

**PRÁCTICA EMPRESARIAL  
DISEÑO DE PROCESOS Y DISPOSICIÓN DE ESPACIOS  
DE UNA PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS  
DEL MUNICIPIO DE FORTUL DEL DEPARTAMENTO  
DE ARAUCA**

**ANDREA ROXANA SEPÚLVEDA PÉREZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
PAMPLONA  
2017**

**DISEÑO DE PROCESOS Y DISPOSICIÓN DE ESPACIOS DE UNA PLANTA DE  
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE FORTUL  
DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA**

**ANDREA ROXANA SEPÚLVEDA PÉREZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Ambiental**

**MANUEL ANTONIO CONTRERAS MARTÍNEZ**  
**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**PAMPLONA**  
**2017**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Pamplona (Enero de 2017)

*A mis padres... mi  
motivación, seguridad y  
fortaleza*

*Andrea Roxana Sepúlveda  
Pérez*

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente agradezco a Dios por la vida y por la posibilidad que me dio al emprender este camino, por la fuerza que me ha dado en cada lucha superada en mi trayecto por el mundo, por ser la luz que me ha guiado directo a este logro, por bendecirme de esta y mil maneras más.

Del mismo modo agradezco inmensamente a mi padre Hugo Antonio Sepúlveda y a mi madre Carmen Alicia Pérez por la crianza que me han dado, por acompañarme en todo momento y por la oportunidad de superarme, siendo ellos el motivo por el cual he luchado por ser cada día mejor en todos los aspectos. Seguidamente agradezco a Jesús David Ramírez Niño quien me ha acompañado, apoyado y ayudado en mi proceso de formación, gracias por cada experiencia vivida y por cada enseñanza.

También le agradezco a mis hermanos, familia y amigos, quienes han sido mis compañeros de lucha para alcanzar uno de mis sueños que ha sido este.

A la UNIVERSIDAD DE PAMPLONA por generar espacios de aprendizaje, por ser la plataforma en la cual he adquirido tantos conocimientos y he explotado mis capacidades y sin dudar ser el medio para conocer personas maravillosas que hoy hacen parte de mi vida y hacen de mí una persona más feliz y agradecida.

A mis profesores de Ingeniería Ambiental que han impartido sus conocimientos, especialmente aquellos docentes que me animaron, me apoyaron y que a través de este camino me han dejado una enseñanza de vida. Al docente Fidel Antonio Carvajal por ser una guía, un apoyo y por disponer de sus conocimientos y tiempos para la ejecución de este proyecto y al docente Manuel Antonio Contreras por ser guía para llevar a cabo este objetivo.

A la EMPRESA COMUNITARIA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DEL MUNICIPIO DE FORTUL “EMCOAAAFOR ESP”, por abrirme un espacio en sus instalaciones, por darme la oportunidad de explotar de mejor manera mis capacidades y ser una escuela para mí, la experiencia vivida aquí me ha ratificado mi admiración, amor y respeto por mi profesión.

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	12
2	OBJETIVOS .....	13
2.1	Objetivo general.....	13
2.2	Objetivos específicos .....	13
3	JUSTIFICACIÓN .....	14
4	MARCO REFERENCIAL .....	15
4.1	ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	15
4.2	ANTECEDENTES NACIONALES.....	15
4.3	ANTECEDENTES REGIONALES .....	16
4.4	MARCO CONTEXTUAL .....	17
4.4.1	Descripción física y localización.....	17
4.4.2	Población.....	19
4.4.3	Densidad de la población.....	19
4.4.4	Natalidad.....	19
4.4.5	Mortalidad.....	19
4.4.6	Localización geográfica terreno planta de aprovechamiento de residuos sólidos.....	20
4.5	MARCO TEÓRICO .....	21
4.5.1	Manejo integral de residuos sólidos municipales (MIRSM).....	23
4.5.2	Sistemas de disposición final de residuos sólidos.....	25
4.5.3	Material plástico.....	33
4.5.4	Material vidrio.....	35
4.5.5	Material orgánico.....	36
4.5.6	Material papel y cartón.....	39
4.5.7	Materiales metálicos.....	39
4.5.8	TÍTULO F RAS 2012. CAPITULO 4: RECOLECCION Y TRASPORTE 39	
4.5.9	TÍTULO F RAS 2012. CAPITULO 5: APROVECHAMIENTO .....	40
4.6	MARCO LEGAL .....	44
5	ALCANCES Y LIMITACIONES .....	50
5.1	ALCANCES .....	50

5.2	LIMITACIONES .....	50
6	METODOLOGÍA.....	52
6.1	DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE ASEO DEL MUNICIPIO DE FORTUL 52	
6.2	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS .....	52
6.3	PROTOCOLO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO .....	56
6.4	DISEÑO DE PROCESOS Y DISPOSICIÓN DE ESPACIOS.....	57
7	RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....	59
7.1	ANÁLISIS CRÍTICO SISTEMA SERVICIO DE ASEO .....	59
7.1.1	Componente recolección y transporte-programa. ....	59
7.1.2	Componente aprovechamiento-programa.....	64
7.1.3	Análisis FODA.....	69
7.2	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO .....	72
7.2.1	Generación de residuos sólidos en el área urbana. ....	72
7.2.2	Determinación composición física de los residuos sólidos del área urbana. 75	
7.2.3	Generación de residuos sólidos en el área rural. ....	78
7.2.4	Determinación composición física de los residuos sólidos del área rural. 83	
7.2.5	Peso específico de los residuos sólidos.....	86
7.3	CRITERIOS DE INGENIERIA.....	89
7.3.1	Definir protocolo de actividades para implementar un efectivo programa de del sistema de aprovechamiento.....	90
8	Diseños.....	91
8.1	PRINCIPIOS DE DISEÑO .....	91
8.1.1	Acceso. ....	92
8.1.2	Trafico. ....	92
8.1.3	Ventilación e iluminación.....	92
8.2	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD PARA PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO .....	92
8.2.1	Nivel de Complejidad .....	93
8.2.2	Población .....	93
8.2.3	Proyección de la Producción Pér Capita .....	94
8.2.4	Proyección de generación de residuos sólidos Municipio de Fortul. ...	95

8.3	DISEÑO DE PROCESOS PARA EL APROVECHAMIENTO .....	97
8.4	Equipos para ejecutar los procesos .....	100
8.4.1	Recepción. ....	100
8.4.2	Transporte.....	101
8.4.3	Tamizado. ....	101
8.4.4	Trituración. ....	102
8.4.5	Compactación. ....	103
8.5	DISPOSICIÓN DE ESPACIOS .....	104
8.5.1	Espacio proceso de Lombricultura .....	104
8.5.2	Espacio para proceso de aprovechamiento del cartón.....	107
8.5.3	Espacio para proceso de aprovechamiento del papel.....	109
8.5.4	Espacio para proceso de aprovechamiento del plástico. ....	111
8.5.5	Espacio para proceso de aprovechamiento del vidrio .....	112
8.5.6	Espacio de administración, cafetería y baños .....	114
8.5.7	Espacio recepción .....	115
8.5.8	Espacio total de la planta .....	115
8.5.9	Espacio total de la planta .....	116
9	CONCLUSIONES.....	117
10	RECOMENDACIONES .....	119
11	ANEXOS .....	120
12	GLOSARIO .....	135
13	Bibliografía .....	137



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticas vitales nacidos vivos por sexo. ....	19
Tabla 2. Estadísticas vitales defunciones por sexo.....	20
Tabla 3. Tipos de residuos sólidos municipales.....	21
Tabla 4. Peso específico residuos sólidos. ....	23
Tabla 5. Producción de RSU niveles de complejidad bajo y medio. ....	28
Tabla 6. Producción de RSU nivel de complejidad Medio-Alto. ....	29
Tabla 7. Clasificaciones materiales termoplásticos.....	34
Tabla 8. Normatividad aplicable.....	44
Tabla 9. Componente recolección y transporte.....	59
Tabla 10. Componente aprovechamiento. ....	64
Tabla 11. Matriz FODA componente recolección y transporte.....	69
Tabla 12. Matriz FODA componente barrido y limpieza.....	70
Tabla 13. Matriz FODA componente disposición final. ....	71
Tabla 14. Distribución por sector y proporción del tamaño de la muestra zona urbana.....	72
Tabla 15. Caracterización residuos sólidos urbanos ESTRATO 1.....	75
Tabla 16. Caracterización residuos sólidos urbanos ESTRATO 2.....	76
Tabla 17. Caracterización residuos sólidos urbanos ESTRATO 3.....	77
Tabla 18. Caracterización residuos sólidos urbanos.....	77
Tabla 19. Distribución por sector y proporción del tamaño de la muestra vereda Nuevo Caranal.....	79
Tabla 20. Distribución por sector y proporción del tamaño de la muestra vereda Palmarito.....	81
Tabla 21. Caracterización residuos sólidos rurales.....	84
Tabla 22. Composición porcentual residuos sólidos del municipio. ....	85
Tabla 23. Volumen residuos sólidos. ....	86
Tabla 24. Peso de aprovechables.....	88
Tabla 25. Variables proyección de población.....	93
Tabla 26. Proyección de población. ....	94
Tabla 27. Proyección de la PPC .....	95
Tabla 28. Proyección de residuos sólidos.....	95
Tabla 29. Proyección de residuos sólidos del municipio.....	96
Tabla 30. Características equipo de transporte. ....	101
Tabla 31. Características físicas Tamizadora Velopen. ....	101
Tabla 32. Características físicas trituradoras. ....	102
Tabla 33. Características de la maquina compactadora. ....	103
Tabla 34. Espacio para lechos material orgánico. ....	105
Tabla 35. Datos pesaje área urbana. ....	130
Tabla 36. Datos pesaje palmarito. ....	132
Tabla 37. Datos pesaje Caranal.....	133

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Jerarquización de residuos sólidos municipales.....	24
Ilustración 2. Trazado centro de acopio.....	31
Ilustración 3. Trazado procesos centro de aprovechamiento.....	32
Ilustración 4. Ciclo de vida del plástico.....	34
Ilustración 5. Ciclo de vida del vidrio.....	36
Ilustración 6. Alternativas para la gestión integrada de residuos sólidos.....	98
Ilustración 7. Proceso de aprovechamiento de residuos sólidos.....	99
Ilustración 8. Balance masa de orgánicos.....	107
Ilustración 9. Balance masa del cartón.....	109
Ilustración 10. Balance de masa papel.....	110
Ilustración 11. Balance de masa del plástico.....	112
Ilustración 12. Balance masa del vidrio.....	114
Ilustración 13. Plano en 2d AutoCAD, Planta de aprovechamiento de residuos sólidos.....	116
Ilustración 14. Ruta 1 de recolección de residuos sólidos.....	120
Ilustración 15. Ruta 2 de recolección de residuos sólidos.....	121
Ilustración 16. Ruta 3 de recolección de residuos sólidos.....	122
Ilustración 17. Ruta de recolección de residuos sólidos nuevo canal.....	123
Ilustración 18. Recolección de residuos sólidos palmarito.....	124
Ilustración 19. Ruta 1 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.....	125
Ilustración 20. Ruta 2 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.....	126
Ilustración 21. Ruta 3 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.....	127
Ilustración 22. Ruta 4 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.....	128
Ilustración 23. Ruta 5 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.....	129

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Composición porcentual de residuos sólidos área urbana.....	78
Gráfica 2. Composición porcentual residuos sólidos área rural.....	85
Gráfica 3. Composición física residuos sólidos Municipio de Fortul.....	86

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación Nacional Departamento de Arauca. ....	18
Imagen 2. Ubicación geográfica Municipio de Fortul .....	18
Imagen 3. Localización geográfica terreno planta de aprovechamiento. ....	20
Imagen 4. Rutas de recolección y transporte de RS.....	62
Imagen 5. Sistema de recolección y transporte área urbana. ....	63
Imagen 6. Visita campo análisis alternativas de aprovechamiento. ....	68
Imagen 7. Comunicación a la comunidad. ....	73
Imagen 8. Toma muestras área urbana. ....	73
Imagen 9. Caracterización de residuos sólidos.....	75
Imagen 10. Toma de muestras residuos centro poblano Nuevo Caranal. ....	79
Imagen 11. Toma de muestras residuos centro poblano Nuevo Caranal .....	82
Imagen 12. Caracterización de residuos sólidos área rural. ....	84
Imagen 13. Determinación del peso del recipiente. ....	87
Imagen 14. Pesaje de residuos sólidos. ....	87
Imagen 15. Banda transportadora y tolva fabric bloq.....	100

## LISTA DE ANEXOS

Ilustración 12. Ruta 1 de recolección de residuos sólidos. ....	120
Ilustración 13. Ruta 2 de recolección de residuos sólidos .....	121
Ilustración 14. Ruta 3 de recolección de residuos sólidos .....	122
Ilustración 15. Ruta de recolección de residuos sólidos nuevo caranal. ....	123
Ilustración 16. Recolección de residuos sólidos palmarito.....	124
Ilustración 17. Ruta 1 de barrido. ....	125
Ilustración 18. Ruta 2 de barrido. ....	126
Ilustración 19. Ruta 3 de barrido. ....	127
Ilustración 20. Ruta 4 de barrido. ....	128
Ilustración 21. Ruta 5 de barrido. ....	129

## 1 INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual las actividades realizadas diariamente producen un sin número de impactos negativos para el medio ambiente que a su vez están generando consecuencias de alto nivel a la misma comunidad. En este momento la humanidad en su travesía por una etapa de crecimiento y desarrollo tecnológico e industrial ha hecho del consumismo una práctica adictiva y contaminante ambiental, que ha logrado incrementar en un 100% la producción de residuos sólidos municipales, siendo este asunto fuente de una problemática ambiental mundial de bastante interés.

Tras este potente aumento de residuos, los entes gubernamentales se han percatado del impacto negativo al que se somete el ambiente diariamente y en su afán de remediar los mismos se crearon normativas para el manejo adecuado de los residuos sólidos. Una de estas normativas u otros que se enfocan en el diseño de sistemas para brindar un manejo integral a estos es el documento CONPES 3874 de 2016 por medio del cual se establece la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, como política nacional de interés social, ambiental, económico y sanitario; el manual para la construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de los residuos; el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2012 más explícitamente en el Título F5 “Sistemas de Aseo Urbano” a través del cual se plantea el diseño técnico de sistemas municipales adecuados para desempeñar el servicio de aseo y disminuir los impactos al medio, entre estos sistemas se puede encontrar un manejo integral con aprovechamiento que impone medidas como la separación en la fuente para de esta manera ejecutar mejor esta labor. Con base a lo anterior se crean factores a tener en cuenta para la creación de un sistema que minimice impactos generados por los RSU basado en las necesidades que presenta el Municipio de Fortul y se adapte a las capacidades económicas del mismo.

En el presente documento se encontrará información de manera general sobre el comportamiento poblacional del municipio, y características del servicio de aseo brindado por el prestador de servicio la empresa EMCOAAAFOR- ESP y un análisis de cumplimiento del programa de aseo que encierra actividades como la recolección y transporte entre otras. De la misma manera se ofrece información de las características de los residuos sólidos generados en el municipio de Fortul y la necesidad de ejecutar una labor que coadyuve a contrarrestar la problemática ambiental e impactos negativos en términos económicos a los que se enfrenta el municipio, con este objetivo se contempla como alternativa de solución a la problemática ambiental ocasionada el diseño de procesos que permitan de manera sencilla aprovechar los materiales generados diariamente y se disponen espacios que facilitan el aprovechamiento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar los procesos y disposición de espacios de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos del municipio de Fortul del departamento de Arauca.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar el diagnóstico del sistema de recolección, transporte y aprovechamiento en el municipio de Fortul.
- Realizar una caracterización física de los residuos sólidos municipales de acuerdo a la metodología propuesta por CEPIS.
- Establecer un protocolo para implementar el sistema de aprovechamiento de los residuos sólidos en el municipio de Fortul.
- Diseñar los procesos y distribución de espacios de la planta de aprovechamiento de residuos par el municipio de Fortul.

### 3 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que el servicio de aseo suministrado por la empresa prestadora de servicios públicos del municipio recoge los residuos no solo generados en el casco urbano sino también en áreas rurales pertenecientes jurídicamente al municipio lo cual genera un aumento en el volumen de RS, otro factor importante presente hoy día en el municipio y que produce un impacto negativo para el medio ambiente es la presencia de nuevas poblaciones producto de acciones invasivas en terrenos públicos del municipio lo cual ha generado un aumento notorio en la producción de residuos sólidos, esto ha ocasionado la disminución de la vida útil de la celda contingencia del municipio hasta llegar a un punto de declaración de un estado de emergencia ambiental, siendo la principal problemática la no puesta en marcha del relleno sanitario regional del departamento lo cual obliga al municipio a proponer medidas para el alargamiento del periodo de la celda o en otro caso alternativas para disponer los residuos que son poco beneficiosas al aumentar los costos.

Con el diseño de procesos y espacios necesarios de una planta de aprovechamiento o Instalación Recuperadora de Material – IRM en el municipio de Fortul – Arauca, contará con un avance significativo en la determinación de una solución técnica para la reducción de los residuos sólidos que se dirigen a la celda, una vez implementado el diseño se reducirán sustancialmente los volúmenes de residuos destinados al relleno sanitario y genera la disminución de los costos al momento en que el este último entre en funcionamiento, alargando significativamente su vida útil y mejorando su funcionamiento con eficiencia de la celda municipal. De igual forma, en la implementación de lo diseñado, se producirá un significativo mejoramiento ambiental en las condiciones del sitio de disposición final.

Con la implementación del diseño se crearán nuevos empleos u ocupación para las personas encargadas de la recuperación y reciclado de los residuos, mejorando las condiciones de vida de las personas que entren a participar en los procesos de aprovechamiento tecnificado. La aplicación del proyecto evitará sanciones al municipio, al cumplir con el manejo sanitario de sus residuos ajustándose a las normas vigentes.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Hace más de 2500 años los gobernantes de las ciudades griegas de Atenas, abrieron el primer relleno municipal que se registra en la historia, lo ubicaron a más de un kilómetro de los límites de la ciudad y decretaron que todos los residuos debían ser transportados hasta este sitio.<sup>1</sup>
- En México, un grupo de industriales comprometidos con el aprovechamiento racional de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y el manejo eficiente de los recursos financieros, decidieron unir fuerzas para establecer un nuevo paradigma: “La Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos”. Y es ahí donde surge SUSTENTA, Compromiso Empresarial para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos, A.C. SUSTENTA fue creada en noviembre de 1996 y actualmente está integrada por ocho empresas: Bimbo, Biopappel, Coca-Cola Internacional, Danone, SCA, P&G, Tetrapak, Unilever de México. (SUSTENTA, 2016)
- En América Latina durante los años 60, fue plantado un enfoque hacia la ingeniería sanitaria, seguidamente este enfoque se orientó a la reutilización y el reciclaje de los residuos generados para que a partir de los 80 evolucionar hasta la actualidad hacia el objetivo de la prevención y la minimización de los residuos generados por procesos industriales. (Duran de la Fuente, 1997)
- En Europa se han planteado metas claras mediante una directiva para la prevención y el reciclado de residuos, una de estas es que “la cantidad de residuos biodegradables destinados a vertederos debía reducirse a un 75% con respecto a los niveles del año 1995 y al 50% antes del año 2009”. (C. Duitama Luis F, 2006)

### 4.2 ANTECEDENTES NACIONALES

- La importancia del aprovechamiento de los residuos sólidos empezó a adquirirse con el acelerado crecimiento poblacional y la necesidad de reutilizar materias primas ya desechadas, siendo esto el motivo para lograr hacer una investigación de tipo documental cuyo tema central fue el

---

<sup>1</sup> SUSTENTA, «SUSTENTA,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sustenta.org.mx/3/historia/>. [Último acceso: 03 10 2016].

aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos en Colombia. (Jaramillo G, 2008)

- En el año 2007 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial comenzó a desarrollar acciones orientadas en este sentido conformando se esta manera la Mesa Nacional de Reciclaje, cuyo objeto fue el de reunir a todos los actores involucrados a esta problemática ambiental y de esta manera encaminarse hacia una solución viable que cumpla con los principios de manejo integral de residuos sólidos. (C-0060, 2015)
- En el año 2010 y 2011 se realizó el estudio nacional de reciclaje obteniéndose este documento final en el 2011, en el que enmarca las características que presentan algunas ciudades de Colombia para de esta manera enfocarse al objetivo de proponer e implementar alternativas viables respecto al tema. (Ltda, 2011)
- En el año 2008 el municipio de Nocaima Cundinamarca inicio su proceso de operación de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos municipales, esta planta se encuentra ubicada en la vereda San Agustín.<sup>2</sup>
- En el año 2007 el Municipio de Tauramena del Departamento de Casanare creo una planta de tratamiento de residuos sólidos municipales y empresas: BP, Petrobras, entre otras, ubicada en el centro poblado Paso Cusiana, esta planta actualmente posee 120 celdas para proceso de compostaje y 30 celdas para proceso de lombricompostaje.<sup>3</sup>
- En el año 2006 se realizó un diagnóstico el cual fue efectuado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, determinando estos que de 36 plantas de selección de sólidos que para ese entonces existían en Colombia, 3 de estas no estaban en funcionamiento y funcionaban como botadero a cielo abierto, 2 de estas plantas tenían la infraestructura adecuada para esta función y sin embargo no era utilizada. ( )

### 4.3 ANTECEDENTES REGIONALES

- En el año 2007 en el Municipio de Cubara del Departamento de Boyacá fue

---

<sup>2</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA -UNAD-Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente-Manejo de Aguas residuales en Pequeñas Comunidades. Aprovechamiento y Valorización de Residuos Sólidos Convencionales. p. 11 [En línea]. Disponible en:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358043/CURSO\\_EN\\_AVA/REFERENCIAS\\_BIBLIOGRAFICAS/UNIDAD\\_2\\_APROVECHAMIENTO\\_Y\\_VALORIZACION\\_DE\\_RESIDUOS\\_CONVENCIONALES/CAPITULO\\_4\\_FASES\\_DE\\_LA\\_GESTION\\_DE\\_RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_APROVECHABLES.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358043/CURSO_EN_AVA/REFERENCIAS_BIBLIOGRAFICAS/UNIDAD_2_APROVECHAMIENTO_Y_VALORIZACION_DE_RESIDUOS_CONVENCIONALES/CAPITULO_4_FASES_DE_LA_GESTION_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_APROVECHABLES.pdf)

<sup>3</sup> Ibid., p. 12



presentado el proyecto optimización de la planta de tratamiento de residuos sólidos, enfocado al aprovechamiento del material orgánico, este proyecto actualmente se encuentra en una etapa de ejecución inicial. (Cubara, 2007)

- Actualmente el Municipio de Saravena cuenta con la implementación de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos, en el cual hacen un proceso de transformación del material plástico, destinando los demás materiales para la venta externa, el material orgánico aún no cuenta con la implementación ya que la planta está en etapa inicial como alternativa a los impactos que enfrenta el municipio. (Empresa Comunitaria de Acueducto, 2014)

-

#### **4.4 MARCO CONTEXTUAL**

##### **4.4.1 Descripción física y localización.**

El Municipio de Fortul está situado en el departamento de Arauca (Imagen 1) el cual se encuentra en el extremo norte de la región de la Orinoquia del país. Limita al norte y al este con Venezuela, al sur con los departamentos de Vichada y Casanare, y por el oeste con Boyacá (Arauca, 2016). Fortul (Ver imagen 2) está ubicado en el pie de monte Araucano, en el costado occidental del departamento, posee alturas que van desde los 200 m.s.n.m. hasta los 3.500 m.s.n.m. en la Sierra Nevada del Cocuy en la parte sur – occidental del municipio; las condiciones topográficas y geológicas del territorio han dado lugar a una variedad de climas y suelos que han generado a su vez zonas de vida. Además, cuenta con una gran oferta hídrica conformada por 32 micro cuencas conocidas comúnmente como caños, que son vitales en la evacuación de agua en las épocas de invierno, reduciendo los impactos de inundación generadas por los grandes caudales producto de las altas precipitaciones en la zona.<sup>4</sup>

El municipio cuenta con una extensión total de 1.125 Km<sup>2</sup>, para los cuales la extensión del área urbana son 111 Km<sup>2</sup> y para el área rural 1.014 Km<sup>2</sup>. Además, cuenta con una temperatura media de 28°C.

Sus límites geográficos son:

- Al norte: Con el municipio de Saravena.
- Al sur: Con el municipio de Tame.

---

<sup>4</sup> ASOMAROQUIA - Asociación Regional de Municipios de la Amazonia y Orinoquia. Fortul, Generalidades. [En línea]. Disponible en: <http://asomaroquia.gov.co/agencias-coordinaciones-y-programas/coordinaciones-departamentales/arauca/fortul>

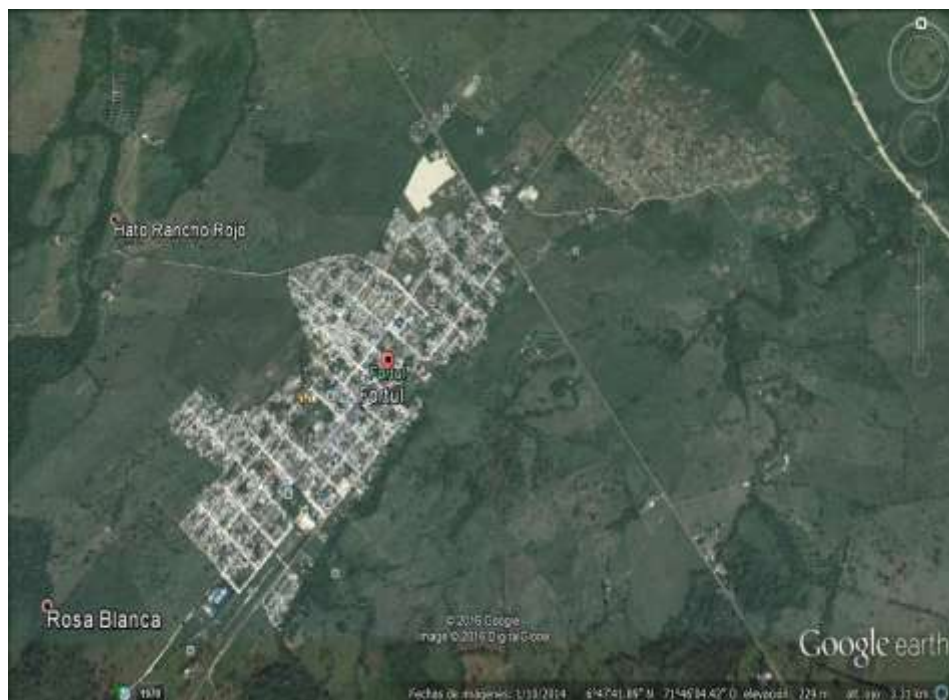
- Al oriente: Con el municipio de Arauquita.
- Al occidente: Con el Municipio de Guican - Boyacá. (Arauca, 2016)

Imagen 1. Ubicación Nacional Departamento de Arauca.



Fuente: Wikipedia, 2016.

Imagen 2. Ubicación geográfica Municipio de Fortul



Fuente: GOOGLE EARTH. Vista de Municipio de Fortul, año 2014.

#### 4.4.2 Población.

Actualmente la población del municipio de Fortul para el 2017 es de 25379 habitantes según el censo realizado por el DANE en 2005, de los cuales 13081 son ubicados en la cabecera municipal.<sup>5</sup>

#### 4.4.3 Densidad de la población.

La población del municipio de Fortul se distribuye en un área urbana y área rural, información obtenida de fuentes como el DANE y el SISBEN, para conocer de manera más detallada se determina la densidad bruta de la población que consiste en el número promedio de habitantes por kilómetro cuadrado para lo cual se considera la superficie total. La densidad para el municipio se tiene de 18.14 hab/km<sup>2</sup>. (PLANMA, 2015)

#### 4.4.4 Natalidad.

De acuerdo con la información del documento EOT, se presentan los siguientes datos para natalidad reportados por sexo en el municipio. En la tabla 1 se presenta esta información. (PLANMA, 2015)

Tabla 1. Estadísticas vitales nacidos vivos por sexo.

Año	Total	Hombres	Mujeres
2000	206	112	97
2001	214	104	110
2002	228	127	101
2003	301	167	134
2004	300	147	153
2005	309	159	150
2006	95	40	55

Fuente: Diagnóstico Final Fortul, EOT Municipal, 2009.

#### 4.4.5 Mortalidad.

Se debe resaltar la tendencia baja desde el año 2004 para el cual se presentaron 136 defunciones, para una disminución de 16.95% respecto al año anterior,

---

<sup>5</sup> FORTUL, [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fortul>.

también se observa el incremento para el año 2005 de 14. 70% con respecto al año anterior. (Corporinoquia)

En la tabla 2 se muestran los datos estadísticos vitales por sexo de defunciones reportadas al DANE, para el municipio.

Tabla 2. Estadísticas vitales defunciones por sexo.

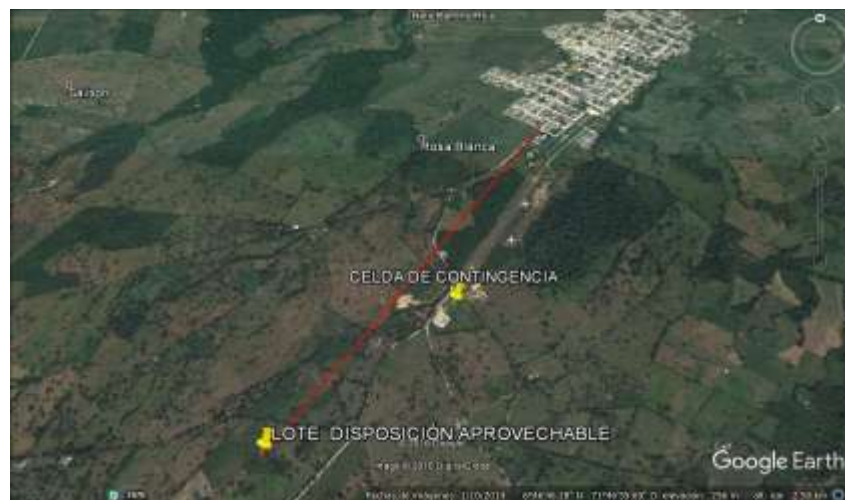
Año	Hombres	Mujeres
2000	38	9
2001	34	13
2002	43	28
2003	50	16
2004	41	23
2005	48	30
2006	31	11

Fuente: Diagnóstico Final Fortul, EOT Municipal,2009.

#### 4.4.6 Localización geográfica terreno planta de aprovechamiento de residuos sólidos.

El terreno propuesto para el establecimiento de proceso y espacios para el aprovechamiento de residuos sólidos se encuentra ubicado en las coordenadas 06°46'14.9" N y 071°47'14.6" O, a una distancia lineal en el suelo de 2,26 Km de longitud comprendida hasta la finalización del casco urbano medida desde Google Earth (Ver imagen 3).

