

**EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO
DE GARAGOA**

**ING. RODRIGO ANTONIO AREVALO PARDO
ING. FERNEY EDISON CÁRDENAS ACOSTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2.008**

**EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA
DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO
DE GARAGOA**

**ING. RODRIGO ANTONIO AREVALO PARDO
ING. FERNEY EDISON CÁRDENAS ACOSTA**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
Ing. Antonio Andrés Reyes Merchán**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2.008**



ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS DE INVESTIGACION O TESIS Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UIS

Yo, Rodrigo Antonio Arevalo Pardo, mayor de edad, vecino de Bogotá, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 79.156.792 de Usaquén., y, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado

EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE GARAGOA hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e Importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. **PARAGRAFO:** La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido ó por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. **PARAGRAFO:** En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bogotá, a los veintiocho días (28) días del mes de Noviembre de 2008.

EL AUTOR / ESTUDIANTE:

.....
Rodrigo Antonio Arevalo Pardo

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

*Doy gracias a Mis padres, hermanos
y sobrinas por ser el soporte en cada
uno de los propósitos de mí vida*
Ferney

*Doy gracias al Universo por
confabularse en la culminación de
este proyecto y a Inés, Carolina y
Rodrigo Alberto por el apoyo
incondicional en todo momento*
Rodrigo

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Al Municipio de Garagoa y en especial a la Empresa de Servicio Públicos quien opera la planta de tratamiento de residuos sólidos, por su apoyo en la ejecución de este proyecto en cuanto a información aportada.

Ing. Antonio Andres Reyes Merchán , Ingeniero Civil, Especialista en Recursos Hídricos Director de este proyecto por su colaboración y guía para la elaboración de este trabajo.

Personal administrativo y operativo de la planta de tratamiento de residuos sólidos por su colaboración en el suministro de información, acompañamiento durante el desarrollo del proyecto y por permitir el acceso a la planta

A todos los que tuvieron algún grado de participación en el desarrollo del trabajo

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
2. MARCO TEORICO	5
2.1. RESIDUOS SÓLIDOS	5
2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	5
2.2.1. Aprovechables y no aprovechables.	6
2.2.2. Orgánicos e Inorgánicos.	7
2.2.3. Fuente donde se generan.	7
2.2.4. Tipo	7
2.2.5. Residuos peligrosos	8
2.3. EFECTOS DE LA INADECUADA GESTIÓN DE RESIDUOS	8
2.3.1. Riesgos para la salud.	8
2.3.2. Efectos en el ambiente	11
2.3.3. Riesgos para el desarrollo social	12
2.3.4. Riesgos para el desarrollo urbano	14
2.4. MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	15
2.4.1. Técnicas de aprovechamiento de residuos reciclables	16
2.5. COMPOSTAJE	23
2.6. RELLENOS SANITARIOS	24
2.6.1. Rellenos Sanitarios Aerobios	25
2.6.2. Rellenos Sanitarios Anaerobios	25
3. SITUACIÓN ACTUAL E INFORMACIÓN BÁSICA DEL MANEJO DE LA PLANTA INTEGRAL MECÁNICO BIOLÓGICA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE GARAGOA	29
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUNICIPIOS Y EMPRESAS QUE DISPONEN EN LA PLANTA.	29
3.1.1. Climatología de la zona aledaña a la planta	30
3.1.2. Demografía y conectividad con municipios cercanos	30
3.2. ASPECTOS GENERALES DE LA PLANTA	32
3.2.1. Vías de acceso	33
3.2.2. Encerramiento	33
3.2.3. Áreas de trabajo	34

3.2.4. Infraestructura	35
3.3. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LOS MUNICIPIOS ATENDIDOS EN LA PLANTA INTEGRAL	37
3.3.1. Tratamiento y aprovechamiento de residuos	39
3.3.2. Material Orgánico	39
3.3.3. Material Inorgánico	44
3.3.4. Clasificación selectiva de material aprovechable	45
3.3.5. Descripción del proceso de aprovechamiento de material Inorgánico	47
3.3.6. Componente de aprovechamiento	50
3.3.7. Cantidad de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos Aprovechados	53
3.3.8. Material inerte, peligroso y no aprovechable	54
3.3.9. Disposición final de residuos no aprovechables en planta	54
3.3.10. Condiciones operativas en el sistema de disposición	56
3.4. RESIDUOS ESPECIALES	59
3.4.1. Identificación de los residuos especiales	59
3.5. REGISTRO Y CONTROL DE LA PLANTA	60
3.6. PERSONAL	61
3.6.1. Personal - Garantías Laborales - Seguridad Industrial	61
3.7. DIAGNOSTICO AMBIENTAL	62
3.7.1. MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE DISPOSICIÓN FINAL	62
3.7.2. Identificación de las comunidades afectadas con la prestación del servicio.	63
3.7.3. Identificación de las fuentes de agua afectadas por la disposición final de los residuos sólidos	63
3.7.4. Caracterización de lixiviados	64
3.7.5. Impactos ambientales asociados al manejo de los residuos sólidos	66
3.8. PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	69
3.8.1. Hábitos comunitarios	69
3.8.2. Métodos alternativos utilizados diferentes al servicio municipal	70
3.8.3. Actitud para participar en actividades de manejo de RS.	71
3.8.4. Número total de usuarios atendidos con el servicio de recolección y transporte	72
3.8.5. Equipos empleados para la recolección	72
3.8.6. Barrido de Calles	73
3.9. DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL	73
3.9.1. Responsabilidades del Municipio en el manejo de los RS	73
3.9.2. Aspectos económicos y financieros del servicio	74
3.9.3. Aspectos institucionales	74
3.9.4. Participación de la comunidad en la prestación del servicio	75
3.9.5. Organizaciones formales e informales que desarrollan actividades de reciclaje	77

4. EVALUACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS NATIVOS CARACTERIZADOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LA PLANTA.	80
4.1. FASE DE CAMPO 1	80
4.2. FASE DE LABORATORIO	80
4.2.1. Pruebas de antagonismo	81
4.2.2. Prueba de identificación rápida API 20 NE	81
4.2.3. Pruebas bioquímicas convencionales para bacilos grampositivos	81
4.2.4. Conformación de los Consorcios Bacterianos	82
4.3. FASE DE CAMPO 2	82
4.4. FASE DE LABORATORIO 2	83
5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES Y NO APROVECHABLES.	85
5.1. RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES.	85
5.2. RESIDUOS SÓLIDOS NO APROVECHABLES	92
5.3. IMPLEMENTACIÓN DE MICRORELLENO SANITARIO	92
5.3.1. Métodos de construcción de un relleno sanitario	94
5.3.2. Combinación de ambos métodos	95
5.4. Información básica	96
5.5. Características del terreno	99
5.5.1. Tipo de suelo	100
5.6. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	102
5.7. TALUDES EN TERRAPLÉN	106
5.8. MÉTODO DE ÁREA	109
5.9. VOLÚMENES DE GRAN LONGITUD	110
5.10. DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADO	115
5.10.1. Volumen de lixiviado	116
5.10.2. Longitud del sistema de zanjas para el lixiviado	116
5.10.3. Monitoreo de la calidad del agua	117
5.10.4. Cálculo de la celda diaria	117
5.10.5. Cantidad de residuos sólidos que se debe disponer	117
5.10.6. Volumen de la celda diaria	118
5.11. ANÁLISIS DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES	121
6. DEFINICIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS	124
7. CONCLUSIONES	128
8. RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	134

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Principales vectores.	10
Tabla 2. Climatología del sitio de disposición final	29
Tabla 3. Demografía	31
Tabla 4. Conectividad con municipios cercanos	31
Tabla 5. Convenio de manejo de residuos entre municipios y la PTMBRS de Garagoa.	34
Tabla 6. Toneladas procesadas de Residuos sólidos en el año 2008	37
Tabla 7. Porcentaje aproximado de selección mensual de residuos sólidos en la fuente durante el año 2008.	38
Tabla 8. Recepción de residuos por municipio/día	39
Tabla 9. Clasificación de residuos sólidos	45
Tabla 10. Inventario de Producción (residuo ya tratado o clasificado)	53
Tabla 11. Condiciones operativas en el sistema de disposición final	56
Tabla 12. Generalidades del servicio especial	59
Tabla 13. Manejo Ambiental del sistema de disposición final	62
Tabla 14. Impacto sobre fuentes de agua	64
Tabla 15. Impactos ambientales asociados al manejo de los RS.	65
Tabla 16. Impactos ambientales asociados al manejo de los RS.	66
Tabla 17. Autorizaciones ambientales	69

Tabla 18. Número de usuarios atendidos por el sistema.	72
Tabla 19. Descripción de los equipos de recolección	72
Tabla 20. Línea base obtenida del diagnóstico.	77
Tabla 21. Planteamiento de recolección por municipio y tipo de residuos.	88
Tabla 22. Densidad de diseño de la celda diaria y del relleno sanitario	98
Tabla 23. Taludes recomendados en corte	105
Tabla 24. Capacidad volumétrica del sitio para el relleno sanitario	119
Tabla 25. Aspectos socioambientales asociados a un proyecto de relleno sanitario	121
Tabla 26. Programas y Proyectos	124
Tabla 27. Proyectos y Actividades	124
Tabla 28. Costo estimado por actividad – Valores constantes.	125
Tabla 29 Consecuencias por evento en los componentes del servicio	127

LISTA DE GRAFICAS

	Pág
Figura 1. Relación entre el tipo de suelo, el coeficiente de permeabilidad y su aceptación para drenaje y relleno sanitario	101
Figura 2. Detalle de la sección transversal del canal trapezoidal	112

TITULO: EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE GARAGOA*

Autores: AREVALO PARDO, Rodrigo Antonio**
CARDENAS ACOSTA Ferney Edison**

Palabras claves: Residuo Sólido, Planta de Tratamiento, Reciclaje, Compostaje, Lixiviado, Relleno Sanitario

Gran porcentaje de los residuos sólidos tienen algún grado de aprovechamiento ya sean de tipo orgánico o inorgánico.

Las plantas de tratamiento son sistemas donde podemos separar los diferentes materiales que pueden ser clasificados, tratados y dispuestos para procesos de reciclaje (vidrio, metales, plásticos, etc), adicionalmente los materiales orgánicos son objeto de compostaje, residuo que se convierte en un abono rico en nutrientes apto en agricultura. Esta opción técnica y económica permite dar solución a varios problemas de los municipios como son manejo de basuras, fuentes de empleo, económicos mediante la comercialización de materiales recuperados, áreas de disposición final y afectación de recursos naturales.

Es importante la ejecución de programas donde se concientice a la población en temas de separación en la fuente, manejo de residuos, problemas de generación y disposición de estos, riesgos en su separación y tratamiento, etc. La disposición de los residuos es materia de discusión entre diferentes actores de la población y las plantas de tratamiento se presentan como la alternativa más viable tanto económica, como ambiental, social y culturalmente para el manejo de las mal llamadas basuras, a estos se incluye la construcción de rellenos sanitarios técnicamente instalados, que permitan dar a los residuos no aprovechables un adecuado sitio de disposición final.

El desarrollo de programas será exitoso con una planificación concertada entre los ejecutores y la población objeto, de actividades como lo son rutas de recolección, talleres de capacitación, facturación, seguridad industrial, riesgos de operación, afectación de poblaciones y recursos naturales, infraestructura, fuentes de financiación e institucionalidad involucrada.

En este trabajo se realizara análisis de la situación actual de la planta de tratamiento del municipio de Garagoa, se propondrán alternativas y realizaran recomendaciones de mejoramiento y optimización del proceso.

* Proyecto de Grado

**Facultad de Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing.- Antonio Andrés Reyes Merchán

TITLE: EVALUATION OF THE APPROACH AND OPTIMIZE THE TREATMENT PLANT OF SOLID WASTE OF THE MUNICIPALITY OF GARAGOA *

Authors: AREVALO PARDO, Rodrigo Antonio..
CARDENAS ACOSTA Ferney Edison **

Key words: Solid Waste Treatment Plant, Recycling, Composting, Leachate, Landfill,

Large percentage of solid waste have some degree of use either of organic or inorganic.

The treatment plants are systems where we can separate the various materials that can be sorted, processed and ready for recycling processes (glass, metals, plastics, etc.), additionally organic materials are subject to composting, residue that is converted into a fertilizer which is rich in nutrients suitable for agriculture. This technical and economical option allows solutions to various problems of municipalities such as waste management, sources of employment, economic goals through the marketing of recovered materials, areas of disposal and impairment of natural resources.

It is important to the implementation of programs where sensitize to the population on issues of separation at source, waste management, problems of generation and disposition of these, risks in their separation and treatment, etc. The disposal of waste is a matter for discussion between different stakeholders of the population and the treatment plants are presented as the most viable alternative both, economically as environmentally, socially and culturally for the handling of the so-called garbage, these include construction of landfills technically installed, that allows to the waste, which can not be used to waste a suitable site for disposal.

The development program will be successful with a concerted planning and executing the target population, activities such as collection routes, training workshops, billing, industrial safety, operational risks, affected populations and natural resources, infrastructure, sources financing and institutionalization involved.

In this work we undertake analysis of the current situation of the treatment plant in the municipality of Garagoa, propose alternatives and make recommendations for improvement and optimization of the process.

* Thesis

** Physical-Chemicals Faculty, Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist. Director.- Antonio Andrés Reyes Merchán

INTRODUCCIÓN

El manejo de los residuos sólidos en el mundo ha cambiado con el paso de los años al partir de una disposición sin tratamientos, ningún tipo de aprovechamiento y en condiciones inadecuadas con potenciales afectaciones a la estabilidad ambiental, social y económica de la zona donde se hacía dicha disposición.

Con este panorama, el incremento de la población en especial en las zonas urbanas, la creciente demanda de recursos naturales y de servicios ambientales, la disminución de la capacidad de recepción y de ubicación de lugares donde depositar las mal llamadas basuras, generaron el interés de diferentes sectores tanto públicos como privados para reducir el impacto que esta disposición generaba, generando propuestas que permitieran su tratamiento. En este sentido se idearon la generación de rellenos sanitarios, la instalación de plantas de tratamiento, la implementación de programas de sensibilización en cuanto a la separación en la fuente, reutilización, reducción de la generación de residuos y aprovechamiento de los mismos; por otra parte poblaciones desfavorecidas de las grandes ciudades ven en el reciclaje una alternativa económica que ha permitido fomentar fuentes de empleo, generar la organización de estas personas, mejorar su calidad de vida y favorecer las campañas de reciclaje y de reducción de los residuos a disponer en los rellenos sanitarios, los cuales en su mayoría están copando su capacidad de recepción debido a la gran cantidad de residuos que llegan sin separación o un aprovechamiento previo lo que planteó la necesidad de establecer campañas de educación y sensibilización a la población y de instalación de infraestructura que permita hacer un tratamiento previo a los residuos y así disminuir la cantidad a disponer en los rellenos.

Es por esto que en el municipio de Garagoa se inició hacia el año 2003 la construcción de la planta integral de residuos sólidos, la cual entró en funcionamiento para la siguiente vigencia (2004). El proyecto “Planta de Procesamiento Integral de Residuos Sólidos de Garagoa” nació con base en la política de regionalización en la que se encuentra enmarcada la Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR), la cual busca minimizar los impactos al medio a través de la propuesta de tener un solo sitio de manejo de residuos sólidos para un grupo determinado de municipios; al poseer una situación óptima en cuanto a la cercanía al sitio de disposición, la clase y cantidad de residuos que producen y la disposición que tiene cada administración de apoyar dicho programa, es así como se buscó que dicho esquema cumpliera con todas las especificaciones ambientales, técnicas y de beneficio social identificadas, el cual es regido por lo determinado en las leyes colombianas, siendo evaluado y controlado por el ente ambiental correspondiente.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de residuos sólidos del Municipio de Garagoa y plantear alternativas de optimización.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la metodología implementada para el tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios a partir de la determinación de los tamaños poblacionales de la microflora en nueve (9) celdas de experimentación existentes.

Hacer una revisión bibliográfica de los estudios realizados a la microflora del proceso de compostaje y determinar su calidad

Plantear alternativas de manejo del compostaje producido en la planta.

Revisar los procesos de separación en la fuente y del manejo en la planta de los residuos reciclables.

Plantear recomendaciones tendientes a mejorar tanto los procesos de separación en la fuente como de recepción y aprovechamiento en la planta de los residuos inorgánicos.

Diagnosticar la disposición de los residuos peligrosos o especiales y plantear alternativa de manejo para ellos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS SÓLIDOS¹.

Residuo sólido o desecho. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

La disposición final de las basuras tiene como objetivo la transformación y tratamiento de las mismas por medio de procesos químicos, físicos o biológicos. El menos adecuado de estos procesos es la incineración por la contaminación que produce por sus emisiones atmosféricas.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La cantidad y tipo de residuos sólidos que genera una población depende de factores culturales geográficos y socioeconómicos. Por esto, la producción de residuos cambia de un lugar a otro, dependiendo de las actividades que allí se realicen y las costumbres de sus habitantes.

¹ Definición según decreto 1713 de 2002

La clasificación de los residuos sólidos esta dada por diferentes características que enumeran a continuación:

2.2.1. Aprovechables y no aprovechables.

a. Aprovechables: Son materiales que aunque no tiene un valor para quién lo genera, se puede convertir en materia prima para la fabricación de otros productos. A este grupo pertenecen los residuos biodegradables y los residuos reciclables.

