.

La investigación que se realiza es de campo no experimental, la presente investigación está basada en un diseño de campo debido a que se extrajo información de la realidad misma y no experimental porque no se manipula directamente ninguna variable, es decir se observa el fenómeno tal y cual como se da en su contexto natural para luego analizarlo.

Beneficios esperados

Uno de los beneficios esperados es contribuir con el ahorro energético, en todo lo referente a los RSU, proponer alternativas de soluciones que brinden un mejor uso energético de los RSU, para con ello mitigar un problema que tiene décadas, como es la acumulación de RSU en vertederos, sin ningún tipo de control, y con ello minimizar los daños ecológicos y ambientales que aquejan a la población del

municipio Miranda, además de dar a conocer las ventajas que producen el reciclaje de los RSU, y su impacto sobre la economía municipal generando puesto de empleo.

Limites del alcance de la investigación

Esta investigación se ha realizado desde enero de 2011 hasta diciembre del 2011, para dar a conocer todo lo referente a los RSU producidos en el municipio Miranda y su aprovechamiento, sus ventajas y alternativas de uso.

Justificación:

La investigación se justifica ya que al desarrollar esta investigación trata un problema que desde hace décadas ocasionan impactos medioambientales a los pobladores del municipio, producto de la acumulación de los RSU, y además se contribuye a darle valor agregado a los RSU, ya que los mismos pueden ser usados como fuente de energía alternativa limpia.

CAPÍTULO I

Estado del arte.

1.1. Generalidades acerca de los residuos sólidos urbanos

Se llaman residuos sólidos urbanos (RSU) a todos aquellos materiales ya sean líquidos, sólidos o gaseosos, que se generan como proceso de extracción de materias primas, su posterior transformación y consumo y que su poseedor decide abandonar, porque generalmente resultan inservibles. Sin embargo, la mayor parte de los RSU pueden convertirse nuevamente en materias útiles, mediante la recolección y posterior reciclaje.

Los RSU son todos los materiales que ha desechado la población con distintos orígenes, como productos de bienes y servicios, productos comerciales, industriales, desechos de la vía pública y residuos de origen doméstico.

Básicamente están compuestos por una fracción húmeda con una parte orgánica fermentable y otra parte seca formada por materiales que son prácticamente inertes. Entre estos últimos se encuentran los plásticos, cartones, papeles, textiles, metales, vidrio y otras cantidades menores entre las cuales se tiene los escombros, tierra, etc.

En resumen, los componentes de los RSU se pueden clasificar en

- *Materia orgánica:* restos provenientes de alimentos de comida, restos de la limpieza y restos de jardinería.
- *Papel y cartón:* periódicos, revistas, cajas, desechos de oficinas, materiales de uso del hogar.
- *Plásticos:* botellas, vasos, platos, bolsas, productos de embalajes, etc.
- *Vidrio:* botellas, vasos, envases de cosméticos y de productos alimenticios.

- *Metales*: botellas, piezas de equipos electrónicos y mecánicos de diferentes industrias.

1.2. Producción de RSU a nivel mundial y América Latica.

La producción de RSU está sujeta a varias variables, entre las cuales se tienen el número de habitantes por ciudades, los ingresos económicos por ciudad, los ingresos económicos, el consumo de energía, ubicación geográfica. El indicador para este cálculo es (Producción Per Capital) PPC = cantidad de basura/población en (kg/hab/día).(Ibañez & Corroccoli, 2003)

En la Figura 1.1 se muestra la producción de RSU de algunos países. (Acuario, 1998)

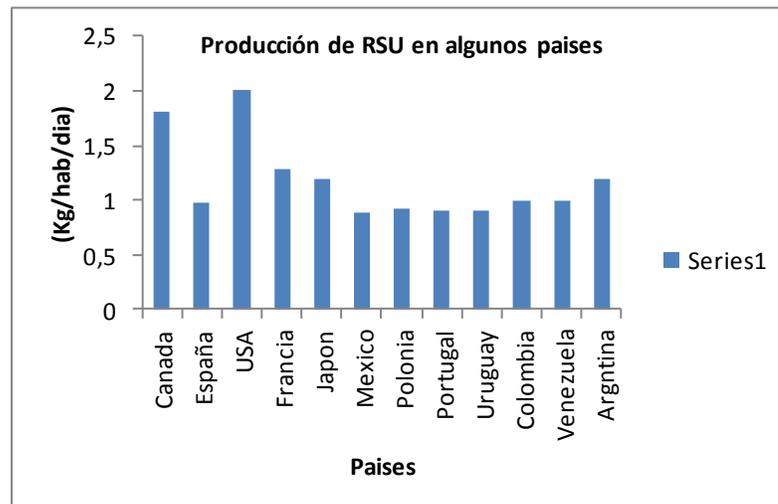


Figura 1.1 Producción de RSU por países

En el grafico se muestra el comportamiento en la producción de RSU, como puede observarse en los países desarrollados como USA, Japón, Francia, Canadá, la producción de RSU es mayor ya que poseen, mayores ingresos económicos, para el

caso de América Latina la producción de RSU es menor para el caso de Venezuela es de 1.2 Kg/hab/día.

Otra de las variables que se considera es la producción de RSU en dependencia del nivel de ingreso, como se muestra en la figura 1.2. (Orccousupa, 2002)

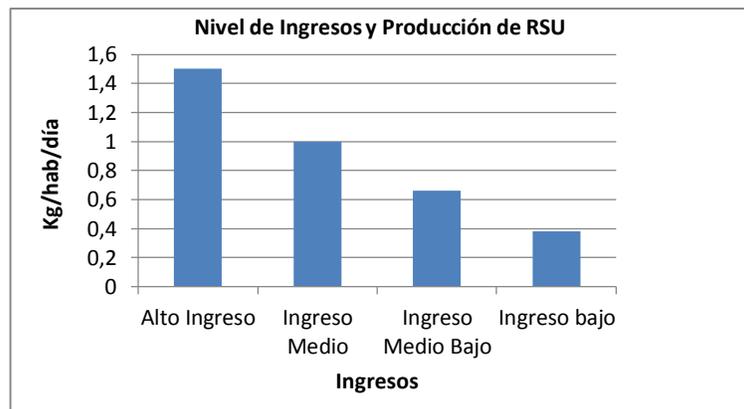


Figura 1.2. Nivel de Ingresos y Producción de RSU

En América Latina el promedio de RSU varía entre 0.3 y 0.85 kg/hab/día aunque al agregarle residuos como lo de los comercios, instituciones, pequeñas industrias y otros, la cantidad se incrementa entre un 25 y 50 %, esto implica una generación diaria entre 0.5 y 1.2 kg/hab/día siendo el promedio regional 0,92 Kg/hab/día. Aunque debido a la disparidad en la población de América, estos indicadores tienden a variar como se muestra en la Figura 1.3. (Rodriguez A. 2000).



Figura 1.3. Numero de Habitante, y Producción de RSU

En una investigación realizada en Venezuela (Guzman, 2007) específicamente en el estado Zulia, con más de 3 millones de habitantes y un ingreso económico medio, el indicador de producción de RSU estimado fue de 1,21 kg/hab/día. La investigación realizada por Guzmán Profesor Titular de la Universidad de Guayana estuvo enfocada en la clasificación y caracterización de los RSU a nivel de los estados más poblados en Venezuela.

1.2.1. Clasificación de los RSU.

La clasificación de los RSU es variada, y obedece a tres criterios básicos entre los cuales tenemos:

- *De orden técnico:* Con el objeto de dar soluciones para los problemas de transporte, almacenamiento tratamiento o disposición final.
- *De orden financiero:* En las comunidades de algunos países existen organismos de gestión que asumen la financiación final de los RSU.

- *De orden legal:* Existen residuos que pueden poner en peligro la seguridad de las poblaciones o son peligrosos para el medio ambiente

1.2.2. Criterios para la clasificación los RSU.

En la Tabla 1.1 se muestran los criterios utilizados para la clasificación de los RSU. (Silverio, 2007)

| Criterios | Conceptos |
|----------------------|--|
| Composición | Vegetales, plásticos, vidrios, metales, cartón, textiles, y otros. |
| Consistencia | Sólido, líquido, pastoso, sólido poco compresible. Sólido muy compresible. |
| Origen | Industriales, doméstico, minas, nucleares, agrícolas, hospitales, comerciales, plantas de tratamiento. |
| Heterogeneidad | Cuando estos presentan más de tres componentes |
| Tipos de Recolección | Contenedores, escombros. |
| Modo de Tratamiento | Incinerables, compostables, biodegradables, reciclables, valorables. |

Tabla 1.1 Criterios utilizados para la clasificación de los RSU.

Clasificación por su estado de consistencia.

Esto depende del estado de agregación en el cual se encuentre el residuo bien sea sólido, líquido, o gaseoso. Esta clasificación está basada en términos puramente descriptivos como se realiza en la práctica común.

Clasificación según su composición.

Estos se clasifican en dos grandes grupos.

- a) Residuos orgánicos putrescibles o biodegradables: Compuestos por restos de alimentos, materia vegetal. papel, cartón, textiles, huesos, pieles o cueros, animales muertos, excrementos y otros.

- b) Residuos inorgánicos no putrescibles, no biodegradable: compuestos por metales, vidrios, plástico, neumáticos, materiales de construcción y otros similares.

Clasificación de acuerdo al Origen.

- a) Residuos de limpieza y vías públicas: Son aquellos productos del barrido de aceras, limpiezas de áreas verdes, mercados, zonas de recreación, playas, ríos, montañas, parques, etc.
- b) Residuos de las urbanizaciones: Son los residuos provenientes de las viviendas, escuelas, centros comerciales, panaderías, tintorerías, talleres, carpinterías, instituciones del estado, ministerios etc.
- c) Residuos hospitalarios: Estos tipos de residuos son esterilizados y luego incinerados a través de un generador eléctrico o chimeneas.
- d) Residuos industriales: Estos puede clasificarse en los subgrupos que se mencionan a continuación:
- *Residuos asimilables urbanos*: Estos residuos poseen características similares a los residuos urbanos más comunes, están compuestos básicamente por restos orgánicos provenientes de la alimentación, papel, cartón, plásticos, textiles, madera.
 - *Residuos inertes*: Se caracterizan por ser inocuos, están constituidos por materiales considerado chatarras, vidrios, escorias, cenizas, refractarios, lodos inertes. Se caracterizan por no poseer condiciones adversas al ambiente.
 - *Residuos tóxicos y peligrosos*: Son residuos que por sus características fisicoquímicas, requieren un proceso de tratamiento especial para su

recuperación o eliminación específica. Sus efectos son nocivo a corto, mediano y largo plazo sobre el medio ambiente, los recursos naturales y las personas. Debido a ellos requieren tratamiento en condiciones exigentes y bajo un mayor control.

1.3. Composición de los RSU.

La composición de los RSU es variada producto de los tipos de materiales que conforman los RSU, la composición constituye el flujo de residuos y su composición relativa que usualmente está basada en porcentaje del peso.

La información sobre la composición de los RSU es importante para evaluar las necesidades de equipos, los sistemas, los programas, y los planes de gestión. En las Tablas 1.2 a la 1.4 se muestran algunos de las composiciones de los RSU en países desarrollados, América Latina y del estado Zulia en Venezuela.

Tabla 1.2 Composición de los RSU en países desarrollados. % (Catanhide, 2005)

| Países | Papel y cartón | Vidrio | Plástico | Metales | Residuos orgánicos | Otros |
|---------|----------------|--------|----------|---------|--------------------|-------|
| USA | 42 | 6 | 7.5 | 8 | 22.5 | 14 |
| Canadá | 70 | 5 | 7 | 5 | 10 | 3 |
| Francia | 35 | 13 | 5 | 5 | 37 | 5 |
| España | 20 | 7.8 | 7 | 4 | 49.2 | 12 |

En los países desarrollados se le da mucha importancia en conocer la composición de los RSU, a partir de esta información elaboran planes para su utilización, y usos diversos, en los países desarrollados funcionan de manera eficiente la recolección de los RSU, hasta recuperar un porcentaje elevado dándole un nuevo uso a estos de manera más eficiente

Tabla 1.3 Composición de Los RSU en América Latina (%) (Rossin, 1998)

| Países | Papel y cartón | Vidrio | Plástico | Metales | Residuos orgánicos | Otros |
|-----------|----------------|--------|----------|---------|--------------------|-------|
| México | 16.7 | 3.7 | 5.8 | 5.7 | 56.4 | 11.7 |
| Venezuela | 34.9 | 6.6 | 7.8 | 6 | 40.4 | 4.3 |
| Paraguay | 12.2 | 4.6 | 4.4 | 2.3 | 60.8 | 15.7 |
| Colombia | 18.3 | 4.6 | 14.2 | 1.7 | 57.1 | 4.1 |
| Perú | 24.4 | 1.7 | 2.7 | 3.4 | 34.3 | 33.5 |

En los países de América Latina el mayor porcentaje de RSU lo representa los orgánicos, seguido del papel y cartón, con los RSU orgánicos representa una alta fuente de producción de energía que podría aprovecharse en forma eficiente a partir de su descomposición

Tabla 1.4 Composición de los RSU en el estado Zulia (%) (Sánchez, 1999)

| Material | Estado Zulia Venezuela |
|----------------|------------------------|
| Papel y cartón | 17.58 |
| Metales | 3.82 |
| Vidrio | 5.50 |
| Textiles | 1.32 |
| Plásticos | 13.64 |
| Orgánicos | 53 |
| Otros | 5.14 |

Por realizarse la investigación en un municipio del estado Zulia es de vital importancia conocer la composición típica del estado. Para tener valores de referencia y realizar comparaciones lógicas y objetivas que enriquecerán y harán más

fructífera la investigación, y observar las variaciones de valores entre un estado particular y el resto del país. Ya que los mismo sirven de referencia para la valoraciones energéticas, o aplicaciones que se le pretenda dar a los RSU. Para los usos que se consideren más apropiados.

1.4. Caracterización de los RSU

La caracterización es el estudio confiable para obtener información sobre la cantidad y composición de los RSU. Esto permite hacer las proyecciones necesarias para la planificación de un sistema de recolección de los RSU en una comunidad determinada.

Algunos métodos de caracterización evalúan los RSU en la disposición final, ya mezclados y compactados, otros lo aplican desde la fuente de generación. Existen diversas metodologías de caracterización aplicadas en cada país, estado y comunidad, las cuales se adaptan a las necesidades de cada caso. Las propiedades a determinar con el muestreo y caracterización, comprenden entre otras las propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU entre las cuales están, siguientes:

Densidad real: Es una idea real del material a transportar, equipos de compactación a utilizar, y composición de los residuos. Este valor de densidad está comprendido entre 150-250 kg/m³. (Palacios, 2009)

Humedad: El grado de humedad de los RSU depende, además del propio residuo del clima y de la estaciones del año. Los residuos orgánicos son los más húmedos y se descomponen con facilidad y por la cantidad de material que incorpora al medio se

utilizan generalmente para tarea de compostaje. Debido a esta propiedad es que los RSU deben recolectarse rápidamente para evitar su descomposición. (Tafur, 2009).