Imagen 3. Localización geográfica terreno planta de aprovechamiento.



Fuente: GOOGLE EARTH. Vista terreno a Municipio de Fortul, 2014.

En la imagen 3 se puede observar el terreno dispuesto para el diseño de los procesos y espacios de la planta de aprovechamiento a proponer, a simple vista y por caracterización de la región araucana se observa un terreno de poca o nada pendiente ya que la región se caracteriza por ser plana y se cuenta con riqueza florística.

Para el diseño de la planta se cuenta con un terreno propiedad de la empresa prestadora de servicios públicos EMCOAAAFOR- ESP, que trabaja conjuntamente con la Administración Municipal para el cumplimiento de los requerimientos ambientales que establezcan los entes de vigilancia y control, primeramente la empresa cuenta con un área de 1 hectárea la cual tiene a disposición para la ejecución de dicho proyecto, sin embargo brinda la posibilidad de expansión con el objeto de suplir las necesidades que presente el municipio.

#### 4.5 MARCO TEÓRICO

Los residuos sólidos urbanos municipales también conocidos como basura, vienen originados de fuentes o categorías diferentes, se pueden establecer las siguientes categorías: 1) doméstico, 2) comercial, 3) institucional, 4) de construcción y demolición, 5) servicios municipales, 6) industrial, 7) agrícola y 8) zonas de plantas de tratamiento. Los tipos de residuos sólidos difieren de la fuente donde provienen, a continuación, se muestra la clasificación de residuos sólidos urbanos en la tabla 3.<sup>6</sup>

Tabla 3. Tipos de residuos sólidos municipales.

Fuente	Actividades o localización donde se generan	Tipos de residuos sólidos
Doméstica	Viviendas aisladas (unifamiliares y multifamiliares)	Residuos de comida, papel, plástico, textiles, cuero, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, hojas en la calle, residuos de jardín, cenizas, aceites.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, moteles, hoteles, imprentas, gasolineras, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales.

<sup>6</sup> TCHOBANOGLOUS. Orígenes, tipos y Composición de los residuos sólidos Urbanos, Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I.

Fuente	Actividades o localización donde se generan	Tipos de residuos sólidos
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales.
Construcción y demolición	Lugares de nueva construcción, lugares de reparación de carretera, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, suciedad, etc.
Servicios municipales (excluyendo plantas municipales)	Limpieza de calles, paisajísticos, limpieza de cuencas, parques, playas, otras zonas de recreo.	Residuos especiales, basura, barraduras de la calle, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, playas y zonas de recreo.
Plantas de tratamiento. Incineradoras municipales	Agua, aguas residuales y procesos de tratamiento industrial, etc.	Residuos de plantas de tratamientos, compuestos principalmente de fangos.
Industrial	Construcción, fabricación ligera y pesada, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demolición, etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición y construcción, residuos especiales, residuos peligrosos.
Agrícolas	Cosechas de campo, árboles, frutos, viñedos, ganadería intensiva, otros.	Residuos de comida, residuos agrícolas, basura, residuos peligrosos.

Fuente: Tchobanoglous G, Theisen H; Vigil S., 1994

Los residuos sólidos urbanos poseen características físicas que los diferencian, una de estas es su peso específico, en la tabla 4 se puede observar el rango de peso específico de estos residuos no compactados.

Tabla 4. Peso específico residuos sólidos.

TIPOS DE RESIDUOS DOM. NO COMPACTADOS	PESO ESPECÍFICO ( KG. / M <sup>3</sup> )	
	rango	promedio
Papel.	42 – 131	89
Cartón.	42 – 80	50
Plásticos.	42 – 131	65
Textiles.	42 – 101	65
Goma	101 – 202	131
Cuero	10 – 261	160
Residuos de jardín.	59 – 225	101
Madera.	131 – 320	237
Vidrio.	160 – 481	196
Latas de Hoja Lata	50 – 160	89
Aluminio	65 – 240	160
Otros metales	131 – 1551	320
Suciedad, Ceniza	320 – 1000	481
Cenizas	650 – 831	745
Residuos de comida	13 – 481	291
Basura mezclada.	89 – 181	131
Chatarra metálica pesada.		1780
Chatarra metálica ligera.		740

Fuente: Tchobanoglous G, Theisen H; Vigil S., 1994.

#### 4.5.1 Manejo integral de residuos sólidos municipales (MIRSM).

El Manejo integral de residuos sólidos es en si el acogimiento de medidas necesarias para proporcionar el cuidado al medio ambiente y cuidado hacia la salud de las comunidades, este acogimiento tiene un alcance que va desde las actividades básicas que contempla el servicio de aseo como lo son recolección, transporte, separación en la fuente hasta los procesos aplicables para su control

como la disposición final que se le dé a los residuos sólidos municipales sin importar su clasificación.

El manejo integral y sustentable de los residuos sólidos hace una combinación de flujo de residuos, métodos usados para su recolección y el procesamiento eficiente de estos, consiguiendo a su vez resultados para los contextos ambiental, económico y social. Los beneficios que se obtienen de este manejo son logrados a través de la ejecución de otras técnicas como el re uso, el reciclaje y el tratamiento de los residuos sólidos, para este manejo se plantea un proceso jerárquico (Ilustración 1) que muestra la estructura de un sistema de MIRSM en cumplimiento con las necesidades de las poblaciones y del medio. (SEMARNAT), 2001)

Ilustración 1. Jerarquización de residuos sólidos municipales.



Fuente: SEMARNAT,2001.

Para el desarrollo de técnicas respecto al cumplimiento a un manejo integral de residuos está encaminado hacia una mejora continua desde donde atribuyen factores como la comunidad y sus hábitos de vida, por ello se ha comentado hacia esta problemática social. “el desarrollo de un país entonces tiene sus raíces en su historia, tradición y cultura, pero esta determinado también por la disponibilidad de sus recursos y su relación con otras naciones susceptibles de ser utilizados, son un factor importante en la determinación de las potencialidades del desarrollo económico”.<sup>7</sup>

➤ **Reducción en la fuente.**

El concepto de reducción en la fuente nos ayuda en la concientización de las poblaciones en cuanto al manejo integral de residuos sólidos, aunque dicha

<sup>7</sup> Bautista Parejo. Residuos. Guía técnico-jurídico. Ed. Mundi-Prensa Madrid. México.1998.



reducción deba ser evaluada cuidadosamente. La reducción en la fuente establece como iniciativa en la generación de los residuos y para esto se requiere del apoyo de una sociedad que se interese por brindar un correcto mantenimiento hacia el medio ambiente para brindar un beneficio de todos. La minimización o reducción de la generación en la fuente, procede del manejo integral de residuos, pero no hace parte de ello, ya que incide de manera significativa en el volumen que se recolecte. Este proceso no establece totalmente una eficiencia al sistema que se brinde al manejo de los residuos ya que algunos de estos necesariamente deben ser sometidos a otro tipo de sistema que sea efectivo. ((SEMARNAT)., 1999)

➤ **Reutilización y reciclaje.**

La reutilización es un proceso que entra en la estructura del manejo adecuado de los residuos, pero incide de igual manera en la cantidad de residuos a tratar como lo hace la reducción en la fuente ya que es efectuado en el sitio. El reciclaje por su parte puede ser muy favorecedor para la sociedad a fin de conservar recursos y evitar que residuos que generen ingresos económicos vayan al sitio de disposición final, este proceso es bastante complejo ya que requiere de la utilización de otros recursos aplicables en el sistema de recolección, transporte, selección, limpieza y re procesado de los materiales reciclables. ((SEMARNAT)., 1999)

➤ **Tratamiento y disposición final.**

El proceso de tratamiento y disposición final debe consensuar las características del sistema teniendo en cuenta el tipo de residuos sólidos generados, recolectados y trasladados al sitio de disposición. Para el proceso de tratamiento y disposición final se deben tener en cuenta variables como la localización de las instalaciones en la que se va a ejecutar el procedimiento, otra variable importante es el cumplimiento de la normatividad vigente para tal fin, por esto es considerado como uno de los aspectos más difíciles del manejo integral de residuos sólidos. (Unicef)

#### **4.5.2 Sistemas de disposición final de residuos sólidos.**

En función del tipo de disposición final de residuos sólidos y en cumplimiento con las normativas legales para tal fin se reconocen como formas no adecuadas de disposición el uso de celdas transitorias, botaderos y quemas a cielo abierto, y vertimiento a cuerpos de agua (Domiciliarios, 2015) , por su parte las formas adecuadas se consideran el tratamiento en rellenos sanitarios técnicos, plantas de reciclaje y celdas de contingencia diferenciándose estas últimas por contar con

un plan de manejo autorizado por la respectiva autoridad ambiental. (Ministerio de Vivienda, 2014)

➤ **Rellenos sanitarios.**

El relleno sanitario es una técnica para la disposición de los residuos sólidos denominados basura en un espacio del suelo, sin causar deterioro al medio ambiente, daños o peligros a la salud y seguridad pública. Este tipo de método de disposición aplica conocimientos ingenieriles para disponer estos residuos en la menor área posible, reduciendo el volumen de los mismos con equipos idóneos y cubriendo los residuos al final de la jornada. (Noguera M. Katia, 2010)

Este sistema consta de celdas de disposición que cuentan con una capacidad instalada y son impermeabilizadas para luego disponer allí los residuos ya compactados. El mismo sistema cuenta con subsistemas de tratamiento para los productos obtenidos como los lixiviados y la producción de biogás. (Noguera M. Katia, 2010)

➤ **Plantas de aprovechamiento.**

Las plantas de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos, son instalaciones que responden a una necesidad de tratamiento para una salida de residuos generados por una población, estas plantas tienen como objeto evitar la disposición final en el relleno sanitario o la implementación de incineración directa que de no ser ejecutada correctamente ocasionara efectos negativos al ambiente. Estas infraestructuras están dispuestas para recibir corrientes de residuos que han sido seleccionados en la fuente o también residuos mezclados de los cuales se busca extraer materiales que son aptos para el aprovechamiento y que son fuente de una serie de materias primas recicladas de alta calidad que pueden ser incorporadas en el ciclo económico del país. (Territorial, 2008)

Así mismo, el diseño y el tamaño de una instalación para el aprovechamiento de materiales reciclables dependerá de algunas inconstantes como:

- El volumen de los residuos manejados durante los procesos.
- El tipo de separación que se ha logrado hacer desde las fuentes de generación y recolección selectiva.
- La categoría de los materiales reciclables que han sido seleccionados, y el tipo de productos que se quiere obtener a través de los procesos implementados.

- El mercado al que se busca llegar para la comercialización de los materiales reciclados, o de los productos que han sido generados con estos materiales.
- Los especificadores de calidad que da el mercado.
- La seguridad que se requiere en todos los procesos de la planta. (Territorial, 2008)

Para la llevar a cabo el funcionamiento de este tipo de proyectos, se hace necesario ejecutar de una manera adecuada el proceso de elección de los sitios donde se plantea la construcción y el debido funcionamiento de las plantas recuperadoras y se sigan las pautas que han sido planteadas dentro de los Planes o Esquemas de Ordenamiento Territorial de cada municipio o distrito, con el fin de evitar dificultades con las comunidades aledañas, y las autoridades ambientales competentes de cada región. (Territorial, 2008)

“Las plantas de aprovechamiento de materiales reciclables cuentan con diferentes áreas y procesos, que pueden ir desde las instalaciones más sencillas, en donde tan sólo se realiza una separación por tipo de material, hasta aquellas en las cuales se logra obtener materias primas recicladas o productos finales hechos a partir de dichas materias primas. El valor de los productos obtenidos en cada tipo de planta se incrementará en cuanto mayor tratamiento se dé a los residuos.” (Territorial, 2008)

Para la implementación de sistemas de aprovechamiento que cumplan con todo tipo de requerimientos ambientales y de saneamiento básico se tienen en cuenta aspectos importantes de la región o sitio donde se va a llevar a cabo, como el nivel de complejidad de la misma cualidad obtenida a la aplicación del documento RAS 2000 para Colombia, de acuerdo a esto pueden existir diferentes tipos de instalaciones que cumplan la finalidad de aprovechamiento de los materiales. Algunas de las características que se han podido obtener respecto a estudios efectuados en cumplimiento a lo mencionado han sido las siguientes:

- **Para un nivel de complejidad bajo y medio: centros de acopio con procesamiento de residuos orgánicos.**

Los municipios con nivel de complejidad bajo (población urbana  $\leq$  2.500 habitantes), y nivel de complejidad medio (población urbana de 2.501 a 12.500 habitantes), tendrán una producción aproximada de residuos sólidos urbanos de acuerdo a los datos de la tabla 5.

Tabla 5. Producción de RSU niveles de complejidad bajo y medio.

Tipo de residuos	Bajo (Kg/día)	Medio (Kg/día)	
		Desde	Hasta
<b>Orgánicos</b>	731,3	731,5	3656,3
<b>Plásticos</b>	157,5	157,6	787,5
<b>Papel y cartón</b>	56,3	56,3	281,3
<b>Vidrio</b>	45	45	225
<b>Textiles</b>	33,8	33,8	168,8
<b>Patógenos y peligros</b>	22,5	22,5	112,5
<b>Metales</b>	11,3	11,3	56,3
<b>Caucho</b>	11,3	11,3	56,3
<b>Otros</b>	56,3	56,3	281,3
<b>Total</b>	1125	1125,45	5625

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Epam s.a e.s.p, 2008.

Teniendo en cuenta estas características en canto a la generación de residuos se plantea el diseño de una planta o centro de acopio, con los procesos adecuados de este tipo de materiales. En la ilustración 2 se observa el trazado de flujo para cada tipo de material de un centro apropiado para estos niveles de complejidad.

- **Para niveles de complejidad medio-alto y alto: planta de recuperación y productos terminados.**

“Los municipios pertenecientes a niveles de complejidad medio-alto (población urbana 12.501- 60.000 habitantes) y nivel alto (población urbana mayor a 60.000 habitantes), presentan una producción de residuos sólidos mucho mayor, por lo cual la fracción de residuos aprovechables es más significativa y representa mayores beneficios. Por esta razón, los municipios pertenecientes al nivel de complejidad medio-alto deben agruparse o absorber la producción de materiales aprovechables de los municipios cercanos de complejidad baja y media, con el fin de construir un proyecto de gran magnitud y obtener como resultados materiales terminados, como sucede en los proyectos de complejidad alta.” (Territorial, 2008)

De no lograr esta clasificación, los municipios catalogados medio- alto y alto, deberán seguir con los esquemas de comercialización de los niveles bajo y medio.

En la Tabla 6 se muestran las cantidades indicativas de materiales a ser aprovechado, obtenidos en estudios caso Colombia para niveles de complejidad medio- alto y alto.

Tabla 6. Producción de RSU nivel de complejidad Medio-Alto.

Tipo de residuos	Medio- Alto (Kg/día)		Alto (Kg/día)
	Desde	Hasta	
<b>Orgánicos</b>	4306,60	20670,00	30810,00
<b>Plásticos</b>	927,60	4452,00	6636,00
<b>Papel y cartón</b>	331,30	1590,00	2370,00
<b>Vidrio</b>	265,00	1272,00	1896,00
<b>Textiles</b>	198,80	954,00	1422,00
<b>Patógenos y peligros</b>	132,50	636,00	948,00
<b>Metales</b>	66,30	318,00	474,00
<b>Caucho</b>	66,30	318,00	474,00
<b>Otros</b>	631,30	1590,00	2370,00
<b>Total</b>	6625,53	31800,00	47400,00

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Epam s.a e.s.p, 2008.

A continuación, se observa en la ilustración 3 el diseño con los respectivos trazados para el manejo de cada tipo de material de aprovechamiento, esto para un sistema de nivel de complejidad medio-alto y alto.

Las plantas de aprovechamiento o recuperación de materiales aptos para entrar en un ciclo económico nuevamente son instalaciones en las que, además de hacer el debido proceso de los residuos orgánicos y no orgánicos, se suman otros procesos de preparación, como pueden ser el lavado, la trituración, la compactación y por ultimo embalaje, para lo cual se debe contar con los diferentes equipamientos de acuerdo a la función a realizar. (Territorial, 2008)

Un sistema de aprovechamiento o planta de aprovechamiento de residuos sólidos también es conocido como una instalación para la recuperación de materiales (IRM) que cumple la función bien sea de separar los materiales que no han sido separados en la fuente como el aprovechamiento a través de procesos adicionales a estos materiales. Para este aprovechamiento se conocen algunos usos básicos que se aplican a los materiales que han sido recuperados. Estos materiales recuperados a través de la separación de los demás residuos sólidos urbanos pueden ser usados directamente como materia prima para la fabricación de un nuevo producto ya sea tras procesos químicos o biológicos. Algunos usos que se le dan a estos materiales son los siguientes. (George, 1994)

- Reutilización directa: Aquellos materiales recuperados que en su mayoría son residuos como la madera, muebles entre otros, cuando sea posible a

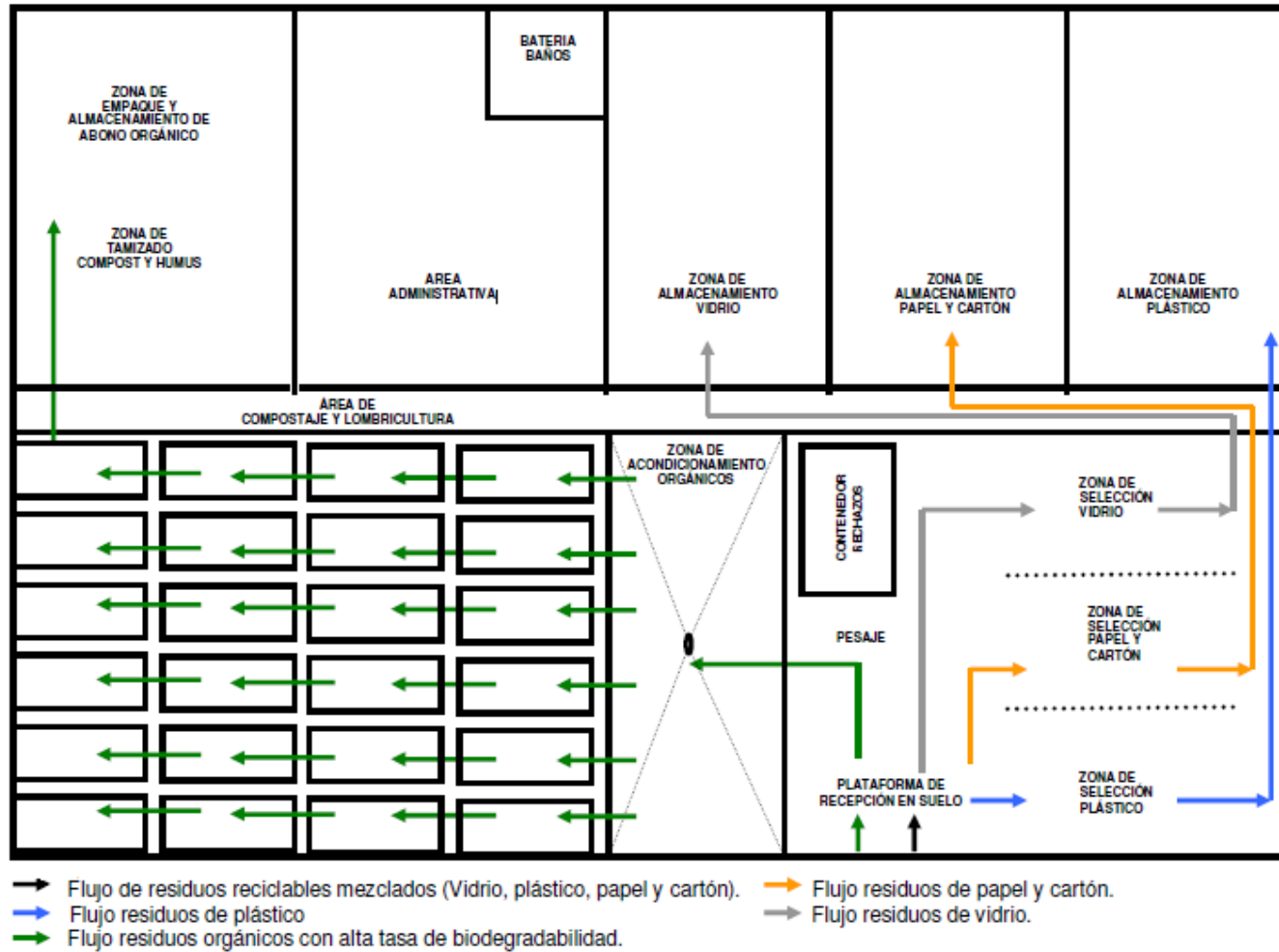
ser uso de los mismos se debe apoyar la reutilización directa. (George, 1994)

- Materia prima, fabricación y reprocesamiento: La mayoría de materiales recuperados de los residuos sólidos urbanos pueden ser utilizados como materia prima para la generación de nuevos productos elevando de esta manera el costo en el mercado. (George, 1994)
- Materia prima para la elaboración de productos por conversión biológica y química: Conociendo que el material orgánico comprende aproximadamente un 70% de los residuos, la comunidad se ha ido por la producción de abonos orgánicos, es aquí donde se hace aplicación de esta materia para la producción a través de procesos biológicos o químicos. (George, 1994)
- Fuente de combustión: este es otro uso utilizado de los RSU a través de la implementación de tecnologías como la incineración del material orgánico y se recupera el calor producido durante el proceso o bien pueden hacerse uso de otros residuos como aceites mediante la conversión de estos a combustible o usar estos para la venta con esta libre finalidad. (George, 1994)
- Restauración de terrenos: este tipo de aplicación de los RSU es bastante utilizado por las comunidades para la restauración de terrenos con el objeto de desaparecer materiales como residuos de demolición sin importar las medidas sanitarias ya que estas actualmente no propagan gran contaminación al medio ni a la salud de las personas. (George, 1994)

Según el autor Tchobanoglous existen algunas alternativas para la separación de estos materiales residuales, que benefician el sistema basado en la ejecución que cada uno planea efectuar. A continuación, se hará mención de las alternativas propuestas para el aprovechamiento:

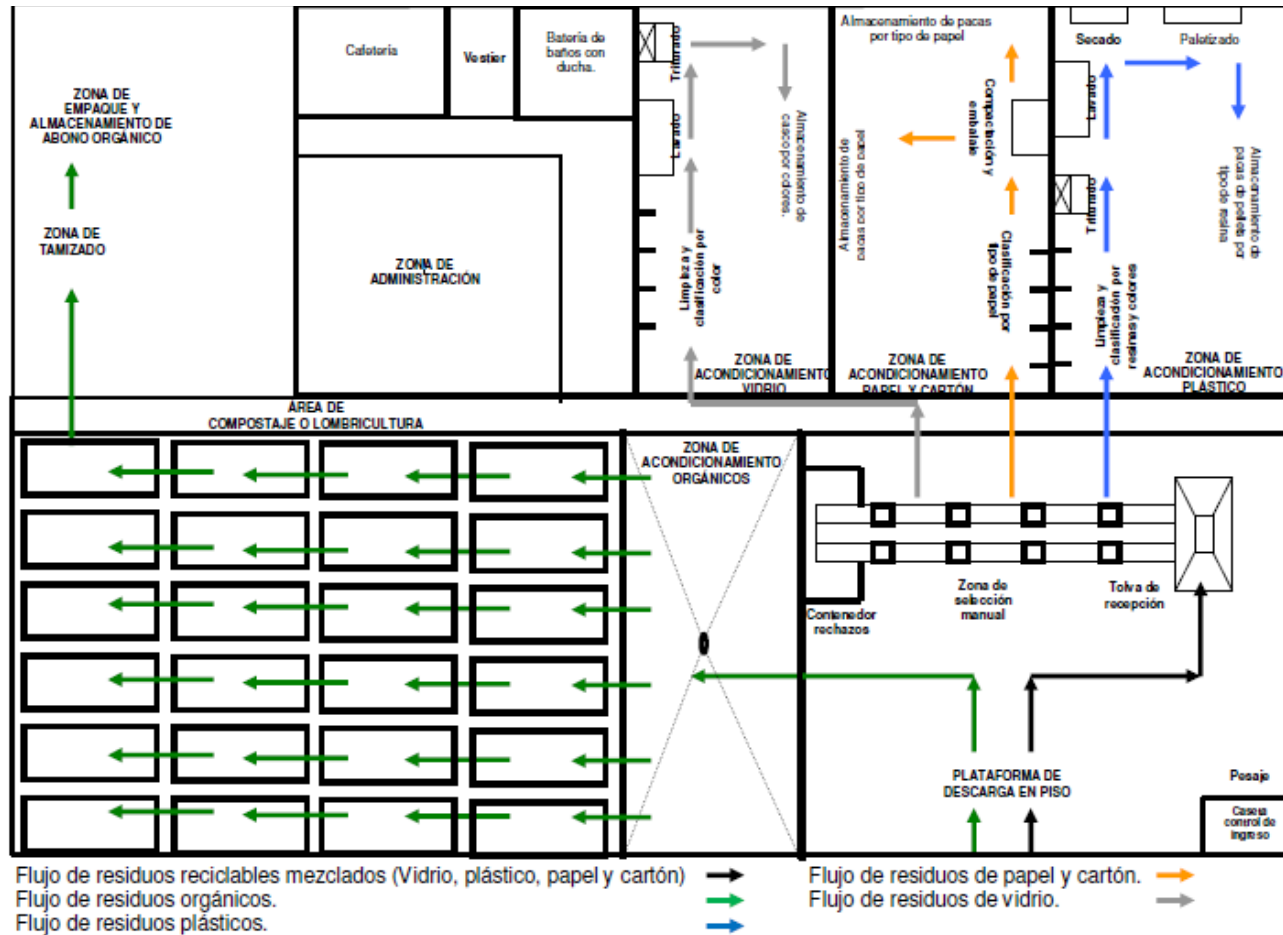
- Separación de residuos en el punto de generación: la separación es efectuada en la fuente por parte de los generadores haciendo uso del adecuado manejo integral y el buen uso de rutas selectivas si existen, sin embargo, es probable que sea necesario ejecutar una separación adicional en el sitio de aprovechamiento antes de iniciar cualquier proceso de aprovechamiento.
- Separación de residuos en IRM: Las IRM bien son utilizadas para el procesamiento adicional de los residuos separados en la fuente, para llevar a cabo la separación y recuperación de estos materiales y mejorar la calidad de los materiales recuperados. Por lo tanto, a través de estas se

Ilustración 2. Trazado centro de acopio.



Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Epam s.a e.s.p, 2008.

Ilustración 3. Trazado procesos centro de aprovechamiento.



Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Epam s.a e.s.p, 2008.



puede llevar a cabo todos los procesos de aprovechamiento incluido la inclusión al ciclo económico final.

### **4.5.3 Material plástico.**

En su mayoría los residuos sólidos con mayor tasa de generación son los materiales orgánicos provenientes de restos de alimentos, sin embargo, los residuos como plástico tardan muchos años en degradarse por lo tanto se deben implementar alternativas de un manejo adecuado para la reutilización de este tipo de material, el vidrio es otro material de gran importancia en su tratamiento.

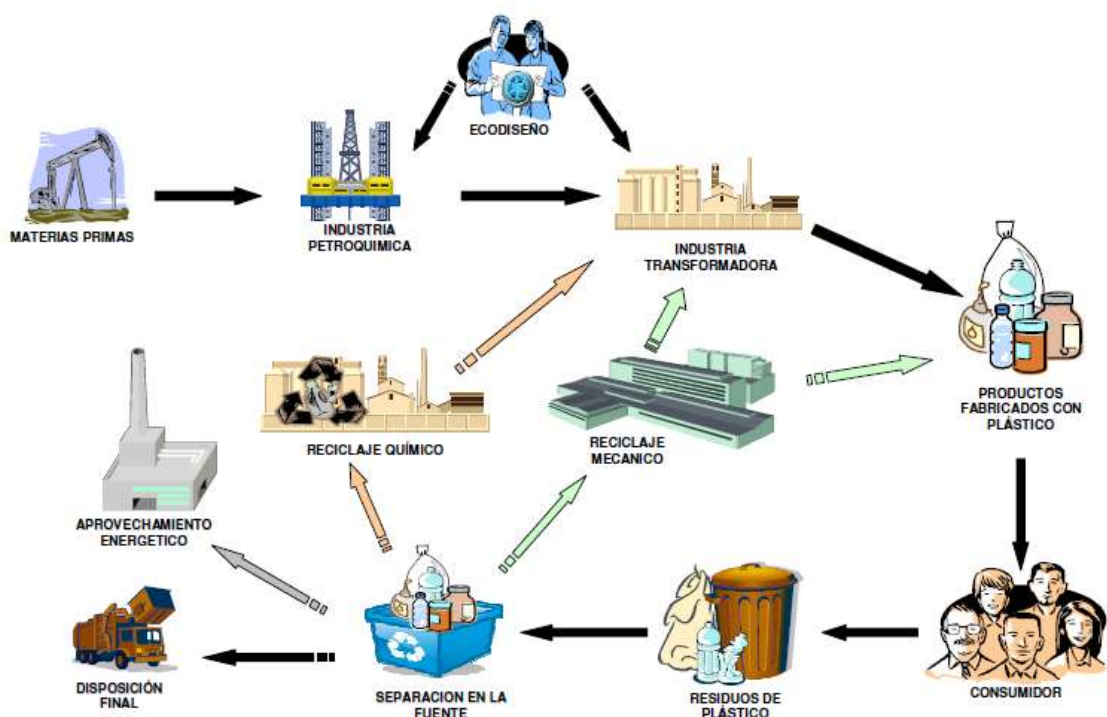
A través de años de estudio se han definido cuatro tipos de reciclaje para el plástico, los cuales son: reciclaje primario, secundario, terciario y cuaternario; estos tipos difieren en algunos aspectos como limpieza, homogeneidad y el lugar de donde provienen.

- Reciclaje mecánico (Primario/Secundario): este tipo de reciclaje corresponde a la creación de materiales con la conservación de las características del material original. El reciclaje primario a diferencia del reciclaje secundario es llevado a cabo en el sitio de generación de los materiales mientras que este otro corresponde al aprovechamiento de materiales obtenidos después de terminada su vida útil.
- Reciclaje químico (Terciario): este como su nombre lo indica involucra una transformación tanto física como química del material.
- Reciclaje energético (cuaternario): consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de utilizar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos.

De esta manera se tiene en la siguiente imagen se muestra el ciclo de vida del plástico. (Ilustración 4) En la ilustración se evidencia el proceso adecuado que sufre este material desde las actividades ejecutadas para generarlo hasta los posibles tratamientos finales a ofrecer como se mencionó anteriormente estos procesos tiene mucho que ver con características físicas hasta de donde proviene; con respecto a sus características los plásticos se clasifican en Termoestables y Termoplásticos.

Los termoestables son plásticos de contextura rígida y no reblandecen por mucho que aumente la temperatura, generalmente son aquellas piezas de automóviles, plásticos reforzados entre otros.

Ilustración 4. Ciclo de vida del plástico.



Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Epam s.a e.s.p, 2008.

Los termoplásticos son aquellos plásticos que se encuentra en mayor cantidad y poseen ciertas características tales como: flexibilidad, se reblandecen y fluyen a altas temperaturas, son moldeables y se solidifican después de un tratamiento calorífico, entre otras.

A estos últimos pertenecen aquellos envases de alta generación residual como envases de gaseosas y bolsas. A continuación, se muestra la clasificación de este tipo de material. (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificaciones materiales termoplásticos.

Tipo de Plástico	Clasificación Numérica
Polietileno tereftalato PET	1
Polietileno alta densidad PEAD-PEHD	2
Policloruro de vinilo PVC	3
Polietileno de baja densidad PEBD-PELD	4

Tipo de Plástico	Clasificación Numérica
Polipropileno PP	5
Poliestireno PS	6
Otros	7

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Epam s.a e.s.p, 2008

#### 4.5.4 Material vidrio.

Este material es inerte y 100% reciclable ya que puede hacerse una cadena de recirculación para su reutilización, por esto se dice que es un material amigable con el medio ambiente, aunque ambientalmente su generación causa grandes impactos negativos al ambiente por el elevado consumo de energía y recursos naturales. en cuanto al proceso de gestión del vidrio esta se basa básicamente en tres procesos los cuales están conformados primeramente en la recirculación o reutilización de este residuo, el aprovechamiento para el reciclaje y la disposición final. A continuación, se muestra el ciclo de vida dispuesto para el este material (Ver ilustración 5).

En la ilustración se muestra el ciclo de vida del vidrio desde el proceso de extracción de materia prima para su elaboración hasta las alternativas de manejo adecuadas. Para la adecuada gestión de este se debe tener en cuenta el tipo de material, en cuanto a sus características y uso el vidrio se clasifica en industrial y doméstico.

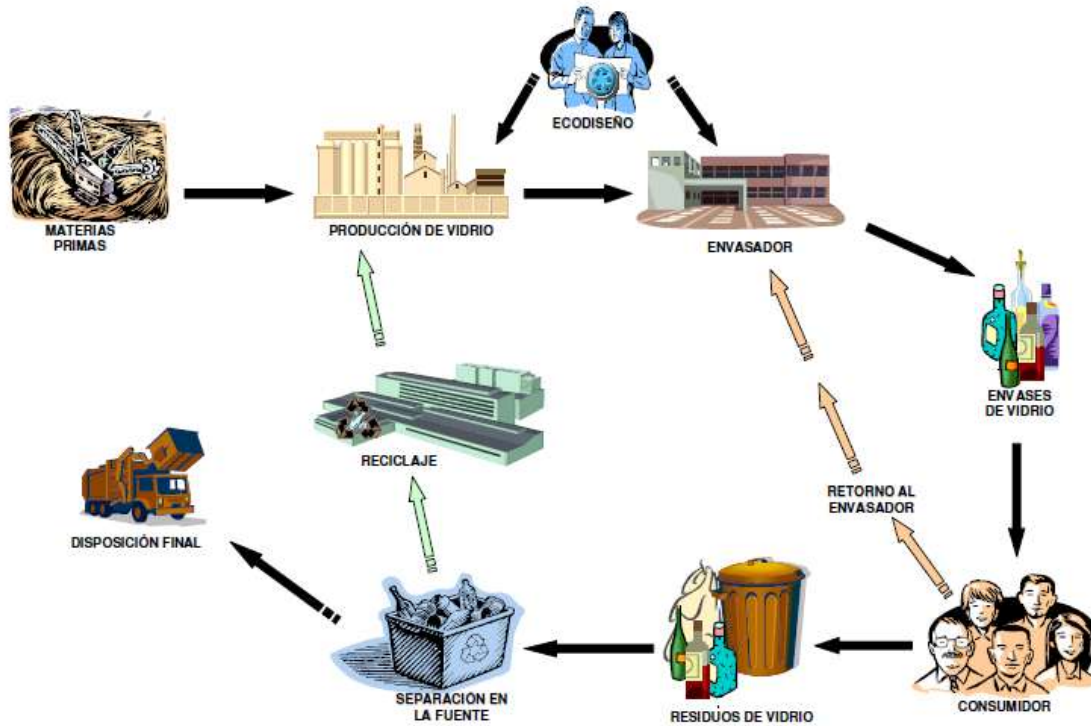
El vidrio industrial es aquel que no es usado como envase para alimentos y a su vez se clasifica de esta manera: vidrio plano, vidrio prensado, vidrio hueco, vidrio para óptica y otras aplicaciones especiales. A este tipo de material se le da un tratamiento especial el cual es el retorno a grandes centros especializados para dar un manejo y disposición adecuada. En cuanto al vidrio domestico diariamente damos un amplio uso y generamos este residuo por actividades cotidianas, a su vez este se clasifica en 4 tipos de acuerdo a su color: vidrio verde, blanco, ámbar y azul.

El aprovechamiento para el vidrio domestico es efectuado en la planta recuperadora, en cumplimiento con una amplia seguridad ya que es un material peligroso. El aprovechamiento viene dado por una serie de actividades:

- Separación en la fuente por colores.
- Recolección.
- Disposición en la planta recuperadora.
- Clasificación.
- Separación por color.

- Trituración.
- Lavado del casco.

Ilustración 5. Ciclo de vida del vidrio.



Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Epam s.a e.s.p, 2008

- Embalaje.
- Comercialización.
- Producción

Estas actividades conforman el proceso de gestión para el vidrio, disminuyendo de esta manera la pérdida de su calidad 100% reciclable y está diseñada con el fin de aprovecharlo al máximo y no agotar el recurso de disposición de residuos sólidos.

#### 4.5.5 Material orgánico.

El material orgánico para este caso hace referencia a los residuos provenientes de las actividades de alimentación, estos residuos son generados en mayor cantidad con un porcentaje de más del 60%. Actualmente estos residuos son aprovechados por su alta tasa de biodegradación a través de alternativas como:

- Aprovechamiento biológico: compostaje, lombricultura y biodigestión.
- Aprovechamiento alimenticio: concentrados para animales.
- Aprovechamiento energético: gasificación.

➤ **Proceso de lombricultura.**

La Lombricultura es la crianza intensiva en cautiverio de lombrices de tierra principalmente de las especies Roja Californiana, estas en un estado de confinamiento en lechos o contenedores ingieren los residuos orgánicos en descomposición, seguidamente del proceso de digestión excretan un producto primario como “Vermiabono” o más conocido como “Lombricompuesto”, rico en nutrientes para toda clase de cultivos. (ICONTEC, 2006)

La Lombricultura es un proceso que permite utilizar grandes volúmenes de residuos sólidos orgánicos, contribuye efectivamente a la descontaminación ya que se pueden transformar residuos sólidos orgánicos de origen urbano, rural o agroindustrial, por lo tanto, trae consigo una serie de beneficios. (ICONTEC, 2006)

La producción de abono orgánico con estas lombrices tiene algunas ventajas en cuanto a la producción de abono orgánico tradicional, a continuación, se mencionan algunas de las ventajas de este proceso:

- Se necesita poco espacio para la producción de abono, a diferencia de los lechos se puede también hacer en recipientes de 40 – 50 litros.
- Requiere menos trabajo del requerido para un proceso de compostaje sin usar estas lombrices.
- No es necesario construir grandes montones de residuos.
- Se pueden usar otros residuos aprovechables como lo es el papel.
- Se obtiene un producto más rico en nutrientes.
- Facilita el suministro de una mayor cantidad de nutrientes a las plantas de una forma más rápida.

➤ **Acondicionamiento.**

Los residuos sólidos orgánicos son acopiados en un lugar apropiado, se hace el riego y volteo periódico durante el proceso mientras este se termina. Se dispone de contenedores o lechos para introducir los residuos en descomposición, e incorporar las lombrices para que inicien su función humificadora o de reciclaje. (ICONTEC, 2006)

Para este proceso cabe destacar que la materia orgánica a utilizar se someterá a un proceso de trituración con el objeto de reducir su tamaño y facilitar el proceso de digestión de las lombrices, sí mismo reducir espacio en los lechos.

➤ **Riego y adición de residuos.**

Incorporados los desechos en proceso de descomposición y las lombrices a los lechos, estos deben ser regados dos veces por semana para una adecuada humedad y temperatura del hábitat de las lombrices y para favorecer el proceso de humificación y reciclaje. (ICONTEC, 2006)

➤ **Período de humificación.**

El Lombricompuesto se obtiene en un período de 30 días y este se puede utilizar en toda clase de cultivos, algunos de estos son: productos hortofrutícolas menores, flores, hierbas medicinales y plántulas. (ICONTEC, 2006)

➤ **Cosecha de lombrices y abono.**

Sin perjuicio de continuar cultivando sobre los mismos contenedores o lechos, éstos se pueden ampliar, ya que las lombrices doblan su población en un promedio de tres meses, dependiendo de un adecuado manejo; por lo cual, si se desea recuperarlas hay que incentivarlas para que emerjan. (ICONTEC, 2006)

Dentro del proceso se utilizará cal el cual se añadirá al compost en proceso manteniendo de esta manera el pH del mismo a un pH neutro, para evitar afecciones al utilizarse. El proceso de Lombricultura por la humedad requerida genera como subproducto lixiviado dentro de la etapa de producción, para su tratamiento se definirán los siguientes ítem.

- Disposición de un canal para la evacuación de lixiviado, sellado con malla metalizada para eliminar la pérdida de las lombrices y de Lombricompuesto.
- Recolección de lixiviado en recipientes plásticos.
- Integración de lixiviados nuevamente al proceso hasta disminuir la cantidad y el olor de los mismos. (Erick, 2004)

Como otro subproducto de este proceso se tienen los lixiviados que en medidas aplicables son recomendados y utilizados en actividades agrícolas por sus beneficios como abono líquido ya que cuentan con los nutrientes que existen en el abono sólido. Aún está en etapa de estudio los beneficios del uso de lixiviados obtenidos de esta actividad. (Erick, 2004)

#### **4.5.6 Material papel y cartón.**

Este tipo de material es abundante en generación, que genera un impacto medio ambiental de gran tamaño ya que este proviene de material natural como es el árbol, por tanto, entre más consumo exista serán afectados miles de hectáreas de suelo, aire y el recurso hídrico. Según las actividades del día a día las fuentes de generación se clasifican en industrial, residencial o doméstico, comercio y servicios.

Para su posterior aprovechamiento se mencionan ciertas condiciones de calidad y limpieza de los residuos de papel y cartón los cuales serían un proceso de acondicionamiento que básicamente consiste en darles limpieza y eliminación de cualquier tipo de contaminante para este ser procesado como materia prima de nuevos productos. Además, se les debe retirar todo tipo de objetos como anillas, clips o cintas adhesivas y mantenerse secos y separados de los residuos orgánicos para evitar su contaminación. Las cajas de cartón corrugado deben extenderse y retirarse los restos de cintas o envoltorios. Los envases de cartón compuesto con otros materiales como los envases de tetra pack, deben ser lavados y extendidos.

#### **4.5.7 Materiales metálicos.**

Este tipo de materiales que son los materiales como el acero, el hierro, aluminio, bronce, deben ser separados de los demás residuos. No requieren procesos de acondicionamiento como el lavado, pero si se hace necesario la reducción de volumen en el caso de recipientes y contenedores metálicos.

La rigurosa separación por tipo de metal, es indispensable para un adecuado reciclaje de este tipo de materiales que es llevada a cabo en hornos de fundición a altas temperaturas.

#### **4.5.8 TÍTULO F RAS 2012. CAPITULO 4: RECOLECCION Y TRASPORTE**

Servicio de recolección: para el servicio de recolección de residuos sólidos debe conocerse la cantidad de residuos a utilizar, el tipo de vehículo recolector, el

estado operativo, capacidad de carga, frecuencia de recolección, horarios de inicio y terminación de la jornada y estructura de las macro y micro rutas.

#### **4.5.9 TÍTULO F RAS 2012. CAPITULO 5: APROVECHAMIENTO**

##### **A- Aprovechamiento: Alcance**

El aprovechamiento y valorización deben ejecutarse siempre y cuando sean económicamente viables, técnicamente factibles, ambientalmente convenientes.

Para el servicio público de aseo y en articulación con la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, se deben tener en cuenta como elementos vitales en la planificación y prestación del servicio los siguientes lineamientos de actuación en orden jerárquico:

- Promover la cultura de consumo responsable para reducir la generación de residuos sólidos, fortaleciendo la reutilización de envases y empaques, entre otros.
- Promover procesos de separación en la fuente, recolección y transporte selectivo en estaciones de aprovechamiento que incorporen valor agregado a los materiales con potencial de reciclaje.
- Aprovechar las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables separadas en la fuente y con recolección y transporte selectivo, para valorización agronómica en la producción de acondicionadores de suelo, abonos y enmiendas orgánicas a través de su estabilización biológica o para valorización energética (biogás y combustibles alternativos).
- Disponer en los rellenos sanitarios la menor cantidad posible de residuos. Lo ideal es que allí se dispongan solamente los residuos realmente no aprovechables y no peligrosos.

##### **B- Requisitos obligatorios en los sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos.**

##### **Propósitos del aprovechamiento:**

- Racionalizar el uso y consumo de materias primas que provengan de recursos naturales no renovables.
- Recuperar valores económicos y que hayan sido utilizados en diferentes procesos productivos.
- Disminuir los impactos ambientales, entre otros.

##### **C- Formas de aprovechamiento y valorización:**

Como formas de aprovechamiento se consideran:

- La reutilización.



- El reciclaje residuos inorgánicos y
- Los tratamientos para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de valorización agronómica o valorización energética.

Como formas de valorización se tienen: el lavado, triturado, granulado (peletizado), compactación, aglomerado entre otras técnicas.

#### **D- Características de los residuos sólidos para el aprovechamiento**

Los residuos sólidos adecuados para su respectivo aprovechamiento deben estar limpios y debidamente separados por tipo de material, en el caso de los residuos con alta tasa de biodegradación no deben estar contaminados con residuos peligrosos, ni metales pesados.

Para la generación de energía se deben valorar parámetros como composición química, contenido de humedad, entre otros. Con base en estudios de mercado y el potencial de comercialización, se deben definir los procesos de adecuación y transformación que van a ser llevados a cabo.

#### **E- Localización de la planta de aprovechamiento y valorización.**

Para la localización de estas plantas se debe tener en cuenta el uso de suelo establecido en los respectivos EOT, PBOT. A demás debe considerar las rutas y vías de acceso de tal manera que minimice el impacto generado por el tráfico.

Como norma básica debe contar con servicios públicos de acueducto, alcantarillado y energía. En caso de carecer de alcantarillado, debe implementarse un sistema de tratamiento de aguas residuales, debe estar debidamente alejada de áreas residenciales 50 m, para evitar impactos en la comunidad.

#### **F- Diseño de edificaciones para el aprovechamiento**

- Debe contar con un área mínima de recepción de residuos.
- Tener buenas vías de acceso, con poco tránsito vehicular.
- Contar con un buen sistema de ventilación e iluminación.
- Debe contar con las siguientes áreas de operación: pesaje, recepción, selección y clasificación, procesos para materiales aprovechables, procesos para materiales de rápida biodegradación, bodega o almacenamiento de materia prima y de productos procesados o reciclados.
- Dependiendo de la población, se recomienda para el diseño de las instalaciones de aprovechamiento, la mecanización así:

- **Menor o igual a 3,000 usuarios:** Manual. No se requiere equipo mecanizado con uso de energía.

- **De 3,001 a 8,000 usuarios:** Semi-mecanizado. Se requieren bandas transportadoras de separación, embaladoras mecánicas,

equipos de fraccionamiento y sistemas de oxigenación dinámica o estática para los procesos de aprovechamiento de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables.

• **Mayor a 8.001 usuarios:** Mecanización. Aplica para todos los procesos.

### **G- El aprovechamiento en la prestación del servicio público de aseo**

Las diferentes alternativas propuestas por la RAS 2012 para la gestión integrada de residuos aprovechables son:

#### ❖ **Actividades de acondicionamiento**

-**Separación:** Independientemente de que se haga una separación de los residuos en la fuente, al ser recibidos en la planta se procederá a realizar una separación, a través del rompimiento de bolsas, recepción y transporte por banda transportadora o manual.

-**Reducción del tamaño:** es un método mecánico que busca disminuir y homogenizar los materiales, para facilitar su procesamiento, tratamiento o bien su disposición final.

-**Compactación o densificación:** es el proceso que permite incrementar la densidad de los residuos sólidos, ya sea para reducir las necesidades de almacenamiento o para la reducción del volumen para el transporte. Entre los equipos más comunes se encuentran los vehículos compactadores, contenedores de acero móviles, contenedores equipados con instalaciones de compactación interna, etc.

-**Acopio:** los residuos sólidos aprovechados deben ser almacenados en lugares que no afecten el entorno físico, la salud humana, etc. A su vez se deben almacenar bajo condiciones seguras.

-**Empaque, embalaje y suministro** a procesadores del subproducto obtenido o bien como producto final: La compra y venta de materias primas secundarias recuperadas o recicladas, puede efectuarse libremente de acuerdo con las exigencias del mercado.

#### ❖ **Tratamiento y transformación en el tratamiento:**

- **Lombricultura:**

Para 40 m<sup>2</sup> de cultivo se requiere un total de 5 kg de lombriz pura/m<sup>2</sup>, que corresponde entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato (lombriz comercial), lo anterior arroja un total de 200 kg de lombriz pura, el 20% de esta cantidad será entonces de 40 kg, para comenzar el cultivo y producción. Una lombriz adulta se come en un día una cantidad de alimento igual a su peso, produce un 60% en humus, el otro 40% lo utiliza para su sustento. En un metro cuadrado de cama se pueden tener hasta 50.000

lombrices, y en un kilo se encuentran alrededor de 1.500. 200.000 lombrices pueden producir entre 30 y 50 toneladas de humus o Lombricomposto, en un año.

#### **H- Usos de los residuos sólidos aprovechables**

- **PARA REUTILIZACIÓN DIRECTA:** Corresponde a la fracción de residuos sólidos separada en el origen y que por sus características puede utilizarse directamente tal como la madera, las estibas de madera, muebles y papel. Estos residuos deben tener la propiedad de ser utilizables para su función original o para una relacionada, por lo tanto, deben estar limpios.
- **PARA REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE:** los materiales aprovechables como el plástico, vidrio, cartón, papel, y demás, deben cumplir con las condiciones de limpieza básicas, deben ser separados en el proceso de recepción y así vez serán separados pro tipo de cada uno.
- **PARA MATERIA ORGÁNICA:** deben cumplir parámetros exigentes de control de estos productos para ser utilizados en campo. Pueden ser utilizados como abono orgánico o sustrato para recuperación de vegetal.
- **PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA:** Residuos de jardín: Deben ser requeridas por la instalación encargada del procesamiento y sus requerimientos mínimos son: composición de los residuos, disposición de tamaño, contenido de humedad y grado de contaminación.

## 4.6 MARCO LEGAL

Tabla 8. Normatividad aplicable.

Nombre	Titulo	Aspectos relevantes	Artículos y citas
Constitución Política de Colombia, 1991	Constitución política de Colombia	El interés del estado en cuanto a los factores de saneamiento ambiental en cumplimiento con el establecimiento de medidas que generen un beneficio a este deber.	Artículo 49. Menciona la responsabilidad del estado en cuanto a la atención en salud y saneamiento ambiental y debe garantizar el acceso a todas las personas a los servicios de promoción, prevención y recuperación en salud.
		La obligación con la población de ofrecer alternativas viables que beneficien a la comunidad y sobre todo trabajo para el sostenimiento del ambiente.	Artículo 79. "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
		El manejo integral de residuos sólidos es un detonante de declaración a emergencia ambiental, por tanto, debe trabajar con miras a no causar este tipo de deterioro.	Artículo 80. El estado será el encargado de planificar el aprovechamiento de los recursos naturales, garantizando su desarrollo sostenible, entre otros aspectos.
Constitución Política de Colombia, 1991	Constitución política de Colombia		"Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados

Nombre	Titulo	Aspectos relevantes	Artículos y citas
		<p>de conformidad el estado debe estar en completa vigilancia en cuanto a temas de servicios domiciliarios supliendo las necesidades de la comunidad.</p>	<p>Artículo 366. El estado tiene como finalidad social el bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y será su deber solucionar problemas que ocasionen insatisfacción relacionados con la salud, educación y el saneamiento ambiental y el agua potable.</p> <p>“Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.”</p>
<p>Constitución Política de Colombia, 1991</p>	<p>Constitución política de Colombia</p>	<p>La obligación del estado de brindar el servicio público de aseo a las personas y la participación de la empresa prestadora del servicio.</p>	<p>Artículo 369. “La ley determinará los deberes y derechos de los usuarios, el régimen de su protección y sus formas de participación en la gestión y fiscalización de las empresas estatales que presten el servicio. Igualmente definirá la participación de los municipios o de sus representantes, en las entidades y empresas que les presten servicios públicos domiciliarios.”</p>

Nombre	Título	Aspectos relevantes	Artículos y citas
Decreto 2981 de 2013	“Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.”	La ejecución y cumplimiento de las actividades del servicio de aseo, las obligaciones que deben ser cumplidas por la administración municipal y por la parte prestadora del servicio y el diseño de estrategias para la implementación de estas	Todo
Ley 142 de 1994,	“Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.”	Las características y beneficios de la empresa prestadora del servicio de aseo del municipio,	Toda
		la responsabilidad del estado de ofrecer el servicio de aseo para todas las personas, entre otras características beneficiarias que acobijan a la empresa y a los usuarios.	
Resolución 288 de 2015	“Por la cual se establecen los lineamientos para la formulación de los Programas de Prestación de Servicio Público de Aseo”.	La adopción del programa de servicio de aseo para el municipio, en articulación con el PGIRS municipal, el establecimiento e implementación de las actividades de este servicio.	Toda

Nombre	Título	Aspectos relevantes	Artículos y citas
Resolución 754 de 2014	" Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos".	Las pautas para la implementación, el seguimiento y actualización del PGIRS del municipio el municipio, como herramienta de apoyo al cumplimiento de las obligaciones ambientales.	Toda
RAS-2012	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico	Las características físicas de conformidad a cumplir por parte del municipio para el ofrecimiento del servicio de aseo en general más enfocado a la estructuración del lugar a disponer los residuos con fin de aprovechamiento.	Titulo F5. Por medio del cual se establecen criterios u otros requisitos, para la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de aseo urbano con aprovechamiento.
Guía para caracterización de residuos sólidos domiciliarios	Guía para caracterización de residuos sólidos domiciliarios.	Aplicación del proceso para llevar a cabo la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios del municipio e identificar el comportamiento de la población respecto a la generación de estos.	Toda

Nombre	Título	Aspectos relevantes	Artículos y citas
Documento CONPES 3530 del 23 de junio de 2008	Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público en el marco de la gestión integral de residuos sólidos	Reconocimiento más amplio acerca de las posibles características que afectan un buen desarrollo de la gestión integral y el establecimiento de puntos a tener en cuenta para un enfoque ligado a la mejora continua del servicio ofrecido a los usuarios.	Mediante el cual se establecen lineamientos que fortalezcan el manejo integral de los residuos en todos los sectores del país.
Documento CONPES 3874 del 21 de noviembre de 2016	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos	El establecimiento de políticas, estrategias o alternativas para brindar un manejo integral adecuado de los residuos sólidos.	Mediante el cual se establece la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, como política nacional de interés social, ambiental, económico y sanitario.
Estudio Nacional del Reciclaje y los Recicladores, 2011.	Aproximación del mercado de reciclables y las experiencias significativas	Actualización sobre el estado actual del tema manejo integral de residuos sólidos.	Contiene estudios sobre residuos sólidos aprovechables a nivel nacional, ampliado la visión del mejoramiento e implementación de alternativas para lograr un equilibrio.
Guía Técnica Colombiana (GTC-24), 2003.	Guía para la separación en la fuente y la recolección selectiva	Se hace una orientación en cuanto al sistema de separación en la fuente, presentación y recolección de los residuos por parte de la entidad prestadora del servicio.	Esta guía nos brinda unas pautas para llevar a cabo el proceso de separación en la fuente y de la misma manera nos orienta en cuanto al proceso de recolección de los residuos sólidos municipales.



Nombre	Título	Aspectos relevantes	Artículos y citas
<p>Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón, 2008.</p>	<p>Manual 1: Generalidades</p>	<p>Las características a cumplir teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema, bases para la presentación y mejoramiento de calidad de los residuos.</p>	<p>Presenta las características generales que debe cumplir todo proyecto de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos de alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón.</p>
<p>Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón, 2008.</p>	<p>Manual 2: Plástico y cartón</p>	<p>Expone detalladamente las alternativas para el adecuado proceso de aprovechamiento teniendo en cuenta las características de los residuos, entre otras para de esta manera hacer elección del proceso a utilizar.</p>	<p>Propone los criterios técnicos a tener en cuenta para los proyectos de aprovechamiento y valorización de residuos de plástico y vidrio.</p>
<p>Guía Técnica Colombiana (GTC-53-4), 2003.</p>	<p>Guía para el reciclaje de papel y cartón</p>	<p>Se toma de aquí las directrices básicas de calidad de los residuos para cumplimiento de generación de materia prima para un mejorar la calidad de los productos.</p>	<p>Esta guía establece directrices para el aprovechamiento de papel y cartón provenientes de las diferentes actividades económicas.</p>

Fuente: Autor, 2017.

## **5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **5.1 ALCANCES**

Este proyecto contempla el estudio del sistema de aseo urbano en los componentes que forman parte del diseño y operación de una planta de aprovechamiento; por tanto NO se analizan otros aspectos propuestos por la RAS 2012 Título F, tales como: valorización, cambio de rutas.

De igual forma se realiza para el diseño solamente la caracterización física de los residuos ya que para efectos de diseño de espacios y procesos se toma en consideración las características físicas tales como: volumen, proporción de cada tipo de material, Producción per cápita. La caracterización química NO se realiza además por la falta de recursos para desarrollar los análisis de laboratorios conforme a lo definido por la norma, es decir en laboratorios certificados por el IDEAM. La empresa no contó con recursos en la vigencia 2016.

Los procesos diseñados y los espacios dispuestos en este proyecto abarcan la cantidad de residuos sólidos aprovechables generados con una proyección a 15 años. Para este fin se adquirió información perteneciente a la empresa prestadora de servicios públicos EMCOAAAFOR-ESP, información contenida en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Fortul y otras bibliografías como normativas aplicables al caso.

El proyecto aquí elaborado NO contempla diseño de estructuras civiles, ni estudios de suelos, por lo cual no se hace análisis de sismo resistencia para el área, ni resistencia de materiales, de igual manera no tendrá evaluación de costos de maquinaria y operacionales.

El proyecto es considerado como propuesta para la empresa EMCOAAAFOR-ESP y/o Municipio de Fortul por lo tanto su alcance es meramente teórico, la etapa de implementación no se contempla ni está definida a corto o mediano plazo.

### **5.2 LIMITACIONES**

- Banco de datos históricos incompletos de información poblacional del Municipio en fuentes digitales (Páginas web) y fuente física en administración municipal.
- No realización de pruebas de laboratorios para determinación de características químicas de residuos sólidos ya que en el departamento no se cuenta con laboratorios para este tipo de estudios y durante la vigencia 2016 NO se contó con presupuesto para realizar este tipo de actividades.

- Falta de recursos físicos y financieros por parte de la entidad lo que disminuye la posibilidad de un análisis más amplio del proyecto.
- Ejecución de otras funciones de competencia ambiental en cumplimiento a las actividades ordenadas por el comité técnico de la empresa contratante.
- Sitio establecido para la adecuación de espacios planteados en el proyecto 1 hectárea.
- El presente estudio se centra en los principales componentes del sistema de aseo urbano relacionados a la actividad de aprovechamiento, estos son: recolección, transporte y aprovechamiento.

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE ASEO DEL MUNICIPIO DE FORTUL

Se realizó un análisis a partir de la información suministrada por la empresa, como el Programa de Prestación de Servicio de Aseo, bajo resolución 0288 de 2015 y el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Municipio, bajo resolución 0754 de 2014, seguidamente se evaluó la información allí contenida analizando su cumplimiento actual. Los pasos para este proceso fueron los siguientes:

- Obtención de la información requerida: se obtuvo la información necesaria de la autoridad competente.
- Análisis de la información: se revisó y analizó la información contenida en cada uno de estos documentos y visualización en campo para los componentes de: recolección, transporte y aprovechamiento.
- Evaluación: realizado el análisis se hizo una evaluación al cumplimiento por normativa de los programas y se establecieron los hallazgos allí encontrados en caso de su existencia.

Se realizó una matriz FODA conociendo el estado actual del servicio de aseo, en este caso la matriz contiene las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas y para estas se plantean estrategias FO, FA, DO y DA, de recolección y transporte, barrido y limpieza de vías y áreas públicas y disposición final servicios que actualmente son prestados por la empresa EMCOAAAFOR-ESP.

### 6.2 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Para encaminar el diseño fue necesario conocer la población destino y su proyección tal como lo establece el Ras-2012, la producción Per cápita de la población estudio y la caracterización física. La caracterización de los residuos sólidos se realizó según la composición física de acuerdo al tipo de material que representa. No se realizó análisis ni muestreos para laboratorios debido a que no se cuenta con el presupuesto, ni laboratorios para tales fines en el municipio.

Para la determinación de los residuos sólidos generados en la población se utilizó la metodología desarrollada por el doctor Kunitoshi Sakurai, además de ser este método recomendado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Para tal objeto se han diseñado una serie de pasos estructurados como lo son: (Sandoval, 2004)

- **Zonificación del área de estudio.**

Para esta actividad se dividieron las zonas a las cuales se les presta el servicio en dos partes: área rural y área urbana, teniendo en cuenta la estratificación para

cada uno. (Sandoval, 2004)

- **Determinación la composición física.**

Según el numeral F1.4.2.1, del Título F de la RAS 2012 se establecen los siguientes tipos de material para ser evaluados durante la caracterización

Los residuos sólidos deben clasificarse, en porcentaje en peso base húmeda, de acuerdo con el siguiente esquema:

- a. Residuos orgánicos crudos, residuos de poda, corte de césped y jardinería
- b. Productos de papel y productos de cartón
- c. Plásticos
- d. Textiles
- e. Metales ferrosos, compuestos de aluminio y otros metales no ferrosos
- f. Vidrio
- g. Madera, caucho (goma), cuero, ceniza, rocas y escombros, huesos y otros.
- h. Los residuos sólidos orgánicos cocinados que han tenido contacto con saliva (residuos de restaurante por ejemplo), no son óptimos para procesos de compostaje. Este tipo de residuos pueden ser tratados en procesos de degradación biológica cerrados o anaerobios con fines de valorización energética o llevados a disposición final en rellenos sanitarios. (RAS 2012, Título F)

De igual forma el manual de CEPIS establece los diferentes materiales de la siguiente manera:

- a. Papel
- b. Cartón
- c. Madera y follaje
- d. Restos de alimentos
- e. Metales
- f. Plásticos
- g. Vidrio
- h. Otros (caucho, cuero, tierra, cerámicos).
- i. Sanitarios

- **Determinación del número de muestras.**

Se hizo ubicación de los estratos socioeconómicos de la ciudad en el plano de la misma. Se determinó la cantidad de muestras por zonas representativas teniendo

ya los datos de la población a estudiar usando la recomendada por la Cepis. (Sandoval, 2004)

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E}{1.96}\right)^2 + \frac{V^2}{N}}$$

Dónde:

$n$  = Número de viviendas a probar aleatoriamente.