- Residuos biodegradables u orgánicos: Son aquellos que pueden ser destruidos o transformados por la acción de microorganismos. Son biodegradables todos aquellos residuos de comida, vegetales (residuos de cosecha), de jardines como los cortes de prado, ramas de árbol y arbustos.
- Residuos reciclables: Son los materiales que después de ser utilizados conservan propiedades valiosas que les permiten ser la base para la fabricación de nuevos elementos. Son reciclables el papel, el cartón, el vidrio, el plástico, los metales, textiles, entre otros.

b. No Aprovechables: Son aquellos que no tiene ningún valor comercial, por lo tanto se deben disponer mediante enterramiento en rellenos sanitarios o mediante incineración en hornos diseñados para tal fin. Pertenecen a este grupo los residuos comunes y los residuos higiénicos.

- Residuos Comunes: Corresponde a aquellos residuos como: bombillos, papel carbón, envolturas de productos como dulces o libros, aerosoles, algunos plásticos, entre otros.

- Residuos higiénicos: Son aquellos que se utilizan en el aseo del cuerpo humano, como el papel higiénico, pañales, toallas higiénicas, pañitos húmedos, copitos, etc. Algunos de estos se pueden llegar a comportar.

2.2.2. Orgánicos e Inorgánicos.

- a. Orgánicos: Sólidos o semisólidos, alta o baja tasa de biodegradación, putrescibles.
- b. Inorgánicos: No putrescibles

2.2.3. Fuente donde se generan.

- a. Domésticas o residenciales
- b. Comerciales
- c. Comercial de alimentos
- d. Plazas de mercado
- e. Industriales
- f. Institucionales
- g. Especiales
- h. Barrido y limpieza de calles y áreas públicas

2.2.4. Tipo

- a. Desechos de alimentos
- b. Papel y cartón
- c. Plásticos
- d. Vidrio
- e. Madera
- f. Textiles
- g. Metales (ferrosos y no ferrosos)

- h. Textiles
- i. Caucho
- j. Otros

2.2.5. Residuos peligrosos: Es aquel que por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas puedan causar riesgo a la salud humana o deteriorar la calidad ambiental hasta niveles que causen riesgo a la salud humana. También son residuos peligrosos aquellos que sin serlo en su forma original se transforman por procesos naturales en residuos peligrosos. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos².

2.3. EFECTOS DE LA INADECUADA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS³

2.3.1. Riesgos para la salud: La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada; sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas, al lado de otros factores, principalmente por vías indirectas. Para comprender con mayor claridad sus efectos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos que provocan.

A. Riesgos directos: Son los ocasionados por el contacto directo con la basura, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de

² decreto 1713/02

³ CEPIS, Manual de manejo de residuos sólidos.

afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de basura.

El servicio de recolección de basura es considerado uno de los trabajos más arduos: se realiza en movimiento, levantando objetos pesados y, a veces, por la noche o en las primeras horas de la mañana; condiciones estas que lo vuelven de alto riesgo y hacen que la morbilidad pueda llegar a ser alta. Las condiciones anteriores se tornan más críticas si las jornadas son largas y si, además, no se aplican medidas preventivas o no se usan artículos de protección necesarios. Asimismo, los vehículos de recolección no siempre ofrecen las mejores condiciones: en muchos casos, los operarios deben realizar sus actividades en presencia continua de gases y partículas emanadas por los propios equipos, lo que produce irritación en los ojos y afecciones respiratorias; por otra parte, estas personas están expuestas a mayores riesgos de accidentes de tránsito, magulladuras, etc.

En peor situación se encuentran los segregadores de basura, cuya actividad de separación y selección de materiales se realiza en condiciones inhumanas y sin la más mínima protección ni seguridad social. En general, por su bajo nivel socioeconómico, carecen de los servicios básicos de agua, alcantarillado y electricidad y se encuentran sometidos a malas condiciones alimentarias, lo que se refleja en un estado de desnutrición crónica.

Los segregadores de basura suelen tener más problemas gastrointestinales de origen parasitario, bacteriano o viral que el resto de la población. Además, sufren un mayor número de lesiones que los trabajadores de la industria; estas lesiones se presentan en las manos, pies y espalda, y

pueden consistir en cortes, heridas, golpes, y hernias, además de enfermedades de la piel, dientes y ojos e infecciones respiratorias, etc. Frecuentemente, estos problemas son causantes de incapacidad.

Los mismos recicladores de basura se transforman en vectores sanitarios y potenciales generadores de problemas de salud entre las personas con las cuales conviven y están en contacto.

B. Riesgos indirectos: El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad.

Tabla 1. Principales vectores.

Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	Mordisco, orina y heces Pulgas	Peste bubónica, Tifus murino, Leptospirosis
Moscas	Vía mecánica n Fiebre tifoidea (alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea, Salmonellosis, Cólera, Amibiasis, Disentería, Giardiasis
Mosquitos	Picadura del mosquito hembra	Malaria, Leishmaniasis, Fiebre amarilla, Dengue, Filariasis
Cucarachas	Vía mecánica n Fiebre tifoidea (alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea, Heces, Cólera, Giardiasis

Cerdos	Ingestión de carne contaminada	Cisticercosis, Toxoplasmosis, Triquinosis, Teniasis
Aves	Heces	Toxoplasmosis

Fuente: Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental, DESA/UPMG. Fundação Estadual do Meio Ambiente. FEMA/MG. 1995.

2.3.2. Efectos en el ambiente: El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural. La degradación del paisaje natural, ocasionada por la basura arrojada sin ningún control, va en aumento; es cada vez más común observar botaderos a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar.

- A. Contaminación del agua: El efecto ambiental más serio pero menos reconocido es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por el vertimiento de basura a ríos y arroyos, así como por el líquido percolado (lixiviado), producto de la descomposición de los residuos sólidos en los botaderos a cielo abierto. Es necesario llamar la atención respecto a la contaminación de las aguas subterráneas, conocidas como mantos freáticos o acuíferos, puesto que son fuentes de agua de poblaciones enteras. Las fuentes contaminadas implican consecuencias para la salud pública cuando no se tratan debidamente y grandes gastos de potabilización.

La descarga de residuos sólidos a las corrientes de agua incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutroficación, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora la belleza natural de este recurso. Por tal motivo, en muchas regiones las corrientes de agua han

dejado de ser fuente de abastecimiento para el consumo humano o de recreación de sus habitantes.

La descarga de la basura en arroyos y canales o su abandono en las vías públicas, también trae consigo la disminución de los cauces y la obstrucción tanto de estos como de las redes de alcantarillado. En los periodos de lluvias, provoca inundaciones que pueden ocasionar la pérdida de cultivos, de bienes materiales y, lo que es más grave aún, de vidas humanas.

Contaminación del suelo: Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los botaderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de basura. Además, la contaminación o el envenenamiento de los suelos es otro de los perjuicios de dichos botaderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental.

- B. Contaminación del aire: Los residuos sólidos abandonados en los botaderos a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemas y los humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes.

2.3.3. Riesgos para el desarrollo social: Las difíciles condiciones económicas, las migraciones rurales, en suma, la pobreza, han convertido los recursos contenidos en la basura en el medio de subsistencia de muchas personas con sus familias. Esta realidad continuará mientras no existan para ellas otras formas más dignas

de ganarse la vida. Existen riesgos sanitarios cuando se manejan residuos domésticos mezclados con los peligrosos, lo que ocurre en la mayoría de las ciudades de la Región, pues no hay recolección selectiva de residuos peligrosos, salvo en pocas ciudades donde los desechos de origen hospitalario se recogen de forma separada.

Para estas personas, dedicadas a labores de segregación, la violencia con arma blanca y arma de fuego y los accidentes de tránsito, por ser los más comunes, constituyen un problema de salud importante no solo por su frecuencia sino por la gravedad que revisten y las secuelas que dejan. Implican un costo social y económico importante para el segregador y su familia y para el Estado, el cual cubre de una u otra forma la mayor parte de los gastos de atención.

El estado de salud de la familia del reciclador, que no realiza este tipo de labores, no difiere del sector popular, donde predominan las infecciones respiratorias y la diarrea aguda, que son las principales causas de morbilidad en los niños; en las mujeres, son graves las enfermedades de transmisión sexual y las relacionadas con el embarazo, parto y puerperio; en adultos, se destacan las enfermedades cardio-vasculares.

El grupo de población que se dedica a la recuperación de elementos en los sitios de disposición final demanda una mayor atención y esfuerzo del Estado para el mejoramiento de sus condiciones de vida, porque, además de los riesgos sanitarios directos a los cuales está expuesto, puede incidir en las condiciones de salud de la población que se encuentra a su alrededor. En los sectores de altos ingresos, el manejo de los residuos domiciliarios no pasa de respetar los horarios de la empresa de aseo y de exigir la limpieza de las zonas aledañas a la vivienda.

Las actitudes humanas, familiares, profesionales, institucionales y las relaciones entre los diferentes actores del sector están profundamente marcadas por la

cultura, los valores y las percepciones existentes entre los distintos componentes de las sociedades urbanas y semirurales de la Región. De esta manera, cualquier propuesta de orden técnico u operativo deberá incluir la dimensión social y cultural del contexto en el cual se pretenda aplicar.

2.3.4. Riesgos para el desarrollo urbano: Las autoridades se quejan habitualmente de la falta de disciplina social y cívica de la población y, por su parte, esta se queja de la incapacidad de las instituciones públicas para cumplir su papel. El primer reclamo de los sectores populares se refiere a la cobertura. Los indicadores de cobertura son engañosos porque representan el número de usuarios que contribuye con una tarifa y no se refieren a la calidad del servicio. De esta manera, muchos pagan pero no reciben el servicio, y otros sencillamente ni lo pagan ni lo reciben por encontrarse su vecindario en una situación de ilegalidad en relación con las tierras o los servicios públicos.

Es común que los botaderos a cielo abierto se sitúen en las áreas donde vive la población económicamente más pobre, lo que aumenta el grado de deterioro de todas las condiciones y, en consecuencia, devalúa las propiedades, lo que constituye un obstáculo para el desarrollo urbano de la ciudad. Asimismo, cerca de estos lugares se instalan tanto los recicladores como los intermediarios dedicados a la compra y venta de materiales obtenidos en los basurales, quienes en forma precaria construyen sus improvisadas viviendas y expanden así el cinturón de miseria y deterioro del vecindario.

Conviene advertir que uno de los criterios técnicos de selección del sitio para instalar un relleno sanitario es el de estar ubicado en lugares que tengan poco valor para el sector productivo o la urbanización y que reúnan condiciones para recibir residuos sin generar grandes impactos ambientales. Los terrenos en estos

lugares suelen tener un costo reducido y pueden ser adquiridos por personas de bajos recursos.

En este sentido, nos encontramos ante un círculo vicioso, dado que aun cuando el relleno sanitario se construya primero, no tardarán en aparecer en los alrededores las viviendas de las personas más pobres. Es más, algunas veces las mismas autoridades locales expiden licencias de construcción de viviendas sin respetar los retiros recomendados, según el caso, por lo que más tarde sus habitantes pueden entrar en conflicto con la obra.

2.4. MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Para el manejo de los residuos sólidos existen diferentes métodos y técnicas tanto de aprovechamiento como de disposición final y para lo cual en Colombia se ha emitido una serie de normas que regulan esta actividad y plantea metodologías de manejo como la referenciada en la resolución 1045/03 del MAVDT, donde se dan las directrices para la implementación de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIR, así mismo el RAS y normas como el decreto 1713/02 Pasos a seguir para la elaboración de un PGIR⁴.

1. Descripción de la organización municipal para la elaboración del PGIRS.
2. Diagnóstico (se debe incluir el análisis brecha).
3. Proyecciones demográficas, de generación de residuos, de zonas de expansión urbana y de usos del suelo.
4. Objetivos y metas generales, los cuales deberán ser conciliados con las políticas definidas por el Gobierno Nacional y la autoridad ambiental respectiva.
5. Objetivos y metas específicas definidas a través de programas.

⁴ Metodología para la elaboración de un PGIR MAVDT.

6. Análisis y selección de alternativas soportada en estudios de prefactibilidad y factibilidad.

7. Estructuración del Plan

Proyectos específicos, los cuales conforman los programas, que incluyan una descripción del resultado esperado, las actividades a realizar, cronograma de ejecución, presupuesto, duración y responsables.

Presupuesto y Plan de Inversiones de cada programa que conforma el PGIRS

Plan financiero viable.

8. Plan de contingencias.

9. Mecanismos para la implementación, actualización, seguimiento y control del PGIRS.

2.4.1. Técnicas de aprovechamiento de residuos reciclables

A. Recuperación de plásticos: Los plásticos utilizados habitualmente en la industria e incluso en la vida cotidiana son productos con una muy limitada capacidad de autodestrucción, y en consecuencia quedan durante muchos años como residuos, con la contaminación que ello produce.

Por otra parte, la mayoría de los plásticos se obtienen a partir de derivados del petróleo, un producto cada vez más caro y escaso, y, en consecuencia, un bien a preservar.

En consecuencia, cada día es más claro que es necesaria la recuperación de los restos plásticos por dos razones principales: La contaminación que provocan y el valor económico que representan. Son tres los métodos de reciclaje de plásticos más utilizados.

Reutilización: Es aplicable a aquellos productos que tienen un valor en su forma y estado actual, tales como cajas de poliestireno expandido, cajas de transporte de botellas o frutas, bidones...

En estos casos, un simple lavado y almacenamiento del producto limpio es suficiente para su recuperación. Las aguas de lavado se utilizan en la planta de compostaje, papel u otra recuperación dentro del mismo complejo.

- Reciclado por calidades: Se trata de separar los plásticos en función de su composición (polietilenos, PVC, PET, ABS...) y efectuar un lavado de los mismos.

Los plásticos limpios pueden ser comprimidos en balas como en el caso del papel para su venta o fundidos y convertidos en granzas para darles un valor añadido.

Los rechaces se reciclan como se indica a continuación o se pasan a la valorización energética.

- Reciclado conjunto: Consiste en realizar una mezcla de la totalidad de los plásticos recogidos y, previa limpieza y trituración, moldearlos por extrusión obteniendo perfiles para su utilización en construcción, agricultura, urbanismo etc. como sustitutos de la madera o metales.

Se puede fabricar madera plástica a partir del brik o plásticos de post-consumo. El nuevo material, la madera plástica reciclada procede de la recogida selectiva municipal, y con él se fabrican desde mobiliario urbano, industrial y residencial (bancos, papeleras o suelos) hasta elementos de decoración (pérgolas, jardineras).

Materiales similares procedentes de plásticos llevan años comercializándose en EEUU y Europa, y muestran numerosas ventajas tanto técnicas como

ambientales, como son su resistencia, inalterabilidad y contribución al reciclado de residuos.

Además de estas formas de aprovechamiento de los plásticos, no podemos evitar mencionar la incineración o descomposición pirolítica como fuente de energía, principalmente para la obtención de electricidad y calor. Así mismo en Europa se han adelantado estudios para la fabricación de una planta de gasificación para el aprovechamiento de residuos plásticos.

A.. Proceso de fabricación de botellas y recipientes: Las botellas, tarros y otros recipientes de vidrio se fabrican mediante un proceso automático que combina el prensado (para formar el extremo abierto) y el soplado (para formar el cuerpo hueco del recipiente). En una máquina típica para soplar botellas, se deja caer vidrio fundido en un molde estrecho invertido y se presiona con un chorro de aire hacia el extremo inferior del molde, que corresponde al cuello de la botella terminada. Después, un desviador desciende sobre la parte superior del molde, y un chorro de aire que viene desde abajo y pasa por el cuello da la primera forma a la botella. Esta botella a medio formar se sujeta por el cuello, se invierte y se pasa a un segundo molde de acabado, en la que otro chorro de aire le da sus dimensiones finales. En otro tipo de máquina que se utiliza para recipientes de boca ancha, se prensa el vidrio en un molde con un pistón antes de soplarlo en un molde de acabado. Los tarros de poco fondo, como los empleados para cosméticos, son prensados sin más.

B. Recuperación y reciclaje: La recuperación del vidrio se atribuye inicialmente a Alemania y Suiza, aunque fueron los daneses los pioneros en este campo comenzando en 1962. En nuestro país el reciclado se inició con el vidrio doméstico en febrero de 1982. Durante años, el envase de vidrio fue un producto reutilizable que se devolvió a la empresa embotelladora o envasadora para su lavado y relleno. Tradicionalmente, el calcín era el vidrio recuperado en las roturas

y rechazos que se producían en los procesos de fabricación, lavado o embotellado. La era de los envases de vidrio «sin depósito-no retornables», y de otras formas de envases a nuevos y mejorados» para los alimentos (por ejemplo, envases de aluminio y plástico), enviaron la mayoría de los envases de vidrio al flujo de los residuos evacuables.

El cambio en la evacuación del vidrio llegó con las distintas prácticas de recolección de residuos sólidos. Por lo general, los envases de vidrio recuperados y devueltos para su refabricación son el resultado de una serie de prácticas, realizadas para la recuperación de los materiales, que:

- Recuperan envases de vidrio en centros de recolección dedicados a la separación de reciclables.
- Recuperan los envases de vidrio procedentes de fuentes comerciales.
- Recuperan los envases de vidrio a partir de reciclables mezclados, que normalmente incluyen: papel, vidrio, aluminio y plásticos.
- Recuperan envases de vidrio en plantas de procesamiento para los residuos sólidos.
- Recuperan vidrios rotos y rechazos procedentes del proceso de fabricación de envases de vidrio y de la industria envasadora.