Poder calorífico: Parámetro básico para un proceso de incineración, y para establecer un balance energético. El valor promedio de esta propiedad es 800-1600 Kcal/ kg. (Palacios, 2009)

Grado de compactación: Dependiendo del grado de compactación que se use, da una idea de reducción de volumen que se puede lograr para su transportación.

Materia volátil y materia fija: Determina el contenido de materia orgánica y materia inerte.

Carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio: parámetros calculados para la elaboración de compostaje.

Azufre: Posible eliminación como SO_2 , en procesos de incineración.

Desde el punto de vista energético los RSU representan una fuente amplia de energía y conocer su caracterización nos ofrece una referencia sobre cual método energético se adapta mejor a su caracterización y así aprovechar al máximo todo su potencial.

1.5. Disposición final de los RSU.

Para la disposición final de los RSU se presentan los principales métodos

- Relleno sanitario.
- Vertido al corriente de agua dulce o salada.
- Quema al aire libre.
- Alimentación de animales.

De los métodos empleados, el relleno sanitario se considera el más apto, motivado a que este no representa peligro a la salud pública ni al medio ambiente. (Haddad, 1981).

El lanzamiento de RSU a los cursos de ríos u orillas de las playas es un crimen ecológico lo cual origina un grave daño ambiental, produciendo la muerte por contaminación de las fuentes naturales de vida orgánica.

El abandono a cielo abierto de los RSU ocasiona serios problemas de salud pública por la proliferación de insectos y roedores que afecta gravemente a la salud y deterioran el medio ambiente, lo estético de las ciudades y sus paisajes naturales.

1.5.1. Almacenamiento de los RSU.

Son pocas las ciudades que tiene un almacenamiento adecuado en los hogares, establecimientos comerciales, y puntos de gran generación de los RSU, el almacenaje de RSU se realiza en recipientes especiales o bolsa plástica, en ciudades como La Habana, Rio de Janeiro, Buenos Aires. En las ciudades de países desarrollados, USA, Canadá, Francia, se emplean costosos recipientes con tecnología adecuada para el almacenamiento de RSU. En países menos desarrollados se presentan problemas en cuanto al almacenaje de los RSU en lugares como mercados municipales, industrias, depósitos clandestinos, que se forman en zonas periféricas a las ciudades y donde los habitantes colocan sus RSU en espacios baldíos o en plena vía pública, para que la recojan los camiones dedicados a esta actividad. Son pocas las ciudades, donde este servicio es de buena calidad, ya sea por falta de equipos para su transporte oportuno o por falta de educación ambiental de los ciudadanos. Estos problemas han ocasionado la

proliferación de vertederos de RSU sucios, sin control sanitario, originando problemas de malos olores y enfermedades. Los servicios de aseo urbano en América Latina y el Caribe están empleando contenedores de diferentes dimensiones, pocas son las ciudades donde este servicio sea de buena calidad, ya sea por falta de equipos adecuados para su transporte oportuno. Los contenedores donde se almacenan los RSU, se han convertido en vertederos sucios de basura, además del mal aspecto, originan malos olores, y proliferación de vectores. (Fernández, 1998).

1.5.2. Recolección de RSU.

La recolección de RSU en ciudades grandes de América Latina, es variada. Ciudades como Buenos Aires, Santiago de Chile, La Habana, México, Bogotá, Brasilia, Montevideo, Caracas y Cali, poseen una cobertura de recolección de 89 %. (OPS, 1996).

En las ciudades de menor tamaño el promedio de recolección es de 50 a 70 % la recolección ocupa entre 0.2 a 0.4 hombres por cada 1000 habitantes. Cada trabajador recolecta entre 2 a 5 ton/jornada de trabajo de RSU dependiendo de la generación por habitantes y de la ruta de transporte. El equipo más utilizado es el camión compactador con capacidad de 10 a 15 m³. (OPS, 1996).

Generalmente las zonas de alto y mediano ingreso están bien atendidas, pero las zonas marginales están mal atendidas. Esto último está motivado por la falta de pagos de sus habitantes, por las difíciles condiciones topográficas, por el mal estado de las calles o por el carácter ilegal de sus asentamientos. (OPS, 1996).

Si se comparan los costos de recolección, en América Latina son menores que en los países desarrollados debido a que la mano de obra resulta más barata.

Otra característica fundamental de la recolección es el uso de camiones compactadores de carga trasera o lateral. Estos camiones operan bien en zonas urbanas pavimentadas pero presentan problemas en zonas donde las calles están en mal estado o en las rutas que presentan cierto grado de pendiente. Otro problema es el grado de compactación de los RSU, debido a la densidad de estos, de allí que muchos servicios utilizan camiones con barandas, y volteos, cuya adquisición, mantenimiento y servicios, son de bajos costos. En la Figura 1.4 se muestra el nivel de recolección que se logra en los países de América Latina. (OPS, 1996)

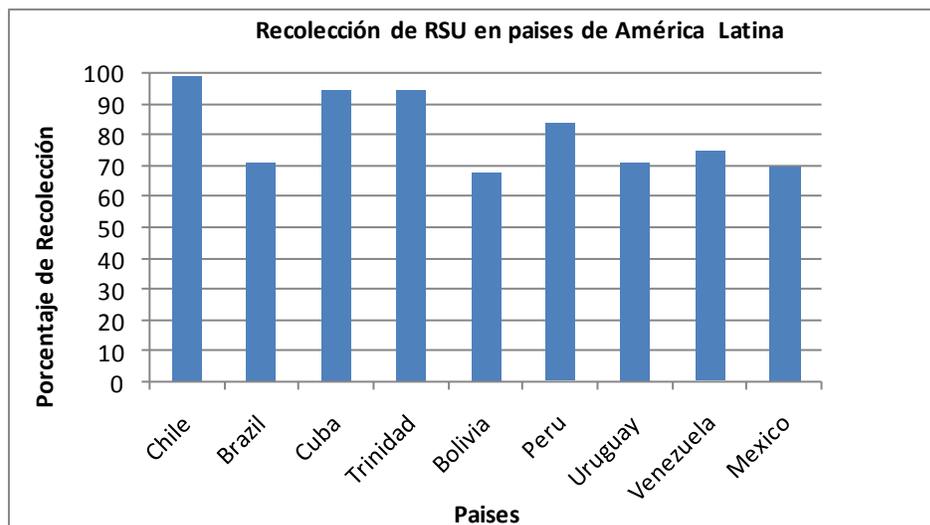


Figura 1.4. Recolección de RSU en países de América Latina.

En la figura 1.4 se observa que países como Chile, Cuba, Trinidad, el porcentaje de recolección supera el 90% siendo eficiente en este aspecto, el resto de los países como Venezuela están por el orden de 75%.

1.5.3. Transporte de RSU.

Para el transporte de los RSU luego de su almacenaje y recolección se utilizan equipos especializados, y equipos artesanales entre los cuales se tiene.

- Camiones compactadores.
- Camiones basculantes.
- Camión tipo prefectura con barandas.
- Camiones convencionales con adaptaciones especiales.
- Carreta con tracción animal.
- Carretas manuales.

En la Tabla 1.5 se puede observar el número de transportes usados en algunos países y su indicador por número de habitantes.

Tabla 1.5 Recolección de RSU por unidad de camiones (OPS, 1995)

| Ciudades | Número de Camiones | Indicador (Camión/Habitantes) |
|--------------------------|--------------------|-------------------------------|
| La Habana Cuba | 200 | (1/10000) |
| México D.F | 1500 | (1/7300) |
| Caracas Venezuela | 350 | (1/8500) |
| Medellín Colombia | 115 | (1/13000) |
| Sao Paulo Brasil | 600 | (1/27000) |
| Montevideo Uruguay | 169 | (1/8300) |
| Estado Unidos de América | - | (1/4000) |

En la tabla 1.5 se muestra el indicador camiones por habitante, para este caso el mejor valor lo representa Estados Unidos, seguido de México. Los valores más altos

lo representa Sao Paulo. Este indicador es importante a la hora de planificar estrategia en cuanto a la recogida transporte y uso final de los RSU.

Se evita el vertido incontrolado de los RSU a las calles, y el transporte oportuno a los sitios establecidos para su uso final. En el caso Venezuela los RSU son transportados a vertedero a cielo abierto sin ningún tipo de control, salvo el relleno sanitario “La Bonanza” ubicado en Caracas, el cual produce biogás, el cual es quemado y no se aprovecha su poder energético para producir energía.(INE, 2001).

1.6. Tratamiento de los RSU

Debido a la falta de terrenos, su alto costo y las legislaciones emitidas para la preservación del medio ambiente cada vez más exigentes, muchos países desarrollados adoptaron la incineración y el compostaje de los RSU como método de tratamiento. Este proceso que puede ser parcialmente competitivo a pesar de su alta tecnología. Estos procesos tratan de aprovechar la basura o sus características, lo que da origen a proyectos de incineración con aprovechamiento de energía, bioconversión en compost, producción de combustible, y de biogás de los rellenos sanitarios, para uso residencial, o como combustible auxiliar para vehículos. Estas tecnologías han sido adaptadas en varias ciudades de América Latina y el Caribe, con resultados casi siempre desalentadores, a excepción de algunos proyectos de recuperación de biogás. Actualmente en las tecnologías de incineración y compostaje tienen costo hasta 20 veces mayor que los rellenos sanitarios. (OPS, 1996).

.Las tendencias mundiales de estos tratamientos se pueden observar en la Tabla 1.6 (OPS, 1995)

Tabla 1.6 Cantidad mundial del tratamiento y disposición final de los RSU.

| País | Rellenos Sanitarios | Plantas de Incineración | Compost |
|----------------|---------------------|-------------------------|---------|
| Estados unidos | 80 | 19 | 1 |
| Japón | 30 | 70 | 2 |
| Alemania | 70 | 30 | 3 |
| Francia | 55 | 40 | 9 |
| España | 80 | 15 | 5 |
| América Latina | 98 | 0 | 0 |

Los países desarrollados son los pioneros en la aplicación de estas tecnologías de aprovechamiento de energía partir de los RSU, para el caso de América Latina y el Caribe, Brasil es el país más avanzado en el uso de estas tecnologías, con la puesta en marcha de los rellenos sanitarios de Soa Paulo y Rio de Janeiro, y plantas de incineración con recuperación de energía, y compostaje. (OPS, 1996).

1.7. Procesos de conversión de los RSU en energía.

A continuación se presentan las alternativas energéticas para la conversión de los RSU en forma de energía aprovechable.

1.7.1 Reutilización y reciclaje de los RSU.

El reciclaje es una actividad que vuelve a integrar en un ciclo natural, industrial, o comercial, todos los desechos y desperdicios que se generan en la sociedad de hoy mediante procesos cuidadosos. (Val, 1993).

Tabla 1.7 Componentes de los RSU de mayor interés (Ali, 1993)

| Componentes | Uso Directo | Manipulación | Uso indirecto |
|------------------------------|---------------|--------------------------------------|---|
| Papel y Cartón | Materia prima | Prensado y briquetado | |
| Chatarras Aceros y Aluminios | Materia prima | | |
| Vidrios | Materia prima | | |
| Compuestos orgánica | | Fermentación aeróbica, y anaeróbica. | Compost, gas combustible, y alimentos para animales |

En Venezuela hay 199 centros de recuperación y reciclaje, que cubren el 75 % del material recuperado en el país, (OPS, 1995).

- El vidrio se recicla alrededor de un 20 % del total utilizado.
- Los metales aluminio, hierro, aceros, se recicla alrededor de un 78 % del total utilizado.
- Papel y cartón se recicla a rededor de un 55 % del total utilizado.

El plástico se recicla alrededor de un 14 % del total utilizado.

1.7.2. Procesos de conversión Biológica de los RSU.

Este proceso consiste en la conversión de la materia orgánica de los RSU en productos finales estables, entre los cuales se tiene el compost, para llevar a cabo esta clase de tratamiento los organismos quimiheterotraficos son de una importancia primordial por necesitar compuestos orgánicos, como fuente de carbono como energía. Entre este se tiene el compostaje, proceso de conversión biológica donde se transforma la materia orgánica en forma aeróbica. Este proceso implica sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y procedencia, y homogéneo en su

tamaño, durante su transformación se suceden diferentes etapas, lo que concluye en reacciones, de diferentes significados, con producciones metabólicas intermedias que pueden resultar, de allí de la importancia del control de la maduración y de la gestión adecuada, finalmente el proceso de compostaje conduce a la liberación del CO₂, agua, minerales y materia orgánica más o menos estabilizada, rica en poblaciones microbianas útiles, el compostaje ha sido empleado por los agricultores, desde hace siglos, como un medio de aporte complementario de suplemento orgánico barato de buena calidad, y fácilmente accesible para sus tierras.(Rodriguez E. , 1997).

En Venezuela se adquirió una planta de compostaje la cual nunca funcionó, por falta de una política que impulsara el desarrollo de este tipo de energía. Ya que la única fuente de energía desarrollada ha sido el petróleo, además de la puesta en marcha y mantenimiento de estas instalaciones que es altamente costosa. (OPS; 1996).

1.7.3 Métodos térmicos de conversión de los RSU.

Los procesos de transformación térmica se emplean para reducir volúmenes y peso de los RSU, que requieren evacuación y para recuperar productos de conversión y energía. El más frecuente utilizado es la incineración que se puede utilizar para reducir volúmenes original de la fracción combustible de los RSU, del 85 al 95 %, además de la recuperación de energía en forma de calor. (Seddon, 1998).

Cuando se aplica la cogeneración la eficiencia de la incineración de los RSU se incrementa entre un 60 y 80 %, la cogeneración ocurre cuando el vapor de salida de la generación de energía se convierte en electricidad, o se utiliza en la producción de agua caliente para uso industrial o para calefacción de edificios.

La incineración es un proceso térmico mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión compuesto principalmente de nitrógenos, monóxido de carbono y vapor de agua, se puede recuperar energía mediante el intercambio de calor procedente de los gases calientes de combustión esta reacciones son altamente exotérmica. Como ejemplo se tiene:

1.7.4. Planta de recuperación energética de RSU plástico. (Plastivida,2009)

Los plásticos derivados de los hidrocarburos son un gran reservorio de energía que debe de aprovecharse en lugar de enviarlos a los vertederos o rellenos sanitarios. La tecnología aplicada se conoce como recuperación energética y es ampliamente usada en países de Europa y Asia. Esta tecnología consiste en convertir la basura en energía, y la razón fundamental para su utilización radica en la falta de espacios adecuados para los rellenos sanitarios y el alto costo de los combustibles tradicionales. El poder calorífico del plástico es comparable al del fuel oíl, y es 2,5 veces mayor que el de la madera, el papel y el cartón. En la figura 1.5 se muestra un diagrama esquemático.