$V$  = Desviación estándar de variables  $x_i$ , ( $x_i$ =PPC de la vivienda  $i$ ) (gr/hab-día).

$E$  = Error permisible en la estimación de PPC (gr/hab-día).

$N$  = Número total de viviendas del estrato en cuestión.

#### - **Distribución de la muestra.**

Para efectuar la distribución de las muestras se realizó teniendo en cuenta la zonificación de áreas y con una asignación aproximada en número de muestras. De acuerdo a la fórmula. (Sandoval, 2004)

$$q_n = \frac{N_h}{N}$$

Dónde:

$N$  = Número total de viviendas.

$N_h$  = Número total de viviendas del estrato en cuestión.

$q_h$  = Porcentaje o proporción del tamaño de la población.

Seguidamente se efectuó la obtención de número de muestras de acuerdo a la proporción del tamaño de la población obtenida anteriormente. (Sandoval, 2004)

$$n_h = n * q_h$$

Dónde:

$n$  = Número total de muestras.

$n_h$  = Número de muestras del estrato en cuestión.

#### - **Determinación del punto de muestreo.**

Cada muestra se tomó aleatoriamente introduciendo papeles numeradas desde el 1 hasta  $n$  según la cantidad de viviendas a muestrear por estrato. (Sandoval, 2004)

- **Toma de muestras.**

Una vez se identificó el punto de muestreo se procedió a determinar el lugar donde se llevó a cabo la caracterización. Se definieron los objetivos y la metodología indicando las fechas a ejecutar el trabajo.

Se hizo la respectiva comunicación a las comunidades de las viviendas seleccionadas. En el momento de realizar el muestreo se registró el número de habitantes por vivienda seleccionada, se entregaron las bolsas vacías a cada propietario y se solicitó que depositaran allí los residuos del día sin cambiar sus hábitos diarios, se recogieron las bolsas al día siguiente y se entregaron otras bolsas vacías a cambio para la ejecución de la siguiente muestra por último se llevaron las bolsas al sitio identificado para realizar la caracterización.

- **Determinación de la producción Per Cápita por día (PPC) y generación total diaria de residuos.**

Para determinar la PPC, se procedió a obtener los kilogramos diarios de residuos sólidos generados en todas las viviendas muestreadas utilizando una balanza de colgar ya que la empresa no cuenta con una báscula apropiada y por tanto su adquisición no fue posible, este resultado nos representa ( $Wt$ ), se determinó el número total de personas que han intervenido ( $Nt$ ). Cabe resaltar que para el primer día de muestreo se eliminan los residuos sin considerar los datos para el análisis.

Seguidamente se dividió el peso total obtenido ( $Wt$ ) entre el número total de personas ( $Nt$ ), obteniendo la PPC diaria y después se obtiene la PPC diaria promedio de las viviendas muestreadas en (kg/hab-día). (Sandoval, 2004)

$$\text{Generación per cápita de residuos}(gpc) = \frac{\text{Peso total de residuos}(Wt)}{\text{Número total de personas}(Nt)}$$

Para determinar la generación total diaria de residuos se multiplico la generación per cápita por el número de habitantes ( $Nt$ ) de la zona de estudio, esta información se obtuvo en Kg/día. (Sandoval, 2004)

$$\text{Generación total diaria de residuos} = gpc * Nt.$$

- **Determinación de la densidad/ peso específico de los residuos sólidos.**

Para determinar la densidad de los residuos se tomó un recipiente de peso W1 y se determinó su volumen (V). los datos tomados en cuenta fueron (h) altura y (d) diámetro, el volumen del recipiente se obtuvo a través de:

$$Volumen (V) = 0,7854 * d^2 * h.$$

A continuación, se pesó el recipiente (W1), se agregaron los residuos usados en el cuarteo y se pesó nuevamente (W2), se realizó la diferencia de estos pesos obteniendo el peso de los residuos (W) y luego se aplicó la siguiente ecuación: (Sandoval, 2004)

$$Densidad D \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{Peso\ del\ residuo\ W(kg)}{Volumen\ de\ la\ basura\ V\ (m^3)}$$

- **Determinación de la composición física.**

Se utilizó la muestra de un día obtenida en la actividad de muestreo para determinación de la producción per cápita, la cual fue conducida al sitio de disposición final donde se apilo el material mezclándolo homogéneamente sobre una carpa y se procedió a ejecutar el método del cuarteo. Se dividió en 4 partes, tomando dos muestras en este caso las partes opuestas. Esta operación se repitió 5 veces hasta obtener una muestra de 50 kg. (Sandoval, 2004)

Los componentes fueron clasificados y se pesaron igual que el procedimiento anterior. Se calculó el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados (Wt) y el peso de cada componente (Pi). (Sandoval, 2004)

$$Porcentaje\ (\%) = \frac{P_i}{W_t} \times 100$$

### **6.3 PROTOCOLO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO**

Para el establecimiento de aspectos que coadyuven al cumplimiento ambiental de buena gestión de residuos sólidos en acuerdo con la alcaldía municipal se instaura la aplicación del comparendo ambiental en el municipio de Fortul, donde se contempla el buen uso de rutas y manejo adecuado de residuos sólidos en el espacio público.



En socialización de comité técnico de la empresa prestadora del servicio se definieron un protocolo de actividades a aplicar para el proceso de aprovechamiento determinadas a partir del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio.

#### 6.4 DISEÑO DE PROCESOS Y DISPOSICIÓN DE ESPACIOS

Para el diseño de procesos y la disposición de espacios de la planta de aprovechamiento para el municipio de Fortul se tuvo como guía el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2012, Título F Sistemas de Aseo Urbano el cual establece aspectos de manera general para este sistema, más explícitamente el capítulo f.5. Aprovechamiento, también se hizo uso del Manual: Construcción de Criterios Técnicos para el Aprovechamiento y Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos con Alta Tasa de Biodegradación, Plásticos, Vidrio, Papel y Cartón.

Este reglamento establece un conjunto de pasos para definir las características de la planta de aprovechamiento.

- Localización de la planta
- Diseño de edificaciones
- Definición de procesos de aprovechamiento a establecer en la planta

Aplicando el manual de construcción para el aprovechamiento y la implementación del documento Gestión Integral de Residuos Sólidos TCHOBANOGLIOUS, se categoriza los procesos y se dispone el espacio para el nivel de complejidad del municipio, teniendo en cuenta las necesidades del mismo en cuanto a la producción de residuos.

Conociendo la falta de datos históricos respecto a la población, para realizar la proyección de la población solo se usó el método geométrico ya que el municipio ha venido en creciente expansión en los aspectos poblacionales y económicos.

- **Proyección método geométrico (MG):** Empleado principalmente para poblaciones con importancia actividad económica, un apreciable desarrollo y con importantes áreas de expansión. Se calcula empleando la siguiente ecuación: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

$$Pf = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde;  $r$  es la tasa de crecimiento anual.

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}} - 1$$

- Procesos para el aprovechamiento.
- Determinación de espacio para cada proceso.

Para el diseño de procesos se tuvo en cuenta la población proyectada y la generación diaria proyectada, de esta manera se conoce la cantidad de residuos sólidos a aprovechar:

- El 70% de cada tipo de residuo será aprovechado, ya que no todos los residuos que llegan tienen un buen estado. De esta manera se obtienen las medidas para abarcar cada tipo de residuos.

## 7 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 7.1 ANÁLISIS CRÍTICO SISTEMA SERVICIO DE ASEO

#### 7.1.1 Componente recolección y transporte-programa.

Tabla 9. Componente recolección y transporte.

META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
Implementar mecanismos y/o Acciones tendientes a cubrir la totalidad del área de prestación del servicio en el municipio de acuerdo a su crecimiento.	Modernización del parque automotor Mediante la adquisición de vehículos recolectores (25 yd3) para la recolección y transporte del servicio de aseo en el municipio de Fortul.	Número de vehículos recolectores adquiridos/ Total de vehículos requeridos (2)	50%		100%	Municipio de Fortul
	Mantenimiento preventivo del parque automotor encargado del componente de transporte del servicio de aseo en el municipio de Fortul.	Cantidad de Mantenimientos realizados/ Cantidad de mantenimientos Programados	33,33%	66,67%	100%	Prestador del servicio público de aseo

META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
Implementar mecanismos y/o Acciones tendientes a cubrir la totalidad del área de prestación del servicio en el municipio de acuerdo a su crecimiento.	Implementar un sistema de monitoreo de la actividad de recolección de residuos sólidos conforme a lo establecido en el Decreto 2981 de 2013.	% de vehículos recolectores con sistema de monitoreo	33,33%	66,67%	100%	Prestador del servicio público de aseo
Establecer un esquema operativo con enfoque para la recolección selectiva del 100% de los residuos solidos	Evaluar un esquema operativo de recolección con enfoque selectivo, transporte y disposición final del municipio de Fortul, frente a la disposición final en el relleno sanitario regional del Piedemonte Araucano.	No. De lineamientos técnico operativos implementados/ No. De lineamientos técnico operativos formulados	100%			Prestador del servicio público de aseo

META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
Realizar y reportar semestralmente la actualización del censo de puntos críticos	Actualización del censo de puntos del municipio de Fortul.	% de operaciones Anuales inspeccionadas, vigiladas y controladas	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul
Reducir en un 80% el número de puntos críticos identificados en el municipio.	Divulgación, implementación y Operación del comparendo ambiental como herramienta del control y seguimiento de puntos críticos en el municipio de Fortul.	No. De puntos críticos recuperados/ Puntos críticos reportados	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul

Fuente: PGIRS Municipio de Fortul, 2015.

Para el servicio de recolección y transporte de residuos sólidos en el municipio la empresa prestadora del servicio cuenta con dos vehículos compactadores cada uno de 16  $Yd^3$ , uno de estos es modelo 2007 marca Ford y el otro modelo 2012 marca Chevrolet, el vehículo compactador modelo 2007 ha cumplido su vida útil la cual era de 8 años de acuerdo a sus características, sin embargo, este se utiliza esporádicamente como contingencia. EMCOAAAFOR E.S.P cuenta con rutas y micro rutas diseñadas e implementadas para la recolección de residuos, no cuenta con rutas selectivas por lo tanto los residuos son presentados y recolectados mezclados. En cuanto a las rutas se tiene que la ruta 1 y 2 hace recorrido dos veces a la semana y la ruta 3 hace recorrido una vez a la semana por la vía principal y en dos centros poblados. El sistema de recolección es realizado por dos operarios recolectores y un conductor (Ver imágenes 4 y 5).

- Para este sistema se encuentra que las rutas son adecuadas ya que hacen cubrimiento de la totalidad del casco urbano y los centros poblados nuevo caranal y palmarito, con la mayor eficiencia en el consumo de combustible ya que el trazo de las rutas esta dado con el menor número de cruces posibles (Anexo 1).

Imagen 4. Rutas de recolección y transporte de RS.



Fuente: Autor, 2016.

Imagen 5. Sistema de recolección y transporte área urbana.



Fuente: Autor, 2016.

- Actualmente no se ofrece el servicio de recolección, transporte y disposición de residuos sólidos en algunas áreas rurales, debido a la distancia, al difícil acceso y falta de cultura de la comunidad respecto los gastos que implica este servicio; como alternativa se recomienda a estas comunidades el aprovechamiento en el sitio del material orgánico “desechos de alimentos” y los demás desechos “chatarra” almacenarlos en un sitio adecuado con la finalidad de venta a los comerciantes de chatarra. En cuanto a la implementación de un sistema de monitoreo en cumplimiento con el Decreto 2981 de 2013, este proyecto no aplica para el municipio de Fortul ya que la norma establece esta actividad para ciudades de más de un millón de habitantes y el municipio no posee esta población, por lo tanto, no se da cumplimiento.

### 7.1.2 Componente aprovechamiento-programa.

Tabla 10. Componente aprovechamiento.

META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
Crear alianzas regionales para la comercialización de residuos sólidos reciclables generados en el municipio de Fortul.	Estudio de factibilidad para la comercialización a nivel regional de residuos sólidos reciclables del municipio de Fortul.	No. De alianzas establecidas/Total de alianzas factibles	100%			Municipio de Fortul
Promover la organización empresarial en el 100% de los comercializadores de residuos sólidos del municipio de Fortul	Desarrollar estrategias de emprendimiento empresarial dirigida a comercializadores de residuos aprovechables del municipio de Fortul	Numero de estrategias implementadas / Total de estrategias diseñadas.	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul
Implementar una política municipal que reglamente la presentación selectiva de los residuos sólidos.	Diseño y adopción de una política pública municipal que reglamente la presentación selectiva de los residuos en el municipio de Fortul.	Política pública Municipal adoptada	100%			Municipio de Fortul



META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
100% de las Rutas de recolección con enfoque selectivo	Estudio de reingeniería de rutas de recolección de residuos con enfoque selectivo, en el municipio de Fortul	% Rutas selectivas implementadas	100%			Prestador servicio público de aseo
100% de los usuarios sensibilizados en presentación selectiva de residuos sólidos	Diseño e Implementación de estrategias IEC para fomentar cultura ciudadana sobre separación en la fuente y presentación selectiva en el Municipio de Fortul	% de usuarios sensibilizados	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul
Establecer la viabilidad de un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos.	Estudio de factibilidad de un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos en el municipio de Fortul	Estudio de factibilidad formulado.	100%			Municipio de Fortul

META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
Construir el 100% de la infraestructura física y adquirir el 100% de los equipos para la cadena de aprovechamiento según estudio de factibilidad	Implementar la infraestructura para el aprovechamiento de residuos sólidos a través del diseño y construcción de una estación de clasificación y almacenamiento	No. De obras construidas/Total de obras requeridas	100%			Municipio de Fortul
	Adquisición de los equipos requeridos en la cadena de aprovechamiento de residuos sólidos en el municipio de Fortul.	Número de equipos adquiridos/Total de equipos requeridos	100%			Municipio de Fortul
Lograr el aprovechamiento de residuos sólidos mínimo en un 70%	Formulación e implementación de estrategias IEC para promoción de la cultura en separación en la fuente y, presentación diferenciada en el Municipio de Fortul.	% de residuos Sólidos aprovechados	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul

META	PROYECTO	INDICADOR	META ACUMULATIVA EN PLAZO			RESPONSABLE
			CORTO (2016-2019)	MEDIANO (2020-2023)	LARGO (2024-2027)	
Implementar acciones periódicas que fortalezcan el proceso de presentación y clasificación de residuos aprovechables.	Formulación e implementación de estrategias IEC para promoción de la cultura en separación en la fuente y, presentación diferenciada en el Municipio de Fortul.	% de rechazo de residuos sólidos aprovechados	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul
Incentivar de manera permanente la presentación de los residuos Potencialmente aprovechables limpios, secos y debidamente separados.		No. de estrategias IEC implementadas/ Total, estrategias IEC diseñadas	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul
Capacitar en un 100% a los usuarios del servicio de aseo sobre la separación en la fuente y el Aprovechamiento de residuos sólidos.	Formulación e Implementación de PRAES y PROCEDAS articulados con la presentación selectiva y aprovechamiento de residuos en el municipio de Fortul	Número de PRAES y PROCEDAS implementados / total, PRAES Y PROCEDAS diseñados	33,33%	66,67%	100%	Municipio de Fortul

Fuente: PGIRS Municipio de Fortul, 2015.

El aprovechamiento en el municipio se encuentra en sus inicios, la empresa prestadora del servicio cuenta con el personal técnico y profesional encargado de estudiar y generar posibles alternativas mediante visitas de campo (Ver imagen 6), para ejecutar aprovechamiento mientras se determina la puesta en marcha de un sistema para tal objetivo. Actualmente no se ha ejecutado el estudio de factibilidad para el aprovechamiento en el municipio siendo este uno de los principales factores para la implementación del programa.

Imagen 6. Visita campo análisis alternativas de aprovechamiento.



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

La empresa EMCOAAAFOR-ESP se ha encaminado hacia la capacitación en torno a la correcta clasificación de residuos sólidos en la fuente, tomándose como primera medida hacia la implementación de un sistema de aprovechamiento. Teniendo en cuenta esto, se ha de calificar de manera eficiente la labor ejecutada hasta el momento por parte de la empresa.

### 7.1.3 Análisis FODA

Tabla 11. Matriz FODA componente recolección y transporte.

<p><b>MATRIZ FODA</b> <b>Recolección y transporte</b></p>	<p><b>FORTALEZAS (F)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 vehículos recolectores de 15 yd.</li> <li>• Rutas recolectoras para área urbana y rural.</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES (D)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 vehículo recolector con periodo de vida útil finalizado.</li> <li>• Recipientes contenedores de residuos sólidos con un peso mayor de 25 kg.</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES (O)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquisición de vehículos de 25 yd.</li> <li>• Ampliación de rutas para área rural.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento preventivo de vehículos recolectores.</li> <li>• Realizar trámites apropiados para adquirir vehículos nuevos.</li> <li>• Estudio factibilidad ampliación sistema de recolección y transporte.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitación de la comunidad y operarios relacionada con la presentación de residuos.</li> <li>• Mantenimiento preventivo de vehículos recolectores.</li> </ul>
<p><b>AMENAZAS (A)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento en plazo de adquisición de vehículos recolectores.</li> <li>• Perdidas económicas por sistema estratificación y tarifario del municipio.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio factibilidad de adquisición de vehículos recolectores.</li> <li>• Estudio de estratificación municipal y estudio tarifario en aplicación a estratos.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento preventivo de vehículos recolectores.</li> <li>• Socialización de estratificación y sistema tarifario.</li> <li>• Capacitación sobre presentación de residuos sólidos.</li> </ul>

Fuente: Autor, 2017.

Tabla 12. Matriz FODA componente barrido y limpieza.

<p><b>MATRIZ FODA</b> <b>Barrido y limpieza de vías y áreas públicas</b></p>	<p><b>FORTALEZAS (F)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutas para la totalidad de casco urbano.</li> <li>• Puntos ecológicos distribuidos en vías y áreas públicas del casco urbano.</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES (D)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento del 100% de barrido y limpieza en vías públicas en zonas no pavimentadas.</li> <li>• Mal estado / ausencia de puntos ecológicos.</li> <li>• Contaminación visual y generación de malos olores en zonas públicas.</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES (O)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de 100% rutas de barrido.</li> <li>• Mejorar uso de puntos ecológicos.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar sistema de barrido y limpieza.</li> <li>• Evaluar distribución y mantenimiento de puntos ecológicos.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitar operarios de barrido y limpieza para mejorar eficiencia.</li> <li>• Adquirir equipos que faciliten el sistema de barrido y limpieza.</li> <li>• Adquirir nuevos puntos ecológicos.</li> </ul>
<p><b>AMENAZAS (A)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de quejas y reclamos a la empresa prestadora del servicio por incumplimiento del servicio.</li> <li>• Aumento de exposición a sanciones por ente reglamentario por solicitudes de inconformidad con el servicio por parte de usuarios.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar rendimiento de operarios de barrido y limpieza.</li> <li>• Evaluar elementos y equipos utilizados para el servicio.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquirir equipos y personal capacitado para cumplir con el 100% de las rutas.</li> <li>• Mejorar servicio de barrido y limpieza.</li> <li>• Capacitar a la comunidad en el uso de puntos ecológicos.</li> </ul>

Fuente: Autor, 2017.

Tabla 13. Matriz FODA componente disposición final.

<p><b>MATRIZ FODA</b> <b>Disposición Final</b></p>	<p><b>FORTALEZAS (F)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal capacitado en operación del servicio.</li> <li>• Buena operación del sitio de disposición final.</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES (D)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición final sin permiso de la autoridad ambiental.</li> <li>• Falta de equipos necesarios para realizar el debido mantenimiento diario al sitio de disposición final.</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES (O)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apertura de relleno regional sanitario.</li> <li>• Adquirir equipos necesarios para mantenimiento diario de la celda.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguimiento al proceso de apertura de relleno regional sanitario.</li> <li>• Análisis de presupuesto para adquirir equipos de mantenimiento.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo para apertura de relleno regional sanitario.</li> <li>• Adquirir equipos necesarios para mantenimiento diario con administración municipal.</li> </ul>
<p><b>AMENAZAS (A)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apertura de investigaciones y procesos sancionatorios.</li> <li>• Vida útil culminada en su totalidad de la celda.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operación técnica del sitio de disposición final.</li> <li>• Preparación de respuestas técnicas para autoridad ambiental.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operación técnica del sitio de disposición final.</li> <li>• Acompañamiento en el proceso de apertura de relleno regional sanitario.</li> </ul>

Fuente: Autor, 2017.

## 7.2 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO

### 7.2.1 Generación de residuos sólidos en el área urbana.

#### ➤ Determinación del número de muestras

Para el municipio de Fortul y en uso de la metodología descrita, se tienen los siguientes datos para el área urbano, asumiendo una PPC de 1000 gr/hab-día para poder obtener la producción per cápita real, una desviación estándar de 200 y un error permisible (E) de 5%. Obteniéndose de esta manera.

$$E = 5\% * (1000 \text{ gr/hab} - \text{día})$$
$$E = 50 \text{ gr/hab} - \text{día}$$

Entonces, se obtiene el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(200 \text{ gr/hab} - \text{día})^2}{\left(\frac{(50 \text{ gr/hab} - \text{día})}{1.96}\right)^2 + \frac{(200 \text{ gr/hab} - \text{día})^2}{2208}}$$
$$n = 60$$

A continuación se obtiene el tamaño de la muestra de viviendas particulares para cada estrato. En la tabla 20. Se observa la distribución de la población por sector, la proporción del tamaño de la muestra.

Tabla 14. Distribución por sector y proporción del tamaño de la muestra zona urbana.

Sector	Viviendas	$q_h$ (%)	$n_h$
Oficial 1	17	0,77	1
Oficial 2	2	0,09	0
Oficial 3	7	0,32	0
Residencial estrato 1	1590	72,01	43
Residencial estrato 2	565	25,58	15
Residencial estrato 3	27	1,22	1
Total	2208	99,99 $\cong$ 100	$n = 60$

Fuente: Autor, 2016.

Para el área urbana se ha obtenido un tamaño de muestra de 60 de los cuales se dividen en 6 sectores: oficial 1, oficial 2, oficial 3, residencial estrato 1, residencial estrato 2 y residencial estrato 3. Determinando la cantidad de muestras en cada uno de estos estratos se obtuvo para (oficial 1) una muestra, (residencial estrato 1) 43 muestras, (residencial estrato 2) 15 muestras y (residencial estrato 3) una muestra.



Después de conocer el número de muestras a tomar, se procedió a comunicar a la comunidad de la actividad y especificar la función a efectuar de su parte, esto se hizo con apoyo de otros pasantes del área ambiental laborando en la empresa. Ver imagen 7.

Imagen 7. Comunicación a la comunidad.



Fuente: Leticia Martínez, 2016.

En la imagen 7 se evidencia la socialización a la comunidad respecto a la actividad de caracterización de los residuos sólidos municipales. En la imagen 8 se muestra la actividad de muestreo de los residuos sólidos.

Imagen 8. Toma muestras área urbana.



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

Ejecutando el muestreo en horario de recolección y transporte de residuos sólidos en horas de 7:00 a 12:00 am, se procedió a tomar el peso de los residuos generados cada día, para los 4 días que duro el muestreo en las viviendas muestreadas y la población total del área de muestreo (Ver Anexo 3), obteniendo para el área urbana los siguientes datos:

- Total Habitantes de las viviendas muestreadas: 270
- Peso día muestra 1 = 93,2 kg
- Peso día muestra 2 = 105,71 kg
- Peso día muestra 3 = 110,13 kg
- Peso día muestra 4 = 99,50 kg

Aplicando la fórmula para la determinación de la producción per cápita, se tiene la PPC.

Día 1:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{93,2 \text{ kg/día}}{270 \text{ hab}} = 0,34 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 2:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{105,71 \text{ kg/día}}{270 \text{ hab}} = 0,39 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 3:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{110,13 \text{ kg/día}}{270 \text{ hab}} = 0,41 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 4:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{99,50 \text{ kg/día}}{270 \text{ hab}} = 0,37 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Para determinar la PPC siguiendo la metodología, no se tiene en cuenta el primer día de muestreo, entonces:

Producción per cápita promedio diaria:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{(0,39 + 0,40 + 0,37) \text{ kg/hab} - \text{día}}{3}$$

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = 0,38 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

### 7.2.2 Determinación composición física de los residuos sólidos del área urbana.

Para determinar la composición física de los residuos del área urbana se determinó la cantidad total en kg por día del muestreo y se obtuvo el peso de cada tipo de residuos obtenido del cuarteo (ver imagen 9) y se procedió a calcular la composición física en % en peso por cada uno. Ver tabla 15. Obtenidos estos datos se realizó análisis grafico de la información para determinar la composición para cada uno de los estratos (Gráfica 1).

Imagen 9. Caracterización de residuos sólidos.



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

Tabla 15. Caracterización residuos sólidos urbanos ESTRATO 1.

% en peso por material	
Material	%
Cartón	7%
Plástico	3%
Aluminio	0,0%
Vidrio	3%
Orgánico	70%
Chatarra	2%
Sanitario	8%
papel	3%
Otros	4%



Fuente: Autor, 2017.

Tabla 16. Caracterización residuos sólidos urbanos ESTRATO 2.

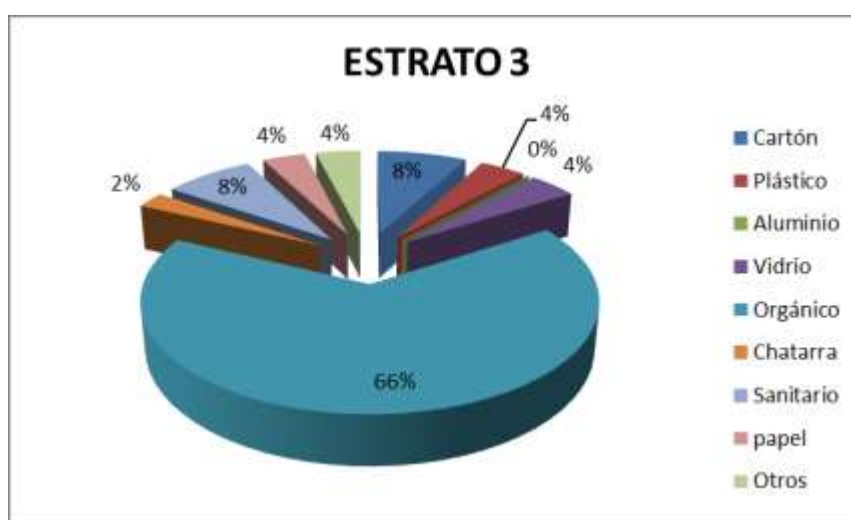
% en peso por material	
Material	%
Cartón	7%
Plástico	2%
Aluminio	0,00%
Vidrio	3%
Orgánico	72%
Chatarra	3%
Sanitario	5%
papel	4%
Otros	4%



Fuente: Autor, 2017.

Tabla 17. Caracterización residuos sólidos urbanos ESTRATO 3.

% en peso por material	
Material	%
Cartón	8%
Plástico	4%
Aluminio	0,00%
Vidrio	4%
Orgánico	66%
Chatarra	2%
Sanitario	8%
Papel	4%
Otros	4%



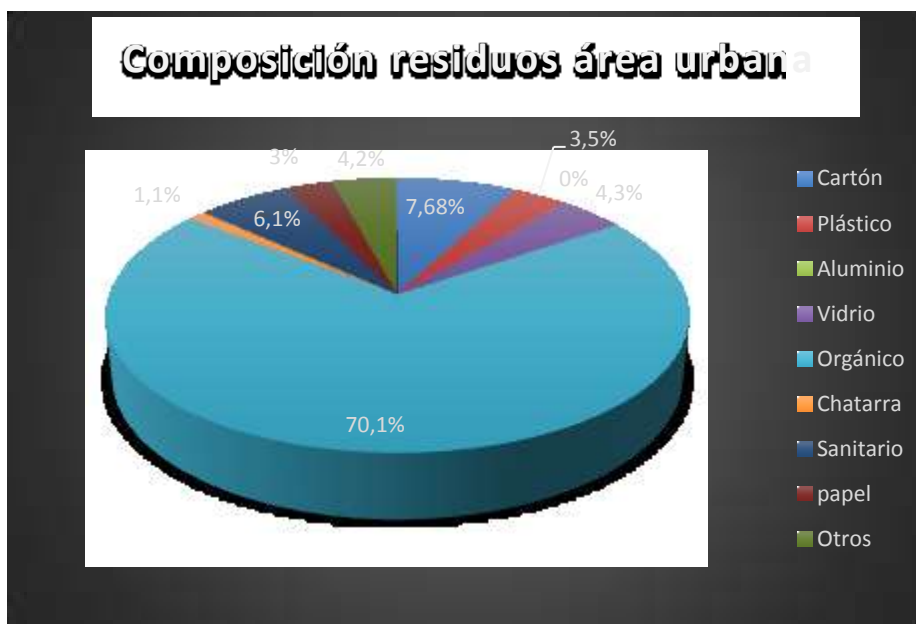
Fuente: Autor, 2017.

Tabla 18. Caracterización residuos sólidos urbanos.

% en peso por material		
Material	Peso (kg)	%
Cartón	3,84	7,68%
Plástico	1,75	3,5 %
Aluminio	0,01	0,02 %
Vidrio	2,075	4,3 %
Orgánico	35,05	70,1 %
Chatarra	0,55	1,1%
Sanitario	3,05	6,1%
papel	1,5	3%
Otros	2,1	4,2%
<b>TOTAL</b>	<b>50 kg</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autor, 2017.

Gráfica 1. Composición porcentual de residuos sólidos área urbana.



Fuente: Autor, 2017.

Según la gráfica anterior se tiene que en el área urbana, se observa que el 70,10% de los residuos generados que llegan al sitio de disposición final son orgánicos siendo estos los mayormente producidos en el sector, seguidamente el material cartón con una composición del 7,68% y observando que el aluminio es el residuo que menor llega a la fuente de disposición final con un porcentaje de 0,02% del total de residuos.