En el proceso de recuperación y cumpliendo con lo anterior se logra establecer en este ciclo una serie de características que hacen del reciclaje una actividad esencial en la preservación del medio ambiente. Para que el material recuperado sea apropiado para la reutilización debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Que el material obtenido pueda ser utilizado de nuevo íntegramente.
- Que el nuevo material mantenga al 100% sus cualidades.

- Que el material resultante se utilice para fabricar el mismo producto del que proviene.

C. Procesamiento de envases de vidrio: El procesamiento de los envases de vidrio está directamente relacionado con el tipo de productos que serán fabricados y con el tipo de materiales que serán sustituidos por el calcín (Chatarra de vidrio fragmentado, acondicionado o no para su fundición). En la industria del vidrio, siempre se ha introducido este en el lote de producción, ya que se trata de una materia secundaria fiable y libre de contaminantes. Sin embargo, la reutilización del vidrio de envases tardó muchos años en implantarse como un segmento de la industria del reciclaje.

Los requisitos básicos para emplear envases de vidrio usados en la fabricación de envases de vidrio nuevos no han cambiado desde que el calcín propio fue introducido por primera vez como un ingrediente secundario. El vidrio debe estar limpio, libre de tapas y anillos metálicos, y lo que es aún más importante, debe estar seleccionado por colores. Como consecuencia de estos criterios de fabricación, el procesamiento del vidrio ha evolucionado hasta incluir los pasos necesarios que garantizan una materia secundaria útil.

Los pasos básicos para el procesamiento del vidrio de envases son:

1. Lavado inicial, separación de tapas.
2. Separación por colores.
3. Reducción del volumen mediante trituración o rotura.
4. Preparación para su transporte al mercado.
5. Beneficio propio.

Estos pasos se realizan en diversas etapas después de la recuperación posconsumidor y de la comercialización planificada del vidrio procesado.

- Limpieza inicial y separación por colores: Los programas de recuperación para los reciclables mezclados pueden diseñarse de forma que incluyan a los envases de vidrio. La recuperación de las botellas y frascos de vidrio se realiza normalmente mediante cintas transportadoras y selección manual. Los envases de vidrio pueden seleccionarse sistemáticamente al mismo tiempo que se recolectan de la cinta de procesamiento. Algunas bandas transportadoras se diseñan para que sólo con la selección manual se consiga la desviación de los envases de vidrio hasta transportadoras individuales, que dirigen los envases seleccionados por colores hacia los procesos de rotura, cribado y almacenamiento a granel.
- Rotura y trituración del vidrio: La rotura del vidrio no es deseable si se produce antes de la separación por colores. No es fácil separar el vidrio roto del flujo de los residuos mezclados, pasando a convertirse en un material de vidrio mezclado que no tiene valor real para los usuarios de calcín. Si los envases de vidrio van a recuperarse para ser vendidos a los fabricantes de envases o a otros usuarios de calcín limpio y libre de contaminantes, entonces hay que realizar una selección por colores antes de que se produzcan roturas; los anillos metálicos, las etiquetas de papel y los residuos de comida deben ser eliminados, cribados y separados del vidrio después de la rotura inicial y/o trituración, y el almacenamiento del calcín procesado debe asegurar que el material a granel se mantenga limpio hasta que se envíe al mercado.
- Preparación y transporte: El vidrio de envase es un material de baja densidad hasta que se rompe o tritura. Entonces se convierte en un material de alta densidad. Normalmente es necesario almacenar el vidrio, hasta acumular la cantidad suficiente de un color que posibilite un transporte rentable.

Los vidrios rotos se transportan frecuentemente como material a granel en grandes contenedores. Ocasionalmente se utilizan contenedores más pequeños

para transportar cantidades menores de vidrio limpio y de color uniforme hasta los usuarios de vidrio triturado de alta calidad.

- **Procesamiento final:** Los envases seleccionados por colores se envían, enteros, rotos o triturados, hasta los usuarios finales. El lavado final se realiza en la fábrica mediante un equipo especializado que separa los materiales residuales, el plástico y las etiquetas de papel. Después, los vidrios rotos se mezclan con las materias primas utilizadas para la elaboración del vidrio. A continuación, el lote se funde en un horno a temperaturas entre 1.425 y 1.525 °C, según el porcentaje de vidrios rotos presente en el lote. La mezcla puede fundirse a una temperatura menor si se utilizan más vidrios rotos. El vidrio fundido cae sobre una máquina moldeadora donde se sopla o se moldea hasta conseguir la forma final. Los nuevos envases ya formados se enfrían lentamente en un túnel de recocido. Se inspeccionan para detectar posibles defectos, se embalan y se transportan hasta la compañía embotelladora.

En resumen, la regla básica más importante para recuperar y vender los envases de vidrio consiste en limpiar y seleccionar por colores con el fin de lograr un producto reciclable de alta calidad.

Aplicaciones: Mediante una continua investigación, se han identificado otros mercados para los vidrios rotos. El vidrio se utiliza, o puede ser utilizado, en la fabricación de:

- Glasphalt, un asfalto con un porcentaje de vidrio triturado que se utiliza en las carreteras.
- Materiales de edificación y construcción, tales como ladrillos y tejas de arcilla, bloques, etc.; árido ligero para el hormigón y los plásticos; compuestos de polímeros de vidrio; foamglas para tablas de construcción y aislamiento.
- Pintura reflectante para señales viales (elaborada con pequeñas esferas de

vidrio).

- Aislamiento de lana de vidrio.
- Postes para cables telefónicos y para vallas (mezclando vidrios rotos con polímeros plásticos).
- Enmiendas de suelo para mejorar el drenaje y la distribución de la humedad.
- Arena artificial para la restauración de playas.
- Fibra de vidrio.
- Abrasivos.
- Muchos otros materiales asociados con la industria de la construcción y la industria textil.

La mayoría de estas aplicaciones ya han sido probadas. Solo algunas de ellas están utilizándose con frecuencia.

2.5. COMPOSTAJE

Es un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción bacteriológica de microorganismos contenidos en los mismos residuos orgánicos, de lo que resulta un producto denominado compost. Este es un material similar al humus (tierra); mejora los suelos pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial.

El método de compostaje puede ser beneficioso para los países en desarrollo, ya que mediante este proceso es posible recuperar el gran porcentaje de materia orgánica que contienen los residuos sólidos y, dado que exige la separación del resto de residuos sólidos, se convierte en una buena oportunidad para iniciar el reciclaje de otros materiales. Pero antes de decidir la construcción de una planta de compostaje, se debe estudiar cuidadosamente si el producto cuenta con un

mercado potencial, ya que muchas plantas en el mundo han fracasado por no poder comercializar el producto.

Lombricultura: El cultivo de una lombriz especial la *Eisenia foétida* con ciertos residuos orgánicos como sustrato o alimento (sobre todo, estiércol de ganado y residuos de cosechas) permite la conversión de este recurso en humus (mejorador de suelos) y proteína (como alimento de animales e incluso para el consumo humano), soluciona en parte el problema de la disposición de residuos sólidos y puede producir beneficios económicos. Es necesario tener cuidado especial con estas prácticas, pues solo deben ser consideradas como alternativas complementarias en la gestión integral de los residuos y de ninguna manera como la solución al problema.

2.6. RELLENOS SANITARIOS

Un Relleno Sanitario es un sitio donde se depositan los residuos no aprovechables que produce una ciudad, población o zona habitada, de tal manera que, mejorando el paisaje, se produzca el mínimo daño al ambiente y a la salud de la población sometida al riesgo de sus efluentes. Es el sitio donde diariamente los residuos son recibidos, dispuestos, compactados, cubiertos y donde se realiza el control ambiental (principalmente gases, olores y lixiviados), así mismo, se realiza control y monitoreo a la estabilidad con el fin de prevenir riesgos de deslizamiento.

El relleno Sanitario puede tener la posibilidad de recuperar predios o terrenos alterados por la naturaleza, como los erosionados o los alterados por el hombre.

2.6.1. Rellenos Sanitarios Aerobios: La compañía Ralph Stone Co. (1969), investigó el concepto de aireación forzada en celdas de rellenos aerobios por medio de tuberías enterradas. En este método se suministra aire a los residuos dentro del relleno para al mismo tiempo, remover los gases de descomposición a través de las celdas, produciéndose una descomposición aerobia.

Al mantener esta degradación aerobia dentro de las celdas se acelera la descomposición sin producir gases tóxicos y explosivos. Las investigaciones demostraron que este método es factible.

2.6.2. Rellenos Sanitarios Anaerobios: En la mayoría de los casos, más del 90% del volumen del gas producido de la descomposición de residuos sólidos consiste en metano y dióxido de carbono. Sin embargo, no hay oxígeno en un relleno sanitario cuando las concentraciones de metano alcanzan el nivel crítico (15%) en el relleno, y tampoco hay peligro que el relleno explote. Aunque la mayor parte del metano escapa a la atmósfera, se han encontrado concentraciones de ambos, metano y dióxido de carbono, hasta del 40% a distancias laterales hasta de 125 metros de los bordes del relleno.

Para rellenos sanitarios sin ventilación, la extensión de este movimiento lateral varía con las características del material de recubrimiento y el suelo circundante. Si el metano es sacado a la atmósfera en una manera no controlada, se puede acumular, debido a que su peso específico es menor que el del aire, debajo de construcciones o en otros espacios cerrados o cerca de ellos, en un relleno sanitario. El dióxido de carbono, por otro lado, es molesto debido a su densidad. El dióxido de carbono es alrededor de 1.5 veces más denso que el aire y 2.8 veces más denso que el metano, de manera que tiende a moverse hacia el fondo del relleno. Como resultado, la concentración de dióxido de carbono en las partes más bajas del relleno sanitario puede ser elevada durante años.

Finalmente, debido a su densidad, el dióxido de carbono también se moverá hacia abajo a través de la formación subyacente hasta alcanzar al agua subterránea. Debido a que el dióxido de carbono es muy soluble en el agua, generalmente baja el pH, lo que a su vez aumenta la dureza y el contenido mineral del agua subterránea mediante solubilización.

- Lixiviados: Se entiende por lixiviado el líquido residual que es generado en la descomposición bioquímica de los residuos o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación, este líquido tiende a salir, por gravedad, por la parte inferior del Relleno Sanitario, hasta que una capa impermeable lo impida. En Rellenos Sanitarios con alturas mayores de 15 metros, es necesario hacer estudios hidráulicos para el manejo de las presiones piezométricas y evitar el aumento de la presión de poros dentro de la masa de residuos, que puede causar problemas de inestabilidad, se deben colocar filtros de piedra, por lo menos cada 15 metros. En Rellenos Sanitarios con alturas menores de 15 metros, se debe permitir que el lixiviado percole a través de los residuos hasta la capa inferior de material permeable.

Los filtros captadores de lixiviados dentro del Relleno Sanitario irán por la pata del talud, de tal manera que se puedan sacar del área del Relleno Sanitario y conducirlos a un sistema de tratamiento. La pendiente longitudinal de estos filtros debe ser siempre mayor que 3%; una vez que salgan del Relleno Sanitario, los filtros se podrán cambiar por tubería de diámetro mínimo de 15 centímetros, que los lleve al sistema de almacenamiento y tratamiento.

Cuando llueve una parte del agua se pierde en la escorrentía superficial, otra se evapotranspira y el agua restante se filtra a través de los residuos en el relleno sanitario siendo contaminada con diversos componentes orgánicos e inorgánicos.

Producción de Lixiviados: De acuerdo con los conocimientos actuales, las cantidades de lixiviados pueden determinarse según el grado de compactación del relleno:

- Rellenos compactados con compactadores: 25% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 5 m³/ha/d para el caso de 750 mm. de precipitación anual).
- Rellenos compactados con orugas: 40% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 9 m³/ha/d para el caso de 750 mm de precipitación anual).

Las cantidades de lixiviados para rellenos se ubican aproximadamente entre estos valores. Estos valores representan un resumen de los análisis de lixiviados de rellenos ubicados en las zonas con 500 a 1050 mm de precipitación anual.

En la práctica pueden darse desviaciones de estos valores, condicionadas por particularidades locales, por ejemplo mayores cantidades de lixiviados en las laderas; compactado natural causado por el agua del subsuelo que penetra en el relleno; disminución por retención en el relleno, en el caso de rellenos que estén ubicados en depresiones o cuando hay recubrimientos con material aglutinante. En este tipo de rellenos pueden retenerse cantidades considerables de lixiviados, que pueden conducir a problemas en la operación y en la estabilidad.

Al calcular las cantidades de lixiviados hay que tener en cuenta que, por lo general, su producción no está distribuida en forma equitativa a lo largo del año, con excepción de la retención débil a media en el relleno.

- Material de cobertura: El material de cobertura es aquel que se explota en el mismo sitio del Relleno Sanitario o en sitios aledaños o es importado de otros lugares y sirve para el cubrimiento de los residuos una vez compactados.

La utilización de material de cobertura tiene como finalidad aislar los residuos de su entorno, ya sea impidiendo la salida indiscriminada de flujos gaseosos no controlados hacia el exterior, o cortando la infiltración de agua de escorrentía hacia el cuerpo de residuo, o actuando como barrera ante la posible acción de animales como insectos, roedores y aves.

Una de las principales funciones del material de cobertura es la de evitar la infiltración del agua de escorrentía; por lo tanto, deberá impedir la formación de encharcamientos y retenciones de agua al tener pendientes suaves o que, contrariamente, presente erosión por pendientes elevadas. El material de cobertura debe ser retirado cuando se vaya a construir sobre la terraza una nueva celda, con el fin de darle estabilidad a los residuos, facilitar la percolación de los lixiviados producidos por la descomposición química y permitir la salida de los gases.

El material de cobertura, además de evitar la infiltración del agua de escorrentía e impedir la salida de lixiviados y gases de forma descontrolada, también sirve para el control de incendios, y para dar un aspecto paisajístico agradable al Relleno Sanitario.

3. SITUACIÓN ACTUAL E INFORMACIÓN BÁSICA DEL MANEJO DE LA PLANTA INTEGRAL MECÁNICO BIOLÓGICA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE GARAGOA.

3.1. Características de los municipios y empresas que disponen en la planta.

Los municipios que disponen en la planta de residuos sólidos de Garagoa se ubican en las provincias de Neira (Garagoa, Chinavita, Pachavita, y Macanal), Oriente (Almeida, La Capilla, Tenza, Sutatenza, Somondoco, Chivor, Guayatá), Márquez (Umbita), cuatro municipios del departamento de Cundinamarca (Macheta, titirita, Manta y Ubala). Así como las empresas de Chivor S.A. y Emgesa.

El Municipio de Garagoa se localiza en el departamento de Boyacá, Provincia de Neira, de la cual es su capital.

Garagoa está localizada a 5°4'48" Latitud Norte y a 73°22'0" de Longitud Este. El área urbanizada actual está comprendida entre las coordenadas 1.054.800 N y 1.052.800 N en el sentido norte sur y entre las coordenadas 1.078.500 E y 1.079.800 E de occidente a oriente, se encuentra a 1.750 m.s.n.m. con una temperatura media de 18°C.

La población objetivo del proyecto es los habitantes de cada municipio donde se generan los residuos que decepciona la planta, así como la empresa operadora de esta y sus operarios.

Adicionalmente las instituciones como administraciones municipales, empresas de servicios públicos y la autoridad ambiental, podrán tener una mayor relación y participación en el desarrollo y óptimo funcionamiento del sistema, lo que permitirá el ahorro de recursos y la presencia de estas ante la comunidad.

3.1.1. Climatología de la zona aledaña a la planta

Tabla 2. Climatología del sitio de disposición final

Característica	Unidad	Mínima	Máxima	Promedio
Temperatura ambiente °C	°C	16,7	19,5	18,3 °C
Lluvia (dato anual histórico) (mm/año)	mm	770,1 mm	1416,8mm	1123,7mm
Evaporación (mm/año)	mm	57,4	104,5mm	81,78mm
Humedad ambiente (%)	%	84	92%	88%
Velocidad del viento (kph)	kph	1,69	2,48kph	2,03kph

Fuente: Información CORPOCHIVOR

En el Valle de Tenza se encuentran dos cuencas hidrográficas importantes: La del río Súnuba y del río Garagoa, que al unirse forman el río, Batá.

El embalse de La Esmeralda tiene una longitud de 22 Km. y un área de inundación de 1260 hectáreas, con una capacidad de almacenamiento de 815 millones de m³. Este embalse constituye el eje ambiental no solamente de Garagoa, sino de toda la región, ya que originó impactos ambientales y sociales de gran magnitud, hoy fundamental para el desarrollo regional.

3.1.2. Demografía y conectividad con municipios cercanos

Tabla 3. Demografía

Número	Municipio	Total población	Población urbana	Población rural
1	Almeida	2.294	309	1.985
2	Chinavita	3.741	1.184	2.557
3	Chivor	2.232	518	1.714
4	Garagoa	16.520	12.301	4.219
5	Guayatá	6.368	1.344	5.024
6	La Capilla	3.178	1.030	2.148
7	Macanal	4.705	941	3.764
8	Pachavita	3.102	469	2.633
9	Somondoco	4.359	761	3.598
10	Sutatenza	4.566	743	3.823
11	Tenza	4.651	1.206	3.445
12	Umbita	10.105	1.565	8.540
13	Macheta	6.847	1.444	5.403
14	Manta	4.627	1.072	3.555
15	Tibirita	3.018	505	2.513
16	Ubalá	11.892	1.206	10.686

Fuente: DANE CENSO 2005.