Planta de recuperación energética con aprovechamiento de plástico reciclado para la uso industrial donde el plástico reciclado es transportado a un subproceso donde luego de ser triturado, lavado, deshidratado, moldeado, inyectado, resulta un producto industrial, el cual puede ser usado como materia prima para procesos de laminados, plástico secundarios de procesos etc.

En la figura 1.6 se muestra el diagrama esquemático del proceso.

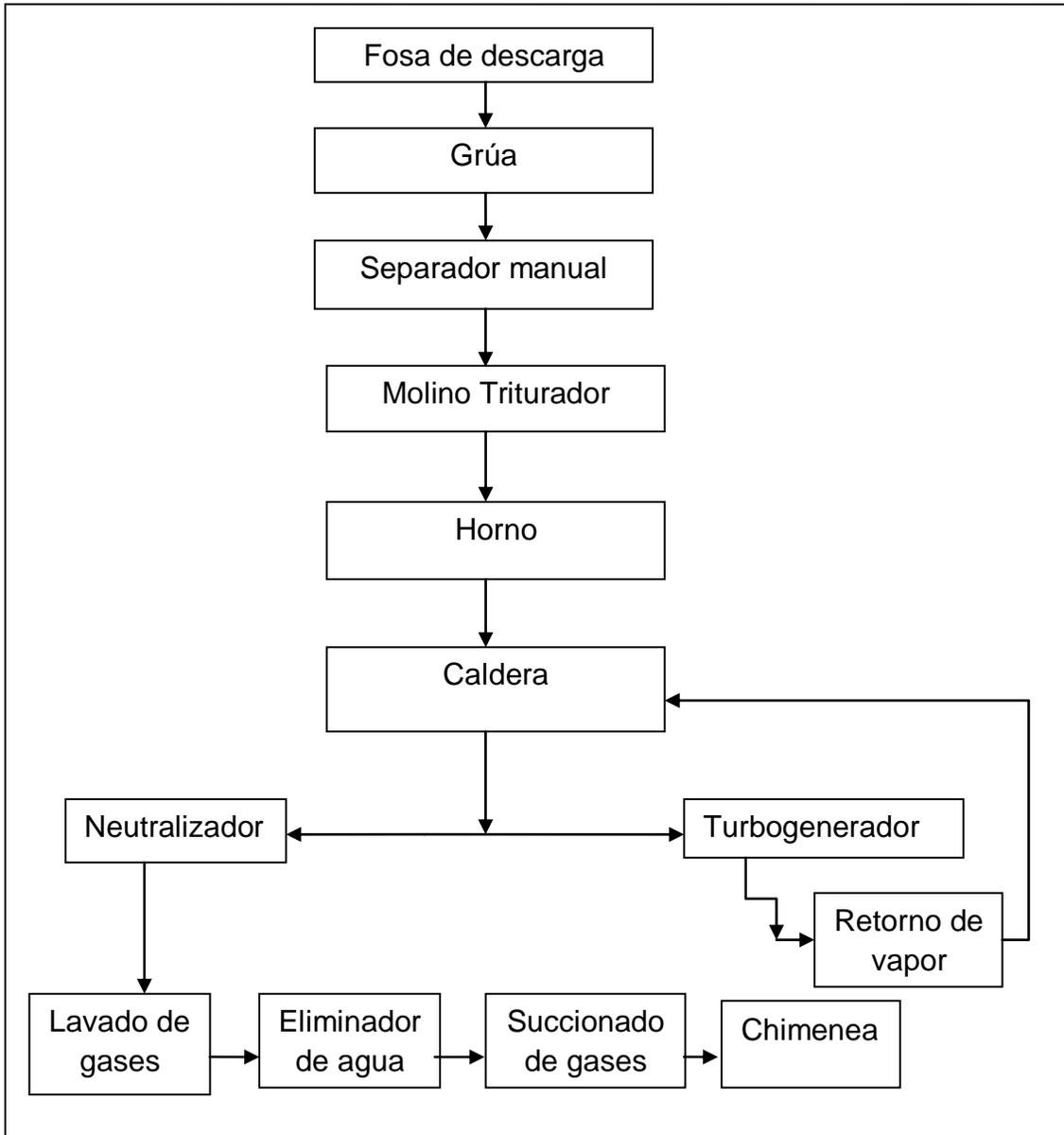


Figura 1.5 Planta de recuperación energética de RSU con plástico.

Este proceso que se muestra en la figura 1.5 los camiones llenos de RSU son vaciados en una fosa de descarga, luego son transportados por una grúa para retirar

las piezas de tamaños mayores, son transportados por medio de una cinta transportadora donde se produce la separación manual de materiales reciclable, entre ellos vidrio, metales, plástico y papel, se separan, el plástico es transportado a un molino triturador, es el que muele los residuos para que tengan una granulometría adecuada, sigue hacia el horno de combustión con una temperatura mínima de 950 a 1050 °C, con un tiempo de residencia de 2 seg, para que se destruyan las dioxinas y furanos que siempre se generan durante la combustión de los RSU plástico, la caldera produce vapor a 45 bar y 420°C que va al turbogenerador, el cual genera 0.6MW por ton de RSU, parte del vapor retorna al sistema de generación. Por otro el proceso entra en un neutralizador de gases por sistema de lavado, para luego estos gases ser lavados, luego eliminaremos las partículas de aguas que se encuentran presente, luego estos gases son succionados y enviados a la chimenea donde eliminan gases que cumplan con las normativas ambientales.

Otro de los procesos aplicados a los RSU plástico es el que se muestra en la figura 1.6 donde su uso principal es el de obtener un producto manufacturado para diferentes aplicaciones en hogares o industriales.

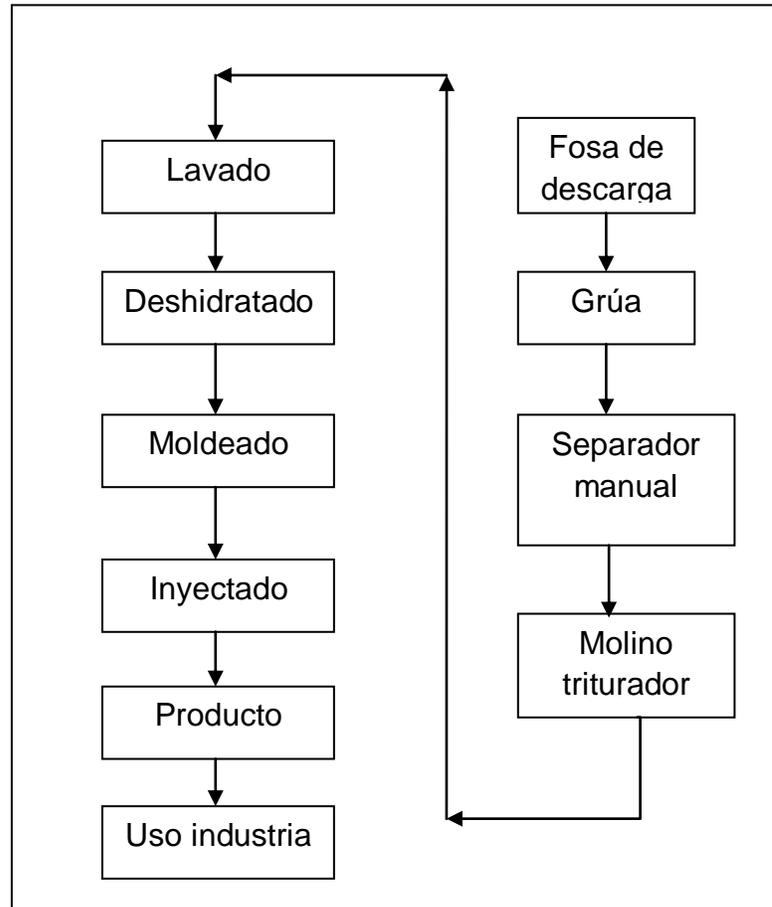


Figura 1.6 Proceso de obtención de plástico a partir de los RSU

El proceso mostrado en la figura 1.6, los RSU son descargados en una fosa de descarga, las grúa colocas los RSU para luego ser separados manualmente entre los cuales están los plásticos, el cartón, los metales, vidrios, orgánicos, luego de la separación los RSU plásticos son molido y triturados, luego lavados para eliminar impurezas, deshidratado donde se elimina la cantidad de agua que pudiera existir, pasa luego al moldeado dando una figura particular, para ser inyectado y obtener a

un producto plástico en este caso los laminados y estos a su vez son de uso industrial.

1.7.5 Rellenos Sanitarios.

La técnica de eliminación de los RSU más generalizada en Europa y Norteamérica es la de los rellenos sanitarios, que permite la eliminación final y completa de los RSU, con la posibilidad de la implementación de técnicas de reciclaje complementarias en la zona del relleno sanitario.

La eliminación de los RSU debe llevarse a cabo evitando toda influencia perjudicial, para el suelo vegetación, fauna, la degradación del paisaje, la contaminación del aire y las aguas y en general todo lo que pueda atentar contra el ser humano y el medio ambiente que lo rodea.

La técnica que alcanza el relleno sanitario, de más bajo riesgo, varía el número de factores incluyendo la composición de los residuos, el clima, la geohidrología, y en dependencia del país, región y sitio.

Un relleno verdaderamente sostenible es aquel que los materiales residuales son asimilados generalmente en el ambiente circundante, hayan o no recibido tratamiento biológico, térmico, o de otro tipo, y se hallan gestionado los problemas relacionados con el biogás para minimizar el impacto. (Westlake, 1996)

En los países desarrollados la posibilidad de medidas control ambiental para rellenos sanitarios es un aspecto clave, existe estándares a considerar usados para clasificar los basureros con el fin de convertirlos en rellenos sanitarios. (Bligh, 1996).

- Tipo de residuo.
- El tamaño del vertedero.

- Las condiciones climáticas del sitio.

En la figura 1.7 se presentan el esquema de un relleno con sus diferentes coberturas

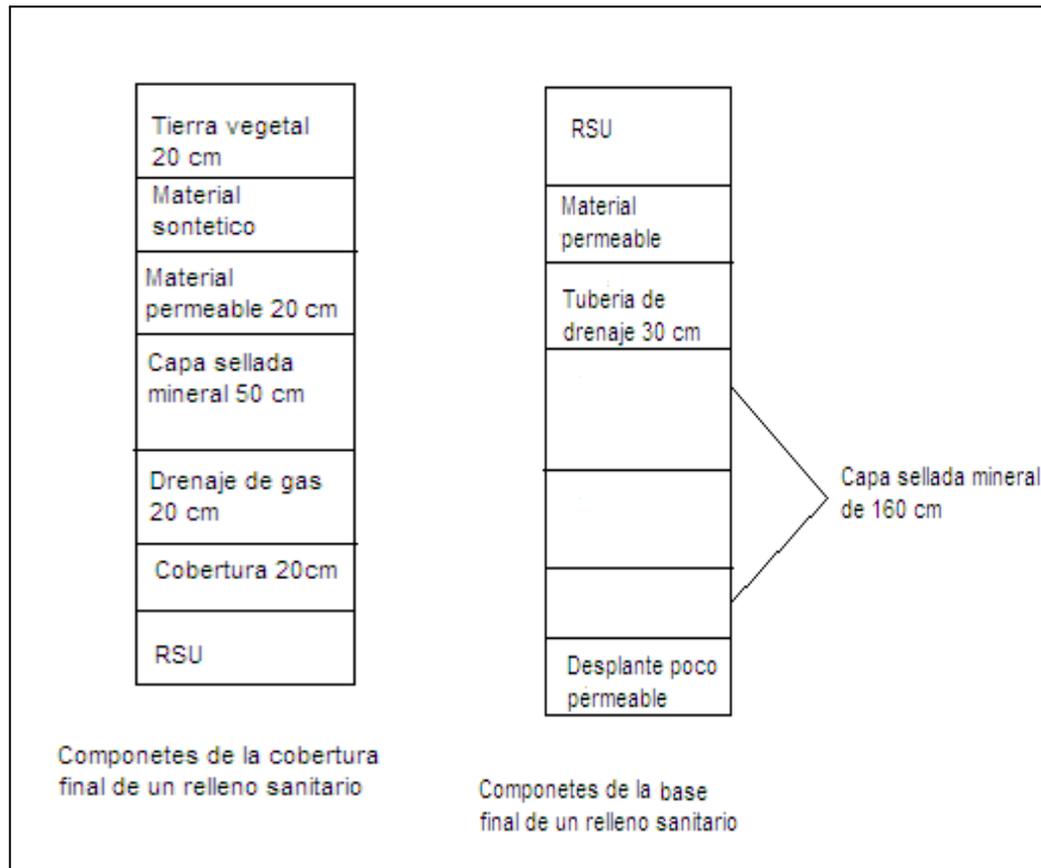


Figura 1.7 Coberturas de un relleno sanitario

La figura 1.7 representas los diferentes capas que se emplea para la puesta en marcha de un relleno sanitario, se presentes dos coberturas entre ella la cobertura base ubicada en la parte inferior y es la que constituye la base inicial la cual soportara todo el peso de los RSU, la otra cobertura la constituye la cobertura final que representa la parte superior del relleno sanitario. Hay que notar que el número de capas dependerá del diseño del relleno sanitario.