### 7.2.3 Generación de residuos sólidos en el área rural.

#### ➤ Generación de residuos sólidos centro poblado Nuevo Caranal.

- **Determinación del número de muestras:**

Para el sector rural y en uso de la metodología descrita, se tienen los siguientes datos para el centro poblado Nuevo Caranal, asumiendo una PPC de 1000 gr/hab-día para poder obtener la producción per cápita real, una desviación estándar de 200 y un error permisible (E) de 5%. Obteniéndose de esta manera.

$$E = 5\% * (1000 \text{ gr/hab} - \text{dia})$$

$$E = 50 \text{ gr/hab} - \text{dia}$$

Entonces, se obtiene el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(200 \text{ gr/hab} - \text{dia})^2}{\left(\frac{(50 \text{ gr/hab} - \text{dia})^2}{1.96}\right) + \frac{(200 \text{ gr/hab} - \text{dia})^2}{384}}$$

$$n = 53$$

A continuación se obtiene el tamaño de la muestra de viviendas particulares para cada estrato. En la tabla 22. Se observa la distribución de la población por sector, la proporción del tamaño de la muestra.

Tabla 19. Distribución por sector y proporción del tamaño de la muestra vereda Nuevo Caranal.

Sector	Viviendas	$q_h$ (%)	$n_h$
Oficial	1	0,26	1
Residencial estrato 1	383	99,7	52
Total	384	99,96 $\cong$ 100	$n = 53$

Fuente: Autor, 2016.

Para la vereda nuevo caranal se ha obtenido un tamaño de muestra de 53 de los cuales se dividen en 2 sectores: oficial y residencial estrato 1, teniendo para el sector oficial 1 muestra y para el estrato 1 un total de 52. En la imagen 12 se evidencia la toma de muestras efectuadas.

Imagen 10. Toma de muestras residuos centro poblano Nuevo Caranal.



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

Ejecutando el muestreo en horario de recolección y transporte de residuos sólidos en el centro poblado Nuevo Caranal en horas de 6:00 a 9:00 am, se procedió a tomar el peso de los residuos generados cada día para los 4 días que duro el muestreo en las viviendas muestreadas y la población total del área de muestreo (Ver Anexo 3), obteniendo para el centro poblado Nuevo Caranal los siguientes datos:

- Habitantes de las viviendas muestreadas: 266
- Peso día muestra 1 = 94 kg
- Peso día muestra 2 = 104,26 kg
- Peso día muestra 3 = 120,23 kg
- Peso día muestra 4 = 94,50 kg

Aplicando la fórmula para la determinación de la producción per cápita, se tiene la PPC.

Día 1:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{94 \text{ kg/día}}{266 \text{ hab}} = 0,35 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 2:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{104,26 \text{ kg/día}}{266 \text{ hab}} = 0,39 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 3:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{120,23 \text{ kg/día}}{266 \text{ hab}} = 0,45 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 4:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{94,50 \text{ kg/día}}{266 \text{ hab}} = 0,35 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Para determinar la PPC siguiendo la metodología, no se tiene en cuenta el primer día de muestreo, entonces:

Producción per cápita promedio diaria:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{(0,39 + 0,45 + 0,35) \text{ kg/hab} - \text{día}}{3}$$

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = 0,40 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

➤ **Generación de residuos sólidos centro poblado Palmarito.**



- **Determinación del número de muestras:**

Para el sector rural y en uso de la metodología descrita, se tienen los siguientes datos para el centro poblado Palmarito, asumiendo una PPC de 1000 gr/hab-día para poder obtener la producción per cápita real, una desviación estándar de 200 y un error permisible (E) de 5%. Obteniéndose de esta manera.

$$E = 5\% * (1000 \text{ gr/hab} - \text{día})$$

$$E = 50 \text{ gr/hab} - \text{día}$$

Entonces, se obtiene el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(200 \text{ gr/hab} - \text{día})^2}{\left(\frac{(50 \text{ gr/hab} - \text{día})^2}{1.96}\right) + \frac{(200 \text{ gr/hab} - \text{día})^2}{76}}$$

$$n = 34$$

A continuación se obtiene el tamaño de la muestra de viviendas particulares para cada estrato. En la tabla 23, se observa la distribución de la población por sector, la proporción del tamaño de la muestra.

Tabla 20. Distribución por sector y proporción del tamaño de la muestra vereda Palmarito.

Sector	Viviendas	$q_h$ (%)	$n_h$
Oficial	1	1,31	1
Residencial estrato 1	75	98,6	33
Total	76	99,91 $\cong$ 100	$n = 34$

Fuente: Autor, 2016.

Para la vereda Palmarito se ha obtenido un tamaño de muestra de 34 de los cuales se dividen en 2 sectores: oficial y residencial estrato uno, teniendo para el sector oficial 1 muestra y para el estrato uno un tamaño de 33 muestras. En la imagen 11 se evidencia la toma de muestras efectuadas.

Ejecutando el muestreo en horario de recolección y transporte de residuos sólidos en el centro poblado Palmarito en horas de 9:00-10:00 am, se procedió a tomar el peso de los residuos generados cada día para los 4 días que duró el muestreo en las viviendas muestreadas y la población total del área de muestreo (Ver Anexo 3), el día de recolección de los residuos es la misma ruta que para el centro poblado nuevo palmarito lo siguientes datos:

Imagen 11. Toma de muestras residuos centro poblano Nuevo Caranal



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

- Habitantes de las viviendas muestreadas: 112
- Peso día muestra 1 = 48,1 kg
- Peso día muestra 2 = 43,5 kg
- Peso día muestra 3 = 39,8 kg
- Peso día muestra 4 = 44,3 kg

Aplicando la fórmula para la determinación de la producción per cápita, se tiene la PPC.

Día 1:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{48,1 \text{ kg/día}}{112 \text{ hab}} = 0,43 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 2:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{43,5 \text{ kg/día}}{112 \text{ hab}} = 0,38 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 3:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{39,8 \text{ kg/día}}{112 \text{ hab}} = 0,35 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Día 4:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{44,3 \text{ kg/día}}{112 \text{ hab}} = 0,39 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

Para determinar la PPC siguiendo la metodología, no se tiene en cuenta el primer día de muestreo, entonces:

Producción per cápita promedio diaria:

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{(0,38 + 0,35 + 0,39) \text{ kg/hab} - \text{dia}}{3}$$

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = 0,37 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

A partir de estos datos de PPC para cada centro poblado y el área urbana se obtiene una producción per cápita promedio diaria para el municipio de Fortul.

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = \frac{(0,38 + 0,40 + 0,37) \text{ kg/hab} - \text{dia}}{3}$$

$$\text{Generación per cápita de residuos(gpc)} = 0,38 \text{ kg/hab} - \text{día}$$

#### **7.2.4 Determinación composición física de los residuos sólidos del área rural.**

Para determinar la composición física de los residuos del área rural se determinó la cantidad total en kg por día del muestreo y se obtuvo el peso de cada tipo de residuos obtenido del cuarteo realizado en el sitio de disposición final (ver imagen 12) y seguidamente se procedió a calcular la composición física en % en peso por cada uno, esto con las muestras trabajadas. Ver tabla 21.

Imagen 12. Caracterización de residuos sólidos área rural.



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

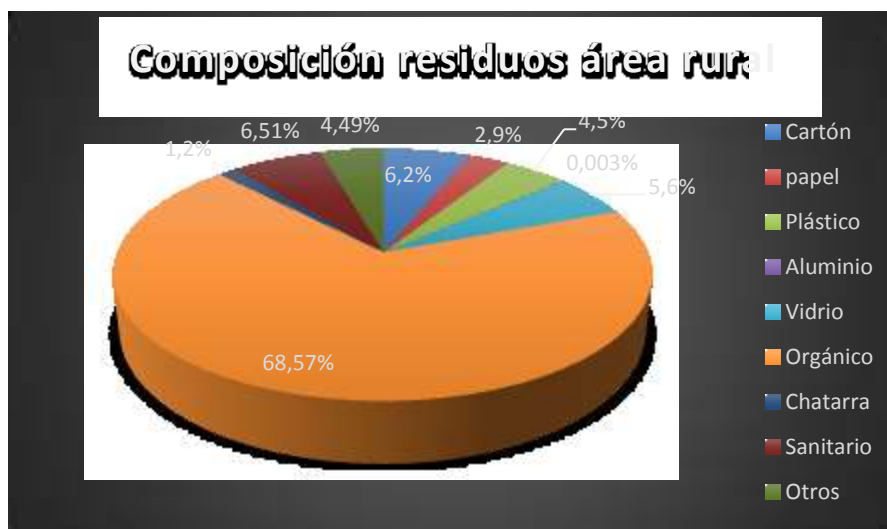
Tabla 21. Caracterización residuos sólidos rurales.

% en peso por material	
Cartón	6,2%
papel	2,9
Plástico	4,5 %
Aluminio	0,03 %
Vidrio	5,6 %
Orgánico	68,57 %
Chatarra	1,2%
Sanitario	6,51%
Otros	4,49%

Fuente: Autor, 2017.

Llevando los datos de la tabla anterior a un diagrama de torta se identifica la distribución porcentual de cada tipo de material para el sector rural tomado a partir de los centros poblados de muestreo Caranal y Palmarito, de allí se conoce cuál de estos residuos es mayormente generado por las actividades diarias del sector rural (Grafica 2).

Gráfica 2. Composición porcentual residuos sólidos área rural.



Fuente: Autor, 2017.

Según la gráfica anterior se tiene que para el área rural comprendida en el centro poblado Nuevo Caranal y Palmarito ya que el servicio de recolección y transporte es efectuado por la misma ruta, se observa que el 68,57% de los residuos generados que llegan al sitio de disposición final son orgánicos siendo estos los más producidos en el sector, seguidamente el material sanitario con una composición del 6,51% y observando que el aluminio es el residuo que menor llega a disposición final con un porcentaje de 0,03% del total de residuos.

A partir de estos datos de composición porcentual del área rural y área urbana se obtiene la composición porcentual promedio para el municipio de Fortul. (Ver tabla 22)

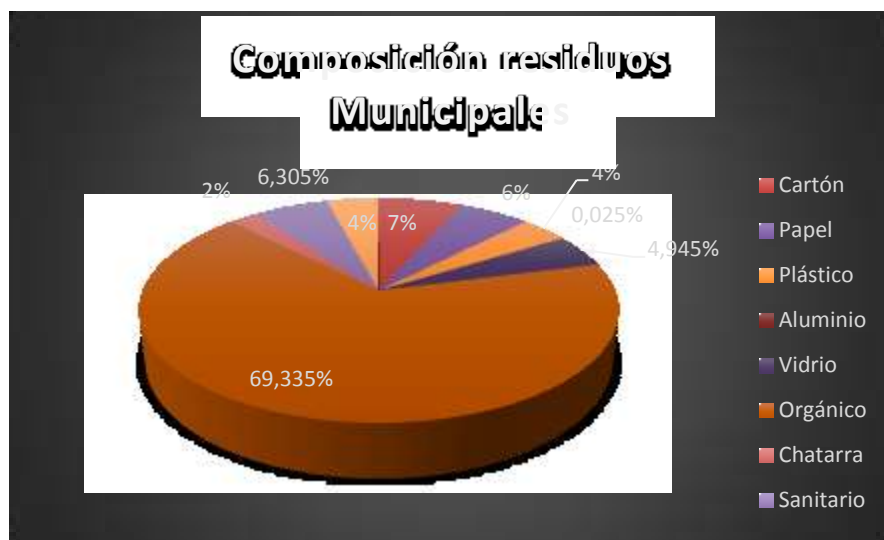
Tabla 22. Composición porcentual residuos sólidos del municipio.

Composición porcentual promedio del municipio			
Material	% rural	% urbana	%
Cartón	6,2	7,68	6,94
Papel	2,9	3	5,9
Plástico	4,5	3,5	4
Aluminio	0,03	0,02	0,025
Vidrio	5,6	4,3	4,945
Orgánico	68,57	70,1	69,335
Chatarra	1,2	1,1	2,3
Sanitario	6,51	6,1	6,305
Otros	4,49	4,2	4,345

Fuente: Autor, 2017.

Obtenida la composición porcentual del municipio de Fortul, se hace un análisis grafico (Gráfica 3) de esta información.

Gráfica 3. Composición física residuos sólidos Municipio de Fortul.



Fuente: Autor, 2017.

De la gráfica anterior se obtuvo que en el área rural el 69,335 % de residuos generados son de carácter de alta biodegradación y el 0,025% es material de aluminio.

### 7.2.5 Peso específico de los residuos sólidos.

Para determinar el peso específico de los residuos sólidos aprovechables que llegan al sitio de disposición final se ha utilizado un recipiente práctico, se destaca que la empresa no cuenta con recipientes de mayor capacidad actualmente. (Imagen 13), de lo cual se obtiene el volumen de los materiales. En la tabla 23 se dan a conocer las características físicas del recipiente utilizado para determinar el volumen de los residuos sólidos del municipio.

Tabla 23. Volumen residuos sólidos.

Vol. Residuos orgánicos		
Diámetro	39 cm	0,39 m
Altura	46 cm	0,46 m
Volumen	5,4951 cm <sup>3</sup>	≅ 0,055 m <sup>3</sup>

Fuente: Autor, 2016.

Imagen 13. Determinación del peso del recipiente.



Fuente: Luis Antonio Parra, 2016.

➤ **Volumen de la basura:  $0,055m^3$**

Teniendo el recipiente y determinando el volumen de los residuos se comprueba el peso de estos (Imagen 14) para determinar el peso específico de todos los materiales a aprovechar como lo son el cartón, plástico, vidrio, aluminio, chatarra y demás.

Imagen 14. Pesaje de residuos sólidos.



Fuente: Autor, 2016.

Obtenido el peso de los residuos sólidos y el volumen de los mismos se calcula el peso específico de los materiales en  $kg/m^3$  de estos como característica física, ver tabla 24.

Tabla 24. Peso de aprovechables.

Características físicas	
Peso del plástico (Kg)	3,42
Peso del cartón(kg)	3,5
Peso del vidrio (kg)	9,96
Peso del papel (kg)	4,51
Peso de orgánicos (kg)	16,39

Fuente: Autor, 2017.

Determinando las características físicas como volumen de la basura:  $0,055m^3$  y peso de los residuos sólidos del municipio de Fortul, se determina el peso específico que poseen estos:

$$\text{Peso específico plástico} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{3,42(kg)}{0,055(m^3)} = 62,2$$

$$\text{Peso específico cartón} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{3,5(kg)}{0,055(m^3)} = 63,6$$

$$\text{Peso específico vidrio} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{9,96(kg)}{0,055(m^3)} = 181,1$$

$$\text{Peso específico papel} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{4,51(kg)}{0,055(m^3)} = 82$$

$$\text{Peso específico orgánicos} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{16,39(kg)}{0,055(m^3)} = 298$$

Los datos obtenidos aplican para el proyecto ya que estos se ajustan dentro del rango de peso específico de residuos no compactados, mostrados en la fuente Tchobanoglous G, Theisen H; Vigil S., Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol.I, mostrados en la tabla 4.

Los materiales como el aluminio y la chatarra no son determinados teniendo en cuenta que son despreciables las cantidades que llegan al sitio de disposición final, por lo general las personas almacenan estos residuos en sus hogares para luego ser vendidos directamente, beneficiándose económicamente de estos materiales.



### 7.3 CRITERIOS DE INGENIERIA

Para la ejecución de un 100 % de aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el municipio se hace necesaria la implementación de rutas selectivas para el servicio de aseo, sin embargo, se debe llevar a cabo una separación en el sitio de disposición para el proceso de aprovechamiento.

Las funciones del sistema de aprovechamiento de manera general son:

- Recolección y transporte de residuos sólidos aprovechables.
- Separación de estos residuos.
- Almacenamiento de residuos como materia prima.
- Procesamiento de los residuos.
- Almacenamiento de productos.
- Reintegración al ciclo económico de los residuos sólidos.

Además recordemos que los propósitos del aprovechamiento según el Título F de la RAS 2012

- Racionalizar el uso y consumo de materias primas que provengan de recursos naturales no renovables.
- Recuperar valores económicos y que hayan sido utilizados en diferentes procesos productivos.
- Disminuir los impactos ambientales, entre otros.

Este reglamento define como formas de aprovechamiento:

- La reutilización.
- El reciclaje residuos inorgánicos y
- Los tratamientos para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de valorización agronómica o valorización energética. (Título F, RAS 2012)

Y además establece las formas de valorización:

- Lavado,
- Triturado,
- Granulado (peletizado),
- Compactación,
- Aglomerado, entre otras técnicas.

De igual forma este reglamento establece las características de los residuos sólidos para el aprovechamiento, los cuales deben estar limpios y debidamente separados por tipo de material, en el caso de los residuos con alta tasa de

biodegradación no deben estar contaminados con residuos peligrosos, ni metales pesados. (Título F, RAS 2012)

Para el respectivo proceso de recolección, transporte, disposición y aprovechamiento de residuos aprovechables se efectuara una ruta de recolección de material aprovechable no orgánico para el sector urbano y una ruta para el sector rural para un total de 1 día de recolección para cada sector; por su parte el material orgánico será recogido 2 veces a la semana para ambos sectores.

### **7.3.1 Definir protocolo de actividades para implementar un efectivo programa de del sistema de aprovechamiento**

- Se ejecutarán estrategias EIC en la comunidad sobre la correcta separación en la fuente de los residuos sólidos
- Para recolectar los residuos sólidos aprovechables se implementarán rutas selectivas.
- Los usuarios del servicio de aseo deberán presentar los residuos sólidos separados en la fuente.
- Los residuos sólidos serán sacados el día de en que pase la ruta por la residencia de los usuarios.
- Los residuos no serán sacados en horarios no establecidos dentro de la ruta.
- La persona que arroje residuos sólidos en áreas públicas le será allegada su notificación de comparendo ambiental.
- La disposición de los residuos se hará en la acera y/o frente de la fuente generadora.
- El aprovechamiento de material orgánico será aprovechado a través de un proceso de lombricompost y/o compostaje.
- El aprovechamiento de materiales reciclables (papel, plástico, vidrio, cartón, chatarra y aluminio) serán tratados y/o aprovechados con dependencia a su factor de generación.
- Las materias primas obtenidas, serán comercializadas en vehículos sin implicaciones para ejecutar su transporte.

## 8 DISEÑOS

Para el diseño de los procesos se tiene en cuenta la población para a la cual se le brinda el servicio de aseo y de esta manera utilizar los materiales aprovechables.

### 8.1 PRINCIPIOS DE DISEÑO

La disposición del área de aprovechamiento puede mejorar la eficiencia de la planta de aprovechamiento insentivando en la mejora total del reciclaje y preparando la capacidad de operación del personal. Este sistema trabajara para cumplir necesidad básicas de saludbridad.

- Altos niveles de seguridad y salud en el trabajo.
- Cumplimiento con normativas ambientales al caso.
- Calidad de operación, mejorando la eficiencia de todo el sistema.
- Maximizar el uso eficiente del área.

La Ras 2012 establece los siguientes principios a la hora de diseñar una planta de aprovechamiento:

- Debe contar con un área mínima de recepción de residuos.
- Tener buenas vías de acceso, con poco tránsito vehicular.
- Contar con un buen sistema de ventilación e iluminación.
- Debe contar con las siguientes áreas de operación: pesaje, recepción, selección y clasificación, procesos para materiales aprovechables, procesos para materiales de rápida biodegradación, bodega o almacenamiento de materia prima y de productos procesados o reciclados.
- Dependiendo de la población, se recomienda para el diseño de las instalaciones de aprovechamiento, la mecanización así:
  - Menor o igual a 3,000 usuarios: Manual. No se requiere equipo mecanizado con uso de energía.
  - De 3,001 a 8,000 usuarios: Semi-mecanizado. Se requieren bandas transportadoras de separación, embaladoras mecánicas, equipos de fraccionamiento y sistemas de oxigenación dinámica o estática para los procesos de aprovechamiento de fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables.
  - Mayor a 8.001 usuarios: Mecanización. Aplica para todos los procesos. (Título F, RAS 2012)

Algunos de los inconvenientes presentados para dicho proyecto son los escasos recursos físicos y monetarios para la proyección del sistema, sin embargo se hace

la proposición del área requerida para cumplir con las necesidades básicas de seguridad y salud a los operadores y a su vez en cumplimiento ambiental.

### **8.1.1 Acceso.**

El acceso al sistema de aprovechamiento se hace por la vía principal rural que conduce al lugar, el área dispuesta cuenta con dimensiones adecuadas para permitir el tránsito de los vehículos dentro de la planta.

En la entrada de la planta se recomienda la instalación de una balanza de estructura mecánica y eléctrica, con un sensor digital, es fácil de instalar y realizar el mantenimiento con capacidad de 50 toneladas, dimensiones de 15 m por 3 m de largo y ancho respectivamente para efectuar el pesado de los camiones al ingresar a la planta de aprovechamiento de residuos sólidos.

### **8.1.2 Tráfico.**

El tráfico para llegar al sistema se encuentra como única vía secundaria, en estado destapado y poco transitada. El tránsito al interior del sistema posee espacio para evitar el retardo en los procesos y accidentes dentro del área de trabajo.

### **8.1.3 Ventilación e iluminación.**

La iluminación del sistema en general será natural en aprovechamiento de la luz solar, los sitios de procesos y almacenamiento contarán con energía eléctrica para suministrar la luz en horas donde sean necesarios. El sistema de ventilación será ejecutado por el uso de espacios (ventanas) amplios en todos los procesos logrando con esto la eliminación o reducción de vectores.

## **8.2 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD PARA PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO**

Los pasos a considerar para desarrollar el diseño están contemplados en la sección 1 y 5 del Título F de la RAS 2012, en la primera sección establece el procedimiento particular de diseño de sistemas de aseo urbano, estos pasos son:

- Definir el nivel de complejidad
- Estimación de la población
- Establecer la producción per cápita
- Caracterización de residuos sólidos (Ver Capítulo 7: Resultados)
- Estimar Peso Específico y densidades (Ver Capítulo 7: Resultados)

### 8.2.1 Nivel de Complejidad

Para la determinación del nivel de complejidad de un proyecto de aprovechamiento de los residuos sólidos en Colombia se toma como base lo señalado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS-2000, en este caso se establece cuatro niveles:

- Bajo
- Medio
- Medio Alto
- Alto

Para efecto cumplimiento el nivel de complejidad del municipio de Fortul se tiene que es **MEDIO-ALTO**, teniendo estudios previos de la población. (PLANMA, 2015)

### 8.2.2 Población

Para realizar la proyección de población se tuvo en cuenta los datos poblacionales de los últimos censos según fuente Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE, y el Método Geométrico (MG), propuesto para este nivel de complejidad según Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en el numeral F.2 del RAS 2012. Las variables para la proyección de población se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Variables proyección de población.

CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN	RURAL	URBANA	TOTAL
<b>Puc</b>	Población de Último censo	11842	10009	21851
<b>Tuc</b>	Año último censo	2005	2005	2005
<b>Pci</b>	Población censo inicial	9508	2587	12095
<b>Tci</b>	Año censo inicial	1993	1993	1993
<b>Tf</b>	Año de la proyección	2017	2017	2017
<b>Pf</b>	Población final	20467	17299	37766
<b>r</b>	Tasa de crecimiento anual	0,051		

Fuente: Autor, 2017.

La proyección de la población se realizó para un periodo de diseño de 15 años, en la siguiente tabla se muestra la proyección a servir (Tabla 26).

Tabla 26. Proyección de población.

<b>AÑO PROYECTADO</b>	<b>POBLACIÓN URBANA</b>	<b>POBLACIÓN RURAL</b>	<b>POBLACIÓN TOTAL</b>
2017	17299	20467	37766
2018	22608	21511	44119
2019	23761	22608	46369
2020	24973	23761	48734
2021	26246	24973	51219
2022	27585	26246	53831
2023	28992	27585	56577
2024	30470	28992	59462
2025	32024	30470	62494
2026	33657	32024	65682
2027	35374	33657	69031
2028	37178	35374	72552
2029	39074	37178	76252
2030	41067	39074	80141
2031	43161	41067	84228
2032	45363	43161	88524

Fuente: Autor, 2017.

Teniendo en cuenta esta proyección se determina para el Municipio de Fortul y su nivel de complejidad medio - alto una población proyectada para el año 2032 de 88524 habitantes en conjunto área rural y urbana.

### **8.2.3 Proyección de la Producción Pér Capita**

El índice de producción pér capita calculado (PPC) para el municipio de Fortul se encuentra dentro del valor promedio establecido en la tabla F.1.1 Valores indicativos para municipios colombianos del Ras 2012, 0,53 kg/hab-día.

A continuación se proyectara la PPC para la población urbana y rural del municipio con una tasa de crecimiento anual supuesta del 1.0%, esta tasa de crecimiento fue tomada del documento Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Fortul. Ver tabla 27

Tabla 27. Proyección de la PPC

<b>AÑO PROYECTADO</b>	<b>PPC (Kg/Hab-día)</b>
2017	0,380
2018	0,384
2019	0,388
2020	0,392
2021	0,395
2022	0,399
2023	0,403
2024	0,407
2025	0,411
2026	0,416
2027	0,420
2028	0,424
2029	0,428
2030	0,432
2031	0,437
2032	0,441

Fuente: Autor, 2017

#### 8.2.4 Proyección de generación de residuos sólidos Municipio de Fortul.

Conociendo la población y producción per cápita para un periodo de 15 años, se proyecta la cantidad de residuos sólidos al día, semana, mes y año que generara la comunidad, Ver tabla 28.

Tabla 28. Proyección de residuos sólidos.

<b>AÑO</b>	<b>PPC (Kg/Hab-día)</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>RESIDUOS SÓLIDOS</b>				
			<b>Kg/Día</b>	<b>Ton/Día</b>	<b>Ton/Semana</b>	<b>Ton/Mes</b>	<b>Ton/Año</b>
2017	0,380	37766	14351,08	14,35	100,46	430,53	5166,39
2018	0,384	44119	16932,75	16,93	118,53	507,98	6095,79
2019	0,388	46369	17974,29	17,97	125,82	539,23	6470,74
2020	0,392	48734	19079,88	19,08	133,56	572,40	6868,76
2021	0,395	51219	20253,49	20,25	141,77	607,60	7291,26

2022	0,399	53831	21499,28	21,50	150,49	644,98	7739,74
2023	0,403	56577	22821,70	22,82	159,75	684,65	8215,81
2024	0,407	59462	24225,46	24,23	169,58	726,76	8721,17
2025	0,411	62494	25715,57	25,72	180,01	771,47	9257,61
2026	0,416	65682	27297,34	27,30	191,08	818,92	9827,04
2027	0,420	69031	28976,39	28,98	202,83	869,29	10431,50
2028	0,424	72552	30758,73	30,76	215,31	922,76	11073,14
2029	0,428	76252	32650,70	32,65	228,55	979,52	11754,25
2030	0,432	80141	34659,05	34,66	242,61	1039,77	12477,26
2031	0,437	84228	36790,92	36,79	257,54	1103,73	13244,73
2032	0,441	88524	39053,93	39,05	273,38	1171,62	14059,42

Fuente: Autor, 2017.

➤ **Proyección por tipo de residuos sólidos**

Teniendo el porcentaje de residuos sólidos y la cantidad de los mismos de manera general se hace una proyección hasta el año 2032 de la cantidad de material generado en el casco urbano en Toneladas a la al día, ver tabla 29.

Tabla 29. Proyección de residuos sólidos del municipio.

AÑO	TON/DIA								
	Cartón 6,94%	Plástico 4%	Aluminio 0,025%	Vidrio 4,95%	Orgánico 69,335%	Papel 5,9%	Chatarra 2,3%	Sanitario 6,305%	Otros 4,345%
2017	0,996	0,574	0,004	0,710	9,950	0,847	0,330	0,905	0,624
2018	1,175	0,677	0,004	0,838	11,740	0,999	0,389	1,068	0,736
2019	1,247	0,719	0,004	0,890	12,462	1,060	0,413	1,133	0,781
2020	1,324	0,763	0,005	0,944	13,229	1,126	0,439	1,203	0,829
2021	1,406	0,810	0,005	1,003	14,043	1,195	0,466	1,277	0,880
2022	1,492	0,860	0,005	1,064	14,907	1,268	0,494	1,356	0,934
2023	1,584	0,913	0,006	1,130	15,823	1,346	0,525	1,439	0,992
2024	1,681	0,969	0,006	1,199	16,797	1,429	0,557	1,527	1,053
2025	1,785	1,029	0,006	1,273	17,830	1,517	0,591	1,621	1,117
2026	1,894	1,092	0,007	1,351	18,927	1,611	0,628	1,721	1,186



AÑO	TON/DIA								
	Cartón 6,94%	Plástico 4%	Aluminio 0,025%	Vidrio 4,95%	Orgánico 69,335%	Papel 5,9%	Chatarra 2,3%	Sanitario 6,305%	Otros 4,345%
2027	2,011	1,159	0,007	1,434	20,091	1,710	0,666	1,827	1,259
2028	2,135	1,230	0,008	1,523	21,327	1,815	0,707	1,939	1,336
2029	2,266	1,306	0,008	1,616	22,638	1,926	0,751	2,059	1,419
2030	2,405	1,386	0,009	1,716	24,031	2,045	0,797	2,185	1,506
2031	2,553	1,472	0,009	1,821	25,509	2,171	0,846	2,320	1,599
2032	2,710	1,562	0,010	1,933	27,078	2,304	0,898	2,462	1,697

Fuente: Autor, 2017.

### 8.3 DISEÑO DE PROCESOS PARA EL APROVECHAMIENTO

En la sección 5 del reglamento RAS 2012, se clasifican las opciones para la gestión de residuos aprovechables de acuerdo con el tipo de residuo y su viabilidad técnica (Ilustración 6). Considerando tanto las especificaciones del RAS y las guías del ministerio de ambiente se definieron los procesos viables para el municipio de Fortul.

Ilustración 6. Alternativas para la gestión integrada de residuos sólidos.

REDUCCIÓN EN EL ORIGEN	RESIDUOS	ALTERNATIVAS DE GESTIÓN					
		Fracciones	Valorización económica Compostaje aerobico, Compostaje anaerobico.	Valorización energética: Incineración, Pirólisis / Termólisis, Gasificación.	Reutilización/ Reciclaje	Procesos de transformación química	Disposición final controlada
	Residuos orgánicos crudos, residuos de poda,, corte de césped y jardinería.	Residuos orgánicos frescos		(*)		2	3
		Residuos organicos con proceso de coción	2			1	3
		Estiércoles	2	(*)		1	3
		residuos de cosecha	1	2		3	4
	productos de papel y productos de carton	papel y carton		2 (**)	1		3
	plasticos (***)	1. PET: Tereftalato de polietileno		3	1	2	4
		2. PEBD: Polietileno de alta densidad.				2	1
		3. PVC: Cloruro de polivinilo (rígido y flexible)		2	1	3	4
		4. PEBD: Polietileno de baja densidad			1		2
		5. PP: Polipropileno					1
		6. PS: Poliestireno					1
		7. Otros: PC: Policarbonatos, Polinitrilos, PA: Poliamidas, Acetales, Nylon, Poliuretano.)				1	
	Textiles	Fibras Animales, vegetales y sintéticas			1		2
	Metales ferrosos, compuestos de aluminio y otros metales no ferrosos	Recipientes de Aluminio, Materiales metálicos con Zinc, Cobre, Bronce, Hierro, Acero, Metales Preciosos, etc.			1		2
	Vidrio	Colores Ámbar, Verde y Traslúcido			1		2
	otros	Madera aglomerada y tratada		2		1	3
		Caucho natural y sintético (goma)			1	2	3
Cuero			2(+++)			1	
Cenizas de Procesos de Combustión				2		1	
Residuos de construcción y demolición (Escombros)		NA			1		2
Huesos						1	2
	Cerámicas, colillas, etc.					1	

Fuente: Ras 2012, sección 5.