Tabla 4. Conectividad con municipios cercanos

Localidad	Comunicación (terrestre/fluvia)	Estado de la vía de acceso	Distancia (km)	Condiciones topográficas	Tiempo normal de recorrido (horas)
Almeida	Terrestre	Regular	19	Media	0,58
Tenza	Terrestre	Malo	12	Media	0,58
Sutatenza	Terrestre	Regular	35	Alta	1,08
Somondoco	Terrestre	Regular	16	Media	0,50
Guayatá	Terrestre	Regular	30	Media	1,08
Chivor	Terrestre	Malo	36	Media	1,75
La Capilla	Terrestre	Malo	14	Media	0,75
Chinavita	Terrestre	Regular	28	Media	0,58
Macanal	Terrestre	Malo	22	Media	1,00
Guateque	Terrestre	Regular	18	Media	0,50

Pachavita	Terrestre	Malo	20	Alta	1,00
Umbita	Terrestre	Malo	35	Alta	2,00
Machetá	Terrestre	Regular	38	Media	2,00
Titirita	Terrestre	Regular	25	Media	1,30
Manta	Terrestre	Regular	35	Media	2,00
Ubala	Terrestre	Mala	42	Alta	3,00

Fuente: COOTRANSGAR. 2007

3.2. ASPECTOS GENERALES DE LA PLANTA

Ubicada al suroccidente del casco urbano, en la vereda Caracol sobre la vía que conduce de Garagoa a Las Juntas a aproximadamente 6 Km, en la margen izquierda del río Garagoa.

El sitio de disposición final que ha venido funcionando desde 1988 aproximadamente, es contiguo al predio donde actualmente se localiza la planta. Con un área de 5457 m².

El sitio de disposición final se encuentra ubicado en un área de drenaje hacia el Embalse de la Esmeralda en las coordenadas geográficas N 5° 03' 4.9'' W 73° 23' 29'' que corresponden en las coordenadas de Gauss a N 1'050.058,91 E 1'076.466,59.

Los procesos llevados a cabo en la disposición y manejo de los residuos sólidos en la planta son: Clasificación, embalaje de reciclables, procesamiento de Plástico, bioabono a partir de orgánicos.

La capacidad de recepción y manejo de la planta es de 25 ton/día en un área de 7,836 m² (0.8 Ha). La planta administrada por la empresa de servicios públicos de Garagoa E.S.P.,



Foto 1. Planta Regional de Tratamiento de Residuos Sólidos del Municipio de Garagoa

Actualmente la separación empleada en planta es de tipo manual, esta se realiza en el patio de descarga de material inorgánico y en ella misma se realiza el proceso de separación. El personal destinado para estas labores varía según la cantidad de residuos sólidos que lleguen, de igual manera se realiza un proceso de separación en fuente donde un gran porcentaje de los usuarios del servicio realiza una aceptable selección de material dentro del municipio de Garagoa.

3.2.1. Vías de acceso: La vía que comunica al casco urbano con la planta se encuentra pavimento flexible en un 50%, el restante se encuentra en condiciones de deterioro alto. La vía de entrada al sitio de disposición final tiene una longitud aproximada de 400 metros en afirmado. La vía de acceso a la planta tiene una longitud aproximada de 50 metros en línea de circulación en concreto.

3.2.2. Encerramiento: portería, cerco perimetral, sistemas de vigilancia: Existe caseta de portería en el acceso a la zona de aprovechamiento, no se ha construido el cerco perimetral adecuado, la totalidad del predio e instalaciones

donde se encuentran la planta y el sitio de disposición final cuentan con un vigilante en cada turno.

3.2.3. Áreas de trabajo: Las áreas de trabajo para la realización de las diferentes actividades de tratamiento, transformación y aprovechamiento de residuos están definidas de la siguiente manera:

Area de tratamiento de material orgánico: 3.025 m².

Area del patio de descargue y zona de separación: 375 m².

Area de transformación de material inorgánico: 100 m².

Area de acopio y bodega de producto final: 200 m².

El tipo de residuos que llegan a la planta están conformados por: Residuos Sólidos Urbanos (domésticos, comerciales, institucionales, barrido calles, plazas de mercado, etc.) y residuos hospitalarios (aunque existe en la actualidad un convenio con la empresa Descot para la recolección de este tipo de residuos en los diferentes municipios). La planta cuenta con un área total de 11.453 m², en donde se tratan, manejan y aprovechan los residuos sólidos producidos por las poblaciones referenciadas en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Convenio de manejo de residuos entre municipios y la PTMBRS de Garagoa.

Número	MUNICPIO	OBJETO
1	ALMEIDA	DISPOSICIÓN FINAL
2	CHINAVITA	DISPOSICIÓN FINAL
3	PACHAVITA	DISPOSICIÓN FINAL
4	LA CAPILLA	DISPOSICIÓN FINAL
5	SOMONDOCO	DISPOSICIÓN FINAL
6	TENZA	DISPOSICIÓN FINAL
7	SUTATENZA	DISPOSICIÓN FINAL

8	CHIVOR	DISPOSICIÓN FINAL
9	CHVIOR AES S.A.	DISPOSICIÓN FINAL
10	GUAYATÁ	DISPOSICIÓN FINAL
11	MACANAL	DISPOSICIÓN FINAL
12	UMBITA	DISPOSICIÓN FINAL
13	EMGESA	RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL
14	MACHETA	RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL
15	TIBIRITA	RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL
16	MANTA	RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL
17	UBALA	RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL

Fuente: EPGA 2008.

Como se puede evidenciar el número de municipios es alto pero no todos son manejados desde el proceso de recolección lo que ha generado problemas de recepción en cuanto a la presentación de los residuos. En los lugares donde el objeto es de recolección, transporte y disposición final se utiliza vehículo compactador y se tiene un sistema de separación en la fuente que facilita las labores en planta.

Para el caso de los sitios donde solo se hace recepción para disposición final, el transporte se hace a través de volquetas y los residuos llegan sin ningún tipo de clasificación.

3.2.4. Infraestructura: La planta cuenta con la infraestructura adecuada para la recepción, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos. Dentro de las áreas identificadas en la planta se encuentran:

Caseta de vigilancia
Oficinas de Administración
Salón comunal para reuniones y conferencias
Área de selección de residuos
Área para la trituración de vidrio
Bodega para almacenamiento de material aprovechable
Dos (2) unidades de baños (lavamanos, sanitarios, duchas y vestier)
Área de compostaje

A. . Equipos

Embaladora de 1000Kg/hora
Molino para plásticos MPC- 100 – 150 Kg/h
Dos tanques para la selección de material de capacidad 300 Kg/h
Molino para vidrio modelo 4x6
Zaranda vibradora para bioabono
Caja compactadora de residuos sólidos 16 y 3 – CBT
Picadora 2.5 Ton/h
Banda de Alimentación para zaranda de 2.4 x4.0 m
Electro bomba centrífuga de presión trifásica de 2HP 3600 RPM
Planta de tratamiento de agua residual de vidrio reforzado capacidad 1500 l, 3 tanques regulares, compresor de 1HP, agitador con motor eléctrico, bomba sumergible, tablero de control y accesorios.

Todas las áreas de la planta se encuentran en buen estado, con pisos en cemento y granito, vías de acceso, iluminación y ventilación natural que evita la concentración de malos olores y proporciona las condiciones adecuadas para el desarrollo del trabajo.

En cuanto los equipos se han presentado falla en la mayoría de estos lo que ha generado dificultades en especial utilizados para el tratamiento del material orgánico, como son picadora, zaranda y la banda de alimentación.

El área de compostaje cuenta con unos ventiladores de aireación, los cuales no están en funcionamiento lo que genera el incremento de operarios para dar volteo al material en compostación y por ende el tiempo de maduración del mismo.

3.3. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LOS MUNICIPIOS ATENDIDOS EN LA PLANTA INTEGRAL

Tabla 6. Toneladas procesadas de Residuos sólidos en el año 2008

USUARIO/MUNICIPIO	TON / PROCESADAS / MES AÑO 2008					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Garagoa	200	160	180	190	190	190
Tenza	28	20	22	22	22	22
Sutatenza	18	12	13	13	13	12
Guayatá	20	17	19	19	19	19
Almeida	4	4	4	4	4	4
Chivor	15	11	12	12	12	9
Somondoco	16	13	15	15	15	16
Chinavita	22	19	20	20	20	18
Pachavita	9	9	9	9	9	8
Macanal	24	20	23	23	23	22
Umbita	13	10	10	10	10	10
La Capilla	8	8	8	8	8	8
Mambita, Ubalá, Emgesa	16	16	15	16	16	16
Chivor S.A	5	4	4	4	4	4
Macheta	0	0	0	24	24	24
Manta	0	0	0	16	16	16

Titirita	0	0	0	8	9	10
TOTAL	398	323	354	413	414	408

Fuente. Administradora de la Planta de Residuos Sólidos - Garagoa

Tabla 7. Porcentaje aproximado de selección mensual de residuos sólidos en la fuente durante el año 2008.

USUARIO/MUNICIPIO	% PORCENTAJE APROX. DE SELECCION / MES AÑO 2008					
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Garagoa	70	60	60	60	40	50
Tenza	80	80	80	80	80	80
Sutatenza	35	35	30	40	50	60
Guayatá	60	65	45	55	60	60
Almeida	35	35	35	35	55	55
Chivor	05	05	05	60	60	70
Somondoco	40	40	40	50	60	50
Chinavita	25	30	20	40	45	50
Pachavita	70	70	70	70	70	70
Macanal	25	35	30	40	60	60
Umbita	80	80	80	80	80	80
La Capilla	50	50	60	60	60	60
Mambita, Ubalá, Emgesa	30	30	30	35	35	30
Chivor S.A	-	-	-	20	20	20
Macheta	-	-	-	2	10	12
Manta	-	-	-	15	20	20
Titirita	-	-	-	15	20	20

Fuente. Administradora de la Planta de Residuos Sólidos - Garagoa

Como se aprecia los porcentajes y valores de toneladas recibidas en la planta varia para los diferentes periodos evaluados, situación que se entiende por las diferentes actividades o eventos que se realizan en cada municipio que aumenta o disminuye el volumen de residuos generados.

Tabla 8. Recepción de residuos por municipio/día

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Garagoa	Garagoa	Somondoco	Tenza	Garagoa	Somondoco
Chinavita	Sutatenza	La capilla	Pachavita	Chinavita	Garagoa
Tenza	Macanal	Mambita	Almeida	Somondoco	Sutatenza
Umbita	Machetá	Ubala	Manta		Guayatá
Chivor		Guayatá	Tibirita		
Chivor s.a.		Emgesa	Umbita		
		Chivor s.a.			

Fuente: EPGA 2008

3.3.1. Tratamiento y aprovechamiento de residuos: Los residuos recepcionados son transportados en vehículos compactadores (para los municipios con convenio de recolección) y volquetas de 6m³, provenientes de 17 municipios y 2 empresas privadas, con quienes la empresa mantiene convenios.

Actualmente en la planta se recibe en promedio 13 toneladas diarias de residuos sólidos, de los cuales el 60% corresponde a material orgánico, 20% aprovechables o reciclables y el 20% restante a inertes.

3.3.2. Material Orgánico: En la actualidad es recogido los días lunes, y viernes por el vehículo compactador que es propiedad de la Empresa de Servicios Públicos, para el caso de Garagoa. Para los demás se recoge en mezcla con los residuos inorgánicos reciclables e inertes, afectando el proceso de clasificación de los residuos aprovechables, así como su calidad.

El sistema es de tipo aerobio con 40 celdas estáticas con aplicación de aire ascendente mediante sistema de ventilación eléctrica, en la actualidad los

ventiladores presentan fallas por lo que se debe hacer una revisión de este proceso y verificar si la aireación es la adecuada o no.

Características de las celdas:

Altura posterior: 2 m.

Altura anterior: 1.7 m.

Largo: 4 m.

Ancho: 1,5 m.

Capacidad en Peso: de 7 a 8 ton.

Capacidad en volumen: de 2.086 a 2.384 m³



Fotos 2 y 3. Celdas de compostaje

El sistema posee una pendiente del 7.5% para la evacuación de lixiviados. Para permitir el paso de aire hacia la superficie se colocaron bases en bloque de ladrillo para el montaje de bases en malla en cuyo plano superior se dispone una lámina de material sintético con agujeros en malla de 15 cm. con un diámetro de 1.3 cm. a fin de permitir el paso de aire.

Sobre la lámina se disponen los residuos orgánicos ya procesados por la picadora, en el momento las celdas están siendo utilizadas con un 80% de su capacidad máxima, puesto que las condiciones de volumen así lo permiten. Luego de disponer el material a este se le realiza un proceso de nivelación manualmente.

El camión recolector y de transporte ubica los desechos que contienen material orgánico en la parte norte de la planta de tratamiento, cerca de la picadora de orgánico, facilitando así el proceso.

Para el proceso se cuenta con una picadora de orgánicos, esta posee las siguientes especificaciones:

Sistema de corte: Cuchillas

Angulo de trabajo: 45°

Estructura: Acero A - 36

Carcaza: Lámina galvanizada calibre 20

Motor: 10 HP 1750 rpm.

La cuadrilla que transforma el material orgánico está conformada por cuatro o cinco personas dependiendo del volumen de material a procesar y de las actividades que se tengan programadas en el día. Las labores en este proceso se distribuyen de la siguiente manera:

Dos operarios alimentan la desnaturalizadora de orgánicos, otros dos operarios clasifican el material contaminante, es decir, los residuos inorgánicos, las podas de árboles, huesos y otros elementos que pueden dañar el equipo y afectar la seguridad de los operarios de la picadora de orgánico. Cuando es requerido uno de estos trabajadores recoge el material ya molido y lo dispone en las celdas de compostaje, controlando su peso, el transporte se hace manualmente a través de carretilla.

Un encargado recoge los residuos de tipo inorgánico contaminado e inerte y los transporta al sitio de disposición final, puesto que este material no es posible recuperarlo en su mayoría debido al contacto con el orgánico principalmente residuos tipo papel y cartón. El transporte también es de tipo manual a través de sistema de carretilla.

A. . Manejo de vectores y lixiviado en el sitio de molienda: La evacuación de los líquidos provenientes de la materia orgánica se realiza por gravedad, estos líquidos son conducidos por drenajes al tanque de lixiviados que tiene una capacidad de 5000 litros y que se encuentra en la zona de compostaje y que recoge la totalidad de lixiviados generados en el proceso. Se realizan fumigaciones constantes en los días de molienda en el sitio de transformación del material.

Cuando se culmina el proceso de desnaturalización de material orgánico se realiza una limpieza barriendo el exceso de lixiviado, ayudando a su evacuación y se realiza una fumigación general de la zona de descarga de este tipo de residuos. En ocasiones, dependiendo de la cantidad y estado de la materia se hace necesaria la puesta de trampas para mosca con sistema de pegante.

Un problema identificado es el de los lixiviados el cual esta generando demoras en la maduración del compost, así como la parición de vectores, así mismo el tratamiento del lixiviado no es el más adecuado por lo que se planteará una alternativa de manejo de este.



Foto 4. Procesamiento de material orgánico Instalaciones para el compostaje

El proceso de compostaje presenta dificultades en el tiempo de maduración, por lo que se está adelantando el estudio de la microflora, así mismo se evaluó la presencia de metales pesados con el fin de determinar las posibles causas de su presencia, para la microflora se adelanta con el fin de determinar los inhibidores necesarios y el tipo de tratamiento más adecuado para eliminar patógenos y así mismo reducir el tiempo de compostación del material.

En la actualidad el proceso de compostaje dura aproximadamente 90 a 100 días, los datos arrojados serán evaluados por este autor y para lo cual se emitirán las recomendaciones del caso. El tiempo indica que las actividades y el manejo que se le da a la materia orgánica en la planta aunque son adecuadas puesto que no se adiciona ningún tipo de producto ni alimento para las bacterias descomponedoras y transformadoras de la materia orgánica no responden a los requerimientos de tiempo a fin de minimizar costos de producción. Pero que con la implementación de medidas y alternativas que se plantean se podrá reducir este tiempo de 60 a 45 días para obtener el producto final.

Cuando el material de descomposición ha madurado se saca y se muele de nuevo para obtener una partícula más pequeña y uniforme, luego se somete a un proceso de zarandeo para así obtener el producto final que cumpla con especificaciones en el tamaño de la partícula principalmente y a fin de separar los gruesos y algunos contaminantes que pueden restarle valor al producto como tal.

El resultado del proceso se dispone en lonas y se acopia en la bodega de almacenaje de productos a fin de comercializarlo. El material grueso que se deposita en otra salida de la zaranda se utiliza como cama para la nueva celda puesto que este posee microorganismos que pueden acelerar un nuevo proceso de compostaje, este se dispone en la parte inferior de la nueva celda.