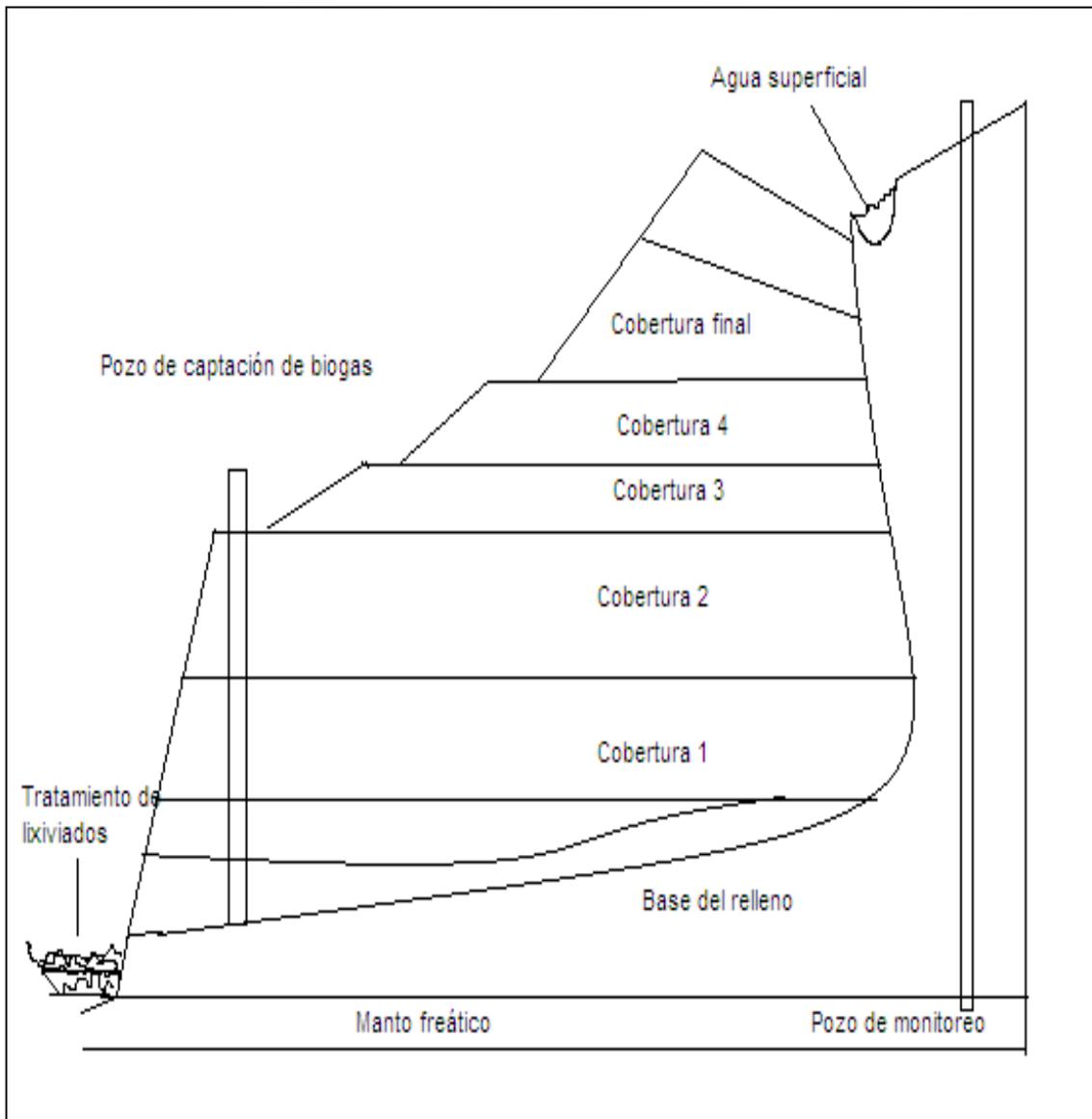


Figura 1.8 Esquema de un relleno sanitario

La figura 1.8 representa el diseño de un relleno sanitario con sus diferentes coberturas, la base del relleno, la captación de biogás, la forma como se depositan los lixiviados en su lugar específico, el manto freático, los pozos de monitoreo de gas, en fin todos los elementos esenciales de un relleno sanitario.

1.7.6. Utilización del Biogás

Actualmente las municipalidades y las compañías de gestión de RSU, han encontrado formas para darle un uso productivo al biogás, la recuperación de la energía del gas del basurero, elimina las emisiones contaminantes del aire, previene que el metano de los basurero contribuya al calentamiento global, detiene la migración de metano fuera del basurero, convirtiéndose en un problema seguro, o causar problemas de olores fétidos.

El biogás prevee utilidades locales a las industrias y a los consumidores como una fuente competitiva de energía. (Nichols, 1996)

La predicción en la producción de biogás es muy difícil debido a las múltiples etapas de la descomposición bioquímica, la tasa de recuperación puede estimarse entre 40 y 70 %. (Carra, 1990).

El biogás esta usado en sistemas de calefacción y en máquinas de gas para generar electricidad, también está siendo purificado al grado de calidad del gas natural, desde la primera aplicación en 1970, su utilización a crecido constantemente motivado por las presiones ambientalistas y por los incentivos financieros. (Mccarthy, 1977).

En la figura 1.9 se presenta un esquema con un relleno sanitario para la producción de biogás y producción de energía. Además se presentan todo los equipos que se deben de tener a la hora de este diseño.

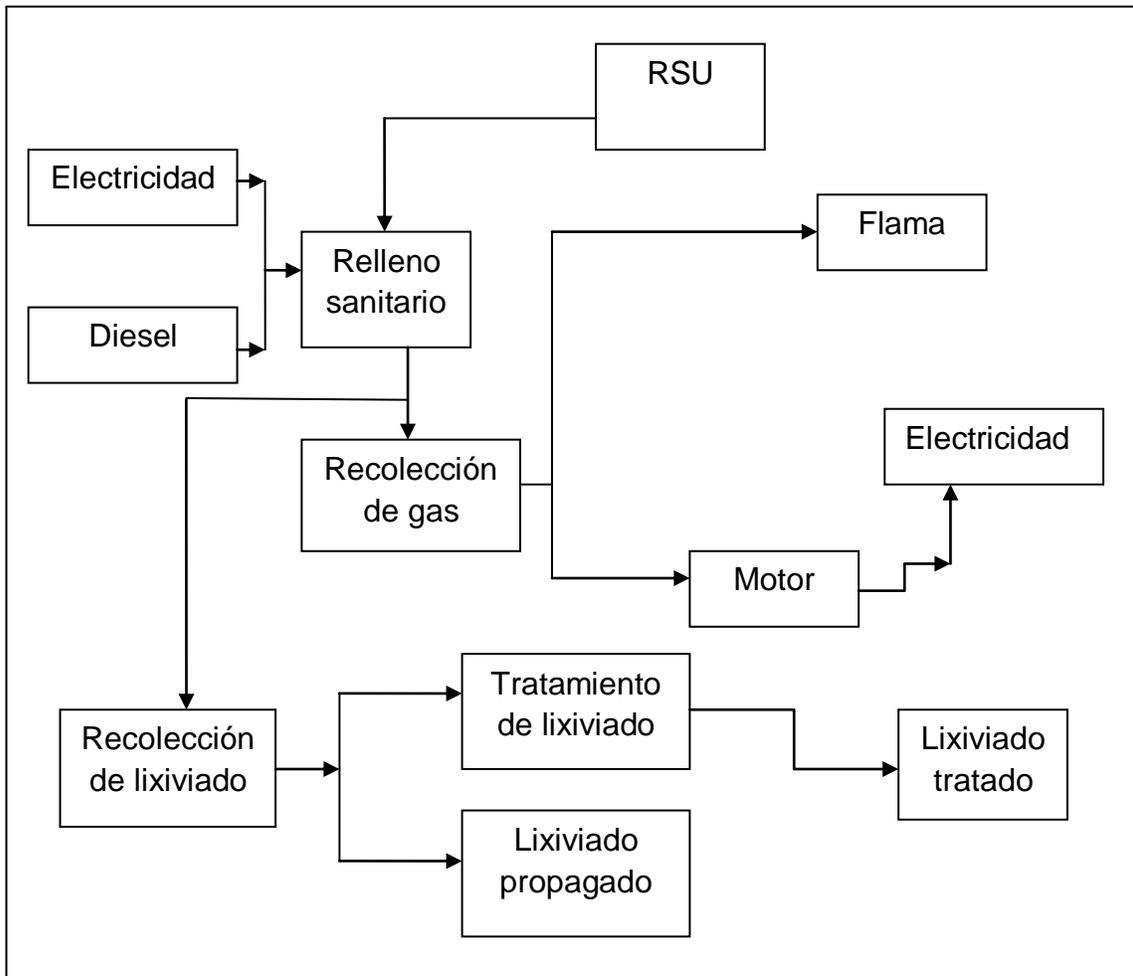


Figura 1.9 Esquema de un relleno sanitario con recuperación de energía.

La figura 1.9 representa el proceso de un relleno sanitario con producción de energía, los RSU son convertidos en un relleno, lo cual produce dos subprocesos: el proceso de producción de energía y el proceso de lixiviado. La producción de energía se logra con el gas recolectado del relleno, el cual puede quemarse o alimentar un motor de combustión para producir energía. Los lixiviados se producen por la acumulación de agua subterránea, la cual es recolectada, tratada y eliminada. Hay que hacer notar que no todo el lixiviado puede tratarse, parte de él penetra en la superficie del subsuelo, originando problemas de contaminación de las aguas.

Conclusiones parciales.

1.- La producción de RSU depende del número de habitantes y del nivel de ingresos de los mismos, siendo mayor en los países desarrollados con un indicador promedio de 1.8 kg/hab/día, siendo en Venezuela aproximadamente de 1.2 kg/hab/día.

2.- La materia orgánica representa el mayor porcentaje presente en los RSU, con un promedio del 50% en los países desarrollados, para Venezuela un 41 %, y para el estado Zulia un 53 %. En el estado Zulia, los plásticos representan alrededor del 14 % de los RSU, por encima del peso que tienen en los RSU a nivel de país.

3.- A nivel global, la tendencia en la disposición final de los RSU es a los rellenos sanitarios principalmente, motivado a que este no representa peligro para la salud pública ni al medio ambiente.

4.- El valor calórico de los RSU se encuentra entre 800 y 1600 kcal/ kg pudiendo ser utilizado en proyectos de generación de energía. Entre los RSU que presenta mayor poder calorífico se puede mencionar el plástico y la materia orgánica.

5.- La importancia en la utilización de los RSU radica en que se pueden producir energía a partir de residuos que fueron desechados y cumplieron su vida útil.

CAPITULO II

Caracterización y manejo de los RSU en el municipio Miranda.

2.1. Caracterización de los RSU en el municipio Miranda.

El Municipio Miranda es uno de los 21 municipios ubicados en el estado Zulia, en Venezuela. Ubicado en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, su capital es Los Puertos de Altagracia. Recibe su nombre en homenaje al prócer de la independencia de Venezuela Francisco de Miranda.

Para poder entender a cabalidad la problemática presente es necesario hacer un análisis crítico de los RSU más comúnmente desechados por los habitantes del municipio Miranda del estado Zulia. En la figura 2.1 se muestra el proceso.

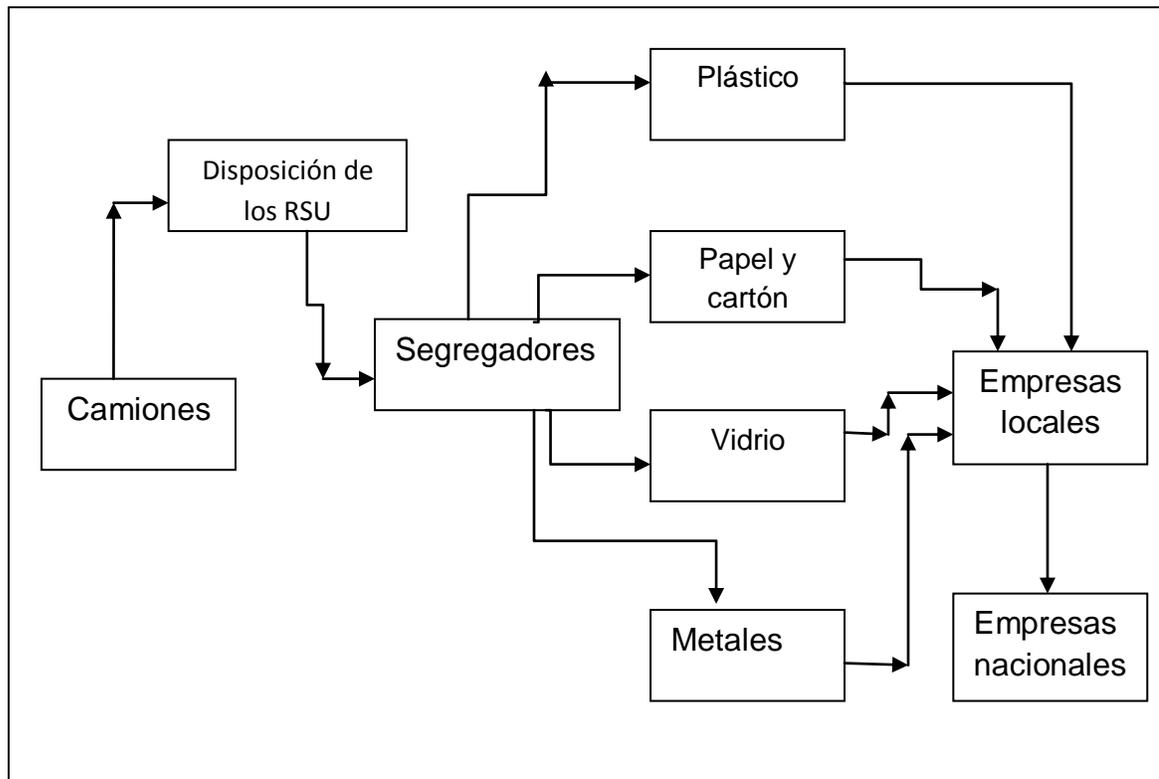


Figura 2.1 Proceso de caracterización de los RSU en el municipio Miranda.

La grafica representa el proceso que se lleva a cabo en el municipio Miranda inicialmente los camiones depositan los RSU en el sitios de disposición final, donde luego los segragadores selecciona el material a reciclar, dejando únicamente el componente orgánico, entre lo recolectado se tiene plástico, papel y cartón, metales y vidrio los cuales son vendidos a empresas locales, y estas a su vez a empresas nacionales para su posterior rehusó.

La caracterización significa determinar el volumen, calidad, naturaleza, y composición de los RSU, la metodología establecida en esta investigación para la caracterización es la norma ASTM 5231-92 (stándart rest of the composition of un processed municipal solid wastes).

La norma ASTM 5231-92 define la muestra como una porción entre 90 y 135 kg que se considera representativa, y de la cual se extrae previo proceso de mezclado, homogeneizado y cuarteo la porción de residuo para su caracterización que puede rondar entre 15 y 30 kg.

El programa diseñado para el estudio de caracterización se compone de las siguientes partes.

- Determinación del número de muestra.
- Metodología de trabajo
- Proceso de muestreo
- Procesamiento de los datos y resultados.

2.1.1. Determinación del número de muestras.

Según la norma ASTM 5231-92 el número de muestra se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$n = (T \cdot S / e \cdot x)^2$$

n= número de muestras a caracterizar.

T= Valor estadístico correspondiente al nivel de confianza. Estimado por la norma. ASTM

S= Desviación estándar. Estimado por la norma. ASTM

e= Nivel de precisión. Estimado por la norma. ASTM

x= valor medio aritmético estimado. Norma ASTM

Para nuestra investigación los valores sugeridos por la norma son:

T= para un nivel de confianza de 90 % valor mínimo aceptable S=1.333

s= 0.03

e=0.20

x=0.10

Con estos valores se calcula el número de muestras para la caracterización.

n=4

2.1.2. Metodología de trabajo.

La metodología empleada se divide en dos partes:

- Muestreo y clasificación manual: tendiente a estimar el número de residuos.

- Caracterización visual: que tiene como fin estimar la composición del flujo de residuos.

2.1.3. Proceso de muestreo y clasificación de los residuos.

Se sigue la metodología siguiente:

Preparación del área de deposición, se genera un espacio limpio y llano de 3 por 3 metros, se procede a la revisión y posterior mezclado del material, se produce su clasificación y posterior pesaje para determinar la composición de los RSU.