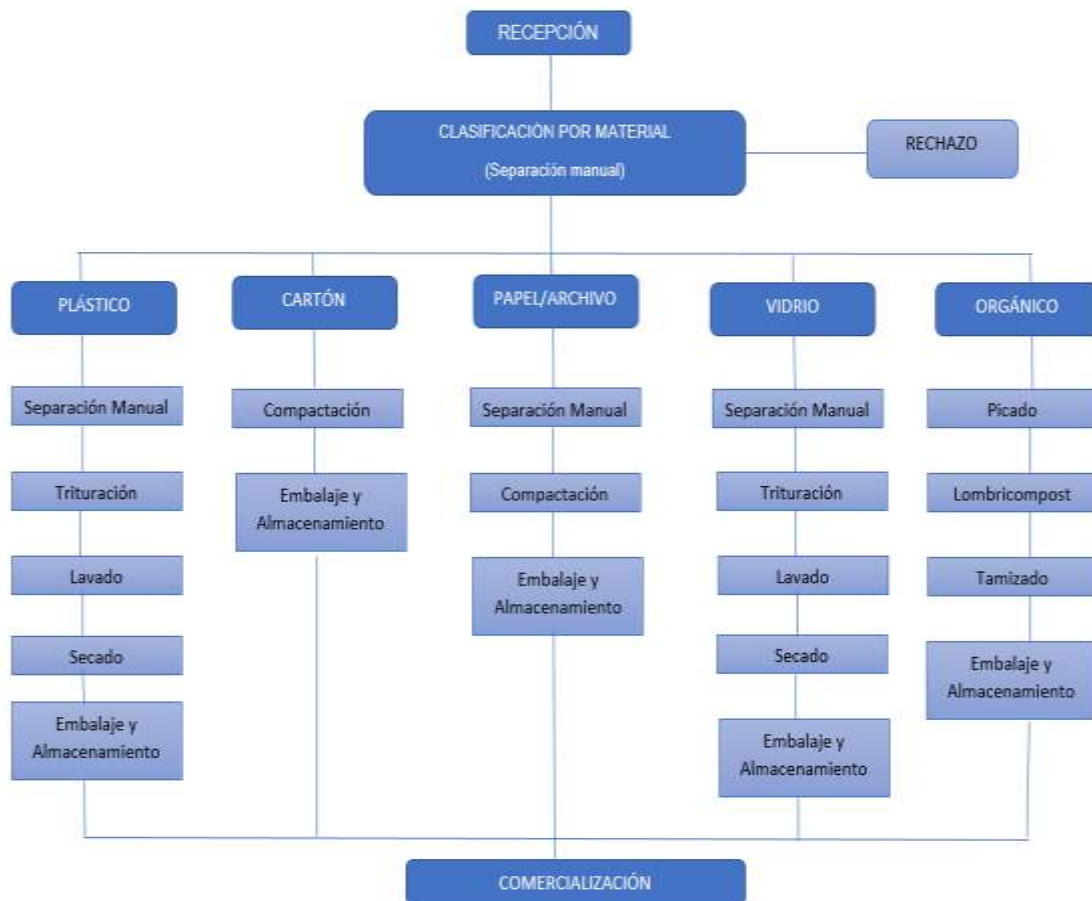
Orden de elegibilidad para priorizar la gestión: 1 es la alternativa más adecuada según el tipo de residuos. La disposición final es la opción técnica más viable para las fracciones no aprovechables.

Convenciones:

- (\*): Requiere deshidratación previa y depende del poder calorífico.
- (\*\*): Depende del contenido de Cloro y composición de las tintas.
- (\*\*\*): Depende del tipo de monómero y contenidos de halógenos.
- (+++): Condicionado a los sistemas de control de emisiones.

Según la tabla anterior se determina la alternativa apropiada para el sistema de aprovechamiento del municipio de Fortul, tomando la alternativa de reciclaje para los materiales como papel, cartón, plástico y vidrio. El material orgánico será aprovechado en proceso de Lombricompost. En la ilustración 7 se muestra el diseño de los procesos a ejecutar.

Ilustración 7. Proceso de aprovechamiento de residuos sólidos.



Fuente: Autor, 2017.

El proceso conjunto del sistema da inicio desde el uso de las rutas selectivas donde se hace la recolección y el transporte hacia la planta de aprovechamiento. Seguidamente se hace la recepción de los materiales y se dispone de los operarios para realizar el proceso de separación de los materiales y llevar a cabo cada uno efectivamente. El material no aprovechable que llegue a la planta será rechazado y devuelto para disposición su final adecuada

## **8.4 Equipos para ejecutar los procesos**

### **8.4.1 Recepción.**

Este proceso viene dado al inicio de la planta, se recomienda adquirir para la recepción una tolva con banda transportadora que ayudan a ejecutar con mayor eficiencia el trabajo. La banda transportadora y tolva posee una longitud de 6 m y la banda posee un ancho de 0,45 m. la marca de este equipo es Fabric Bloq. Ver imagen (15).

Imagen 15. Banda transportadora y tolva fabric bloq.



Fuente: fabricbloq, 2017.

### 8.4.2 Transporte.

Toda vez que el material se encuentre ya separado se conducirá hacia el lugar de preparación de la materia orgánica y el restante será llevado al área de almacenamiento, como sugerencia por la cantidad de residuos se sugiere realizar esta actividad a través de un vehículo transportador con características como las del vehículo dispuesto en la siguiente tabla. (Ver tabla 30)

Tabla 30. Características equipo de transporte.

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO	
Nombre del equipo	Minicargadores JCB 190
	
Fuerza de arranque del balde	2149 Kg (4718 lb)
Fuerza elevación del cargador	1570 Kg (3461 lb)
Carga del vuelco	1723 Kg (3800 lb)
Ancho	1,5 m
Largo	2 m

Fuente: JCB 190, JCBPRODUCTOS, 2016.

### 8.4.3 Tamizado.

El abono extraído del proceso de Lombricultura y debe ser cernido mecánicamente para obtener un producto de mejor calidad. A continuación, se muestra el equipo que se sugiere utilizar para ejecutar esta actividad. Ver tabla 31.

Tabla 31. Características físicas Tamizadora Velopen.

Características Tamizadora	
Nombre	Cernidora Velopen con embudo de alimentación

	
Alto	1,12 m
Largo	2 m
Ancho	0,85 m

Fuente: mavi maquinas vibradoras.

Las Tamizadoras Vibratorias VELOPEN son usadas para la clasificación de productos en hasta 4 fracciones, utilizándose pantallas de diferentes mallas o chapas perforadas de diferentes aberturas. Pueden variarse las mallas o agujeros entre 0,15 y 75mm.

#### 8.4.4 Trituración.

Se sugiere adquirir una maquina trituradora para este proceso con las características dispuesta en la Tabla 32, en cumplimiento con la reducción del volumen para almacenamiento y transporte del material ya procesado.

Tabla 32. Características físicas trituradoras.

Características físicas Triturador	
Nombre	ZSS Triturador para usos varios
	
Largo	1,94 (m)

Ancho	2,085 (m)
Alto	2,435 (m)

Fuente: Amis reciclyn tecnologia

#### 8.4.5 Compactación.

La compactación se llevará a cabo mecánicamente por un equipo especializado, a continuación, se sugiere este equipo con las características dispuestas en la siguiente tabla, (Tabla 33), utilizado para la reducción del material evitando así la sobre carga en el área de almacenamiento.

Tabla 33. Características de la maquina compactadora.

Características del equipo	
Nombre	Compactadora V-60
	
Fuerza de compactación	5 Ton
Motor	7.5 hp
Dimensiones de la paca	
Largo	1 m
Ancho	0,8 m
Alto	1 m
Peso de paca	300-400 kg

Fuente: Montequipo, 2016.

## 8.5 DISPOSICIÓN DE ESPACIOS

La disposición de espacios tiene cubrimiento para los procesos de aprovechamiento de aquellos residuos sólidos provenientes del área meramente urbana, ya que a largo plazo el municipio proyecta la creación y funcionamiento de estaciones de aprovechamiento para el área rural, ya que estas comunidades realizan un aprovechamiento en la fuente.

### 8.5.1 Espacio proceso de Lombricultura

El espacio a utilizar para el proceso de Lombricultura es obtenido conociendo la cantidad de residuos orgánicos proyectados al año 2032 con un total de 27078 kg, de los cuales será aprovechado un 70%, o sea una cantidad de 18954,6 kg. Esa cantidad será almacenada en zona de acondicionamiento; conociendo que la densidad de estos residuos es un 298 kg/m<sup>3</sup>. Se determina que estos ocupan un espacio volumen de:

$$V = \frac{18954,6 \text{ kg}}{298 \text{ kg/m}^3} = 63,60 \text{ m}^3.$$

Determinado este volumen, se sabe que cuando los residuos orgánicos son picados, su volumen se reduce en un 30%, entonces:

$$63,60 \text{ m}^3 \rightarrow 100\%$$

$$x = 30\%$$

$$x = 19,08 \text{ m}^3$$

Entonces el volumen del material picado para un día corresponde a la diferencia de los valores encontrados anteriormente;

$$V = 44,52 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto, en se tiene para un almacenamiento de 30 días:

$$V = 44,52 \text{ m}^3 \times 30 = 1335,6 \text{ m}^3$$

Asumiendo las dimensiones de cada lecho (h=0,60 m; a=2 m; L=6,5 m), entonces para conocer la cantidad de lechos totales se divide la cantidad de volumen de residuos picados entre el volumen de cada uno. Finalmente obtenemos el área a ocupar por cada lecho. Ver tabla (34).



Tabla 34. Espacio para lechos material orgánico.

V residuos picados (m <sup>3</sup> )	Altura h (m)	Ancho a (m)	Largo L (m)	Volumen V (m <sup>3</sup> )	Cantidad de lechos	Área Lecho (m <sup>2</sup> )
1335,6	0,6	2	6,5	7,8	172	13

Fuente: Autor,2017.

La cantidad de camas o lechos necesarios para el procesamiento de los residuos orgánicos son 172 del cual el área de cada una de estas camas es de 13 m<sup>2</sup>. A continuación, se obtuvo un área total de procesamiento de 2236 m<sup>2</sup>. Seguidamente se determina el área total requerida con los espacios necesarios para realizar adecuadamente el tránsito y mantenimiento al proceso dispuesto para material orgánico con medidas de 1,5 m de espaciamiento entre lecho y lecho. A lo ancho 25 lechos y largo se ubican 7 lechos.

➤ **Espacio de acondicionamiento de material orgánico:**

La cantidad de residuos orgánicos es de 18954,6 kg. Para el acondicionamiento se utiliza una máquina picadora, seguidamente se dimensiona para el almacenamiento de 3 días, con un factor de seguridad de 1.4, en un espacio adecuado con una altura de 1 m<sup>2</sup>.

$$\text{Área} = \frac{(63,60 \text{ m}^3) \times 3}{1\text{m}} = 190,8 \text{ m}^2$$

$$A = 190,8 \text{ m}^2 \times 1,4 = 297,12 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 297,12 \text{ m}^2 \approx 330 \text{ m}^2$$

➤ **Espacio de acondicionamiento de lombricompost:**

Después de ejecutado el proceso de lombricompost se transfiere a un espacio adecuado para refinar y embalar el producto, en el proceso de tamizado se pierde un 5% de los residuos entrantes. La máquina tamizadora posee 1,12 m de alto, 2m de largo y 0,85m de ancho obteniéndose de esta manera un área ocupada por la maquinaria de 1,7 m<sup>2</sup>, sin embargo, se deja a disposición un área de 3 por 3 metros para 9 m<sup>2</sup>, para el respectivo mantenimiento del proceso.

$$A = 9 \text{ m}^2$$

Del proceso de lombricultura se obtiene un 65 % de material orgánico, entonces esto me genera:

$$\text{Compost} = 18954,6 \text{ kg} \times 65\% = 12320,49 \text{ kg}$$

Seguidamente este material será tamizado, en este proceso se pierde un 5% de compost, generándose finalmente:

$$\text{Compost} = 12320,49 \text{ kg} \times 60\% = 7392,3 \text{ kg}$$

Luego de ser procesado este se almacena en sacos cuyas medidas son de  $0,34\text{m} \times 0,78\text{m} \times 0,32\text{m}$  de ancho por largo por alto respectivamente, con una capacidad de 40 kg, de esta manera conozco la cantidad de sacos que devengo de esta producción:

$$N^{\circ} \text{ sacos} = \frac{7392,3 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 184,80 \approx 185$$

$$A = 0,34 \text{ m} \times 0,78 \text{ m} = 0,27 \text{ m}^2$$

El almacenamiento se hará en cumulo de 6 filas cuadradas de 8 niveles y esto nos ocupará un espacio para 36 sacos que finalmente arroja un área de:

$$A = 0,27 \text{ m}^2 \times 36 = 9,72 \text{ m}^2 \approx 10 \text{ m}^2$$

Para almacenar por 1 mes el producto, se tiene lo siguiente:

$$N^{\circ} \text{ Sacos} = 185 \times 30 = 5550$$

En el área de almacenamiento me caben 288 sacos organizados en los 8 niveles y de 6 filas cuadradas.

$$\text{Sacos acomodados} = 36 \times 8 = 288$$

$$N^{\circ} \text{ áreas sacos} = 5550/288 = 19$$

$$A = 10 \text{ m}^2 \times 19 = 190 \text{ m}^2$$

$$A \text{ total producción} = 9 \text{ m}^2 + 190 \text{ m}^2 = 199 \text{ m}^2$$

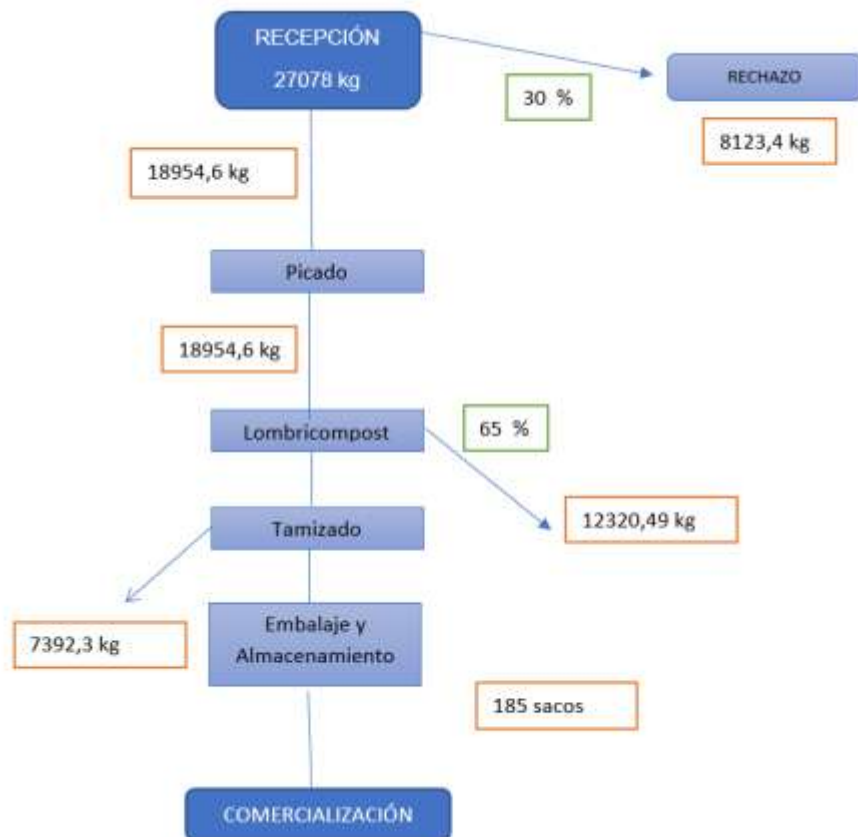
$$A \text{ total producción} = 199 \text{ m}^2 \times 1,4 = 278,6 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 278 \text{ m}^2 \approx 310 \text{ m}^2$$

El manejo de lixiviados obtenidos a través del proceso de lombricompost son captados por tuberías dispuestas en el suelo, conducidos a un tanque de almacenamiento que realiza un proceso de recirculación hacia los lechos con dimensiones de 2 m, 2m, 1,2 m, de ancho, largo y alto respectivamente, para un área de 4 m<sup>2</sup>. En la ilustración 8 se muestra el flujo del proceso ejecutado con el material orgánico.

Ilustración 8. Balance masa de orgánicos.



Fuente: Autor, 2017.

### 8.5.2 Espacio para proceso de aprovechamiento del cartón.

Para el almacenamiento de la materia prima para aprovechamiento se tiene 2,710 ton/día, que son 2710 kg/día, de igual manera se aprovecha el 70% para

un valor de  $1897 \text{ kg/día}$ . En la zona de aprovechamiento será almacenado este material con un espaciamiento para cubrir 3 días de disposición, por lo tanto, para el obtener el área de almacenamiento como materia prima se realizó lo siguiente.

$$\text{Cartón 3 días} = 5691 \text{ kg}$$

Se conoce la densidad del cartón, entonces:

$$V = 89,48 \text{ m}^3$$

Se almacenarán en un espacio de  $1,5 \text{ m}$  de alto respectivamente para un área total de almacenamiento de:

$$A = 60 \text{ m}^2$$

En el proceso de compactación se realizará por día y se tiene que una paca pesa aproximadamente  $300 \text{ kg}$ , por lo tanto, con el valor entrante y el resultante por paca se obtiene:

$$N^{\circ} \text{ pacas} = \frac{1897 \text{ kg}}{300 \text{ kg}} = 6,3 \approx 7$$

El almacenamiento del producto será dimensionado para un mes, entonces serán almacenadas entonces 210 pacas. El almacenamiento se hará en cumulo de 6 filas cuadradas de 6 niveles y esto nos ocupará un espacio para 25 pacas que finalmente arroja un área de  $20 \text{ m}^2$ .

El área ocupada por la máquina compactadora será de  $4 \text{ m}^2$ .

El área total de aprovechamiento está dada por la sumatoria de estas medidas y un factor de seguridad de 1.4, obteniendo:

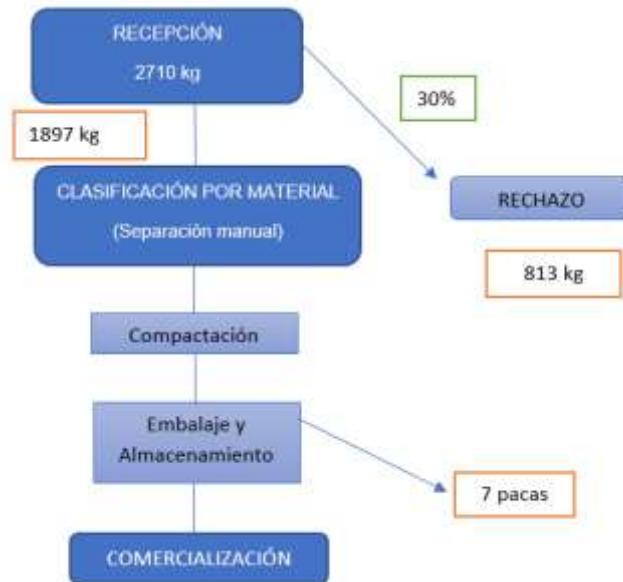
$$A = (60 \text{ m}^2 + 4 \text{ m}^2 + 28,8 \text{ m}^2) \times 1,4 = 130 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 130 \text{ m}^2 \approx 153 \text{ m}^2$$

Para observar mejor, el proceso se muestra en la ilustración 9.

ilustración 9. Balance masa del cartón.



Fuente: Autor, 2017.

### 8.5.3 Espacio para proceso de aprovechamiento del papel.

Para el almacenamiento de la materia prima para aprovechamiento se tiene 2,304 *ton/día*, que son 2304 *kg/día*, de igual manera se aprovecha el 70% para un valor de 1612,8 *kg/día*. En la zona de aprovechamiento será almacenado este material con un espaciamento para cubrir 3 días de disposición, por lo tanto, para el obtener el área de almacenamiento como materia prima se realizó lo siguiente.

$$\text{Papel 3 días} = 4838,4 \text{ kg}$$

Se conoce la densidad del cartón, entonces:

$$V = 59,33 \text{ m}^3$$

Se almacenarán en un espacio de 1,5 *m* de alto respectivamente para un área total de almacenamiento de:

$$A = 40 \text{ m}^2.$$

En el proceso de compactación se realizará por día y se tiene que una paca pesa aproximadamente 350 *kg*, por lo tanto, con el valor entrante y el resultante por paca se obtiene:

$$N^{\circ} \text{ pacas} = \frac{1612,8 \text{ kg}}{350 \text{ kg}} = 4,6 \approx 5$$

El almacenamiento del producto será dimensionado para un mes, entonces serán almacenadas 150 pacas. El almacenamiento se hará en cumulo de 5 filas cuadradas de 6 niveles y esto nos ocupará un espacio para 25 pacas que finalmente arroja un área de:

$$A = 20 \text{ m}^2.$$

El área de lavado será dispuesta de  $9 \text{ m}^2$  y el área ocupado por la máquina compactadora será de  $4 \text{ m}^2$ .

El área total de aprovechamiento está dada por la sumatoria de estas medidas y un coeficiente de seguridad de 1,4, obteniendo:

$$A = (40 \text{ m}^3 + 4 \text{ m}^2 + 20 \text{ m}^2) \times 1,4 = 64 \text{ m}^2$$

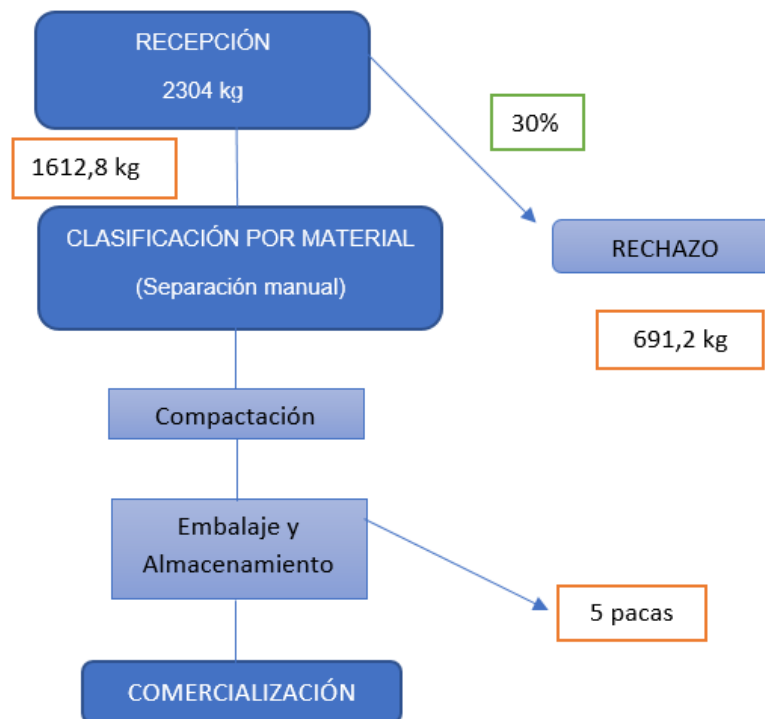
$$A = (64 \text{ m}^2) \times 1,4 = 89,6 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 89,6 \text{ m}^2 \approx 117 \text{ m}^2$$

Para observar mejor, el proceso se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 10. Balance de masa papel.



Fuente: Autor, 2017.

#### 8.5.4 Espacio para proceso de aprovechamiento del plástico.

Para el almacenamiento de la materia prima para aprovechamiento se tiene 1,562 ton/día, que son 1562 kg/día, de igual manera se aprovecha el 70% para un valor de 1072,4 kg/día. En la zona de aprovechamiento será almacenado este material con un espaciamiento para cubrir 3 días de disposición, por lo tanto, para el obtener el área de almacenamiento como materia prima se realizó lo siguiente.

$$\text{Plástico 3 días} = 3217,2 \text{ kg}$$

Se conoce la densidad del plástico, entonces:

$$V = 51,4 \text{ m}^3$$

Se almacenarán en 11 contenedores de medidas 2,5 m, 2 m, 1 m de ancho, largo y alto respectivamente para un área total de almacenamiento de:

$$A = 55 \text{ m}^2.$$

En el proceso de trituración del plástico se pierde un 0,5% asumido, con esto tendremos una cantidad de 1067kg, para embalar, se embalarán en sacos de 40 kg, de esta manera obtenemos la cantidad de sacos para un día.

$$N^{\circ} \text{ Sacos} = \frac{1067 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 26,8 \approx 27$$

El almacenamiento del producto será dimensionado para un mes, entonces serán almacenados 810 sacos, cada uno de estos tiene dimensiones de 0,32 m, 0,34 m, 0,78 m, de ancho y alto respectivamente, por lo tanto, el área ocupada por un saco será de 0,27 m<sup>2</sup>. El almacenamiento se hará en cumulo de 11 filas cuadradas de 7 niveles y esto nos ocupará un espacio de:

$$A = 32,67 \text{ m}^2.$$

El área de lavado será dispuesta de 9 m<sup>2</sup> y el área ocupado por la máquina trituradora será de 4,05 m<sup>2</sup>.

El área total de aprovechamiento está dada por la sumatoria de estas medidas y un coeficiente de seguridad de 1,4, obteniendo:

$$A = (55 \text{ m}^2 + 4,05 \text{ m}^2 + 32,67 \text{ m}^2 + 9 \text{ m}^2) = 100,72 \text{ m}^2$$

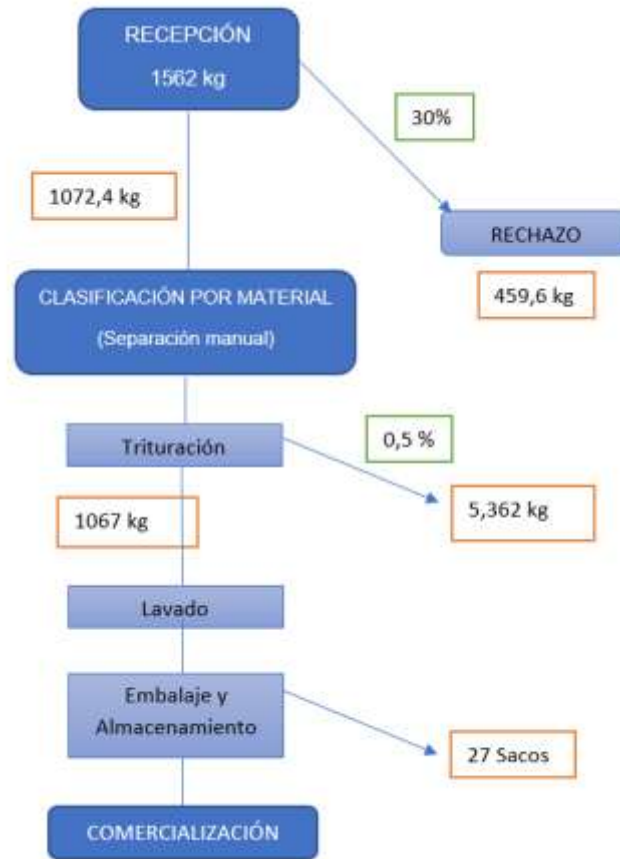
$$A = 100,72 \text{ m}^2 \times 1,4 = 142 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 142 \text{ m}^2 \approx 171 \text{ m}^2$$

Para observar mejor, el proceso se muestra en la ilustración 11.

Ilustración 11. Balance de masa del plástico.



Fuente: Autor, 2017.

### 8.5.5 Espacio para proceso de aprovechamiento del vidrio

Para el almacenamiento de la materia prima para aprovechamiento se tiene 1,933 *ton/día*, que son 1933 *kg/día*, de igual manera se aprovecha el 70% para un valor de 1353 *kg/día*. En la zona de aprovechamiento será almacenado este material con un espaciado para cubrir 3 días de disposición, por lo tanto, para el obtener el área de almacenamiento como materia prima se realizó lo siguiente.



$$\text{Vidrio 3 días} = 4059,3 \text{ kg}$$

Se conoce la densidad del vidrio, entonces:

$$V = 22,42 \text{ m}^3$$

Se almacenarán en 4 contenedores de medidas 5 m, 1,5 m, 0,8 m de ancho, largo y alto respectivamente, para un área total de almacenamiento de:

$$A = 30 \text{ m}^2$$

En el proceso de trituración se pierde un 0,5% asumido, con esto tendremos una cantidad de 1346,3 kg, para empacar, se embalarán en sacos de plástico de 40 kg, de esta manera obtenemos la cantidad de sacos para un día.

$$N^{\circ} \text{ Sacos} = \frac{1346,3 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 34$$

El almacenamiento del producto será dimensionado para un mes, entonces serán almacenados 1020 sacos, cada uno de estos tiene dimensiones de 0,32 m, 0,34 m, 0,78 m, de alto, de ancho y alto respectivamente, por lo tanto, el área ocupada por un saco será de 0,27 m<sup>2</sup>. El almacenamiento se hará en cumulo de 12 filas cuadradas de 7 niveles y esto nos ocupará un espacio de:

$$A = 39 \text{ m}^2.$$

El área de lavado será dispuesta de 9 m<sup>2</sup> y el área ocupado por la máquina trituradora será de 4,05 m<sup>2</sup>.

El área total de aprovechamiento está dada por la sumatoria de estas medidas y un coeficiente de seguridad de 1.4, obteniendo:

$$A: (30 \text{ m}^2 + 39 \text{ m}^2 + 9 \text{ m}^2 + 4,05 \text{ m}^2) = 82,05 \text{ m}^2$$

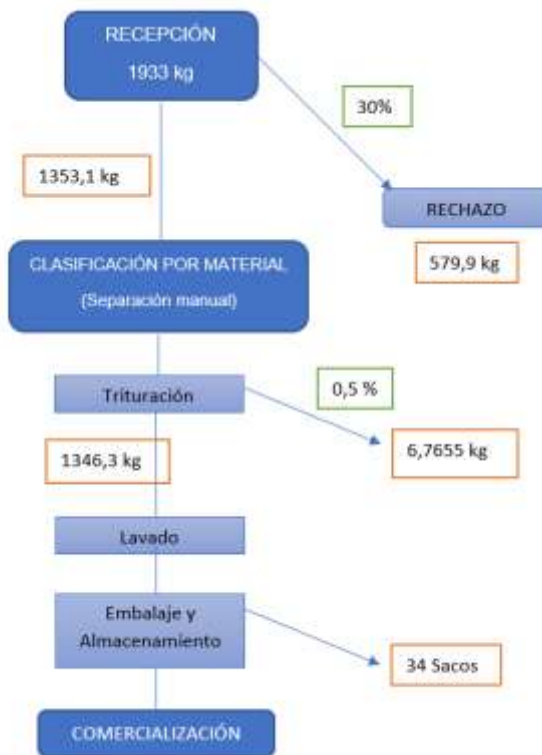
$$A = 82,05 \times 1.4 = 114,87 \approx 115 \text{ m}^2$$

Se hace una aproximación del área para flujo de personal y operación, entonces:

$$A = 115 \text{ m}^2 \approx 135 \text{ m}^2$$

Para observar mejor, el proceso se muestra en la ilustración 12.