La producción de abono orgánico se encuentra en un rango del 30% al 40% aproximadamente en peso de producto, es decir, en una celda de compostaje, en la cual se disponen normalmente 7 toneladas se sacan normalmente en promedio de 2,1 a 2,8 toneladas de abono procesado, esta producción varía según el contenido de humedad que contenga el producto final, normalmente la humedad relativa se encuentra entre el 20% y el 10%, esta humedad favorece el comportamiento del abono orgánico ya que se facilita la absorción de nutrientes.



Foto 5. Proceso de maduración



Foto 6. Proceso de molienda, zarandeado y empaclado

3.3.3. Material Inorgánico: Los vehículos recolectores disponen los residuos de tipo inorgánico en la bodega principal, donde se realiza la separación y distribución de los diferentes materiales aprovechables que llegan a la planta a través de la recolección del casco urbano de los municipios y empresas adscritos a la planta.

A continuación se realiza la clasificación manual primaria de material distribuyéndolos por grupos y realizando la evacuación del material orgánico que llega a la planta; para lo cual se cuenta con cuatro operarios, los cuales distribuyen sus labores de la siguiente manera; tres de los trabajadores clasifican los residuos y los congregan en grupos de material general, es decir, plásticos, material ferroso y de aluminio, de papel y cartón, vidrio, madera textiles y materiales inertes, material orgánico; este último junto con el material inerte y el contaminado es recogido y transportado por el cuarto hombre, quien manualmente por medio de carretilla distribuye el material a la zona de orgánico y al sitio de disposición final según sea el caso.



Foto 7. Clasificación manual de material

3.3.4. Clasificación selectiva de material aprovechable: Tres operarios transportan el material acopiado por grupos generales y lo llevan a la zona de clasificación específica donde se realiza la separación por clase y tipo de material, en esta parte del proceso se realizan separaciones que se guía por la siguiente tabla:

Tabla 9. Clasificación de residuos sólidos

CLASIFICACION REALIZADA	
TIPO DE MATERIAL	MATERIAL ESPECIFICO
MATERIAL ORGANICO O	Residuos de comida, frutas, verduras, residuos de jardín. Los residuos

BIODEGRADABLE	higiénicos son incluidos en esta clasificación.
PAPEL	Refiles de Impresión: Papeles de diferentes calidades sobrantes de imprentas y litografías.
	Papel de Oficina: Hojas de contabilidad, facturas, papel carta, oficio, tarjetas de archivo, cuadernos (sin pasta) etc.
	Impresos y Revistas: Revistas en general, folletos, plegables o afiches que no estén plastificados.
	Periódicos: Son papeles de poca resistencia, directorios y algunos informativos.
	Kraft: Papel de color café muy resistente, utilizad para elaborar bolsas de empaque de diferentes espesores.
CARTON	Cartón Corrugado: Fabricado de varias hojas de papel muy grueso sobrepuestas que forman una textura corrugada y estriada, su parte exterior es corrugada y estriada, su parte exterior es lisa y de color café.
	Cartón Sólido: También denominado plegadiza, es muy delgado y utilizado como empaque de productos farmacéuticos y para comestibles.
VIDRIO	Blanco con colores: Envases de gaseosa.
	Verde: Botellas de vino y otras.
	Ambar: Botellas de cerveza y de licores en general.
	Blanco: Botellas transparentes sin impresiones de tinta en ella.
PLASTICO	Polietileno Tetraftalato (PET/1): Recipientes de gaseosa tamaño familiar, agua y aceite de cocina principalmente.
	Polietileno de Alta Densidad (PE-HD/2): Empaques de blanqueadores, champús, cosméticos, lubricantes, canastas de gaseosa, entre otros.
	Policloruro de Vinilo (PVC/3): Envases de aceite de cocina y cera líquida, tuberías, tarjetas de crédito, jeringas, bolsas de suero y algunos muñecos.
	Polietileno de Alta Densidad (PE-ID/4): Empaques de leche, detergentes en polvo y empaques de productos alimenticios de cereales principalmente.
	Polipropileno (PP/5): Se encuentra en empaques de papas fritas y productos como canela, pastas, etc., esferos, vasos, entre otros.
	Poliestireno (PS/6): Recipientes desechables, vasos de yogurt, el icopor entra en este grupo y se denomina poliestireno expandido.
	Otro Plásticos (7): Algunos empaques de detergentes, vasos de jugo,

	botellones de agua, CDs, computadores entre otros.
METALES	Ferrosos: El acero y el hierro, los cuales son separados por magnetismo, por su peso (puntillas, tapas, varillas, limadura de hierro, etc.).
	No Ferrosos: Aleaciones de cobre, aluminio, magnesio, níquel, estaño, plomo y zinc, cadmio, cobalto, titanio, oro, plata y platino.
COMUNES	No aprovechables como bombillos fundidos, papel carbón, pilas, envolturas, aerosoles y algunos plásticos, entre otros.
ESPECIALES	Llantas, textiles, madera, material peligroso y patógeno.

FUENTE: CORPOCHIVOR. Estudios realizados 2004 y EPGA 2008

3.3.5. Descripción del proceso de aprovechamiento de material inorgánico

A. Vidrio: Luego de que se ha seleccionado el vidrio, este se somete al proceso de purificación y limpieza en el cual son retiradas las etiquetas y otros elementos como sistema de envasado y de goteo.

Luego de que el vidrio ya esta limpio se somete al proceso de molienda obteniendo como material final el vidrio molido que se va a comercializar.

La reducción en volumen obtenida en esta parte del manejo integral tiene una relación de 5 a 1, es decir, de un 80% por lo tanto de 5 bultos que se disponen para la aplicación del proceso se obtienen de producto final 1 bulto de casco de vidrio molido, el cual varía en peso de 70 a 80 kilogramos.

Para la realización de estas labores se cuenta con tres operarios según los requerimientos quienes disponen, purifican, muelen y sitúan el producto en la bodega de almacenaje de productos finales.

El personal cuenta con un equipo de seguridad industrial que permite garantizar que las actividades que se realizan en la Planta tengan un estándar de seguridad aceptable.



Foto 8. Proceso de molienda de casco de vidrio

B. Plástico: El proceso del plástico es similar al del vidrio, luego de ser separado en diferentes grupos se optimiza limpiando y quitando las etiquetas y tapas que tenga y luego se muele.

Anteriormente este tipo de material se sometía a procesos de lavado pero a través del estudio costo - beneficio para este proceso se consideró que no era factible continuar con estas actividades.

En el caso de los envases de botellas no retornables y algunos plásticos de alta densidad se procede a compactarlos para lo cual se cuenta con el equipo de trituración que se cuenta. Los cubos de envase triturado se disponen de igual manera en la bodega y se amarran en la actualidad con alambre, lo cual se proyecta cambiar a bandas de seguridad.

Para la realización de estas labores se tiene a un operario, puesto que la cantidad de plástico y de vidrio que se muele no requiere colocar a más personal, se espera que con la ejecución completa del proyecto se tenga mayor disponibilidad de

materia prima y por consiguiente del requerimiento de más personal para esta labor. La reducción en volumen de esta materia prima contaminante es de 8 a 1, obteniendo un rendimiento en reducción del 87,5%.

C. Papel y cartón: Para este tipo de material se tiene dispuesta un área de almacenaje, el proceso es simplemente de acopio puesto que en el municipio existen inconvenientes con las personas dedicadas a los procesos de reciclaje. Las organizaciones que todavía no se han certificado como cooperativas y que en la actualidad aún no lo quieren hacer afectan al proyecto, lo anterior debido a que en los días en que se recolecta el material inorgánico, es decir, el material de alto valor comercial, como aluminio, vidrio, papel, entre otros, los recicladores se ubican delante del vehículo recolectando dicho material, además, tienen ya convenios con algunos establecimientos y oficinas para poder recoger los materiales reciclables que estas les puedan brindar, en el caso de la materia orgánica esta es recolectada por habitantes de la zona rural principalmente que utiliza esta para alimentar a cerdos, pues la cría de porcinos para estas personas de escasos ingresos mensuales es una atractiva actividad. La Corporación Autónoma Regional de Chivor dispuso de algunos recursos para tratar de organizar y de certificar dichos grupos recolectores, pero hasta la fecha no se ha visto un compromiso por parte de estos a pesar de las ventajas que el proyecto les brinda y el apoyo que reciben por parte del ente ambiental. Para los demás municipios la situación es similar aunque las cantidades que se generan en ellos son mínimas excepto el municipio de Guateque que genera cantidades similares a las de Garagoa.

D. Aluminio, materiales ferrosos y otros aprovechables: Como se expuso en el ítem anterior no ha sido posible hasta el momento contar con una cantidad considerable de este tipo de material debido a inconvenientes con la comunidad

recicladora de los municipios, de igual forma se puede resumir que el poco material ferroso, de aluminio u otros con similares características son comprimidos si es posible y almacenados en el área de disposición de productos finales.

El equipo que realiza el proceso de trituración y compactación tiene una capacidad de 6000 PSI, en la actualidad se encuentra trabajando con un rendimiento del 42%, es decir, con un esfuerzo de compactación de 2500 PSI.

Para la realización de esta actividad se tiene a un operario, quien se encarga de clasificar en segunda fase el material y de disponer en varios grupos el material para obtener una buena compactación, cuando se tiene un acopio grande de material este se amarra en la misma compactadora y se lleva al sitio de almacenaje.

Con la entrada de los municipios beneficiarios se pudo observar la gran problemática que para el proyecto representan los recicladores no reconocidos y la gran cantidad de material principalmente inorgánico (el cual es el de mayor valor económico) que se está quedando dentro del perímetro urbano y que afecta de manera directa el proceso que se realiza y de igual manera se evidencia la necesidad de que los municipios beneficiarios del proyecto regional incurran en actividades y procesos que estimulen a los habitantes del Valle de Tenza a adoptar una cultura de separación en fuente.

3.3.6. Componente de aprovechamiento

E. Identificación de un mercado para los residuos aprovechables: Material orgánico: Enmienda orgánica no húmica (compost) y lombricompost (humus).

Cantidades de material requerido: En el momento existe una sobredemanda en los productos finales. La planta en promedio esta produciendo 10 Ton/mes, los pedidos que llegan a planta alcanzan 25 ton/mes. El sitio donde se origina la demanda es principalmente la zona rural de Garagoa y municipios aledaños.



Foto 9. Producción de abono tipo compost
Material reciclable no orgánico

Vidrio

- Tipo de material: Casco de vidrio molido limpio y/o sucio.
- Cantidades de material requerido: El producto final de este insumo es comprado en totalidad por intermediario que a su vez vende a PELDAR S.A.



Foto 10. Producción de vidrio

Plástico

- Tipo de material requerido: Plástico clasificado de acuerdo a su código y/o material.
- Cantidades de material requerido: Existe sobredemanda de material.



Foto 11. Producción de plástico

Metales

- Materiales ferrosos y no ferrosos.
- Cantidades de material requerido: Existe sobredemanda.

Papel y Cartón

- Cartón corrugado, plegadizo, periódico, de archivo, craft, entre otros.
- Cantidades de material requerido: Existe sobredemanda.



Foto 12. Producción de papel y cartón

3.3.7. Cantidad de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechados: En el municipio de Garagoa se han realizado campañas educativas y de concientización ambiental a fin de incrementar los hábitos de reducción en la producción de residuos sólidos y de promover la cultura de la separación en fuente; es por ello que los procesos de aprovechamiento y transformación de los residuos sólidos tienen en principio antecedentes que permiten dar una base sólida para el correcto y eficaz funcionamiento de las tecnologías aplicadas en el tema de valorización de los residuos sólidos, los resultados obtenidos con dichas metodologías han sido hasta el momento apropiadas partiendo del hecho de que los residuos a disponer finalmente en el botadero municipal se ha reducido en por lo menos un 65%.

A. Producción: Los resultados de los procesos y de productos finales se resume en la tabla 10, en esta se puede apreciar que la producción no es uniforme, esto debido a las constantes averías en los equipos actuales y otros aspectos negativos como la reducción de personal lo cual llevó a destinar trabajadores en labores de selección y clasificación dejando de lado los procesos de producción.

Tabla 10. Inventario de Producción (residuo ya tratado o clasificado) Hasta junio de 2008

Producto	Presentación	CANTIDAD
Abono	Bulto 50 Kg.	50 ton
Vidrio	Molido, limpio y clasificado	6 ton
Chatarra	Compactada	2 ton
Aluminio	Compactado	100 kg
PET	Compactado y clasificado	3.4 ton
PEAD + PP + PS	Molido y clasificado	2 TON
PVC + PET Aceites	Compactado	2 ton
PP + PS	Molido, compactado,	300 KG

	clasificado	
Papel	Clasificado	2.7 TON
Cartón Corrugado	Clasificado	1.8 TON
Bolsas plásticas	Clasificado	500 kg
Cobre	Clasificado	20 kg

FUENTE: EPGA.

3.3.8. Material inerte, peligroso y no aprovechable: En la región del Valle de Tenza se cuenta con un Hospital de nivel dos con sedes en los municipios de Garagoa y Guateque, los demás municipios solo tiene centros y puestos de salud los cuales tiene convenio de recolección y disposición con la empresa DESCONT, de la ciudad de Bucaramanga, dichas recolecciones se realizan dos veces por mes dependiendo de la cantidad generada la cual llega a 220 kg/mes aproximadamente. El material inerte y no aprovechable es recibido por la PTMB de Garagoa el cual es dispuesto en un sitio que no cuenta con las características de relleno sanitario ni con las mínimas exigencia técnicas para su disposición final.

Los demás centros de producción de material peligroso como farmacias, veterinarias y algunas clínicas y consultorios particulares entregan sus residuos al municipio, por lo cual el manejo de estos no es óptimo, aunque se ha venido trabajando en la selección par la entrega al hospital regional y de esta forma poder entregarlos al operador para su adecuado tratamiento y disposición.

3.3.9. Disposición final de residuos no aprovechables en planta: Los residuos inertes, los no clasificados para el aprovechamiento, alguna fracción orgánica y los aprovechables que se pierden por la contaminación son dispuestos en sitios de disposición final, el cual no cuenta con el desarrollo y las especificaciones de relleno sanitario, para lo cual se hace el volteo y enterramiento, debido al regular

manejo que se da a este proceso la autoridad ambiental dio un plazo en la vigencia 2008 para implementar un sitio tecnificado de disposición.



Foto 13. Zona de botadero

El sistema de enterramiento es netamente manual y no cumple con los requerimientos técnicos que se deben tener en cuenta para este tipo de actividades. Los operarios esparcen el material a sepultar y luego por medio de carretillas y herramientas de mano disponen el material de cobertura, el cual es sustraído de una sección dentro del mismo sitio de disposición final. No se realiza ninguna clase de compactación, en ocasiones se aplica cal como tratamiento adicional pero esto se hace cuando existe el insumo, de lo contrario lo único que se lleva a cabo es el extendido y el cubrimiento. La cantidad y calidad del material de cobertura no cumple con las especificaciones requeridas, luego la capa es mínima y se evidencia el afloramiento de residuos de capas anteriores, al igual sus características físicas no son garantía como lo son la permeabilidad, densidad, plasticidad, contenido de humedad; entre otras. El material no cumple con especificaciones de aislamiento de humedad principalmente que asegure el control de aguas de escorrentía y de aguas lluvia, además de esto la pendiente que posee actualmente y teniendo en cuenta la clase de material no es suficiente; aumentando así el volumen de lixiviado que se genera contaminando de manera aguda las fuentes de agua que se encuentren en el subsuelo y detonando un

posible problema de desestabilización de la masa que se encuentra en este sitio y que esta formada por diferentes tipos de componentes.

Los productos finales tanto el proceso orgánico como en el inorgánico están en la actualidad en sobredemanda, por consiguiente todo producto final tiene la posibilidad de ser adquirido, los impedimentos de comercialización se encuentran principalmente en la producción en volumen para garantizar la viabilidad de la actividad de venta, así como la calidad en la forma como se están recepcionando los residuos los cuales llegan muy mezclados lo que genera más tiempo en limpieza y clasificación incrementando los tiempos de los procesos de recuperación y aprovechamiento.

Actualmente el sitio de disposición final del municipio ya cumplió su vida útil (15 años), por lo cual no tiene en la actualidad capacidad para albergar más cantidad de residuos en disposición final, sin embargo cabe anotar que el sitio de disposición final no tiene antecedentes que permitan recopilar información precisa sobre sus años de operación y carece de información cartográfica para estimar la capacidad de almacenamiento de residuos sólidos. Con la puesta en marcha del proyecto regional para el aprovechamiento la cantidad de residuos a disponer en el sitio decreció en un porcentaje aproximado del 60%.

3.3.10. Condiciones operativas en el sistema de disposición

Tabla 11. Condiciones operativas en el sistema de disposición final

Característica	Información	
	Si	No
Operación		
Existe registro de los vehículos que ingresan y salen a la planta?	X	
El vehículo es inspeccionado a la entrada?	X	
Dependiendo del tipo de existen áreas específicas para la	X	

Característica	Información			
ubicación de cada tipo de residuos?				
Son suficientes los equipos que tiene la planta para el manejo de los residuos?			X	
A diario cubren la basura que ha ingresado?			X	
Hay tratamiento de los lixiviados generados?			X	
Cuentan con chimeneas para la evacuación de gases?			X	
Cobertura del sitio				
Distancia al sitio de explotación del material de cobertura (metros)	2.000			
Tipo de material	Limo			
Espesor del material utilizado para cobertura intermedia:	4 cms diaria			
Manejo de taludes				
Altura máxima de taludes	< a 1 metro			
Pendiente máxima de los taludes	< a 5%			
Maquinaria o equipos				
Maquina o equipo	#	Tipo combustible	Capacida d m3/h	Estado
Carretilla	3			Bueno
Palas manuales	10			Bueno
Ganchos	3			Bueno
Picas	4			Bueno

Fuente: EPGA.