2.1.4. Composición de los RSU

La composición por componentes de los RSU se reportan en base a fracción de masa expresado en porcentajes del componente residual por medio de la siguiente ecuación:

$$M_i = (W_i / (PT)) * 100$$

M_i = porcentaje del componente residual.

W_i = peso del componente i

PT = Peso total de la muestra a caracterizar.

2.1.5. Resultados de la caracterización.

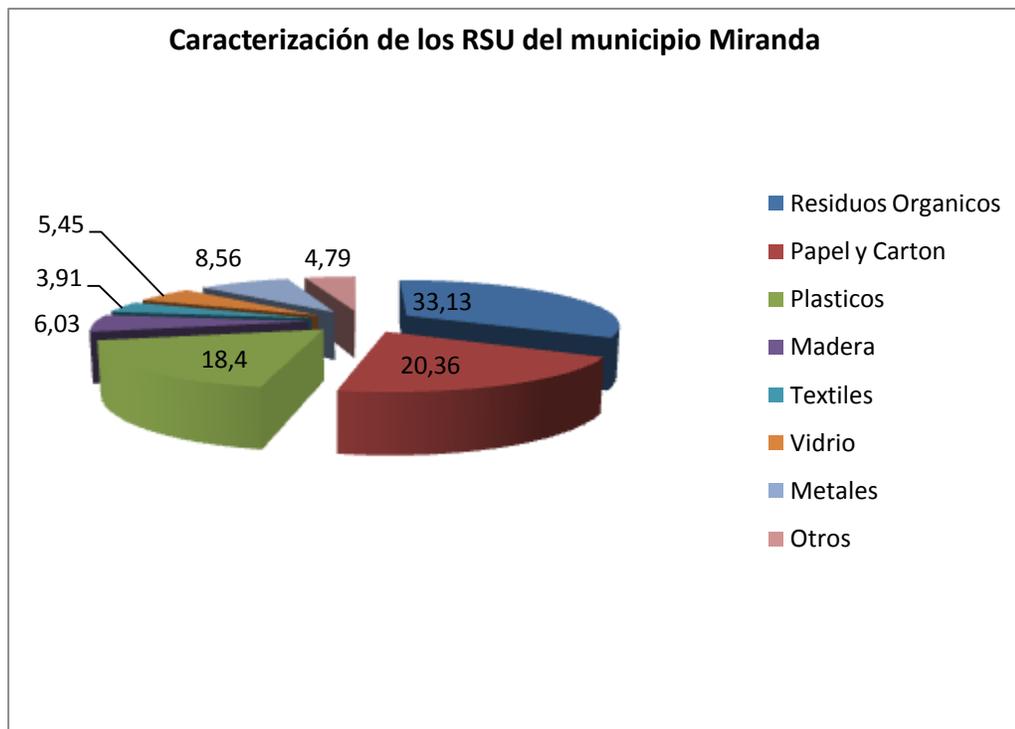


Figura 2.2. Caracterización de los RSU del municipio Miranda.

Como puede observarse, en la figura 2.2 los residuos de carácter orgánicos son los de mayor porcentaje y es lógico suponer ya que estos representan los de usos más comunes de todas las personas del municipio siendo los más representativos los residuos alimenticios, tanto vegetales como animales y frutales. También dentro de estos se encuentran papeles y cartones, productos de papeles higiénicos, papeles de oficinas, cuadernos, bolsas de papel de las compras, cartones de medicamentos y cajas de embalajes de artículos. La caracterización está realizada antes que los segregadores realicen su función de recolección de los RSU.

Los plásticos están constituidos por botellas de refrescos, bolsas plásticas, potes de plásticos, potes de aceites de motores y utensilios de cocinas entre otros. Dentro de los residuos de madera se encuentra la madera de los árboles picados, de los

equipamientos que ya terminaron su vida útil y son desechados y tablas de construcción.

Los textiles están representados por trapos viejos y ropa usada en mal estado, mientras los vidrios están representados por botellas, envases de comida, medicinas, bebidas alcohólicas y productos de limpiezas. Los metales están constituidos por hierro, cobre y aluminio, producto de la actividad comercial e industrial y entre ellos se encuentran pedazos de cabillas, piezas de motores de autos, envases viejos y restos de cables eléctricos que contienen cobre.

El resto de los RSU están constituidos por tierra y desechos de la construcción constituidos por bloques, cerámicas, pisos viejos, y tierra vertida producto de construcciones que han sido demolidas.

La densidad calculada de los RSU es de 233 kg/m³ y la húmeda de 50 % y el poder calorífico es 732 kcal/kg.

Para el cálculo de la densidad se aplica la norma ASTM 5231-92 la cual establece la relación peso volumen, pesar una cantidad de RSU, en un recipiente con un volumen previamente calculado.

Para el cálculo de humedad se aplica la norma ASTM 5231-92 la cual está basada en la siguiente ecuación.

H= humedad

$$H = (\text{peso RSU húmedo} - \text{peso RSU seco}) / (\text{peso RSU húmedo}) * 100$$

Para el cálculo del poder calorífico se aplica la norma ASTM 5231-92 la cual está basada en la siguiente ecuación:

Pc= poder calorífico

Pc= Pci*Mi. Donde Pci representa el poder calorífico individual de cada residuo individual, y Mi representa porcentaje del componente residual.

2.2. Principales dificultades en cuanto a la etapa de recogida, transporte y uso final.

El municipio Miranda del estado Zulia en Venezuela está ubicado en la costa oriental del lago de Maracaibo sus límites son al norte, el lago de Maracaibo; al sur el municipio Santa Rita y Cabimas; al oeste la ciudad de Maracaibo y al este; los municipio vecinos del estado Falcón. El municipio Miranda cuenta con 5 parroquias cada una con una cantidad determinada de habitantes como se muestra en la Tabla 2.1 según el Instituto de Estadística Venezolano.

Tabla 2.1. Habitantes por Parroquia del Municipio Miranda. (I.N.E 2001)

| N ₀ | Parroquias | Habitantes |
|------------------------------|----------------------------|------------|
| 1 | Parroquia Altagracia | 48553 |
| 2 | Parroquia Ana María Campos | 4934 |
| 3 | Parroquia Farías | 3521 |
| 4 | Parroquias San Antonia | 11905 |
| 5 | Parroquia San José | 14086 |
| Total (Municipio de Miranda) | | 82999 |

En el municipio, como promedio las familias están formadas por 5 personas. (I.N.E 2001). De acuerdo a datos estadísticos existen variaciones en cuanto a la cantidad

de residuos sólidos urbanos producidos y estos están en función al número de habitantes que posea el municipio. Para este caso en particular, un municipio con una cantidad de habitantes menor de 100000 el estándar mundial, y un estrato social medio se puede tomar como indicador para la realización de los cálculos el valor de 1kg/hab/día. Para nuestro caso particular se procede a calcular este indicador por medio de la siguiente ecuación:

$$Pr = (Nv \cdot Nj \cdot Cp \cdot Dr) / Nh$$

Pr = Producción per capital de RSU en el municipio.

Nv = Número de vehículos en operación en el municipio. 10 vehículos

Cp = Capacidad del vehículo en m³. 20 m³

Nj = Número de viaje por día. 2 viaje por día.

Dr = Densidad de los RSU kg/m³. 233 kg/m³

Nh = Número de habitantes del municipio. 82999 habitantes.

$$Pr = 1,12 \text{ kg/hab/día}$$

Con este indicador calculamos la producción total de RSU en el municipio Miranda del estado Zulia. Los cuales se muestra a continuación.

Tabla 2.2. Producción de RSU en el municipio Miranda y sus parroquias.

| N ₀ | Parroquias | Producción de RSU kg/hab/día |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 | Parroquia Altagracia | 54379 |
| 2 | Parroquia Ana María Campos | 5526 |
| 3 | Parroquias Farías | 3943 |
| 4 | Parroquia San Antonio | 13333 |
| 5 | Parroquia san José | 15776 |
| Total (Municipio de Miranda) | | 92958 |

Según la información suministrada por el Instituto Municipal de Aseo Urbano ente dependiente de la alcaldía municipal, la mayoría de los habitantes recogen sus residuos sólidos urbanos en bolsas plásticas, colocados en contenedores, pipas o pipotes especiales para la recolección y existen rutas de transporte que se encargan de dar el servicio de limpieza del municipio.

Cada parroquia tiene días específicos para este servicio de recolección de RSU con camiones especiales, siendo la parroquia Altagracia la de mayor atención por ser la más poblada. En esta parroquia el servicio presta todos los días de la semana, mientras que en las parroquias menos pobladas, el servicio de recolección tiene una frecuencia semanal.

El municipio cuenta con 10 camiones marca Heil, con una capacidad de recolección de 20 m³ operados cada uno por un chofer y 2 obreros. Según datos estadísticos el 55.42 % de la población del municipio paga por el servicio de recolección, y el resto

de la población no cuenta con el servicio, estos habitantes lo recolectan en el fondo de sus casas y los queman.

Luego de la recogida de todos los RSU del municipio, estos son transportados directamente a hasta el sitio de disposición final, un vertedero a cielo abierto, conocido como vertedero municipal, donde los camiones depositan los RSU en lugares ya establecidos.

Es necesario destacar que a estos residuos no se le hace ningún tipo de tratamiento, el personal que labora en la recolección de los RSU, cuenta con los elementos mínimos para la recolección y esta faena se realiza a mano, sin medios de protección lo cual representa un grave inconveniente para la salud de los trabajadores.

El vertedero a cielo abierto del municipio Miranda se encuentra ubicada en la carretera principal que conduce al municipio en el sector conocido como " Recta de los Guajiros" a 10 kilómetros del municipio perteneciente a la parroquia Altagracia, algunas familias viven a escasos metros del vertedero y las dimensiones del mismo son 600 metros de largo por 400 metros de ancho. Una vista satelital del vertedero municipal, donde se queman los RSU se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Imagen satelital del vertedero municipal del municipio Miranda.

2.3. Manejo de los RSU desde el punto de vista legislativo.

En Venezuela existe una ley nacional con referencia a los RSU aprobada por la Asamblea Nacional en el año 2004 titulada “Ley de residuos y desechos sólidos” que establece las competencias a todos los niveles nacional, regional y estatal y se refiere a todos los aspectos relacionados con el manejo de los RSU.

- Competencia nacional:

establece: El poder nacional desarrolla políticas en la materia de RSU, atendiendo a los objetivos económicos y sociales del país y en sus diversas regiones. Otorgar asistencia a los gobiernos regionales y municipales, para una mejor gestión de los

servicios y castigar conductas lesivas al ambiente y a la salud de los prestadores de los servicios.

Desarrollar e implementar programas educativos en el manejo de los RSU para realizarlos en el ámbito estatal y municipal. Aunque la ley establece la aplicación de dichos programas no se cumple totalmente ya que existe un desentendimiento marcado entre los niveles de gobierno, originando problemas en todo lo referente a los RSU.

- Competencia estatal o regional:

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 13 numeral 1 establece: Coordinar la elaboración de planes estatales de gestión integral de los RSU, con otros niveles de gobiernos. Apoyar técnica y financieramente a los municipios en su gestión de RSU. Desde el punto de vista estatal los entes encargados no ofrecen ningún apoyo técnico y financiero, la falta de planificación y carencia de presupuesto es una de las causas de esta problemática con los RSU.

- Competencia municipal:

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 14 numeral 3 establece: El municipio debe regular la gestión integral de los RSU, mediante la respectiva ordenanza municipal, seleccionar los prestadores de servicios y aprobar tarifas. Identificar zonas adecuadas para la ubicación de infraestructura a ser utilizada para la gestión y manejo de los RSU. Lo cual es competencia total del municipio cumpliéndose a cabalidad en el municipio Miranda.

- En cuanto a la recolección y transporte de los RSU

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 44: La recolección se considera una operación continua, conforme a las rutas establecidas, y en consecuencia no debe alterarse su frecuencia, horarios, y ejecución establecida por el municipio. Lo cual se cumple con normalidad en el municipio Miranda

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 45 establece: Las autoridades municipales adoptarán los métodos o sistemas de recolección y transporte que mejor se adapten a sus características y particularidades, cumpliendo para su realización con las condiciones de higiene y seguridad adecuada. Lo cual se cumple parcialmente en el municipio Miranda.

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 48 establece: El equipo de transporte debe ser adecuado a las características de la vialidad existente en el área servida, estar identificado y mantenerse en perfectas condiciones de operatividad y salubridad. Lo cual se cumple parcialmente en el municipio Miranda.

En cuanto al aprovechamiento de los RSU.

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 54 establece: Los RSU, cuyas características lo permitan, deberán ser aprovechados mediante su utilización o reincorporación a algún proyecto productivo, como materia secundaria, sin que presente riesgo a la salud y el ambiente. Lo cual también se cumple parcialmente en el municipio Miranda.

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 57 establece: La utilización de ciertos materiales elementos o formas de energías producto del aprovechamiento de los RSU, como gas y electricidad, se hará de conformidad con las normas técnicas que se dicten al efecto. Esto no se cumple en el municipio de Miranda.

En cuanto a la disposición final de los RSU:

La ley de residuos y desechos 2004 en su artículo 66 establece: Todo municipio debe tener habilitado un sitio para la disposición final de los RSU y desechos sólidos, dicho sitio debe cumplir con las normativas sanitarias, ambientales vigentes y esta es responsabilidad del municipio. Esto no se cumple en el municipio Miranda.

2.4. Manejo de los RSU desde el punto de vista ambiental, técnico y energético.

Desde el punto de vista técnico el vertedero a cielo abierto del municipio Miranda del estado Zulia, no cumple ninguna función específica únicamente la de ser el sitio final donde los habitante del municipio colocan sus RSU. En este vertedero, la forma de disminuir el volumen de RSU es a través de la incineración con lo cual se reduce hasta un 90 % el volumen de los mismos. Esta práctica produce un fenómeno de contaminación ambiental bastante considerable y en algunas ocasiones el colapso del municipio, ya que la carretera principal que comunica el municipio con el resto del país se encuentra en la misma vía del vertedero municipal. La quema de residuales a cielo abierto ocasiona densas nubes de humo lo cual hace imposible la conducción de los vehículos pudiendo causar accidentes fatales.

Otras afectaciones son las enfermedades respiratorias, afecciones naturales como el dengue debido a los vectores que proliferan en el vertedero así como otras enfermedades producidas por ratas y roedores propios de este tipo de lugares.

Desde el punto de vista técnico y energético existen algunas aplicaciones, que de aplicarse, pueden disminuir en cierto grado los problemas que presenta el municipio por los RSU. En este sentido se brinda alguna alternativa el reciclaje de RSU

reutilizables como materia prima en procesos productivos, reduciendo el costo operativo y los niveles de contaminación ambiental y consumo energético para la producción de nuevos artículos.