Ilustración 12. Balance masa del vidrio.



Fuente: Autor, 2017.

### 8.5.6 Espacio de administración, cafetería y baños

Se dejará un espacio para el área administrativa de la planta, tendrá medidas de 3 por 4 m para un área de:

$$A = 12 \text{ m}^2$$

Las longitudes de 2 baños de 1,5 m por 4 m para un área de:

$$A = 6 \text{ m}^2$$

Se instalarán 2 vestier con medidas de 1,5 por 4 m para un área de:

$$A = 6 \text{ m}^2.$$

Se adecuará una cafetería de medidas 3 por 5 m para un área de:

$$A = 15 \text{ m}^2.$$

### 8.5.7 Espacio recepción

Se dejará un espacio para el área de recepción, esta caseta tendrá medidas 1,5 m por 1.5 m para un área:

$$A = 2,25 \text{ m}^2,$$

Espacio para el descargue del vehículo en la que va la banda transportadora.

### 8.5.8 Espacio total de la planta

El área total a utilizar para la disposición de los espacios requeridos para en la planta de aprovechamiento es la sumatoria total de ocupación de cada proceso:

$$A = 5340 \text{ m}^2 + 153 \text{ m}^2 + 117 \text{ m}^2 + 171 \text{ m}^2 + 135 \text{ m}^2 + 12 \text{ m}^2 + 6 \text{ m}^2 + 6 \text{ m}^2 + 15 \text{ m}^2 + 2,25 \text{ m}^2 = 5957,25 \text{ m}^2$$

$$A t - variables = 5957,25 \text{ m}^2$$

El área total del terreno a ocupar es de medidas 75 m × 89 m de largo y ancho respectivamente, para un área total de:

$$A = 75 \text{ m}^2 \times 89 \text{ m}^2 = 6675 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el área dispuesta para circulación, área de acceso y espacios libres es:

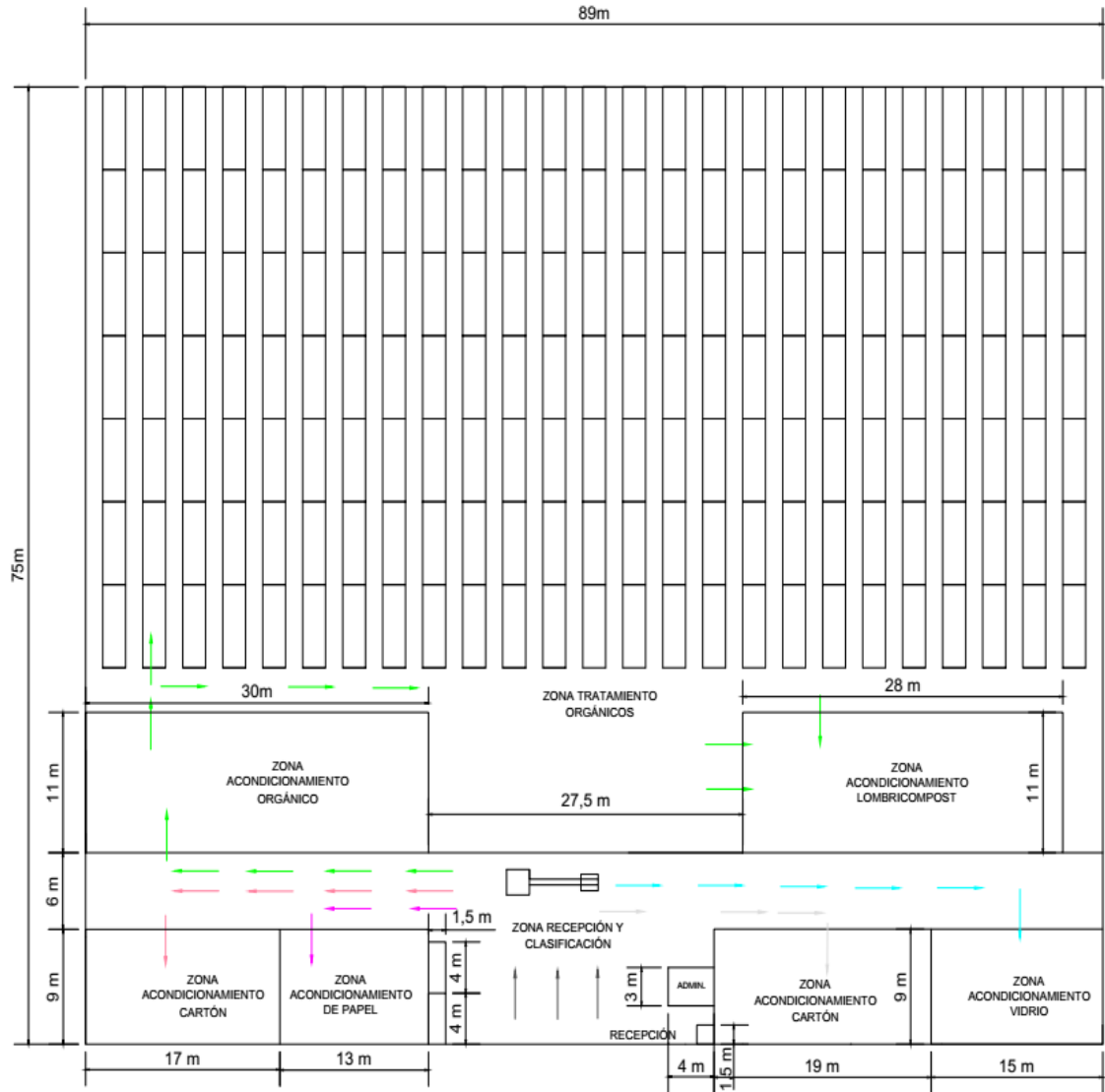
$$A = 6675 \text{ m}^2 - 5957,25 \text{ m}^2 = 717,75 \text{ m}^2$$

El área total de la planta corresponde a 0,6675 hectáreas, plano 2d (Ver ilustración 13) para el cumplimiento de los principios de diseño establecidos y en cumplimiento a los parámetros de diseño estipulados en el Ras y manual del Ministerio anteriormente citados.

El área dispuesta para el diseño fue de 1 ha por lo tanto queda a disposición para ampliación un total de 0,3325 ha.

### 8.5.9 Espacio total de la planta

Ilustración 13. Plano en 2d AutoCAD, Planta de aprovechamiento de residuos sólidos.



Fuente: Autor, 2017.

## 9 CONCLUSIONES

- Con respecto al primer objetivo se determinó que el sistema de recolección y transporte cubre el 100% del área de prestación de servicio, en cuanto al sistema de aprovechamiento se requiere adquirir obligatoriamente el vehículo recolector de  $25 \text{ yd}^3$ , para efectuar de manera eficiente las rutas establecidas y por tanto implementar rutas de materiales aptos para el aprovechamiento.
- De acuerdo a la caracterización física de los residuos sólidos municipales se obtiene que el 69,33% conforman los residuos orgánicos, el 6,94% residuos de cartón, el 5,9% residuos de papel, el 4,94% material vidrio y el 4% son residuos plásticos, mientras que los residuos de chatarra y aluminio conforman el 2,3% y 0,025% respectivamente y el restante son residuos de rechazo. De esta manera no se cree conveniente el aprovechamiento de residuos de aluminio y chatarra.
- La generación Per Cápita promedio de residuos sólidos municipales es de  $0,38 \frac{\text{kg}}{\text{hab}} - \text{día}$ , la cual efectivamente se mantiene por debajo de la PPC promedio recomendada para municipios con nivel de complejidad medio-alto  $0,53 \frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día}$ .
- Para el año proyectado 2032 se tiene una generación de residuos orgánicos de  $27,078 \text{ ton/día}$ ,  $2,710 \text{ ton/día}$  de cartón,  $1,562$  de plástico,  $2,304 \text{ ton/día}$  de papel y  $1,933 \text{ ton/día}$  de vidrio.
- Los aspectos claves para el alcanzar un logro significativo de en materia de aprovechamiento de residuos sólidos municipales son: las estrategias EIC, acción participativa de las comunidades, el apoyo directo del municipio en actividades como recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de residuos, estudio de factibilidad y estudios estratégicos que contribuyan en la permanencia a mediano y largo plazo del proyecto.
- El espacio requerido para construir el área de aprovechamiento de cada variable a utilizar es de: orgánicos de alta tasa de biodegradación  $0,534 \text{ ha}$ , cartón  $0,0153 \text{ ha}$ , papel  $0,0117 \text{ ha}$ , plástico  $0,0171 \text{ ha}$ , vidrio  $0,0135 \text{ ha}$ , administración  $0,0012 \text{ ha}$ , baño  $0,0006 \text{ ha}$ , vestier  $0,0006 \text{ ha}$ , cafetería  $0,0015 \text{ ha}$ , recepción  $0,000225 \text{ ha}$ , lo que me ocupa un área total de  $0,595 \text{ ha}$ .
- El área para circulación es de  $0,0717 \text{ ha}$  y el área total de la planta es de  $0,6675 \text{ h}$ , por lo tanto el área dispuesta para ampliación por aumento de demanda es de  $0,3325 \text{ ha}$ .

- Los aspectos claves para el alcanzar un logro significativo del 70% de aprovechamiento de residuos sólidos municipales son: las estrategias EIC, acción participativa de las comunidades, el apoyo directo del municipio en actividades como recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de residuos, estudio de factibilidad y estudios estratégicos que contribuyan en la permanencia a mediano y largo plazo del proyecto.
- La implementación de un sistema de aprovechamiento como este es una solución significativa a la problemática ambiental que vienen generando los residuos sólidos en el municipio, mejorando continuamente el estado actual del mismo en cuanto al manejo integrado de los residuos sólidos municipales, enfocado a un desarrollo sostenible.

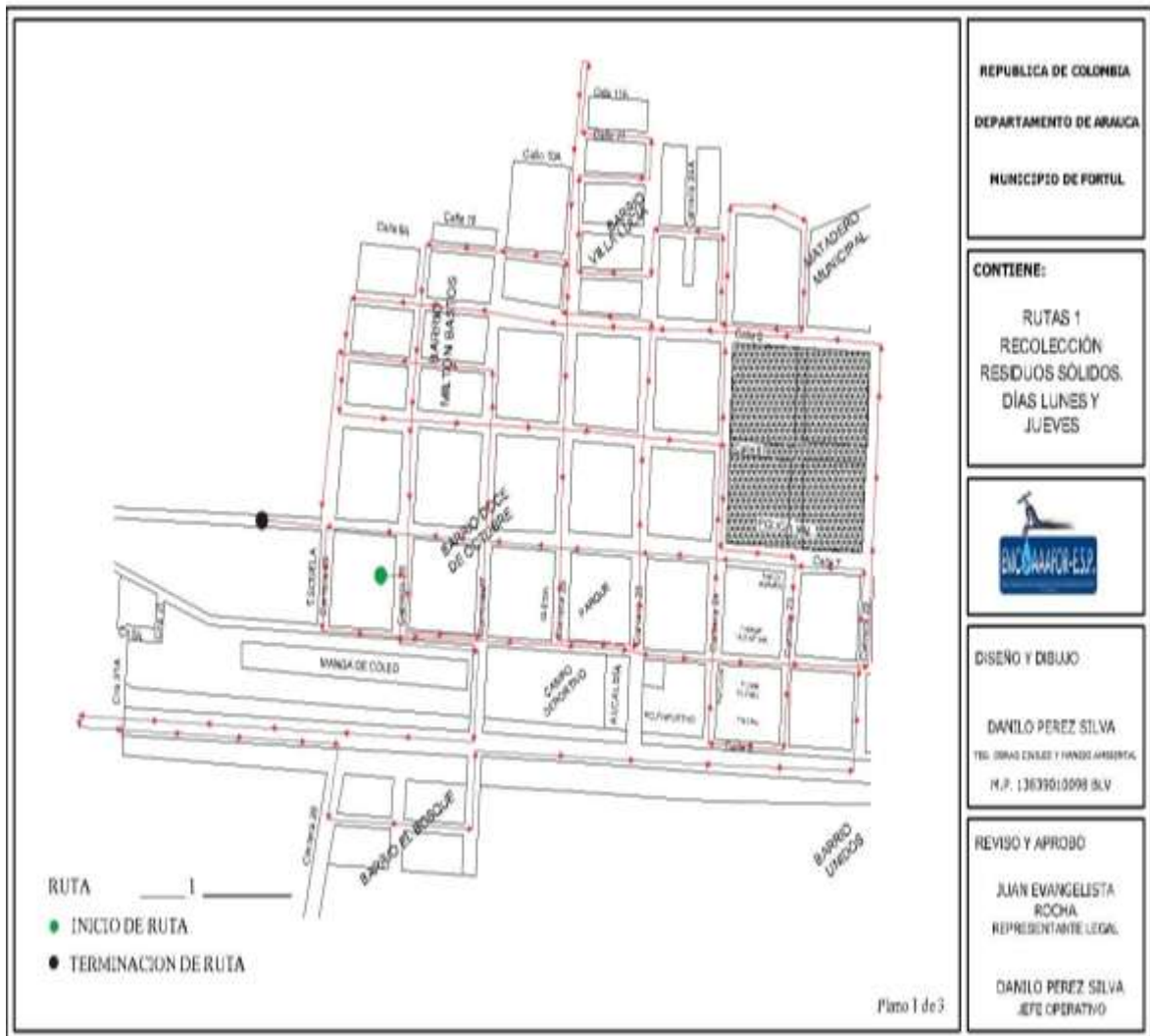
## 10 RECOMENDACIONES

- La empresa prestadora del servicio público de aseo EMCOAAAFOR-ESP, deberá realizar consulta con la corporación autónoma para determinar el licenciamiento del terreno propuesto por esta para la implementación de la planta de aprovechamiento.
- EMCOAAAFOR-ESP y/o la Administración municipal deberá realizar un estudio de factibilidad de la implementación del proyecto propuesto como parte fundamental del manejo integrado de residuos sólidos y soluciones eco ambientales que incentiven a las comunidades a mejorar su economía perfeccionando el estado de medio ambiente.
- Establecer la implementación de Estrategias de Información y Educación (EIC) como maniobra para cumplir los objetivos de un alcance de aprovechamiento del 70% con respecto a la buena cultura de separación en la fuente.
- Proyectar para la ejecución de un proyecto de tal magnitud, el rubro suficiente facilitando de esta manera la adquisición de equipos técnicos que cumplan con procesos los de (recepción, transporte, separación y tratamiento) de los residuos sólidos.
- El municipio debe adquirir predios públicos apropiándose de la formulación e implementación de proyectos ambientales que cubran en mínimo de 70 % las problemáticas ambientales generadas por las actividades antropogénicas de la población.
- Proyectar a largo plazo un redimensionamiento de la planta por variación de demandas.
- A largo plazo implementar un sistema de valorización más técnico, para el plástico en cuanto a producción de elementos que generen ingresos más altos y beneficien el desarrollo económico, social y ambiental del municipio y la región.

# 11 ANEXOS

## Anexo 1. Rutas de recolección de residuos sólidos del municipio de Fortul.

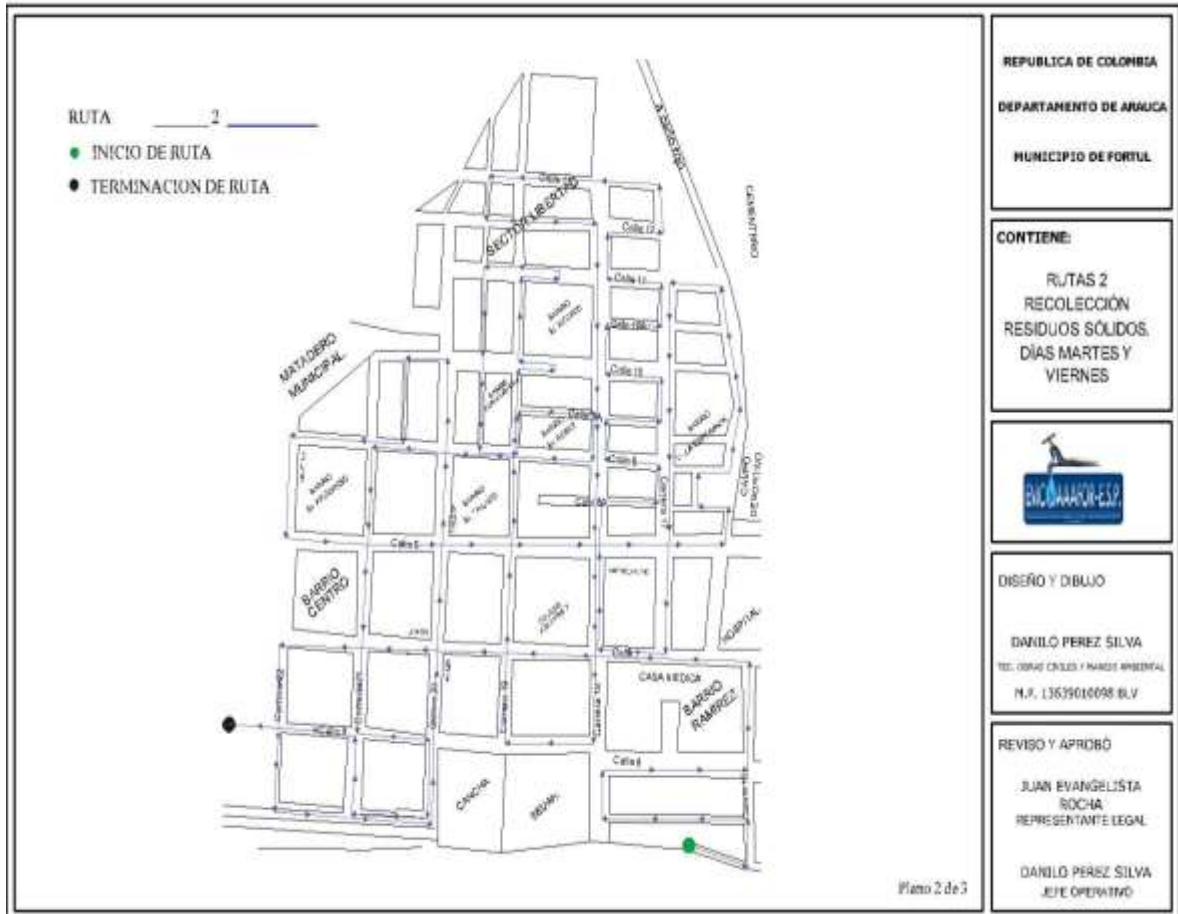
Ilustración 14. Ruta 1 de recolección de residuos sólidos.



Fuente: Emcoaaafor-esp, 2015.

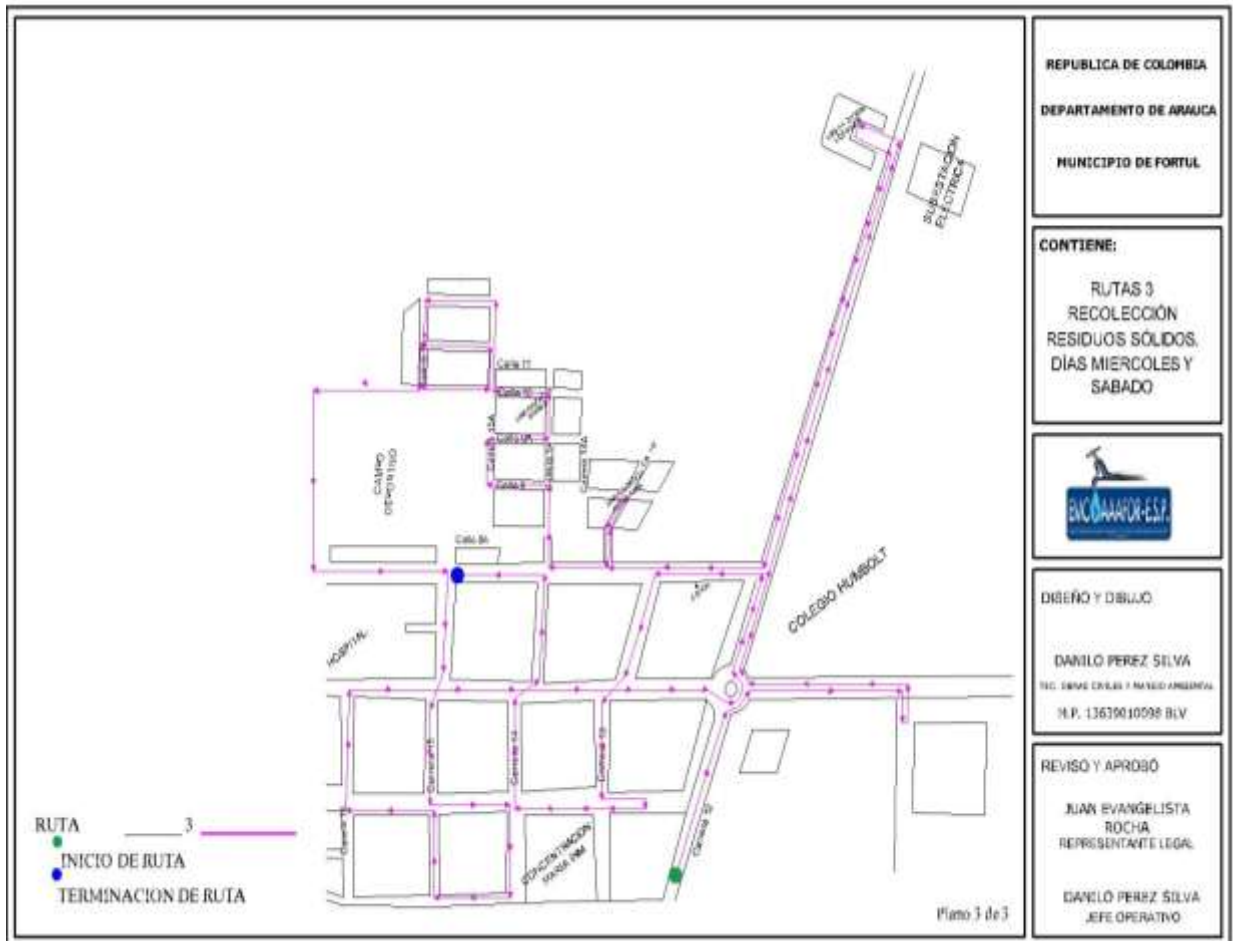


Ilustración 15. Ruta 2 de recolección de residuos sólidos



Fuente: Emcoaaafor-esp, 2015.

Ilustración 16. Ruta 3 de recolección de residuos sólidos



Fuente: Emcoaafor-esp, 2015.

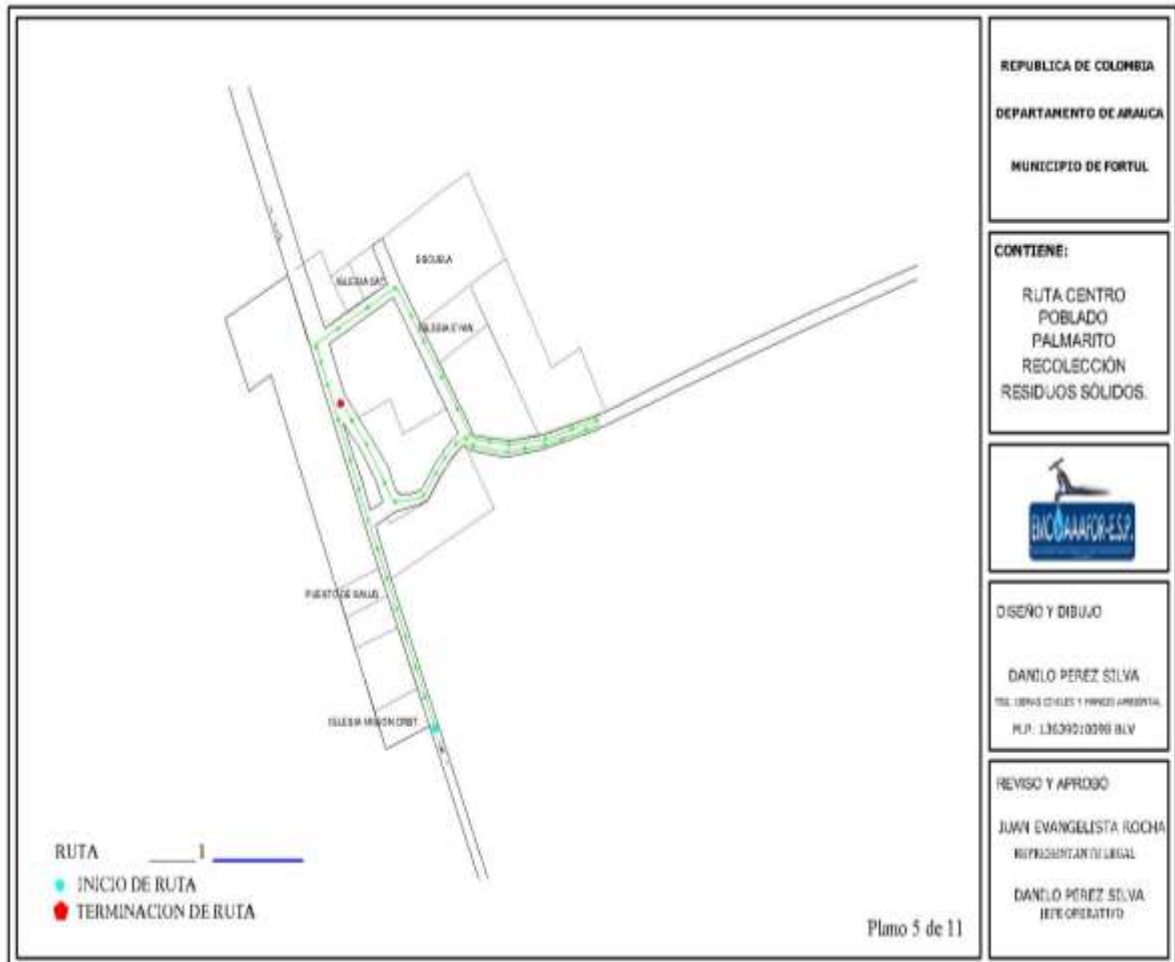
## Anexo 2. Rutas de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.

Ilustración 17. Ruta de recolección de residuos sólidos nuevo canal.



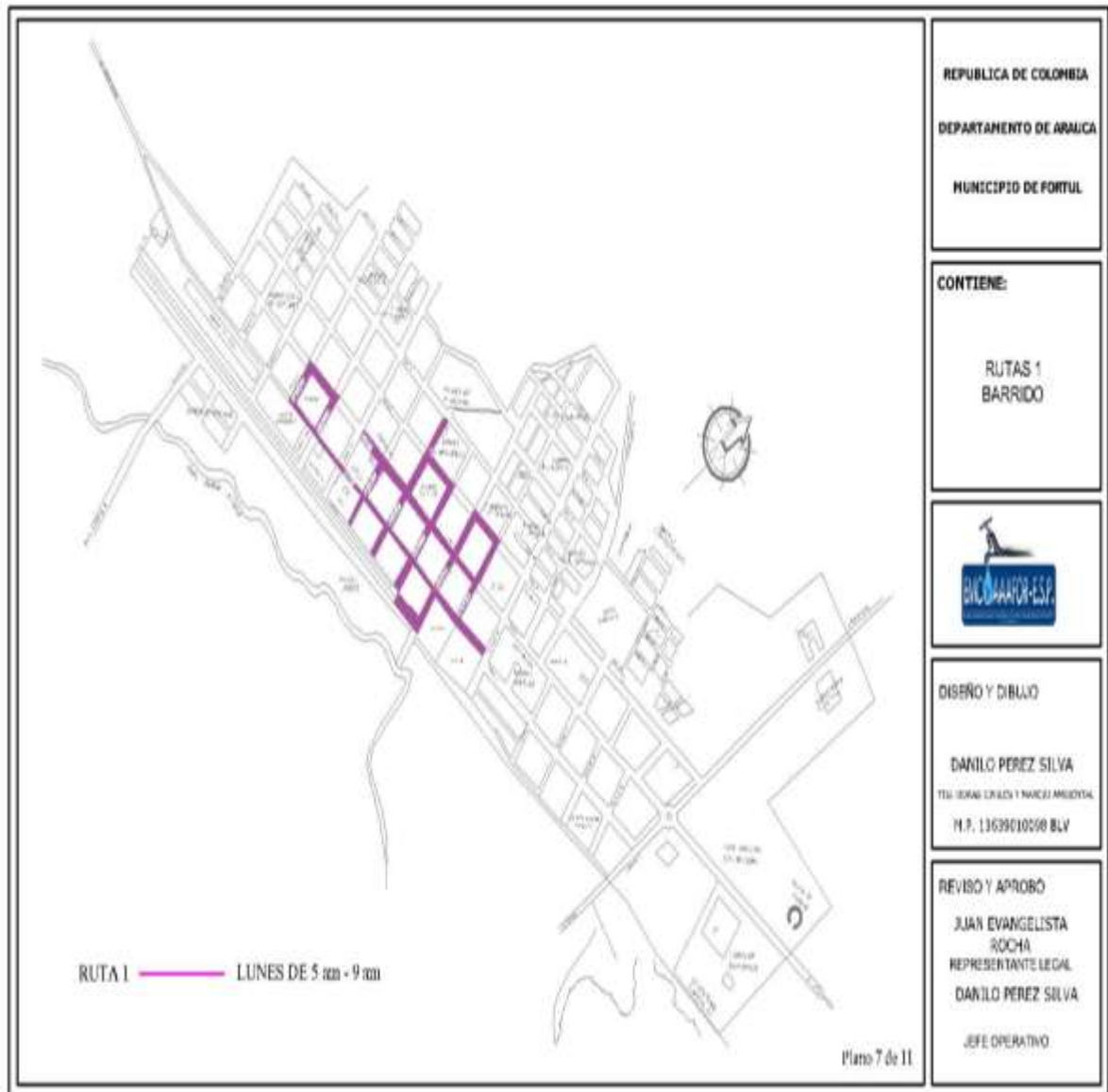
Fuente: Emcoaaafor-esp, 2015.

Ilustración 18. Recolección de residuos sólidos palmarito.