La cantidad de residuos no aprovechables, inertes, de otras características o que no hayan sido seleccionados debido a las falencias que se presentan en el proceso de separación manual que se disponen finalmente en el botadero del municipio se cubre diariamente con una capa insuficiente, la única actividad de cubrimiento que se efectúa es al final del día (con capa de 4 cms aproximadamente) por lo que no se realiza cubrimiento intermedio y no se realiza ningún tipo de compactación. De igual forma la pendiente que se guarda en los trabajos diarios de disposición final no es la indicada, la baja pendiente permite que existan zonas de empozamiento de aguas lluvia y no permite una evacuación de estas de una manera rápida por lo que la cantidad de lixiviado que se produce

e infiltra al terreno en volumen es alta principalmente como es de suponer en época de invierno.

A medida que se avanza en los trabajos en el sitio de disposición final se realiza la construcción de chimeneas de extracción de gases pero estas no son conformadas de una manera técnica ni cumplen con las especificaciones de traslazo que deben tener este tipo de estructuras, la metodología que se sigue es colocar piedra tipo rajón únicamente con un radio aproximado de 0,75 cms.

El sitio de disposición final no cuenta con un sistema de extracción de lixiviados, hasta la fecha no se han detectado puntos de salida debido a que los estratos que subyacen al sitio tienen un coeficiente de permeabilidad bastante bajo al ser constituidos por formaciones rocosas principalmente y debido a que la orientación de dichos estratos se encuentra normales a la pendiente del terreno.

El material de cobertura que se utiliza se recibe de una cantera que se ubica a 2 kms del sitio de disposición.

Para realizar las labores de disposición final en cuanto a transporte del área de aprovechamiento, extendida de material de desecho y de material de cubrimiento no se cuenta con ninguna clase de maquinaria o equipos mecánicos, las labores se realizan manualmente con instrumentos y herramientas menores.

A. Servicios públicos: La planta cuenta con los servicios de energía y agua potable. Las actividades de aprovechamiento de material orgánico e inorgánico y la disposición final que se realizan a diario se distribuyen entre los operarios de la Planta de Aprovechamiento, para esto se tiene en cuenta la capacidad, experiencia, rendimiento, conocimiento que se tenga de cada actividad por cada uno de los trabajadores de la Cooperativa; por lo que algunos de los operarios se

rotan y otros se dejan en la misma actividad durante toda la semana con base en sus características.

Por otra parte la picadora no cumple con las necesidades requeridas en planta, generando material para compostación muy grande y sin uniformidad, lo que demora este proceso.

3.4. RESIDUOS ESPECIALES

3.4.1. Identificación de los residuos especiales

Tabla 12. Generalidades del servicio especial

Tipo de residuo	Generador (liste uno por uno)	Frecuencia de recolección (veces/semana)	Cantidades producidas kg/mes	Tratamiento in situ
Escombros	Vereda Fumbaque			
Lodos de tratamiento para agua potable.	Planta de tratamiento de agua potable – Municipio de Garagoa	-	769,5	X
Poda y corte de césped.	Actividades periódicas del servicio	4	9.090	
Lavado de vías y áreas públicas	Matadero	1	1.5 M3	
	Plaza	2		
Matadero	Matadero municipal	1		

Fuente: EPGA.

Los materiales de podas, lodos, de otros municipios no son llevados a la planta por cuanto se disponen en lugares propios de cada uno de ellos para la producción de compost.

Los residuos de matadero están afectando la calidad de presentación de los residuos así como la inocuidad para manejo este tipo de residuos los cuales requieren de un tratamiento especial con incineración y sistemas de compostación especiales y únicos, así mismo se deben inactivar microorganismos de interés ocupacional con el fin de permitir su manipulación y disposición final.

3.5. REGISTRO Y CONTROL DE LA PLANTA

Los vehículos y materiales que ingresan a la planta de aprovechamiento son registrados en los formatos definidos para tal fin, no obstante no se cuenta con los equipos necesarios para determinar el peso y volumen de residuos, para lo cual se requiere:

Una báscula para el pesaje de materiales que ingresan y salen de la planta.

Un sistema de registro mediante formatos, en los cuales se registre la procedencia, tipos de materiales, empresa, conductor, pesaje, hora y fecha, entre otros.

A pesar de que la planta cuenta con una infraestructura adecuada para la selección de los residuos sólidos, no se cuenta con una tolva de recepción, banda transportadora o mesón para realizar la separación de los mismos. Los operarios trabajan con los residuos a nivel del suelo y canecas ubicadas alrededor en las cuales se selecciona el material reciclable, situación que puede ocasionar problemas de salud ocupacional e incide negativamente en la eficiencia para realizar esta actividad.

Es necesario fortalecer los programas dirigidos a la comunidad sobre sensibilización ambiental y clasificación de los residuos sólidos desde la fuente, a fin de obtener el material seleccionado que permita optimizar el tratamiento de residuos, en la planta de aprovechamiento.

3.6. PERSONAL

3.6.1. Personal - Garantías Laborales - Seguridad Industrial: En la actualidad, la Planta de Aprovechamiento de Residuos Sólidos de Garagoa cuenta con 1 Administrador y 16 Operarios para las actividades de separación y embalaje de materiales (cartón, papel y plásticos), separación y trituración de vidrio, compostaje del material orgánico, empacado en lonas y transporte interno de materiales, además de las actividades de compactación y disposición de residuos sólidos en el botadero. Evidenciando las falencias de la planta al requerir bastante personal para las actividades de clasificación y disposición de material inerte.

Con el fin de optimizar los procesos, facilitar la operación y mantenimiento de la planta de aprovechamiento y con el fin de garantizar un servicio con calidad, oportunidad y eficiencia, se propone vincular un operador especializado, y hacer una revisión del organigrama y flujo de procesos

En referencia a la seguridad industrial los distintos operarios cuentan con la totalidad de los implementos de trabajo: cascos, tapa oídos, tapa bocas, guantes, caretas, delantal, botas. Aunque no son utilizados con frecuencia lo que puede generar afectaciones de tipo crónico y posibles riesgos a un accidente de trabajo.

En cada actividad se tiene la diferente dotación de herramientas manuales como carretillas, palas, ganchos entre otras.



Foto 14. Personal administrativo y operativo para actividades de aprovechamiento y disposición final.

3.7. DIAGNOSTICO AMBIENTAL

3.7.1. MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA DE DISPOSICIÓN FINAL

Tabla 13. Manejo Ambiental del sistema de disposición final

Característica	Información	
	Si	No
Manejo de gases		
¿Cuentan con un sistema para el manejo de gases?		X
¿Es posible medir la cantidad producida?		X
¿Se conoce la composición química de los gases?		X
¿Cuentan con tratamiento? ¿Cuál?		X
¿El gas es empleado en alguna actividad? ¿En cuál?		X
Manejo de lixiviados	Si	No
¿Cuentan con un sistema para el manejo de lixiviados?		X
¿Se asperja sobre el mismo relleno?		-
¿Es evaporado?		X
¿Es llevado a un sistema de tratamiento?		X

Característica	Información	
¿Es arrojado a un cuerpo de agua, o regado en un terreno aledaño sin impermeabilización?		X
¿Otra? Especifique		Infiltración del lixiviado al terreno de forma natural.
Producción media de Lixiviados (lt/seg)		0,01389
Control de estabilidad	Si	No
¿Existen actividades relacionadas con el control de la estabilidad del sitio?		X
¿Se lleva control periódico del nivel de lixiviados dentro del relleno?		X
¿Se hacen controles periódicos en relación con movimientos relativos del relleno?		X

Fuente: Resultados del estudio

3.7.2. Identificación de las comunidades afectadas con la prestación del servicio: Las comunidades afectada por la prestación del servicio se encuentra en las veredas aledañas a la ubicación de la planta como son, las veredas de Fumbaque, Caracoles, Hipaquira del municipio de Garagoa, dichas población es de 1500 habitantes (alcaldía de Garagoa).

Los operarios de la planta son seleccionados de esta población con el fin de generar fuentes de empleo y retribuir de mediana forma la afectación que genera la ubicación de la planta y más que esto la falta de operación adecuada.

3.7.3. Identificación de las fuentes de agua afectadas por la disposición final de los residuos sólidos: En la Tabla 14 se aprecia la información referente a las fuentes hídricas con su respectivo nivel de afectación.

Tabla 14. Impacto sobre fuentes de agua

Fuente de agua	Nivel de afectación
Quebrada La Colorada (Superficial)	1.690 m (Impacto Fuerte)
Quebrada Hipaquira (Superficial)	831 m (Impacto Fuerte)
Río Garagoa (Superficial)	2.096 m (Impacto Fuerte)

Fuente: Planos del sitio de disposición final 2002

3.7.4. Caracterización de lixiviados: La caracterización de lixiviados no fue posible debido a que no se han identificado aún los puntos de salida, lo anterior debido a que los estratos del subsuelo en el sitio de disposición final se encuentran en posición normal a la pendiente del terreno, es decir que el líquido contaminante se dirige en contrapendiente y no detona en algún punto que se pueda reconocer. Para tomar una muestra de lixiviado sería necesario perforar la masa de residuos y así por sistema de bombeo evacuar este líquido para su tratamiento.

Por lo anteriormente expuesto y con base en estudios realizados anteriormente se puede realizar una medición indirecta, esta se presenta a continuación:

En la medición indirecta:

QiT (Número de toneladas de residuos sólidos) =	4.988	toneladas
Q _{LIA} (Promedio de lluvia anual) =	138,7	mm de lluvia al año.
Q _K =	0,6	

Q (caudal de lixiviados) = 0,013189 litros/segundos

Estimación de DBO5 y SST:

Carga Contaminante DBO5 = 0,685 ton/mes

Carga Contaminante SST = 0,0685 ton/mes

3.7.5. Impactos ambientales asociados al manejo de los residuos sólidos

Tabla 15. Impactos ambientales asociados al manejo de los residuos sólidos: COMPONENTE DE DISPOSICION FINAL

Impacto Factor Ambiental	NEGATIVO						EVALUACIÓN GENERAL	POSITIVO			
	Área de influencia.		Temporalidad		Permanencia			Área de influencia.		Temporalidad	
	Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo	Reversible	Irreversible		Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo
Salud comunidad		X		X	X		3				
Bienestar		X		X	X		2				
Valor económico, propiedades	X			X	X		2				
Paisaje	X			X	X		2				
Recreación	X			X	X		2				
Calidad agua superficial		X		X	X		3				
Calidad agua subterránea		X		X	X		3				
Calidad suelo		X		X	X		2				
Drenajes naturales	X			X	X		2				
Tráfico	X		X		X		0				

Factor Ambiental \ Impacto	NEGATIVO						EVALUACIÓN GENERAL	POSITIVO			
	Área de influencia.		Temporalidad		Permanencia			Área de influencia.		Temporalidad	
	Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo	Reversible	Irreversible		Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo
Agricultura	X		X		X		2				
Ganadería	X		X		X		2				
Bosques	X		X		X		2				
Aspectos culturales		X	X		X		2				

Fuente: EPGA

Tabla 16. Impactos ambientales asociados al manejo de los residuos sólidos: COMPONENTE APROVECHAMIENTO

Factor Ambiental \ Impacto	NEGATIVO						EVALUACIÓN GENERAL	POSITIVO			
	Área de influencia.		Temporalidad		Permanencia			Área de influencia.		Temporalidad	
	Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo	Reversible	Irreversible		Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo
Salud comunidad								X			X
Bienestar								X			X
Valor económico, propiedades	X		X		X		2				
Paisaje								X			X
Recreación								X			X
Calidad agua superficial									X		X
Calidad agua subterránea									X		X
Calidad suelo								X			X
Drenajes naturales								X			X
Tráfico								X			X
Agricultura									X		X
Ganadería									X		X

Factor Ambiental \ Impacto	NEGATIVO						EVALUACIÓN GENERAL	POSITIVO			
	Área de influencia.		Temporalidad		Permanencia			Área de influencia.		Temporalidad	
	Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo	Reversible	Irreversible		Local	Amplía	Corto plazo	Largo plazo
Bosques								X			X
Aspectos culturales								X			X

Fuente: EPGA

Tabla 17. Autorizaciones ambientales

Identificación de sitios de aprovechamiento o disposición final	Fecha	Tipo y número de acto administrativo	Entidad que autoriza
Planta Integral de Residuos Sólidos de Garagoa	2 de mayo de 2002	Resolución 00224 por la cual se expide la licencia ambiental	CORPOCHIVOR

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR

3.8. PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Los usuarios comerciales y oficiales que se tienen identificados en la actualidad por la Empresa prestadora del servicio se encuentran clasificados dentro de los pequeños productores, lo anterior con base en que el municipio no ha realizado un catastro de usuarios específico para el servicio de aseo que permita identificar y registrar los usuarios discriminados por cantidad de producción o por área del local en el caso de los usuarios comerciales.

3.8.1. Hábitos comunitarios: Se presentan dos escenarios por cuanto en el municipio de Garagoa se hace una recolección selectiva es decir que se tiene definidos unos horarios de acuerdo al tipo de residuos a recoger, así se ha fomentado una cultura de separación en la fuente dividida en material orgánico, inorgánico e higiénico, aunque a la fecha esta se hace en un 65% aproximadamente, por lo que se debe continuar con las campañas educativas y de concientización de estas iniciativas. En algunos estamentos oficiales se realizan prácticas de rehúso de papel principalmente. En la actualidad se han presentado dificultades en la presentación de los residuos domiciliarios por cuanto no toda la comunidad ha adoptado este sistema de separación en la fuente lo que genera desazón entre la comunidad y los que si la realizan, afectando la calida de esta.

Para los demás municipios hay más dificultades por cuanto no se hace ningún tipo de separación en la fuente y las empresas municipales hacen recolección de tipo de residuos, incrementando el trabajo en la planta, así como los costos y tiempo de tratamiento.

La Corporación Autónoma Regional de Chivor - CORPCHIVOR junto con los municipios y la OEI, adelantaron en el segundo semestre de 2007 una entrega de canecas (dos por vivienda), en las zonas urbanas de toda la jurisdicción con el fin de fomentar la separación en la fuente y la buena disposición de los residuos sólidos.



Foto 15. Recipiente para disposición de residuos domiciliarios.

3.8.2. Métodos alternativos utilizados diferentes al servicio municipal: En ocasiones los productores de residuos sólidos entregan sus desechos (principalmente inorgánicos) para que los recicladores no organizados del municipio se encarguen de estos, convirtiéndose en un inconveniente grave tanto para el proyecto que se viene adelantando en la planta procesadora como para la organización interna del municipio puesto que, también estos grupos de recicladores se adelantan al carro recolector en los días en que se recogen los residuos inorgánicos (Martes y Sábado) y abren las bolsas de presentación buscando los objetos reciclables de mayor valor perjudicando así a la planta y al terminar dicha actividad no realizan el cierre de la bolsa facilitando así que

los residuos se riegan afectando la estética del municipio. De igual manera los residuos orgánicos son recogidos por habitantes que se dedican a actividades de cría de porcinos principalmente. La combinación de las actividades descritas alcanza a tener una significancia alta en la cantidad de residuos recolectados, la diferencia entre los producidos y los recolectados alcanza un 40%.

3.8.3. Actitud para participar en actividades de manejo de residuos sólidos: La mayor parte de la comunidad garagoense no tiene aún un compromiso serio con el manejo integral de los residuos, si bien aproximadamente el 65% de la población realiza una aceptable separación en fuente de residuos, el proyecto de aprovechamiento y valorización se ha venido deteriorando debido a la poca constancia en la realización de dicha actividad pues, cuando se finalizó la campaña de educación y sensibilización ambiental el porcentaje de comunidad que contribuía en la separación en fuente era de un 90% aproximadamente.

Un aspecto positivo que se tiene hoy día es que mediante un proceso de concertación con la comunidad rural que habita el sector aledaño a la planta de tratamiento de residuos sólidos y que era el principal obstáculo en el aspecto de ubicación del proyecto, se llegó a un acuerdo que asegura la vinculación al proyecto de vecinos del sector siempre y cuando se conformara una cooperativa, este acuerdo ya es un hecho y hoy se pueden ver los resultados, el personal que labora y realiza las actividades de aprovechamiento y disposición final (15 personas) pertenecen a UNITRAP que es la cooperativa conformada por habitantes de las veredas aledañas a la planta.

Es necesario definir compromisos entre los diferentes actores que estén involucrados en este proceso como son las administraciones municipales, empresas de servicios públicos de los municipios que disponen en la planta y la autoridad ambiental con el fin de establecer mecanismos que permitan a la planta optimizar sus actividades y mejorar la recuperación de materiales reciclables y un adecuado aprovechamiento de los materiales orgánicos.

3.8.4. Número total de usuarios atendidos con el servicio de recolección y transporte

Tabla 18. Número de usuarios atendidos por el sistema.