Entre las plantas de recuperación para el uso de los RSU desde el punto de vista ambiental, técnico y energético están:

- Reciclaje.
- Producción de biogás para la producción de energía a partir de RSU, con la puesta en marcha de un relleno sanitario.
- Planta de incineración de RSU con recuperación de energía en forma de energía eléctrica.
- Planta de recuperación energética de RSU plásticos.

Conclusiones parciales.

1- En el municipio Miranda se generan RSU con una densidad calculada de 233 kg/m³, humedad del 50% y un poder calorífico es 732 kcal/kg, entre los cuales se encuentra un 18 % de plásticos que pueden ser utilizados como combustibles directamente en plantas de recuperación energética de RSU plásticos.

2- En Venezuela existe el marco legal adecuado para el manejo de los RSU establecido por la ley de residuos y desechos sólidos en sus artículos 12, 13, 14, 45, 48 y aquellos relacionados con su aprovechamiento incluyendo la generación de electricidad (artículos 54 y 57), un porcentaje de los RSU son recolectados por los segregadores los cuales les dan una aplicación energética, sin embargo el resto de los RSU, no son aprovechados energéticamente.

3- Una alternativa a considerar para el aprovechamiento de los RSU es la producción de biogás para la producción de energía a partir la construcción de un relleno sanitario, como posible alternativa energética a desarrollar en el municipio.

CAPITULO III

Alternativas de uso y análisis de los resultados.

Mundialmente los RSU representa algo no deseado para las sociedades en estos tiempos, pero es algo que siempre estará presente en nuestras vidas, ya que los seres humanos generan a diario cantidades significativa de RSU, con una tendencia al incremento con el pasar de los años, Esto representa un problema para el entorno donde vivimos, trabajamos, recreamos, ya que al no tener un control sobre los RSU en lo referente a su almacenamiento, transporte, y disposición final el problema tiende a incrementarse.

Existen diversas formas de tratar los RSU y darle una utilidad, y esto a su vez conlleva a una mejora sustancial en la calidad de vida de los ciudadanos, el medio ambiente y posibilidades de aprovechamiento energético. Por estas razones se estudiará las tendencias mundiales más ampliamente aplicadas para darle un valor agregado a los RSU.

3.1. Propuesta de uso de los RSU como alternativa energética limpia y de mejoramiento de la calidad ambiental en el municipio Miranda.

En la Figura 3.1 se muestran las tres alternativas de uso con aprovechamiento energético de los RSU.



Figura 3.1 Alternativas de uso de los RSU con efecto energético.

3.1.1. Reciclaje de los RSU.

De acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización realizada en los RSU del municipio Miranda existe una gran cantidad de estos que pueden ser reutilizados en diferentes proyectos productivos como materia prima.

Para los cálculos energéticos se tomarán el proceso productivo desde la fase inicial, y el mismo proceso productivo con materiales reciclados, para lograr establecer los ahorros energéticos y las disminuciones de emisiones de CO₂.

Papel y cartón: Representan el 20,36 % del total de los RSU que según los cálculos previos correspondería a un total de 18.92 ton de papel/día en el municipio.

Indicador: Para la producción de 1 ton de papel se necesitan 9600 kWh, para procesar 1 ton de papel reciclado se necesitan 3840 kWh. (Espinoza, 2011).

Desde el punto de vista ambiental para la producción de 1 ton de papel se generan

Indicador: Para la producción de 1 ton de papel se producen 4.60 ton de CO₂, para la producción de 1 ton de papel con material reciclado se producen 1.97 ton CO₂. (Espinoza, 2011).

Indicador: El porcentaje de papel y cartón recuperable es del 55 % del total generado en el municipio. (Espinoza, 2011).

Para el caso del municipio se tiene el siguiente cálculo de ahorro de energía equivalente en la tabla 3.1 y emisiones de CO₂, en la tabla 3.2 se muestran los resultados.

Tabla 3.1 Ahorro energético equivalente.

| Papel y cartón producido | Papel y cartón recuperable | Energía equivalente ton producida | Energía equivalente ton reciclada | Ahorro energético equivalente |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| ton/día | ton/día | kWh/día | kWh/día | kWh/día |
| 18.90 | 10.39 | 99542.4 | 39186.9 | 60355.5 |

Aplicando el reciclaje en el papel y cartón se obtiene un ahorro promedio de 60355.5 kW/h lo cual representa una alternativa energética al municipio al estado o la nación como fuente generadora de energía.

Tabla 3.2 Disminución de las emisiones de CO₂.

| Papel y cartón producido | Papel y cartón recuperable | Emisiones de CO ₂ ton producida | Emisiones de CO ₂ ton reciclada | Disminución de las emisiones de CO ₂ |
|--------------------------|----------------------------|--|--|---|
| ton/día | ton/día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día |
| 18.90 ton | 10.39 | 47.82 | 21.07 | 26.75 |

Reciclando papel y cartón reducimos las emisiones de CO₂ en 26.78 ton CO₂/día.

Para el caso del plástico: La generación representa el 18.40 % de los RSU del municipio, o sea, 17.10 ton de plástico por día en el municipio.

Indicador: Para la producción de 1 ton de plástico se necesitan 45000 kWh. Si se recicla, para la misma producción de 1 ton se necesitan 15000 kWh. (Espinoza, 2011)

Indicador: Para la producción de 1 ton de plástico se producen 3 ton de CO₂, para la producción de 1 ton de plástico con material reciclado se producen 1.80 ton de CO₂ (Espinoza, 2011).

Indicador: El porcentaje de plástico recuperado en el municipio es del 14 % del total generado. (Espinoza, 2011).

Para el caso del municipio se tiene el siguiente cálculo de ahorro de energía equivalente en la tabla 3.3 y emisiones de CO₂, en la tabla 3.4 se muestran los resultados.

Tabla 3.3 Ahorro energético equivalente.

| Plástico producido | Plástico recuperable | Energía equivalente ton producida | Energía equivalente ton reciclada | Ahorro energético equivalente |
|--------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| ton/día | ton/día | kWh/día | kWh/día | kWh/día |
| 17.10 | 2.39 | 107550 | 35850 | 71700 |

Al aplicar el reciclaje de plástico se obtiene un ahorro promedio de 71700 kWh/día, lo cual representa una alternativa energética al municipio, al estado, o la nación como fuente generadora de energía.

Tabla 3.4 Disminución de las emisiones de CO₂.

| Plástico producido | Plástico recuperable | Emisiones de CO ₂ ton producida | Emisiones de CO ₂ ton reciclada | Disminución de las emisiones de CO ₂ |
|--------------------|----------------------|--|--|---|
| ton/día | ton/día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día |
| 17.10 | 2.39 | 7.17 | 2.39 | 4.78 |

Reciclando plástico reducimos las emisiones de CO₂ en 4.78 ton CO₂/día.

Para el caso del vidrio: El municipio representa el 5.45 % de los RSU generados, genera alrededor de 5.06 ton/día.

Indicador: Para la producción de 1 ton de vidrio se necesitan 6300 kWh. Si se aplica el reciclaje se tendría que para producir 1 ton de vidrio se necesitan 4300 kWh. (Espinoza, 2011).

Indicador: Para producir 1 ton de vidrio se producen 286 ton de CO₂, para la producción de 1 ton de vidrio con material reciclado se producen 192 ton de CO₂. (Espinoza, 2011).

Indicador: El porcentaje de vidrio recuperable en el municipio es de 20 %.(Espinoza, 2011). Para el caso del municipio se tiene el siguiente cálculo de ahorro de energía equivalente en la tabla 3.5 y emisiones de CO₂, en la tabla 3.6 se muestran los resultados.

Tabla 3.5 Ahorro energético equivalente.

| Vidrio producido | Vidrio recuperable | Energía equivalente ton producida | Energía equivalente ton reciclada | Ahorro energético equivalente |
|------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| ton/día | ton/día | kWh/día | kWh/día | kWh/día |
| 5.06 | 1.01 | 6363 | 4343 | 2020 |

Al aplicar el reciclaje de vidrio se obtiene un ahorro promedio de 2020 kWh/día, lo cual representa una alternativa energética al municipio, al estado, o la nación como fuente generadora de energía.

Tabla 3.6 Disminución de las emisiones de CO₂.

| Vidrio producido | Vidrio recuperable | Emisiones de CO ₂ ton producida | Emisiones de CO ₂ ton reciclada | Disminución de las emisiones de CO ₂ |
|------------------|--------------------|--|--|---|
| ton/día | ton/día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día |
| 5.06 | 1.01 | 288.9 | 193.9 | 95 |

Reciclando vidrio reducimos las emisiones de CO₂ en 4.78 ton CO₂/día. .

Metales: Para el caso del aluminio, el hierro, el cobre y algunos metales y aleaciones, el municipio representa 8,56 % de los RSU. Genera alrededor de 7.94 ton/día.

Indicador: Para lograr esta producción de 1 ton de metales se necesitan 15200 kWh. Si en el caso de los metales se aplica el reciclaje, entonces para producir un 1 ton de metal reciclado se necesitan 800 kWh/día. (Espinoza, 2011)

Indicador: Para producir 1 ton de metal se emiten 268 ton de CO₂, para producir una ton de metal con material reciclada se emiten 1.67 ton de CO₂. (Espinoza, 2011)

Indicador: El porcentaje de material recuperado en el municipio es de 78%.(Espinoza, 2011)

Para el caso del municipio se tiene el siguiente cálculo de ahorro de energía equivalente en la tabla 3.7 y emisiones de CO₂, en la tabla 3.8 se muestran los resultados

Tabla 3.7 Ahorro energético equivalente.

| Metales producido | Metales recuperable | Energía equivalente ton producida | Energía equivalente ton reciclada | Ahorro energético equivalente |
|-------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| ton/día | ton/día | kWh/día | kWh/día | kWh/día |
| 7.95 | 6.20 | 94240 | 4960 | 89280 |

Al aplicar el reciclaje de metales se obtiene un ahorro promedio de 89280 kWh/día, lo cual representa una alternativa energética al municipio, al estado, o la nación como fuente generadora de energía.

Tabla 3.8 Disminución de las emisiones de CO₂.

| metales producido | Metales recuperable | Emisiones de CO ₂ ton producida | Emisiones de CO ₂ ton reciclada | Disminución de las emisiones de CO ₂ |
|-------------------|---------------------|--|--|---|
| ton/día | ton/día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día | ton CO ₂ /día |
| 7.95 | 6.20 | 1661 | 10.35 | 1650.6 |

Reciclando metales reducimos las emisiones de CO₂ en 1650.6 ton CO₂/día.

Hay que hacer notar que en el sitio de disposición final de los RSU en el municipio Miranda, existen un grupo de personas conocidos con los segregadores o chatarreros, cuyo trabajo fundamental es obtener algún producto de los RSU, para su venta, dando origen a una actividad comercial no formal, pero que representa el sustento diario de sus hogares y en casos con ingresos económicos apreciables.

Los materiales recuperables en el sitio de disposición con mayor valor son los metales entre los cuales se encuentra el cobre, aluminio, hierro, acero, plástico, papel y vidrio. La comercialización a terceras personas de los RSU origina toda una cadena hasta llegar a las grandes empresas recicladoras, la actividad está en función del precio del mercado de los RSU disponible.

3.1.2. Planta de recuperación energética de RSU plásticos.

Este tipo de proyecto es altamente utilizado en varios países europeos y en América, contribuyendo de manera amplia a la producción de energía y mejoramiento del

medio ambiente. Si se aplicara esta tecnología al vertedero del municipio Miranda donde se producen 17.08 ton de plástico por día en forma de RSU.

Indicador: Con esta tecnología es posible generar 0.02133 MWh por cada 1 ton de RSU plástico, con un 20% de la misma utilizada para consumo propio, se alcanzarían los resultados mostrados en la Tabla 3.5

Tabla 3.9. Producción de energía con tecnología de recuperación del plástico.

| Capacidad de tratamiento de RSU | Energía generada | Energía generada |
|---------------------------------|------------------|------------------|
| ton/día | MW | MWh/año |
| 17.10 | 0.17 | 1473.98 |

El consumo promedio mensual residencial del municipio es de 450 kWh/mes. Con esta tecnología se puede entregar al municipio 122833 kWh/mes, beneficiando alrededor de 273 viviendas y aproximadamente 1365 personas.

Desde el punto de vista ambiental, se pueden reducir las emisiones de contaminante, ya que esta tecnología es las menos contaminantes de todas las fuentes de producción de energía. Para lo cual se tiene los siguientes indicadores.

Emisiones de CO₂: 380 kg/MWh, emisiones de NO₂: 2.45 kg/MWh, emisiones de SO₂: 0.38 kg/MWh.

En la Tabla 3.10 se muestran los estimados de gases emitidos a la atmósfera.

Tabla 3.10 Emisiones de gases contaminantes a la atmósfera con generación de electricidad mediante RSU plásticos

| Energía Generada | Emisiones de CO ₂ | Emisiones de SO ₂ | Emisiones de NO ₂ |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| MWh/año | ton | ton | ton |
| 1473.9 | 560.11 | 0.53 | 3.61 |

Este tipo de tecnología permite la reducción de agentes altamente contaminantes a las atmósfera, causante del calentamiento global, efecto invernadero, lluvia ácida, además de múltiples enfermedades respiratorias que representa un daño irreversible para el municipio Miranda.

3.1.3. Propuesta de relleno sanitario para la producción de biogás.

Para este estudio de producción de biogás a partir de la materia orgánica de los RSU y su puesta en marcha para la producción de energía y mejoramiento de las condiciones ambientales, higiene y seguridad en la salud de los ciudadanos del municipio se tome como referencia un modelo matemático para calcular tanto la producción de biogás que teóricamente produce el municipio, como la reducción de emisiones contaminantes y la conversión de energía limpia con su respectivo análisis técnico económico.

Para modelar el sistema que se estudia en el municipio Miranda se utiliza el modelo de producción de biogás mexicano V2 el cual es un simulador que predice el comportamiento de un relleno sanitario luego de su puesta en marcha. El Modelo de Biogás Mexicano fue desarrollado en colaboración con la Agencia Desarrollo

Internacional de los Estados Unidos (USAID) y otras agencias gubernamentales mexicanas para ayudar a operadores y dueños de rellenos sanitarios a evaluar la viabilidad y los beneficios en la captación y uso del biogás como fuente de energía.

Para esta nueva versión (Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0), la USEPA (United States Environmental protection Agency) ha recogido información de campo adicional y ha aplicado técnicas avanzadas de modelación. La versión 2.0 del Modelo incorpora la información de caracterización de residuos, condiciones climáticas, y la expande para incluir datos adicionales de ciudades y rellenos sanitarios de México, USA y América Latina y el Caribe.