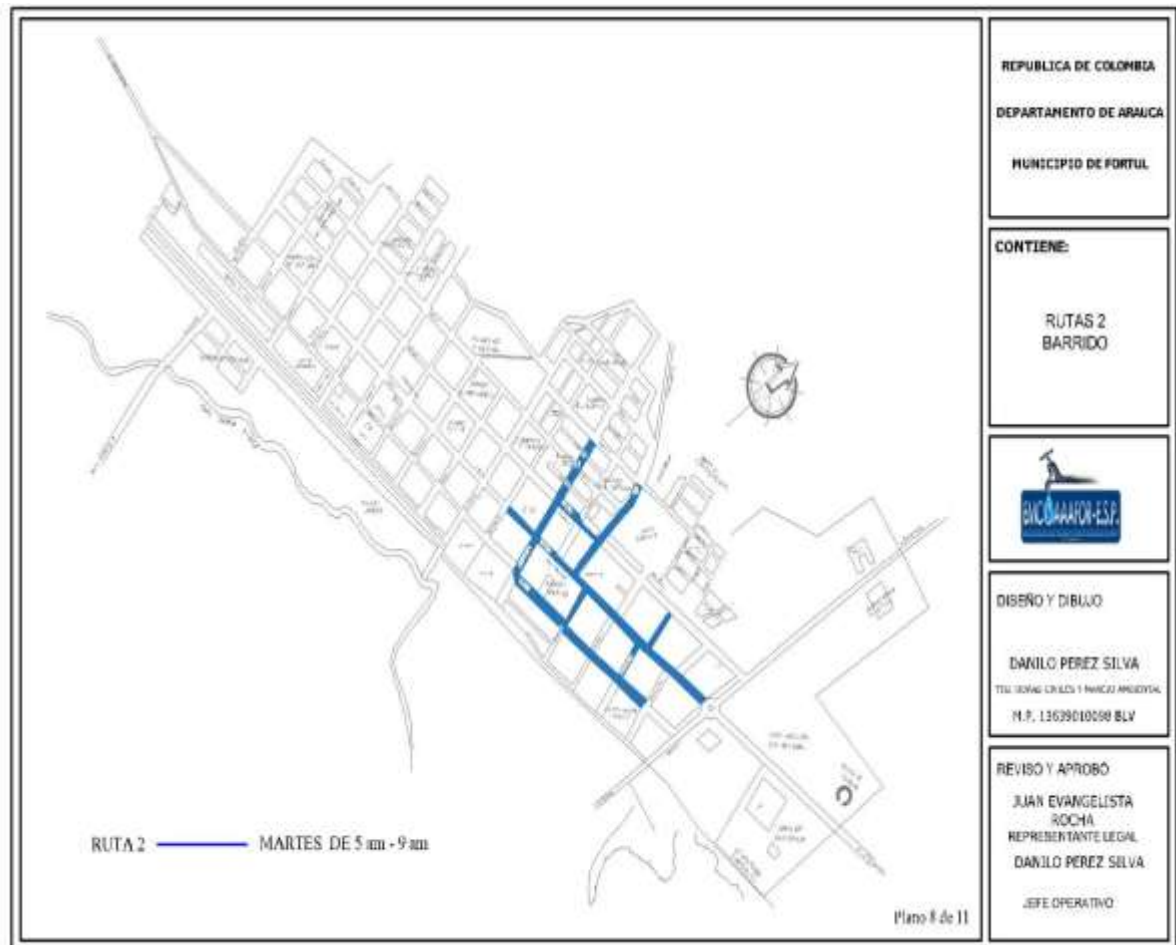
Fuente: Emcoaaafor-esp, 2015.

Ilustración 19. Ruta 1 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.



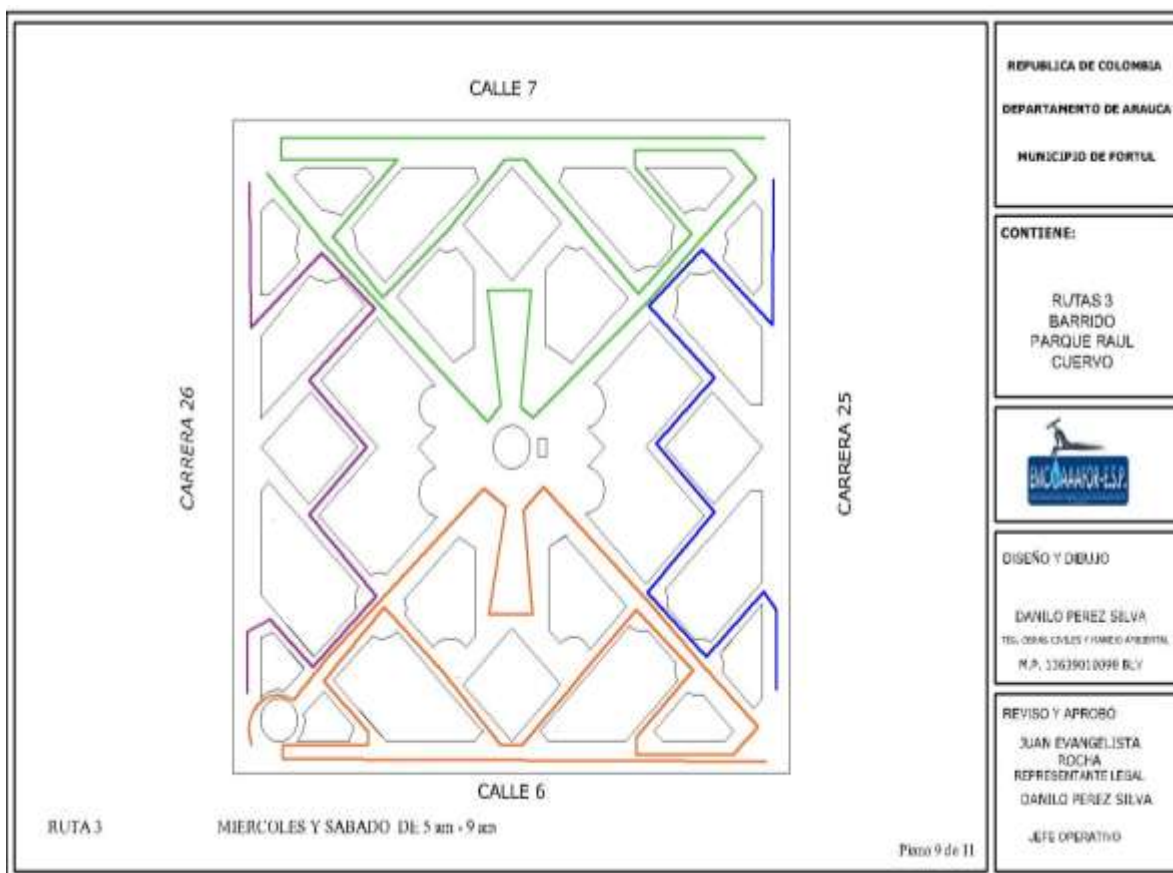
Fuente: Emcoaaafor-esp, 2015.

Ilustración 20. Ruta 2 de barrido de área públicas del municipio de Fortul.



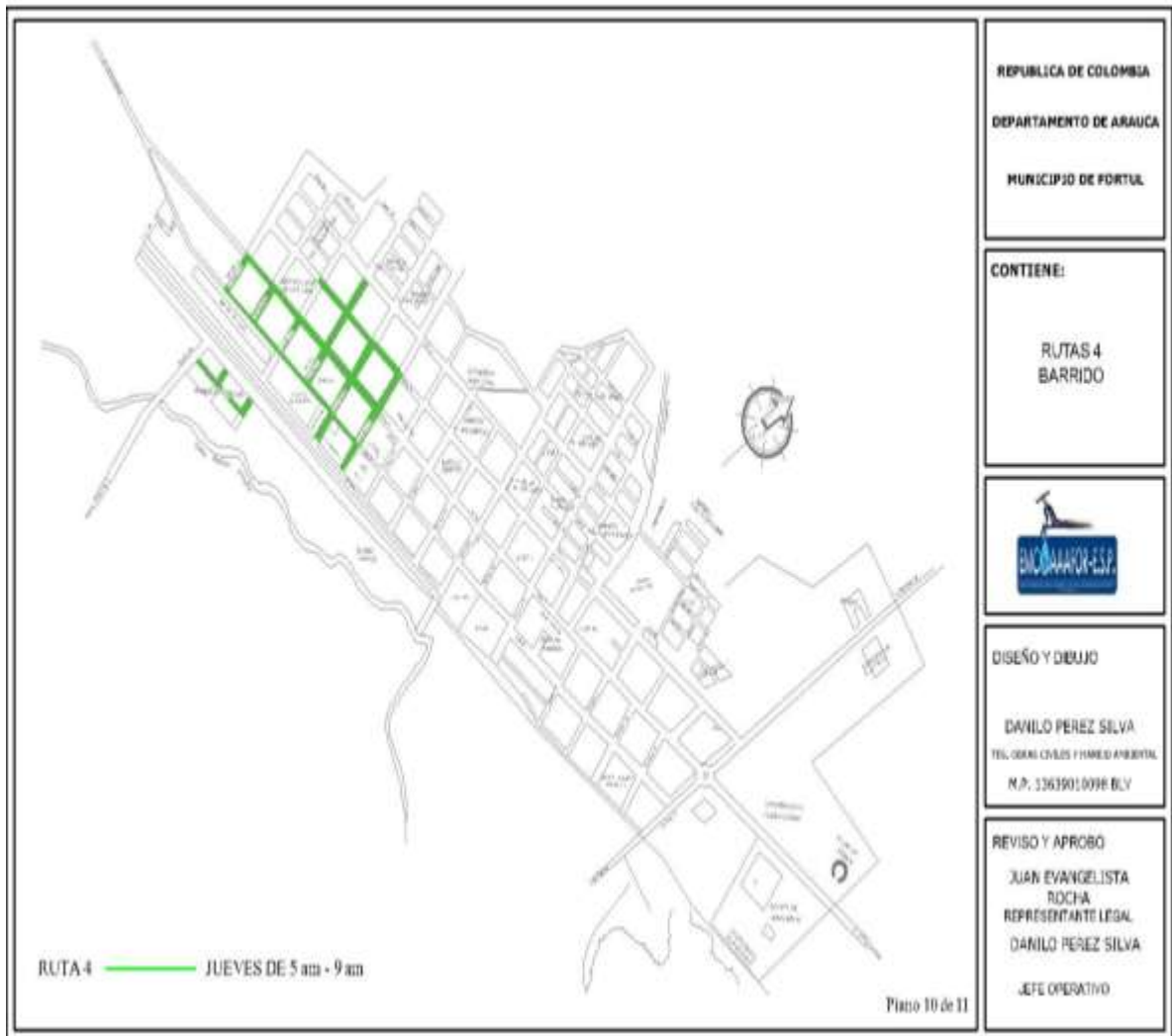
Fuente: Emcoaafor-esp, 2015.

Ilustración 21. Ruta 3 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.



Fuente: Emcoaafor-esp, 2015.

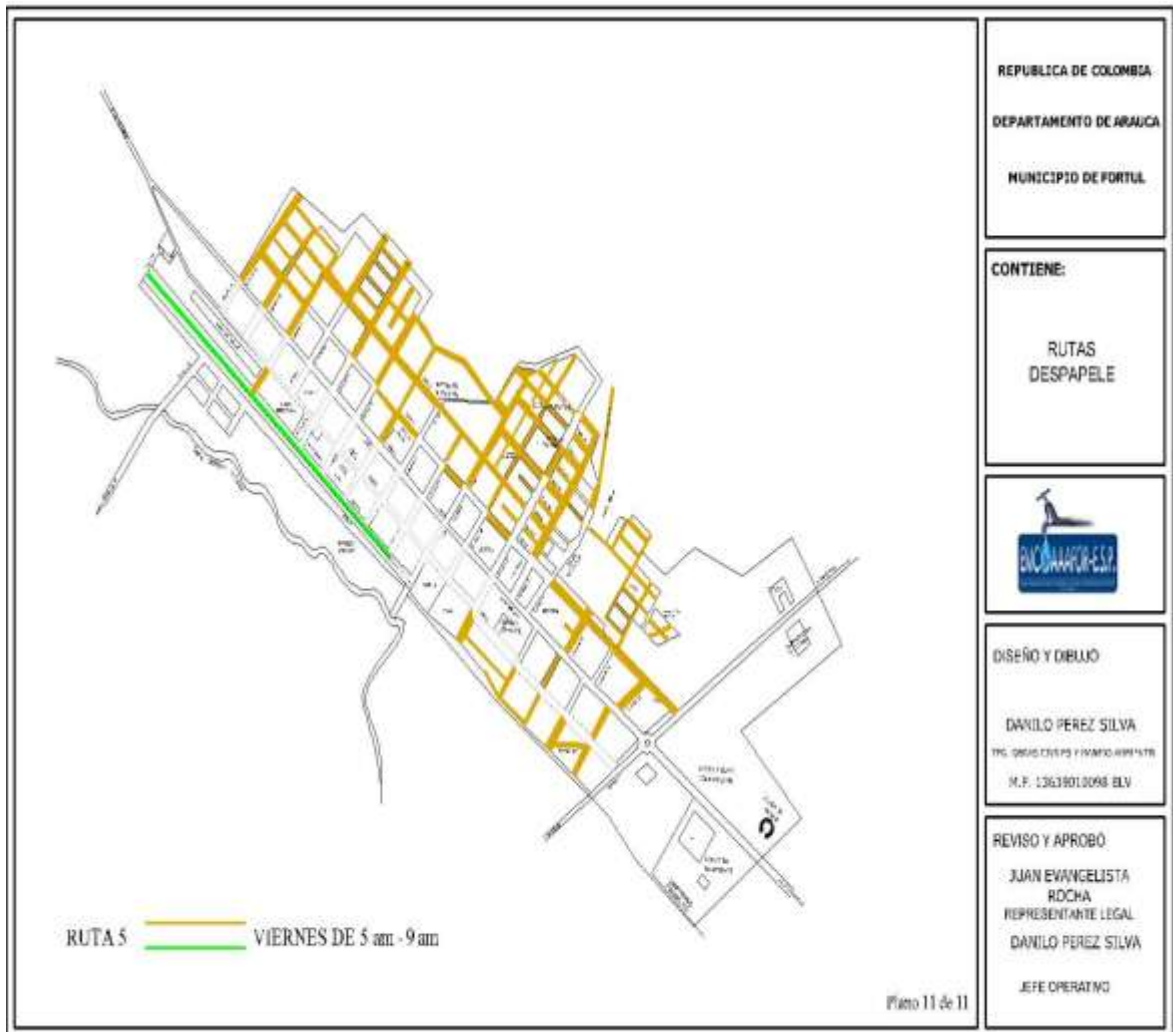
Ilustración 22. Ruta 4 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.



Fuente: Emcoaaafor-esp, 2015.



Ilustración 23. Ruta 5 de barrido de áreas públicas del municipio de Fortul.



Fuente: Emcoaafor-esp, 2015.

### Anexo 3. Tabla datos de muestreo realizadas.

Tabla 35. Datos pesaje área urbana.

FORTUL					
Muestra	Habitantes	DIA 1 (kg)	DIA 2 (kg)	DIA 3 (kg)	DIA 4 (kg)
1	5	2	1,96	2,04	1,84
2	4	1,6	1,57	1,63	1,47
3	3	1,2	1,17	1,22	1,11
4	5	2	1,96	2,04	1,84
5	2	0,8	0,78	0,82	0,74
6	6	2,4	2,35	2,45	2,21
7	4	1,6	1,57	1,63	1,47
8	4	1,6	1,57	1,63	1,47
9	2	0,8	0,78	0,82	0,74
10	4	1,6	1,57	1,63	1,47
11	5	2	1,96	2,04	1,84
12	7	2,8	2,74	2,86	2,58
13	2	0,8	0,78	0,82	0,74
14	4	1,6	1,57	1,63	1,47
15	5	2	1,96	2,04	1,84
16	6	2,4	2,35	2,45	2,21
17	3	1,2	1,17	1,22	1,11
18	3	1,2	1,17	1,22	1,11
19	6	2,4	2,35	2,45	2,21
20	8	3,2	3,13	3,26	2,95
21	3	1,2	1,17	1,22	1,11
22	6	2,4	2,35	2,45	2,21
23	4	1,6	1,57	1,63	1,47
24	3	1,2	1,17	1,22	1,11
25	5	2	1,96	2,04	1,84
26	7	2,8	2,74	2,86	2,58
27	4	1,6	1,57	1,63	1,47
28	2	0,8	0,78	0,82	0,74
29	3	1,2	1,17	1,22	1,11
30	4	1,6	1,57	1,63	1,47
31	4	1,6	1,57	1,63	1,47
32	4	1,6	1,57	1,63	1,47
33	6	2,4	2,35	2,45	2,21
34	3	1,2	1,17	1,22	1,11
35	8	3,2	3,13	3,26	2,95

Muestra	Habitantes	DIA 1 (kg)	DIA 2 (kg)	DIA 3 (kg)	DIA 4 (kg)
36	6	2,4	2,35	2,45	2,21
37	4	1,6	1,57	1,63	1,47
38	2	0,8	0,78	0,82	0,74
39	4	1,6	1,57	1,63	1,47
40	4	1,6	1,57	1,63	1,47
41	3	1,2	1,17	1,22	1,11
42	5	2	1,96	2,04	1,84
43	2	0,8	0,78	0,82	0,74
44	6	2,4	2,35	2,45	2,21
45	4	1,6	1,57	1,63	1,47
46	5	2	1,96	2,04	1,84
47	5	2	1,96	2,04	1,84
48	3	1,2	1,17	1,22	1,11
49	6	2,4	2,35	2,45	2,21
50	3	1,2	1,17	1,22	1,11
51	9	3,6	3,52	3,67	3,32
52	5	2	1,96	2,04	1,84
53	3	1,2	1,17	1,22	1,11
54	7	2,8	2,74	2,86	2,58
55	3	1,2	1,17	1,22	1,11
56	9	3,6	3,52	3,67	3,32
57	5	2	1,96	2,04	1,84
58	4	1,6	1,57	1,63	1,47
59	5	2	1,96	2,04	1,84
60	4	1,6	1,57	1,63	1,47
<b>TOTAL</b>	<b>270</b>	<b>93,2</b>	<b>105,71</b>	<b>110,13</b>	<b>99,5</b>

Fuente: Autor, 2017.

Tabla 36. Datos pesaje palmarito.

PALMARITO					
Muestra	Habitantes	DIA 1 (kg)	DIA 2 (kg)	DIA 3 (kg)	DIA 4 (kg)
1	2	0,84	0,78	0,71	0,79
2	5	2,1	1,94	1,78	1,98
3	2	0,84	0,78	0,71	0,79
4	4	1,68	1,55	1,42	1,58
5	3	1,26	1,17	1,07	1,19
6	1	0,42	0,39	0,36	0,40
7	6	2,52	2,33	2,13	2,37
8	3	1,26	1,17	1,07	1,19
9	4	1,68	1,55	1,42	1,58
10	2	0,84	0,78	0,71	0,79
11	4	1,68	1,55	1,42	1,58
12	2	0,84	0,78	0,71	0,79
13	3	1,26	1,17	1,07	1,19
14	2	0,84	0,78	0,71	0,79
15	4	1,68	1,55	1,42	1,58
16	5	2,1	1,94	1,78	1,98
17	4	1,68	1,55	1,42	1,58
18	4	1,68	1,55	1,42	1,58
19	3	1,26	1,17	1,07	1,19
20	5	2,1	1,94	1,78	1,98
21	3	1,26	1,17	1,07	1,19
22	3	1,26	1,17	1,07	1,19
23	2	0,84	0,78	0,71	0,79
24	4	1,68	1,55	1,42	1,58
25	2	0,84	0,78	0,71	0,79
26	4	1,68	1,55	1,42	1,58
27	4	1,68	1,55	1,42	1,58
28	1	0,42	0,39	0,36	0,40
29	6	2,52	2,33	2,13	2,37
30	2	0,84	0,78	0,71	0,79
31	3	1,26	1,17	1,07	1,19
32	2	0,84	0,78	0,71	0,79
33	4	1,68	1,55	1,42	1,58
34	4	1,68	1,55	1,42	1,58
TOTAL	112	48,1	43,50	39,80	44,30

Fuente: Autor, 2017.

Tabla 37. Datos pesaje Caranal.

CARANAL					
Muestra	Habitantes	DIA 1 (kg)	DIA 2 (kg)	DIA 3 (kg)	DIA 4 (kg)
1	3	1,11	1,18	1,36	1,07
2	8	2,96	3,14	3,62	2,84
3	4	1,48	1,57	1,81	1,42
4	5	1,85	1,96	2,26	1,78
5	4	1,48	1,57	1,81	1,42
6	5	1,85	1,96	2,26	1,78
7	9	3,33	3,53	4,07	3,20
8	6	2,22	2,35	2,71	2,13
9	4	1,48	1,57	1,81	1,42
10	4	1,48	1,57	1,81	1,42
11	9	3,33	3,53	4,07	3,20
12	4	1,48	1,57	1,81	1,42
13	7	2,59	2,74	3,16	2,49
14	4	1,48	1,57	1,81	1,42
15	4	1,48	1,57	1,81	1,42
16	4	1,48	1,57	1,81	1,42
17	6	2,22	2,35	2,71	2,13
18	5	1,85	1,96	2,26	1,78
19	4	1,48	1,57	1,81	1,42
20	5	1,85	1,96	2,26	1,78
21	4	1,48	1,57	1,81	1,42
22	5	1,85	1,96	2,26	1,78
23	4	1,48	1,57	1,81	1,42
24	7	2,59	2,74	3,16	2,49
25	4	1,48	1,57	1,81	1,42
26	6	2,22	2,35	2,71	2,13
27	5	1,85	1,96	2,26	1,78
28	5	1,85	1,96	2,26	1,78
29	6	2,22	2,35	2,71	2,13
30	4	1,48	1,57	1,81	1,42
31	3	1,11	1,18	1,36	1,07
32	4	1,48	1,57	1,81	1,42
33	6	2,22	2,35	2,71	2,13
34	6	2,22	2,35	2,71	2,13

35	4	1,48	1,57	1,81	1,42
36	5	1,85	1,96	2,26	1,78
<b>Muestra</b>	<b>Habitantes</b>	<b>DIA 1 (kg)</b>	<b>DIA 2 (kg)</b>	<b>DIA 3 (kg)</b>	<b>DIA 4 (kg)</b>
37	5	1,85	1,96	2,26	1,78
38	5	1,85	1,96	2,26	1,78
39	4	1,48	1,57	1,81	1,42
40	6	2,22	2,35	2,71	2,13
41	3	1,11	1,18	1,36	1,07
42	5	1,85	1,96	2,26	1,78
43	4	1,48	1,57	1,81	1,42
44	6	2,22	2,35	2,71	2,13
45	9	3,33	3,53	4,07	3,20
46	3	1,11	1,18	1,36	1,07
47	4	1,48	1,57	1,81	1,42
48	4	1,48	1,57	1,81	1,42
49	5	1,85	1,96	2,26	1,78
50	3	1,11	1,18	1,36	1,07
51	6	2,22	2,35	2,71	2,13
52	5	1,85	1,96	2,26	1,78
53	7	2,59	2,74	3,16	2,49
Total	266	94	104,26	120,23	94,5

Fuente: Autor,2017.

## 12 GLOSARIO

- **Estrategias de Información, Educación y Comunicación (IEC):** Son métodos mediante el cual se informa, se comunica y se educa a la comunidad con respecto a una problemática de cualquier ámbito.
- **Basura:** es todo aquel material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud, que no ofrecen ninguna posibilidad de aprovechamiento, recirculación o reutilización a través de un proceso productivo. (Territorial, 2008)
- **Residuos Sólidos Aprovechables:** son cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólidos que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo, entendiéndose que este proceso tiene el objetivo de valorizar económicamente los residuos u obtener un producto utilizable. Por tal motivo podemos decir que son materias primas con valor comercial, y que su destino es ingresar nuevamente al proceso productivo de bienes comercializables. Basura es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico. (Diaz A. Aleydis del carmen, 2003)
- **Transporte y Transferencia:** el transporte de los residuos, es la actividad que se realiza desde el momento de su recolección hasta cuando son descargados. (Diaz A. Aleydis del carmen, 2003)
- **Disposición Final o Evacuación:** actualmente la disposición final de los residuos se realiza en vertederos controlados, también llamados rellenos sanitarios o mediante extensión en superficie. (Diaz A. Aleydis del carmen, 2003)
- **Centro de acopio:** es una instalación donde se almacenan los residuos sólidos de manera transitoria bien sea realizado por el generador de estos residuos o por la empresa que efectúa el aprovechamiento. (Territorial, 2008)
- **Plástico:** material aprovechable proveniente de síntesis de sustancias químicas sintéticas y que posteriormente son moldeadas para darle un uso. (José Pereira Martínez, 1980)

- **Cartón:** es un material que está formado por varias capas de papel que están superpuestas, este material por lo general es de textura gruesa y puede ser reutilizado o reciclado. (José Pereira Martínez, 1980)
- **Residuos Orgánicos:** son residuos que se descomponen naturalmente, poseyendo el poder de degradarse y formar otro compuesto tras su aprovechamiento de manera natural. (José Pereira Martínez, 1980)

Según el Decreto 2981 de 2013, se pueden definir las siguientes palabras:

- **Generador o productor:** Persona que produce y presenta sus residuos sólidos a la persona prestadora del servicio público de aseo para su recolección y por tanto es usuario del servicio público de aseo.
- **Almacenamiento de residuos sólidos:** Es la acción del usuario de guardar temporalmente los residuos sólidos en depósitos, recipientes o cajas de almacenamiento, retornables o desechables, para su recolección por la persona prestadora con fines de aprovechamiento o de disposición final.
- **Aprovechamiento:** Es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje.

Según el decreto 1713 de 2002 se definen las siguientes palabras:

- **Tratamiento:** es el conjunto de operaciones, procesos u otros, a través de los cuales se realiza una modificación de las características de los residuos sólidos potenciando su reutilización.
- **Reducción en la fuente:** es la reducción de la cantidad de residuos generados pudiendo ser por la eliminación de materiales o la reutilización de los mismos.



### 13 BIBLIOGRAFÍA

(SEMARNAT)., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1999. Minimización y Manejo ambiental de los Residuos Sólidos. México : s.n., 1999.

Arauca, Alcaldía de Fortul-. 2016. Alcaldía de Fortul- Arauca "Unidos por un mejor Fortul, con oportunidades para todos". [En línea] 27 de 07 de 2016. [Citado el: 29 de 09 de 2016.] [http://www.fortul-arauca.gov.co/informacion\\_general.shtml#geografia](http://www.fortul-arauca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia).

C. Duitama Luis F, Curvo Davidson D. 2006. Planta de Aprovechamiento de Residuos Sólidos "Los Caciques" - Municipio de Duitama. Duitama : s.n., 2006.

C-0060, Contrato de Cooperación y Cofinanciación. 2015. *Informe Final Propuesta Estratégica*. Bogota : s.n., 2015.

Corporinoquia, Gobernación de Arauca, Municipio de Fortul- CIDETER LTDA.2008 Revisión y Ajuste EOT Municipio de Fortul. Documento de Diagnóstico. Fortul - Arauca : s.n.

Cubara, Alcaldía Municipal de. 2007. Optimización de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos. Cubara- Boyacá : s.n.

Diaz A. Aleydis del carmen, Vergara S. Ingrid S, Briganti F. Johanna M. 2003. Lineamientos para la Separación en la Fuente de los Residuos Sólidos Producidos en el Sector Residencial (Estratos 4,5 y 6 de la Ciudad de Cartagena de Indias D.T Y C. Cartagena : s.n.

Domiciliarios, Superintendencia de Servicios Públicos. 2015. Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional de Residuos Sólidos. Bogotá D.C. : s.n.,.

Duran de la Fuente, Hernan. 1997. Gestión Ambientalmente Adecuada de Residuos Urbanos en América Latina: Un Enfoque de Política Integral. *Gestión Ambientalmente Adecuada de Residuos Sólidos: Un Enfoque de Política Integral*. . s.l. : CEPAL, pág. 54.

Empresa Comunitaria de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Saravena. ECAAAS-ESP. 2014. Proyecto Planta de Aprovechamiento de Residuos Sólidos del Municipio de Saravena-Departamento de Arauca. Saravena : s.n.

Erick, Larco. 2004. Preparación de Lixiviados de Compost y Lombricompost. Costa Rica : s.n.

George, Tchobanogous. 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos, Separación, Procesamiento y Transformación de Residuos Sólidos*. España : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.

ICONTEC. 1998. Guía Técnica Colombiana GTC 53-3. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el Aprovechamiento de envases de Vidrio. Bogotá, D.C. : s.n.

Icontec. 1999 Guía Técnica Colombiana GTC 53-6. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el Aprovechamiento de Residuos de Papel y Cartón Compuestos con otros Materiales. Bogotá, D.C. : s.n.

Icontec 2006. Guía Técnica Colombiana GTC 53-7. Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos no Peligrosos. Bogotá D.C : s.n.

Icontec. 2003. Guía Técnica Colombiana GTC-24. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la Fuente y la Recolección Selectiva.

Jaramillo G, Zapata Márquez, L. M. 2008. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA.

José Pereira Martínez, Rolando Rodríguez Acosta. 1980. *Eliminación de los residuos sólidos urbanos*. Barcelona : Editores Técnicos Asociados.

Ltda, Aluna Consultores. 2011. *Estudio Nacional de Reciclaje*. 2011. Manual para el Manejo Integral de los Residuos en el Valle Aburrá. Área Metropolitana del Valle Aburrá : s.n.

Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2012. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básica (RAS 2012). BOGOTA : s.n..

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2014. Co-Programa Nacional para el Manejo de Residuos Sólidos. Bogota : s.n..

Noguera M. Katia, Olivero T. Jesús T. 2010. Los Rellenos Sanitarios en Latino América: Caso Colombiano. s.l. : Revista Academica Colombiana.

Consultoria 2015. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos . Municipio de Fortul : s.n.

PLANMA, Unión Temporal. 2015. Diagnostico y Alternativas del Municipio de Fortul. Arauca- Arauca : s.n.

Sandoval, Leandro. 2004. *Informe Técnico 634 Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

SEMARNAT), Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (. 2001. Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales. México : s.n.

SUSTENTA. 2016. SUSTENTA. [En línea] 2016. [Citado el: 03 de 10 de 2016.] <http://www.sustenta.org.mx/3/historia/>.

tecnology, Amis reciclyn.

Territorial, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. 2008. Construcción de Criterios Técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Manual 1. Generalidades. Bogotá : s.n.

Unicef. *Participación Ciudadana y Gestión Integral de Residuos*. Argentina : s.n. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. [En línea] [Citado el: 16 de 10 de 2016.]

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358022/contenidoLinea/leccin\\_18\\_manejo\\_de\\_residuos\\_convencionales\\_\\_plantas\\_de\\_aprovechamiento\\_y\\_tratamiento\\_de\\_residuos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358022/contenidoLinea/leccin_18_manejo_de_residuos_convencionales__plantas_de_aprovechamiento_y_tratamiento_de_residuos.html).