Tipo de usuario	No. de usuarios
Domiciliario	7.000
Comercial	420
Oficial	38
Total	7.458

Fuente: Empresas Públicas de Garagoa E.P.G.A. S.A. ESP - Tesorerías Municipales 2008

El total de usuarios con cobertura y facturación de servicio es de 7.458, aunque cabe anotar que con algunos municipios se tiene es convenio el cual reúne a los usuarios. En el momento de la recolección gran porcentaje del material es procesado en la zona urbana por recicladores y por aprovechamiento en la cría de porcinos principalmente, luego el valor de producción por usuario baja significativamente si se toma como base el valor que llega finalmente a la Planta de Manejo. El porcentaje de residuos sólidos que se maneja por diversas actividades en el casco urbano alcanza un porcentaje aproximado del 10%.

3.8.5. Equipos empleados para la recolección

Tabla 19. Descripción de los equipos de recolección

Vehículo #	Tipo de vehiculo	Capacidad (ton)	# rutas asignadas a la semana	Capacidad total (ton/sem)	Estado
2	Compactador	7	7	50	Regular
2	Volquetas	6			Regular

Fuente: Empresas Públicas de Garagoa 2008



Foto 16. Operarias para recolección y transporte. Cooperativa RETRASUR.

Para el caso de Garagoa la empresa contrata con la Cooperativa RETRASUR el barrido, realizado por cinco personas, más un guadañador, así mismo dos personas apoyan la recolección.

Una de las falencias en el proceso es la falta de un acondicionamiento del vehículo para el manejo de los residuos reciclables.

Solo se dispone de dos vehículos compactadores para la recolección a los municipios que tiene convenio de recolección, los demás utilizan una volqueta, pero para ninguno de los casos se hace un adecuado manejo o separación.

3.8.6. Barrido de Calles: El barrido de calles es realizado por las mujeres que hacen parte de la cooperativa a partir de las 4 de la mañana con el fin de favorecer la limpieza de las calles y se evitan accidentes (Garagoa), para los demás municipios, se hace un barrido con personal contratado por cada empresa de servicios públicos del municipio respectivo.

3.9. DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL

3.9.1. Responsabilidades del Municipio en el manejo de los residuos sólidos: La Empresa prestadora de los servicios públicos en el municipio fue constituida

mediante escritura pública número 536 de 31 de Marzo de 2005, de carácter mixto donde el principal accionista es el municipio de Garagoa.

Las responsabilidades del municipio ante la prestación del servicio están caracterizadas por el continuo seguimiento a la gestión y prestación del servicio de aseo que realiza la empresa prestadora del servicio de aseo, de igual forma es responsabilidad de la administración municipal vigilar que el servicio se este prestando de una manera eficiente asegurando así a los usuarios continuidad y eficiencia en el manejo de residuos sólidos, en el barrido y limpieza de áreas públicas ofreciendo calidad de vida a los habitantes del municipio.

3.9.2. Aspectos económicos y financieros del servicio: El municipio debe seguir encaminando esfuerzos en la gestión de recursos que a futuro puedan ser cedidos a la Empresa de servicios públicos para así asegurar calidad en la prestación del servicio de aseo, así mismo debe realizar las transferencias acordadas entre el municipio y la empresa prestadora del servicio y demás compromisos adquiridos mediante acuerdo en los aspectos económicos y financieros.

3.9.3. Aspectos institucionales: El municipio tiene la responsabilidad de velar por la preservación del medio y de los recursos naturales, con base en esto y de manera conjunta se deben buscar mecanismos de participación junto con el ente ambiental territorial (Corporación Autónoma Regional de Chivor) para promover la participación de los involucrados en la prestación del servicio y los usuarios a fin de brindar un ambiente sano a la comunidad en general. La vinculación y participación de sectores gremiales, productivos, educativos, sociales, de salud e institucionales son de vital importancia en la consecución de metas que permitan prevenir, mitigar y corregir los pasivos ambientales que se generen a causa del manejo de los residuos sólidos en sus diferentes componentes y es responsabilidad del municipio coordinar dichas acciones.

3.9.4. Participación de la comunidad en la prestación del servicio:

- Separación: Los usuarios realizan procesos de selección y separación en la fuente (orgánicos e inorgánicos), el porcentaje de eficiencia en este componente se encuentra en la actualidad en un 70%, por lo que se hace necesario afianzar la educación y sensibilización ambiental para detener el detrimento que se registra.

- Presentación: La presentación de residuos orgánicos se efectúa en caneca plástica, este recipiente fue entregado a los usuarios del servicio como estímulo para realizar las actividades de separación de residuos en la fuente.

- Recolección y transporte: En el componente de recolección y transporte se tiene vinculada mediante OPS a la Cooperativa de trabajo RETRASUR, la cual se encuentra conformada por madres cabeza de familia que residen en la zona urbana del municipio. De igual manera el componente de barrido y limpieza de calles y áreas públicas se encuentra a cargo de esta organización.

- Aprovechamiento: Las actividades de aprovechamiento son desarrolladas por la Cooperativa de trabajo UNITRAP, esta organización esta conformada por habitantes del sector donde se ubica la Planta de tratamiento de residuos sólidos, dicha vinculación al proceso de valorización de residuos fue de manera concertada entre la administración municipal y los habitantes de la zona puesto que el impacto social que causa la puesta en marcha de este tipo de proyectos es alto, por lo que se tuvo que dar una solución viable que beneficiara a las dos partes.

- Disposición final: La disposición final se encuentra a cargo principalmente por la misma Cooperativa UNITRAP, esta organización vincula a personal de todos los géneros para dar mayor oportunidad de progreso a los habitantes de este sector rural.

- Evaluación: La evaluación del servicio de aseo se realiza a través de la oficina de quejas y reclamos en Empresas Públicas de Garagoa, el vocal de control representa a la comunidad y a los usuarios del servicio y de igual forma los estamentos municipales de vigilancia y veeduría como lo son el comité de desarrollo y control social, el concejo y la comunidad en general participan en este componente de diversas formas; el concejo municipal atiende las inquietudes expresadas por la comunidad y mediante sesiones de concejo transmiten estos interrogantes a la Empresa de Servicios Públicos resolviendo inconvenientes trazando metas y objetivos; el vocal de control realiza un seguimiento continuo al desarrollo de las actividades que componen la prestación del servicio.

- Control calidad: En el control de calidad del servicio de aseo participa la comunidad principalmente a través de la oficina de peticiones, quejas y reclamos.

- Gestión financiera: El porcentaje de recaudo en el servicio de aseo se encuentra actualmente en el 70%.

- Gestión comercial: En la parte comercial, hoy día se están realizando la identificación de nuevos usuarios, la Empresa de Servicios Públicos al ser creada recientemente no ha identificado aún la totalidad de usuarios en los municipios, por lo cual un catastro de usuarios se hace necesario.

La participación en el aspecto comercial por parte de los habitantes del municipio se relaciona más con la comercialización de los subproductos obtenidos en las labores de aprovechamiento y valorización de residuos sólidos, el compost obtenido de la transformación del material orgánico se distribuye al sector agrícola en su totalidad, en el caso de los subproductos obtenidos en el tratamiento de material inorgánico la participación de la comunidad se ve representada en los intermediarios que desarrollan sus

actividades en el municipio de reciclaje y que son los que compran dicho material en la planta de tratamiento.

3.9.5. Organizaciones formales e informales que desarrollan actividades de reciclaje

Nombre persona grupo o empresa

Reciclaje Santa Isabel.

Organización Cooperativa.

Capacidad técnica: Recolección de producto inorgánico aprovechable, selección y clasificación, intermediario de producto aprovechable, manejo de vidrio, papel y cartón, metal, plástico. Producción promedio de 6 toneladas mensuales. Vincula a 6 personas a las labores y solamente cuenta con herramienta menor y vehículo para transportar el material aprovechable.

Después de la clasificación el material es comercializado en Santa Fe de Bogotá. La Planta de tratamiento de residuos sólidos del municipio vende a este intermediario el material procesado en Planta.

Aprovechamiento orgánicos = 20 toneladas de compost comercializadas.

Ingresos anuales por venta de material inorgánico aprovechado:

Aprovechamiento inorgánicos = 62 toneladas de material comercializado.

Tabla 20. Línea base obtenida del diagnóstico.

Operación	Indicadores	
	Actual	Deseable o referencia
1. PRODUCCIÓN BASURA	Producción por habitante en kg/hab-día = 0.645	Producción por usuario en Tn/usuario-mes = 0.40 - 0.50
2.SEPARACIÓN	# usuarios que hacen separación en la fuente, relacionados con el total de usuarios = 65 %	# usuarios que hacen separación en la fuente, relacionados con el total de usuarios = 100%

3. ALMACENAMIENTO	# usuarios que almacenan adecuadamente sus residuos, en relación con el total de usuarios = 80 %	# usuarios que almacenan adecuadamente sus residuos, en relación con el total de usuarios = 100 %
4. PRESENTACIÓN	# usuarios que presentan sus residuos de acuerdo con lo convenido, en relación con el total de usuarios =60%	# usuarios que presentan sus residuos de acuerdo con lo convenido, en relación con el total de usuarios = 100%
5. RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE	# de veces al año en que se prestó el servicio / frecuencia anual* 100 = 100%	# de veces al año en que se prestó el servicio/ frecuencia anual * 100 =100%
	# usuarios servidos/usuarios potenciales * 100 = 98,19% (Comparado con el # de usuarios en acueducto) # usuarios servidos / usuarios potenciales * 100 = 80,97 % (Comparado con el # de usuarios en energía)	# usuarios servidos / usuarios potenciales * 100 = 100%
	# total de toneladas / mes recogidas / total toneladas por mes producidas * 100 = 88 %	# total de toneladas / mes recogidas / total toneladas por mes producidas * 100 = 100%
6.LIMPIEZA Y BARRIDO	Longitud de vías barridas / longitud total de vías que demandan barrido* 100 = 92 %	Longitud de vías barridas / longitud total de vías que demandan barrido * 100 = 100%
7.TRATAMIENTO / APROVECHAMIENTO	RSO Aprovechados / Producción total de RSO * 100 = 67,3%	RSO Aprovechados / Producción total de RSO * 100 = 100%
	RSI Aprovechados / Producción total de RSI * 100 = 25,48%	RSI Aprovechados / Producción total de RSI * 100 = 100%
	RSO comercializados/RSO procesados * 100 = 100 %	RSO comercializados / RSO procesados * 100 = 100 %
	RSI comercializados/RSI tratados * 100 = 100 %	RSI comercializados / RSI aprovechables * 100 = 100%
8.DISPOSICIÓN FINAL	Cantidad de residuos aprovechados / Cantidad de residuos recolectados * 100 = 73,34%	Cantidad de residuos aprovechados / Cantidad de residuos recolectados * 100 = 100%
	Cantidad residuos dispuestos adecuadamente / Cantidad total de residuos a disponer * 100 = 0 %	Cantidad residuos dispuestos adecuadamente / Cantidad total de residuos a disponer * 100 = 100 %
9. INSTITUCIONAL	Puntaje de 0 para la Empresa de Servicios Públicos en el programa de gestión empresarial del MAVDT	Puntaje de 1000 para la Empresa de Servicios Públicos en el programa de gestión empresarial del MAVDT
10. ADMINISTRATIVO	# empleados totales / 1.000 usuarios = 2	# empleados totales / 1.000 usuarios = 5
11. FINANCIERO	Activo corriente / Pasivo corriente = 1,35	Activo corriente / Pasivo corriente > 1.
	Ingresos totales / costos totales = 0,99	Ingresos totales / costos totales > 1.
12. COMERCIAL	Total de usuarios facturados / total de usuarios servidos* 100 = 100 %	Total de usuarios facturados / total de usuarios servidos* 100 = 100 %

	$\text{Cartera facturada} / \text{Cartera recaudada}^* 100 = 70 \%$	$\text{Cartera facturada} / \text{Cartera recaudada}^* 100 = 100 \%$
	$\# \text{ usuarios que reclaman} / \# \text{ total de usuarios}^* 100 = 9,23\%$	$\# \text{ usuarios que reclaman} / \# \text{ total de usuarios}^* 100 = 0 \%$

Fuente: Resultados del Estudio.

4. EVALUACIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS NATIVOS CARACTERIZADOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LA PLANTA⁵.

El desarrollo de esta actividad se dividió en dos fases así:

4.1. FASE DE CAMPO 1

Las muestras de las pilas de compostaje tratadas en las diferentes etapas del proceso (5 días, treinta días, sesenta días y ciento cinco días) se tomaron siguiendo la técnica de muestreo rectangular (5 submuestras: una del centro y 4 de las esquinas de la pila a una profundidad aproximada de 15 cm., se mezclaron y se tomó una muestra representativa); las muestras se almacenaron a 4°C en bolsas ziploc herméticamente selladas para su posterior procesamiento en el laboratorio. En cada pila se registró la temperatura como único factor físico del proceso.

4.2. FASE DE LABORATORIO

De cada muestra tomada en las distintas fases del compostaje, se aislaron pseudomonas en agar cetrimide y bacterias heterótrofas totales en agar nutritivo; posteriormente, se realizó un estudio del porcentaje de frecuencia de los morfotipos encontrados en estos dos medios de cultivo mediante diluciones seriadas en agua peptonada estéril desde 10^{-1} a 10^{-6} y por duplicado. Se estableció como 100% de frecuencia la aparición de cada morfotipo en las doce

⁵ Convenio ejecutado entre la UPTC y CORPOCHIVOR, con la supervisión del autor de esta monografía.

cajas de agar nutritivo y en las doce de agar cetrimide, según el caso. Los morfotipos escogidos para formar los consorcios bacterianos fueron aquellos que presentaron los porcentajes de frecuencia más altos y que a su vez se encontraran en las muestras tomadas de las cuatro fases del compostaje.

A cada una de las bacterias seleccionadas se les realizó descripción macroscópica (teniendo en cuenta color, consistencia, aspecto, elevación y borde.) y descripción microscópica mediante tinción de Gram; luego, se aislaron las cepas puras de las bacterias caracterizadas anteriormente.

4.2.1. Pruebas de antagonismo: Con los morfotipos escogidos se realizaron pruebas de antagonismo mediante suspensiones de cada uno de ellos en 10 ml de solución salina estéril al 0.85%, ajustada a una concentración de $3,0 \times 10^8$ según el tubo 1 de la escala de McFarland.

Como medio de cultivo para las pruebas se empleó agar nutritivo utilizando la siguiente técnica: con un sacabocados estéril se abrió un pozo central y dentro de él se colocó la suspensión del morfotipo a estudiar, el resto de la caja se dividió en cuatro cuadrantes y en cada uno de ellos se sembró mediante una estría un morfotipo diferente hasta completar siete combinaciones con el morfotipo estudiado. Las demás combinaciones se realizaron colocando cada uno de los 7 morfotipos restantes en el centro, frente a los otros morfotipos.

4.2.2. Prueba de identificación rápida API 20 NE: Seis de los ocho morfotipos escogidos se tipificaron por medio del sistema API 20NE, prueba específica para bacilos gramnegativos.

4.2.3. Pruebas bioquímicas convencionales para bacilos grampositivos: Se realizaron pruebas de movilidad, catalasa, hidrólisis de gelatina, pruebas de

oxidación/fermentación de glucosa y oxidasa, además de la observación microscópica de endosporas, (Madigan *et al.*, 2004) y la siembra en agar rogosa, medio de cultivo selectivo para *Lactobacillus* (Merck ,2000).

4.2.4. Conformación de los Consorcios Bacterianos: Los consorcios se establecieron de la siguiente manera: consorcio 1 (B5 y B6), consorcio 2 (B3 y B7) y consorcio 3 (B1 y B6).

Con las cinco bacterias escogidas para conformar los consorcios se realizaron suspensiones en solución salina estéril al 0.85% ajustadas a la concentración 0,5 de la escala de MacFarland; posteriormente, se realizaron diluciones seriadas en la misma solución desde 10^{-1} a 10^{-6} y se sembraron en agar peptona caseína (APC), registrando el crecimiento en intervalos de cuatro horas hasta observar un número de UFC considerable en la dilución más alta. De acuerdo con este resultado se determinó el inóculo inicial.

La bioaumentación de cada consorcio se realizó en 10 cajas de agar nutritivo (5 cajas por bacteria) y luego se disolvieron en 20 litros de agua del acueducto que abastece a la Planta.

4.3. FASE DE CAMPO 2

Para la inoculación de los consorcios en las pilas de compostaje se destinaron dos pilas control y doce pilas experimentales monitoreadas de acuerdo con los siguientes tratamientos:

Control: humectación con lixiviado, aireación manual y uso de material a compostar proveniente de pilas tratadas en diferentes etapas del proceso.

Tratamiento uno: 6 pilas humectadas con agua y aireación manual o volteo, 2 de las cuales fueron aspersadas con el consorcio 1, 2 pilas aspersadas con el consorcio 2 y 2 pilas aspersadas con el consorcio 3.

Tratamiento dos: 6 pilas humectadas con lixiviado y aireación manual o volteo, de las cuales 2 fueron aspersadas con el consorcio 1, 2 pilas aspersadas con el consorcio 2 y 2 pilas aspersadas con el consorcio 3.

4.4 FASE DE LABORATORIO 2

Se tomaron muestras de las pilas sometidas a los diferentes tratamientos (utilizando la técnica descrita en la fase de campo 1) a los cero días, cinco días, treinta días, sesenta días, setenta y cinco días y ciento cinco días del proceso. La toma de muestras fue modificada gracias a que en algunas pilas el proceso se dio por terminado en un menor tiempo.