El Modelo proporciona valores precalculados para el índice de generación de metano (k) y la generación potencial de metano (L_0), los cuales fueron desarrollados usando datos específicos del clima, datos de la caracterización de residuos y datos específicos sobre el biogás de sitios representativos. Estos datos permiten que los usuarios puedan generar índices de generación y recuperación de biogás para rellenos sanitarios localizados en diversos lugares. Hay que hacer notar que entre los simuladores el que más se adapta a las condiciones ambientales es este modelo, de allí su utilización, para esta investigación.

Los datos que se introducen al simulador comprenden las cantidades almacenadas de RSU en toneladas por día, así como su caracterización en el sitio de disposición final y las condiciones climáticas. Estos datos se introducen en el simulador en una

ventana de interfaz gráfica con el usuario como la mostrada en la Figura 3.2. Otra ventana muestra la disposición y recuperación de biogás (Figura 3.3) y finalmente se muestran los resultados tabulados y de manera gráfica.

INSTRUCCIONES: Si existen datos específicos de caracterización de residuos, se deberá seleccionar **Si** en la pregunta 5 de la hoja de cálculo de Alimentación y se deberá alimentar los porcentajes de cada fracción de residuos en la columna con letras amarillas abajo (celdas B7 a B20).

Modelo Mexicano de Biogás v.2
 Fecha: Marzo 2009
 Desarrollado por SCS Engineers, para la Agencia de Protección al Ambiente de EEUU

TABLA DE CARACTERIZACION DE RESIDUOS EN LOS DIFERENTES ESTADOS DE MEXICO Y ESPECIFICOS AL SITIO

| Categoría de Residuo | Datos Específicos al Sitio | Jalisco | USA | Aguascalientes | Baja California North | Baja California South | Campeche | Chiapas | Chihuahua | Coahuila |
|--|----------------------------|---------|-------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------|---------|-----------|----------|
| Comida | 25,0% | 26,1% | 13,4% | 45,1% | 35,8% | 30,7% | 30,6% | 30,6% | 26,0% | 34,9% |
| Papel y Cartón | 21,0% | 6,8% | 23,8% | 16,5% | 13,1% | 16,3% | 12,8% | 12,8% | 18,5% | 18,5% |
| Poda (jardines) | 15,0% | 30,5% | 4,8% | 11,3% | 15,5% | 9,9% | 18,2% | 18,2% | 7,1% | 3,9% |
| Madera | 4,0% | 0,1% | 10,1% | 0,3% | 0,5% | 1,1% | 2,9% | 2,9% | 1,0% | 2,6% |
| Caucho, Piel, Huesos y Paja | 1,0% | 0,2% | 2,8% | 0,7% | 0,7% | 1,2% | 3,3% | 3,3% | 1,2% | 0,0% |
| Textiles | 4,0% | 0,2% | 4,4% | 0,8% | 4,1% | 5,4% | 2,0% | 2,0% | 7,4% | 4,7% |
| Papel Higiénico | 1,0% | 0,0% | | | | | | | | |
| Otros Orgánicos | 26,0% | 0,7% | 0,9% | 0,0% | 1,6% | 1,9% | 5,0% | 5,0% | 1,8% | 0,0% |
| Pañales (asume 20% orgánico / 80% inorgánico) | 2,0% | 4,6% | | 2,8% | 11,9% | 6,4% | 1,3% | 1,3% | 4,9% | |
| Metales | 9,0% | 30,6% | 6,3% | 2,2% | 3,2% | | | | 3,2% | 3,5% |
| Construcción y Demolición | 1,0% | 0,0% | 12,8% | 0,1% | 0,0% | | | | 2,0% | 11,3% |
| Vidrio y Cerámica | 14,0% | 0,0% | 5,4% | 4,6% | 3,5% | 26,9% | 23,8% | 23,8% | 4,1% | 5,0% |
| Plásticos | 18,0% | 0,0% | 12,7% | 13,1% | 7,5% | | | | 16,2% | 15,6% |
| Otros Inorgánicos | 2,0% | 0,0% | 2,7% | 2,5% | 2,7% | | | | 6,6% | |
| Porcentaje de degradación muy rápida (1) | 51,4% | 27,7% | 14,3% | 45,7% | 39,7% | 34,0% | 35,9% | 35,9% | 28,8% | 34,9% |
| Porcentaje de degradación moderadamente rápida (2) | 16,0% | 30,5% | 4,8% | 11,3% | 15,5% | 9,9% | 18,2% | 18,2% | 7,1% | 3,9% |
| Porcentaje de degradación moderadamente lenta (3) | 25,0% | 7,1% | 28,2% | 17,3% | 17,2% | 21,7% | 14,9% | 14,9% | 25,8% | 23,3% |
| Porcentaje de degradación muy lenta (4) | 5,0% | 0,4% | 12,9% | 1,0% | 1,2% | 2,2% | 6,2% | 6,2% | 2,2% | 2,6% |

Figura 3.2. Ventana de entrada de datos del simulador V2 modelo mexicano para la caracterización de los RSU.

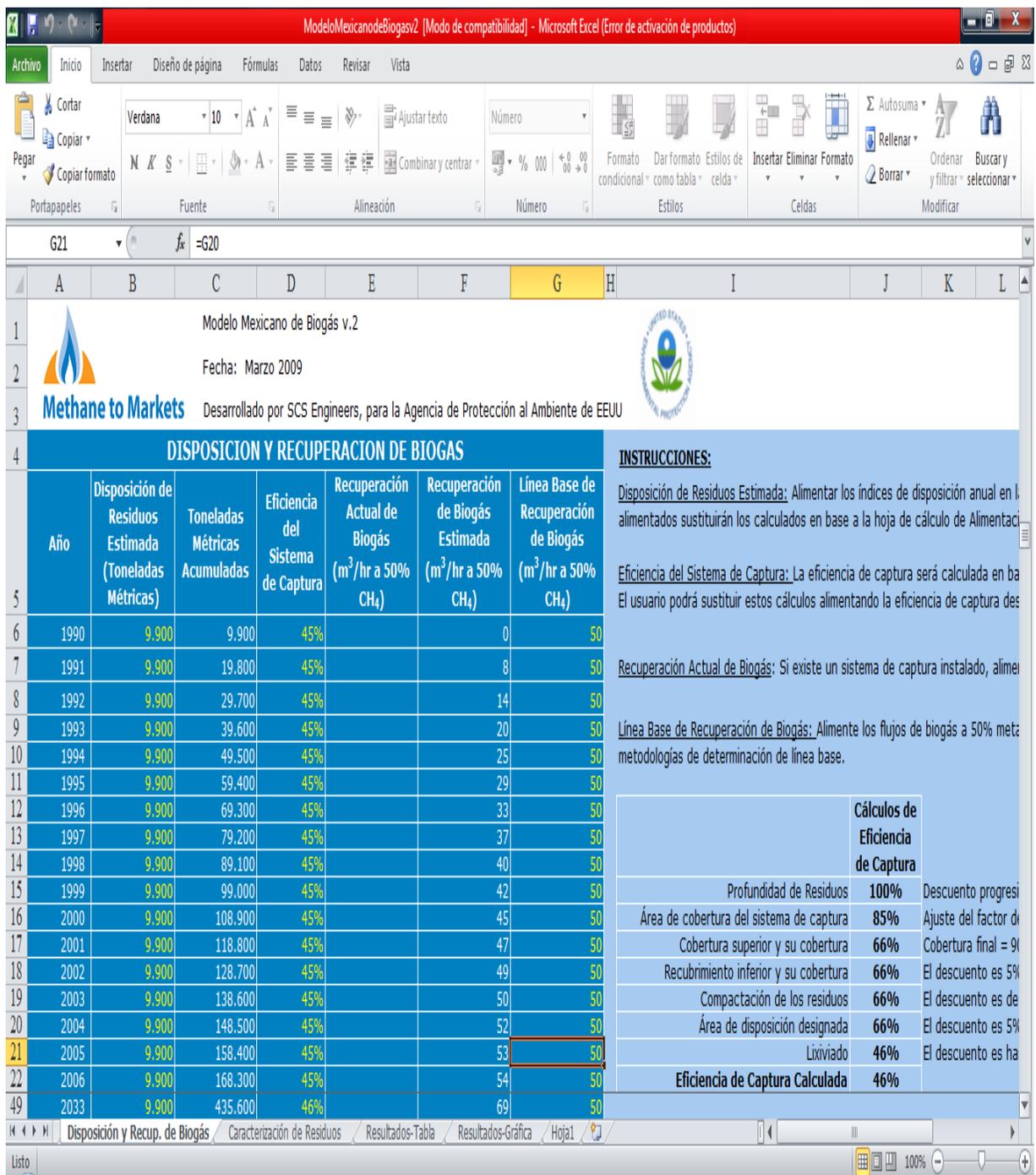


Figura 3.3 Ventana mostrando la disposición y recuperación del biogás.

Para realizar la simulación se necesitan los datos de la caracterización típica de municipio Miranda, además de las toneladas de RSU generada diariamente, para obtener el biogás que se produce, la energía que se produce.

Los resultados obtenidos con este simulador se muestran en la en el anexos # 1.

En las Figuras de la 3.4 a la 3.5 se muestra el comportamiento dinámico de la producción de biogás y energía para el caso de un relleno sanitario para el municipio Miranda. Puede observarse que a partir del año 2035 se acerca a su valor máximo que ocurre en el año 2056. A partir de este año la producción energética del relleno comienza a decrecer exponencialmente.

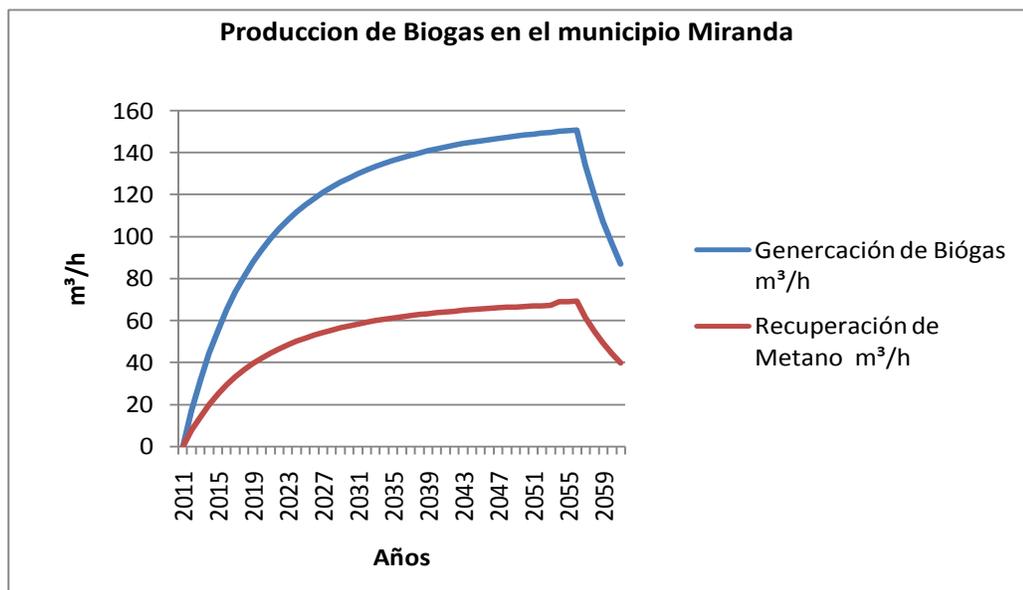


Figura 3.4 Producción de biogás y metano en el municipio Miranda.

La figura muestra el comportamiento de la producción de biogás desde el año 2011, y presenta un crecimiento sostenido hasta el año 2056 alcanzando una tasa de producción de 150 m³/h, de allí en adelante se produce una declinación en la

producción de biogás hasta el año 2060 fecha para cual el relleno dejaría de funcionar.

Para la producción de metano el comportamiento es similar alcanzando la máxima producción en el año 2056 con 69.32 m³/h, para luego declinar en forma decreciente.

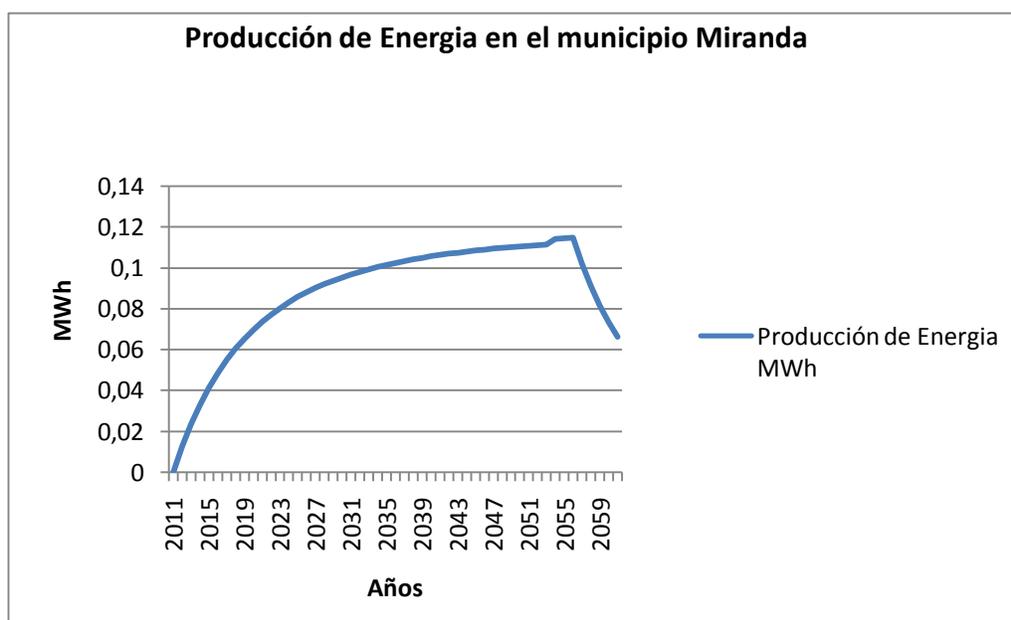


Figura 3.5 Producción de Energía en el municipio Miranda

La producción de energía empezaría en el año 2011 con valores muy pequeños para ir incrementando lentamente hasta alcanzar su máximo valor en el año 2056 con una producción de 0.11 MWh, a partir de esta año empieza la declinación de la misma hasta alcanzar el valor de 0.06 MWh fecha para la cual el relleno sanitario dejaría de funcionar.

3.2 Análisis económico técnico y ambiental de las alternativas

3.2.1. Efecto económico en el reciclaje

De acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización realizada en los RSU del municipio Miranda existe una gran parte de estos que son recogidos por los segadores y otra parte queda en el basurero, siendo una fuente de contaminación, porque no tiene un tratamiento final. .

En el capítulo 3 en las tablas 3.1, 3.3, 3.5, 3.7 se reportan los ahorros energéticos que se pueden obtener por el reciclaje y se el precio de electricidad se estima en 0,72 /kW por Bolívar Fuerte. El ahorro económico es de 160493.76 BsF/kW, como puede observarse en la tabla 3.11

Tabla 3.11. Ahorro económico por el reciclaje de RSU del municipio de Miranda.

| Componente | Ahorro energético kWh/año | Efecto económico BsF/año |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| Papel y cartón | 60355 | 43455.60 |
| Plástico | 71700 | 51624,00 |
| Vidrio | 1717 | 1236.24 |
| Metal | 89136 | 64177.92 |
| Total | 238362 | 160493.76 |

Una parte de ahorro económico es el sustento de los segadores que recogen estos materiales en condiciones infrahumanas y otro lo obtienen las empresas procesadoras de materia prima. Según la Ley de Residuos esta debe ser mejor organizado por la municipalidad para evitar los efectos ambientales y mejorar la salud de los trabajadores.

3.2.2. Efecto económico del relleno sanitario

En el estudio de factibilidad se debe realizar a efectos de decidir si hacer una instalación de desgasificación, y en tal caso si solo quemar el biogás o hacer un aprovechamiento energético adicional.

Desde el punto de vista económico la puesta en marcha de un relleno sanitario donde se encuentra ubicado el vertedero del municipio Miranda, representa una inversión elevada por los múltiples estudios de ingeniería requerido entre los cuales se tiene, estudio de suelo, de subsuelo, de la calidad de los suelos, grado de compactación del suelo, acuíferos, estudios de ingeniería básica, y conceptual, permisos gubernamentales, aprobación de los vecinos y las comunidades, lo representa una inversión muy alta que el municipio no cuenta. Además los estudios de simulación arrojan que la cantidad de biogás que se produce es muy poco representando una inversión poco atractiva para el municipio.

El vertedero del municipio de Miranda genera unas 92 ton/día antes de sacar los materiales los segregadores. Según la literatura para ser factible económicamente en la quema se necesita unas 100 ton/día y para la generación eléctrica unas 300 ton/día.

La construcción de un relleno sanitario, aunque no se debe ser factible económicamente, sería aconsejable para disminuir el impacto ambiental que produce los vertederos donde los RSU se encuentran dispersos, después que los segregadores han realizado su trabajo de recolección.

3.2.3. Efecto económico planta de recuperación de energía.

Desde el punto de vista económico la propuesta de una planta de recuperación de energía con el plástico producido en el municipio Miranda, no es económicamente atractiva motivado a que se necesita realizar una cuantiosa inversión y la cantidad de plástico recuperado es muy poco alrededor de 2.9 ton al día. Para estos niveles de plástico producido la energía que se produce es muy baja, lo cual representa una alternativa no viable económicamente.

La alternativa más idónea la representa el reciclaje de plástico y venderse a la industria del plástico que se encarga de la selección, trituración, reinyección del mismo para obtener para uso industrial.

Desde el punto ambiental se reducen las emisiones de CO₂, NO₂ y SO₂, causantes de múltiples problemas medios ambientales, de salud pública y de urbanismo en las ciudades, por la cantidad de RSU plástico, puesto en cualquier lugar sin ningún control.

Conclusiones parciales

1.-El reciclaje representa la mejor alternativa de uso de los RSU como alternativa energética.

2.- La planta de recuperación energética de RSU plástico. Con su puesta en marcha se podrían beneficiar a 273 viviendas del municipio Miranda las cuales tendrían un consumo promedio mensual de 450 kWh/mes.

3.- La propuesta de relleno sanitario para la producción de biogás, tendría una vida útil de 50 años, y el máximo de producción se alcanzaría, en el año 2056, con una tasa 150.71 m³/h de biogás.

Para la producción de metano tendría una vida útil de 50 años, alcanzando un máximo de producción para el año 2057 con 61.63 m³/h.

La producción de energía eléctrica en MWh empezaría en el año 2011 y alcanzaría su máximo valor en el año 2056 con 0.11 MWh.

4.- Los análisis de factibilidad económica para los proyectos de recuperación de energía a partir de los RSU plásticos, y la propuesta del relleno sanitario para la

producción de biogás, para el municipio Miranda resulta económicamente inconveniente por la gran cantidad de recurso que se debe invertir y los pocos resultados energéticos que se obtienen.

Conclusiones Generales

- 1.- La recolección y Transporte de los RSU funcionan normalmente de acuerdo a las rutas y horarios establecidos, se presenta carencia en el uso final que se le da a los RSU.
- 2.- El vertedero del municipio Miranda del estado Zulia, presenta problemas en cuanto al uso final de los RSU, ya que los mismos son tratados sin ningún tipo de control, a cielo abierto.
- 3.- El municipio Miranda cuenta con una ley municipal en cuanto a la recolección transporte y uso final de los RSU, la cual es ley de la República Bolivariana de Venezuela la cual dicta las facultades de los estados y municipios.
- 4.- En el vertedero municipal del municipio Miranda no se aplica ningún tipo de gestión energética con respecto al uso de los RSU, únicamente con el reciclaje se logran ahorro energéticos mínimos.
- 5.- Los RSU originados en el municipio Miranda producto de su actividad comercial industrial, familiar, son incinerados en su totalidad, originando problemas de salud y contaminación ambiental.
- 6.- De las alternativas energéticas analizadas para ser usadas con los RSU el reciclaje resulta la más atractiva, los escenarios para la instalación de una planta de recuperación de RSU y la alternativa de un relleno sanitarios para la producción de energía no resultan atractivas desde el punto de vista técnico y económico

Recomendaciones

- 1.- Se debe hacer la recolección de los RSU con contenedores de colores específicos, para diferenciar el reciclable de los no reciclables y hacer más eficiente la recolección y no vértelos en el botadero municipal sin ningún tipo de control.
- 2.- Se debe aumentar el número de camiones recolectores para con ello hacer más eficiente el transporte hasta el sitio de disposición final.
- 3.- Proponer una ordenanza donde se bonifique la recolección selectiva de RSU.
- 4.- Se debe realizar un estudio de factibilidad para la posible ubicación del botadero a cielo abierto del municipio acorde a los estándares mundiales.
- 5.- Se debe dar a conocer la importancia del reciclaje como alternativa energética, por medio de campañas publicitarias charlas educativas, que promuevan el mejoramiento ambiental y el uso eficiente y racional de la energía.

Bibliografía

- Acuario, G. (1998). Diagnostico de la situación del manejo de los residuos solidos municipales en America Latina y el Caribe.Publicacion conjunta del banco Interamericano de Desarrollo y la Organizacion Panamericana de la Salud. Obtenido de <http://www.cepis.org.pe>
- Ali, K. (1993). Solid waster recycling through informal sector in developing contries. *journal of resource management technology*, 82-86.
- ASTM 5391-92 (1992). (stándart rest of the composition of un processed municipal solid wastes).
- Areas, F (2006). El proceso de investigación. Editorial Episteme. Caracas. Venezuela.
- Bavaresco A. (2006) Las técnicas de la investigación. Editorial Scout. Caracas Venezuela.
- Bligth, G. (1996). Standars for landfills in developind coutries. *Waste Management*, 399-414.
- Carra, J. (1990). Internacional perpectives on municipal solid wastes and sanitary landfilling.USA: ISWA .Academic.
- Catanhide, A. (2005). Procedimientos Estadisticos para los estudios de caracterización de Residuos Solidos. Obtenido de <http://bibliociencias.cu/gsd/collect/revista>
- Espinoza, M. (2011). Dia mundial del reciclaje. Guayaquil: Consorcio I.L.M.
- Fernandez, P. (1998). Obtenido de Diagnostico de la situación del manejo de los Residuos Solidos Municipales en America latina y el Caribe.Publicación conjunta del Banco interamericano de Desarrollo y la organizacion Panamericana de la Salud.: <http://www.cepis.org.pe>
- Guzman, L. (5 de Abril de 2007). Generación y Manejo de Desechos Sólidos. Obtenido de <http://www.slideshare.net>
- Haddad, J. (1981). Modulo de disposición final de los Residuos Sólidos. Peru, Lima: CEPIS/HPE/OPS.
- Ibañez, j., & Corropoli, M. (2003). Valorizacion de los RSU. Buenos Aires: F.C.E.

- INE. (2001). Censo 2001. Recuperado el 7 de Agosto de 2011, de <http://www.ing.gov.ve/censo/boletines>.
- Mccarthy, T. (1977). Biogas utilizacion. Copenhagen: The iswa yearbook.
- Nichols, M. (1996). Landfill gas energy recovery. Waste age, 100-112.
- ley de residuos y desechos sólidos. (2004). Gaceta Oficial de la República bolivariana de Venezuela. Numero 30.080
- OPS. (1995). El manaejo de los residuos sólidos municipales en America Latina y el caribe. Serie Ambiental N° 15.
- OPS. (1996). Análisis sectorial de los residuos sólidos. SIMRU.
- OPS. (1996). Sistema de monitoreo de los residuos sólido. SIRMU.
- Orcousupa, J. (3 de marzo de 2002). Relacion entre la producción per capita de residuos solidos domestico y factores socioeconomicos. Recuperado el 4 de agosto de 2011, de <http://www.bvde.org>.
- Palacios, F. (2009). Manejo de los Residuos solidos del litoral de la bahia de la Habana. Obtenido de <http://www.sidnet.org>.
- Perez, P. (1999). Residuos. caracas: cabimas.
- Plastivida. (13 de Octubre de 2009). Recuperacion energetica de los residuos plastico. Obtenido de <http://www.plastivida.com.ar>
- Plastivida. (12 de Octubre de 2009). Recuperacion energetica de los residuos plástico. Obtenido de <http://www.plastivida.com.ar>
- Plastivida. (13 de Octubre de 2009). Recuperacion energetica de los residuos plasticos.
- Rodriguez, A. (2000). Residuos Solidos Urbanos.Tecnologias aplicadas en la Union Europea. España: Universidad del Pais Vasco.
- Rodriguez, E. (1997). La alternativa biologica en la gestion de los residuos.El estado del arte en la gestion de los residuos. Barcelona España: ATEGRUS.
- Rossin, A. (1998). Diagnostico de la situacion del manejo de los residuos solidos municipales en AmericaLatina y el caribe. Publicacion conjunta del banco

Interramericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud.
Obtenido de <http://cepis.org.pe>

Sanchez, R. (1999). Análisis Sectorial de los Residuos Sólidos en Venezuela.

Seddon, W. (1998). Energy and waste management. jornadas sobre el aprovechamiento integral de residuos y la gerarquía Europea de gestión. Valencia España: Club Español de residuos.

Silverio, Y. (2007). Estudio para el manejo integral de los Residuos Sólidos Urbanos en tres áreas de la UCLV. Santa Clara.

Tafur, J. (2009). Orígenes, Clasificación, y Caracterización de los residuos sólidos. Obtenido de <http://www.slideshare.net/ingambiental>

Val, A. (1993). Libro del reciclaje. Barcelona España: Integral.

Westlake, K. (1996). Sustainable landfill. possibility or pipe dream. Waste management research, 453-461.

Yaini, S. (2007). Estudio integral para el manejo de los RSU en tres áreas de la UCLV. Santa Clara.

Anexos

Anexos # 1. Resultados del simulador de producción de biogás con un relleno sanitario en el municipio Miranda.

| Años | Generación de biogás m ³ /h | Recuperación de metano m ³ /h | Producción de energía eléctrica MWh |
|------|--|--|-------------------------------------|
| 2011 | 0 | 0 | 0 |
| 2012 | 17.03 | 7.66 | 0.01 |
| 2013 | 31.72 | 14.27 | 0,02 |
| 2014 | 44.46 | 20.00 | 0.03 |
| 2015 | 55.54 | 24.99 | 0.04 |
| 2016 | 65.22 | 29.35 | 0.04 |
| 2017 | 73.72 | 33.17 | 0.05 |
| 2018 | 81.21 | 36.54 | 0.06 |
| 2019 | 87.84 | 39.53 | 0.06 |
| 2020 | 93.72 | 42.17 | 0.06 |
| 2021 | 98.97 | 44.53 | 0.07 |
| 2022 | 103.65 | 46,64 | 0.07 |
| 2023 | 107.86 | 48.53 | 0.08 |
| 2024 | 111.64 | 50.24 | 0.08 |
| 2025 | 115.06 | 51.77 | 0.08 |
| 2026 | 118.15 | 53.16 | 0.08 |
| 2027 | 120.95 | 54.42 | 0.09 |

| | | | |
|------|--------|--------|------|
| 2028 | 123.50 | 55.57 | 0.09 |
| 2029 | 125.82 | 56.62 | 0.09 |
| 2030 | 127.95 | 57.57 | 0.09 |
| 2031 | 129.89 | 58.45 | 0.09 |
| 2032 | 131.67 | 59.25 | 0.09 |
| 2033 | 133.31 | 59.99 | 0.09 |
| 2034 | 134.82 | 60.67 | 0.10 |
| 2035 | 136.21 | 61.29 | 0.10 |
| 2036 | 137.49 | 61.87 | 0.10 |
| 2037 | 138.68 | 62.40 | 0.10 |
| 2038 | 139.78 | 62.90 | 0.10 |
| 2039 | 140.80 | 63.36 | 0.10 |
| 2040 | 141.75 | 63.78 | 0.10 |
| 2041 | 142.63 | 64.18 | 0.10 |
| 2042 | 143.45 | 64.55 | 0.10 |
| 2043 | 144.21 | 64.89 | 0.10 |
| 2044 | 144.93 | 65.22 | 0.10 |
| 2045 | 145.60 | 65.52 | 0.10 |
| 2046 | 146.22 | 65.801 | 0.10 |
| 2047 | 146.80 | 66.06 | 0.10 |
| 2048 | 147.35 | 66.31 | 0.10 |
| 2049 | 147.87 | 66.54 | 0.11 |

| | | | |
|------|--------|-------|------|
| 2050 | 148.35 | 66.75 | 0.11 |
| 2051 | 148.80 | 66.96 | 0.11 |
| 2052 | 149.23 | 67.15 | 0.11 |
| 2053 | 149.63 | 67.33 | 0.11 |
| 2054 | 150.01 | 69.00 | 0.11 |
| 2055 | 150.37 | 69.17 | 0.11 |
| 2056 | 150.71 | 69.32 | 0.11 |
| 2057 | 133.99 | 61.63 | 0.10 |
| 2058 | 119.60 | 55.01 | 0.09 |
| 2059 | 107.15 | 49.29 | 0.08 |
| 2060 | 96.347 | 44.32 | 0.07 |
| 2061 | 86.91 | 39.98 | 0.06 |

Anexos # 2 Reciclaje de metales en el municipio Miranda.



Anexos # 3 Reciclaje de metales en Industria local del municipio Miranda.



Anexos # 4 Reciclaje de Plástico en empresa local del municipio Miranda.



Anexos # 5 Reciclaje de papel y cartón en industria local del municipio Miranda.



Anexos # 6 Llegada de RSU proveniente del vertedero del municipio Miranda.