Se realizaron recuentos en placa para medir los tamaños poblacionales de heterótrofas totales (en Agar Peptona Caseína APC), pseudomonas (en Agar Cetrimide), hongos (en Agar Gentamicina-Glucosa-Extracto de levadura) y actinomicetos (en Agar Almidón Caseína), evaluar la sucesión microbiana y la eficacia de los tratamientos.

Se realizaron descripciones macroscópicas y microscópicas de los diferentes microorganismos crecidos a partir de los recuentos en placa, con el fin de verificar la presencia de los microorganismos bioaumentados en el proceso, así como de otros microorganismos característicos del compostaje (hongos y actinomicetos).

Los consorcios obtenidos y aplicados fueron:

El consorcio 1 se conformó con B6 (*Pseudomonas fluorescens*) ya que presentó un porcentaje de confiabilidad alto y B5 (*Bacillus sp.*), reportado en la literatura como un microorganismo importante en procesos de degradación de residuos sólidos orgánicos (Cariello, 2007).

El consorcio 2 se conformó con B3 (*Aeromonas hydrophila*) por presentar porcentaje de confiabilidad alto (según API 20 NE), y B7 (*Lactobacillus sp.*) por ser un microorganismo esencial en procesos de fermentación (Luna, 1991).

El consorcio 3 se conformó con B1 (*Shewanella putrefaciens*) y B6 (*Pseudomonas fluorescens*) por tener porcentajes de confiabilidad altos (según API 20 NE).

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS APOVECHABLES Y NO APOVECHABLES.

5.1. RESIDUOS SÓLIDOS APOVECHABLES.

Antes de iniciar cualquier proceso en planta se debe revisar la forma en que se están recogiendo los residuos en cada uno de los municipios y plantear programas de separación en la fuente con cada uno de las empresas de servicios públicos de dichos municipios. Es así como la formalización de convenios de capitación a la población, reevaluación de rutas de recolección y adecuación de los vehículos recolectores, mejorara la separación en la fuente, y por ende la disposición final de los residuos. Para esto se plantea un programa de recolección con base en la cantidad de residuos que genera cada municipio y días de recolección, así como el tipo de residuo a recoger.

Es importante que la planta dentro de los convenios de recolección solicite a las empresas de cada municipio un plan de recolección con separación de residuos en la fuente, por lo tanto se deben generar herramientas de capacitación a la población y exigencias en la misma para lograr su aplicabilidad.

Por otra parte solicitar a la autoridad ambiental que a través de sus programas de educación ambiental difundan, incentiven y consienten a la población de la necesidad de entregar los residuos separados. Para tal fin no su pueden realizar programas radiales, talleres de participación comunitaria, vinculación de la población estudiantil, folletos y unas rutas de recolección concertadas y objetivas a la capacidad diaria de recepción de la planta.

Separación de residuos en la fuente: La separación de subproductos de los Residuos Sólidos, se suele realizar en forma manual, ya sea en el sitio de origen, en las aceras, en el vehículo recolector o en el sitio de disposición final. Este último caso es muy frecuente en casi todos los botaderos de basura de las grandes ciudades y aun de pequeñas poblaciones. Esta actividad la realizan personas de escasos recursos que buscan el sustento diario para sus familias, en condiciones inhumanas y sin seguridad social, por lo que el municipio con el apoyo de las autoridades ambientales deben dar el primer paso para eliminar la segregación de basura en los botaderos y buscar el apoyo del comercio, la industria y la comunidad en general, con el propósito de ofrecer otras oportunidades a los segregadores, recuperadores o recicladores. En efecto, debería iniciar un proceso de acercamiento, capacitación y apoyo para la organización de estas personas en cooperativas autogestionarias, lo que les permitiría trabajar en condiciones dignas en los sitios de generación e incluso prestar otro tipo de servicios para salir de ese lamentable y degradante estado de marginalidad.

Las experiencias obtenidas en países en desarrollo con plantas industriales de separación de RSM han resultado un fracaso, por lo que se recomienda, en lo que concierne a las pequeñas poblaciones, que el municipio apoye los programas de recuperación en el punto de origen (viviendas, comercio, industria, etc.) y la construcción o adecuación de una bodega como centro de acopio a fin de que los recuperadores puedan clasificar adecuadamente los diferentes materiales.

Recolección y transporte: La recolección y transporte es la actividad más costosa del servicio de aseo urbano; en la mayoría de los casos representa entre 80 y 90% del costo total.

Los vehículos destinados al transporte de RSM deben reunir las condiciones propias para esta actividad. Pueden ser compactadores tradicionales, que se utilizan en las ciudades o también equipos no convencionales para las pequeñas poblaciones y áreas marginales, tales como el tractor agrícola

conectado con un remolque, carretas de tracción animal, triciclos, etc. Para el caso que nos ocupa lo que se recomienda es hacer adecuación de los vehículos para el tipo de residuo a ser recolectado teniendo en cuenta que estas serán entregados por los usuarios separados en más de un 80%, con el fin de evitar contaminación de estos y mayores esfuerzos en la planta.

Como alternativa de solución en cuanto a la presentación de los residuos sólidos es la de consolidar una política concertada entre la empresa prestadora del servicio, los municipios y el acompañamiento de la autoridad ambiental, para que de esta forma se generen cuotas de sanciones y premios por el cumplimiento a sus directrices, dentro de estas alternativas se podrán incluir criterios con una reducción el valor por tonelada recepcionadas de acuerdo a su calidad e inocuidad.

Así mismo las actividades educativas deben apoyarse con la emisión y entrega de boletines, folletos y cartillas que permitan generar sensibilización en la población objeto, esta actividad debe desarrollarse por cada municipio con el establecimiento de un programa de pedagogía con cronogramas y con el apoyo de la autoridad ambiental.

En los municipios la sensibilización debe ser periódica y no centrarse en solo una capacitación, sino que se deben dar recomendaciones, campañas de aseo, conformación de grupos estudiantiles de apoyo y se debe dar en varios periodos cada año.

La educación sanitaria y ambiental se hace cada vez más importante a la hora de sensibilizar a la población sobre los problemas derivados del manejo inadecuado de los residuos. Es imprescindible si se quiere generar un cambio de actitud que permita entender la complejidad del problema y los requerimientos para una buena recolección, tratamiento y disposición final. Asimismo, debe hacer ver los costos que implica realizar estas actividades y la obligación que tienen todos de pagar por el servicio de aseo urbano a fin de

garantizar su sostenibilidad. Es importante, además, para que se fomente la participación de los ciudadanos en las prácticas de separación y recuperación de los residuos en el punto de origen.

Tabla 21. Planteamiento de recolección por municipio y tipo de residuos.

Número	MUNICPIO	DÍAS DE RECOLECCIÓN	
		RESIDUOS ORGÁNICOS Y NO APROVECHABLES	RESIDUOS RECICLABLES
1	ALMEIDA	LUNES	JUEVES
2	CHINAVITA	LUNES	LUNES
3	PACHAVITA	JUEVES	JUEVES
4	LA CAPILLA	MARTES, JUEVES	JUEVES
5	GARAGOA	LUNES Y VIERNES	MIERCOLES Y SABADO
6	SOMONDOCO	MIERCOLES	MIERCOLES
7	TENZA	LUNES, JUEVES	JUEVES
8	SUTATENZA	MARTES	MARTES
9	CHIVOR	LUNES, VIERNES	VIERNES
10	CHVIOR AES S.A	MIERCOLES	MIERCOLES
11	GUAYATÁ	MIERCOLES, SABADO	SABADO
12	MACANAL	JUEVES	JUEVES
13	UMBITA	LUNES	LUNES
14	EMGESA	MIERCOLES	MIERCOLES
15	MACHETA	MARTES Y VIERNES	VIERNES
16	TIBIRITA	JUEVES	JUEVES
17	MANTA	MARTES	MARTES
18	UBALA	MIERCOLES	MIERCOLES
19	MAMBITA	MIERCOLES	MIERCOLES

Con base en dicha distribución los operarios de la planta podrán hacer un adecuado manejo de las pilas teniendo en cuenta que para llenar una de ellas se requiere de 2 toneladas de material orgánico el cual se manejará adecuadamente de acuerdo a los días propuestos de recepción de residuos de

este tipo, y tendrán el tiempo suficiente para hacer una clasificación final y separación antes de disponerlos en las pilas de compostación.

Como factor de medición estará la calidad de clasificación y separación en la fuente de los residuos en cada municipio y como apoyo institucional entraría a formar parte la autoridad ambiental con el fin de generar incentivos a estos, de acuerdo a los resultados que presentan con la entrega de sus residuos, dichos incentivos se deben enfocar en la formulación de proyectos y capacitaciones para la comunidad. Así mismo de castigos preventivos o educativos a quienes incumplan con el convenio.

De acuerdo a la evaluación y diagnóstico de los equipos en planta cabe resaltar la necesidad de disponer de maquinaria y de nuevos implementos de trabajo con el fin de facilitar las labores de los operarios y reducir tanto el tiempo de revisión y clasificación de los residuos como de los riesgos profesionales o de seguridad industrial, para esto se plantean algunos equipos que permitirán la optimización y el buen desempeño.

Tromel de recepción de residuos

Banda transportadora dispuesta desde el tromel de recepción hasta la zona de ubicación residuos orgánicos.

Picadoras de 3 a 5 ton/h

Compactadora de metales y plásticos 20 y 4 CBT

Adecuación tanques de lavado para plásticos

Adecuación de las celdas de compostaje para permitir una mayor aireación del material y ampliación de sus rejas para permitir el volteo mecánico.

Una pala mecánica para el área de compostaje.

Teniendo en cuenta la caracterización presentada en cuanto tipo de residuos que llegan a la planta de tratamiento mecánico biológica de Garagoa, en donde los residuos orgánicos superan el 65% de el volumen o tratar, se debe hacer una revisión de la importancia de la evaluación de la microflora e implementar

una segunda fase de estudio teniendo a corroborar los datos obtenidos en cuanto los microorganismos presentes en el compost, con el fin de poder hacer aislamiento de colonias para su futura aplicación a las pilas y así acelerar el tiempo de maduración de este, con el fin de reducir su tiempo de compostación. Así mismo de corroborar la información obtenida para realizar un tratamiento tendiente a la eliminación de patógenos que pueden afectar tanto la salud humana como los cultivos y los suelos.

En este sentido un tratamiento adicional después del tiempo de maduración en donde ya se ha obtenido el compost, el cual debe ser picado y tamizado nuevamente, permitirá eliminar microorganismos indeseables, así mismo con la evaluación y aplicación de antagonistas como pseudomonas, permitirá mejorar la calidad de este; por otro lado para la eliminación de metales pesados, se debe enfatizar en la importancia de la separación en la fuente y la disposición de equipos que faciliten la separación final en la planta y la clasificación de residuos. La humectación de las pilas es fundamental por cuanto la calidad del agua permitirá lavar metales y reducir su nivel al final del proceso.

Para los lixiviados se debe realizar una caracterización físico - químico con el fin de determinar sus propiedades y determinar el tipo de tratamiento y manejo de este. Por ningún motivo debe ser usado para la humectación de las pilas ya que este fue uno de los factores que se evidencio en el manejo de las pilas y que pueden alterar la calidad microbiana y por ende demorar el procesos de maduración de compost y reducir su calidad final, ya que puede aumentar la presencia tanto de microorganismos patógenos como fusarium oxysporum como de metales pesados.

De todas maneras por las características de la planta el lixiviado debe tener un tratamiento previo antes de ser dispuesto a un cuerpo de agua, y para lo cual se recomienda implementar un sistema de tratamiento con biorremediación con la utilización de humedales de recuperación los cuales no requieren de una gran área por la cantidad generada y el cual puede ser secundario al

tratamiento primario que se debe aplicar en los tanques instalados con capacidad 1500 lt.

Se debe implementar un sistema de gestión de seguridad industrial por cuanto el personal en su mayoría esta en contacto con los residuos y pueden presentar cuadros clínicos y deterioro en su salud.

Los riesgos a los que están enfrentados los operarios son de tipo ocupacional como es el contacto con residuos sólidos los cual a pesar de no tener sustancias nocivas si pueden afectar su normal desempeño, los olores que generan los residuos orgánicos e inertes pueden ocasionar enfermedades, para esto se deben disponer de implementos como son overoles, botas, guantes, caretas, así como la aireación de los sitios de trabajo, y el buen manejo del sitios de disposición final de los materiales no aprovechables.

Las instalaciones aunque cuentan con baños y vestier, no tiene loker`s para que los operarios guarden sus pertenencias o su ropa de cambio, así mismo no se cuenta con un casino o área de descanso donde puedan tomar refrigerio, almuerzo, el cual lo hacen en cualquier lugar de la planta.

La planta no cuenta con un plan estructurado de revisión de equipos de seguridad industrial ni de implementos de trabajo, simplemente se hace una renovación de overoles o de implementos cada vez que se requiera, por lo que se hace necesario generar registros de manejo de implementos de trabajo, periodicidad de utilización, fechas de entrada de estos en funcionamiento y de baja, registros de revisión y mantenimiento de implementos y equipos.

En cuanto al manejo de residuos peligroso teniendo en cuenta que la planta n cuenta con los equipos ni las adecuaciones necesarias para su manejo y tratamiento se debe hacer una revisión exhaustiva a la entrada del material para evitar la recepción de este tipo de materiales; así mismo solicitar a la autoridad ambiental la revisión de este tipo de residuos, los generadores y la

forma de disposición. Cabe anotar que para la zona el manejo se hace a través de la empresa DESCONT la cual recoge los residuos peligrosos periódicamente, pero que de igual forma, es importante conocer los generadores y cada uno de los convenios que tiene, esto para el caso de hospitales, puestos de salud, droguerías, veterinarias, mataderos municipales, etc.

5.2. RESIDUOS SÓLIDOS NO APROVECHABLES

Para los residuos sólidos no aprovechable o inertes se debe hacer una adecuación del sitios de disposición final el cual en el momento no cumple con las especificaciones técnicas requeridas ni con la normatividad vigente para este, ya que en el se disponen estos residuos sin ningún manejo a disposición técnica ya que solo se extiende el material manualmente y se aplican capas de material de cantera muy delgado para cubrirlo, no cuenta con un sistema de recolección de lixiviados por lo que puede estar afectan aguas subterráneas y superficiales, así como los suelos en la parte baja.

La disposición e implementación de un relleno sanitario o microrelleno permitirá el adecuado manejo de los residuos no aprovechables, en este sentido se debe ubicar en un sector aledaño a la planta donde se pueda monitorear e inspeccionar el manejo y tratamiento que se le a estos, con especificaciones técnicas propias de un relleno sanitario.

Los lixiviados se deben recoger y llevar al tanque de disposición para su tratamiento previo y disposición.

5.3. IMPLEMENTACIÓN DE MICRORELLENO SANITARIO

Esta alternativa se debe implementar con el fin de complementar la fase del procesamiento de residuos sólidos de la planta de Garagoa y clausurar el botadero el cual no cumple con las especificaciones mínimas para operar y poder tratar los residuos inertes.

El microrelleno se ubicara en el mismo sector donde esta funcionando la planta de tratamiento mecánico biológica, en el costado norte de esta y unos metros abajo del botadero el cual será clausurado.

Se proyecta un microrelleno sanitario para cerca de 6.000 toneladas de residuos no aprovechables enterrados con una densidad de 300/m³. Por que anualmente dispondrán aproximadamente 500 toneladas lo cual tendrá una vida útil de 10 años.

Es una técnica que permitirá manejar los residuos sólidos no aprovechables de una forma segura que no afectará la salud, la seguridad publica ni tampoco perjudica el ambiente. Su principio básico es la de confinar los residuos en un área lo más pequeña posible, con compactación de estos para reducir su volumen y coberturas de capas de tierra, así como la prevención de posibles afectaciones con los gases y líquidos generados por la descomposición.

La propuesta se debe estudiar en cuanto al perfil del suelo y la pendiente para realizar las adecuaciones pertinentes, en este sentido y teniendo en cuenta información secundaria se podrán hacer excavaciones de hasta 5 metros de profundidad donde la tierra extraída servirá como cobertura durante la operación del microrelleno.

Los residuos sólidos se depositan compactados y se acomodan dentro de las terrazas para luego ser cubiertas con tierra de 0.20 mts. Se deben construir canales perimetrales para captar las aguas lluvias y hacer un buen manejo de drenajes, así mismo se debe utilizar una cubierta de geomembrana antes de

iniciar la operación la cual permitirá evitar contaminación de suelos y aguas por la generación de lixiviados.

Los lixiviados generados en el proceso de descomposición de los residuos en el microrelleno no deben mezclarse con aguas de escorrentía o de drenaje por cuanto magnificarían la contaminación de aguas abajo y subterráneas, así mismo es importante disponer de un sistema de recolección de este residuos líquido con el fin de darle un tratamiento previo antes de ser eliminado o arrojado a aguas de escorrentía. Un análisis o caracterización previa del lixiviado permitirá determinar cual es el tratamiento más acorde y efectivo a emplear.

5.3.1. Métodos de construcción de un relleno sanitario⁶: El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario.

A. Método de trinchera o zanja: Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad. Los RSM se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada. Se debe tener especial cuidado en periodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. De ahí que se deba construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

⁶ CEPIS

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

B. Método de área: En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno; es decir, la basura se descarga en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 18,4 a 26,5 grados en el talud; es decir, la relación vertical/horizontal de 1:3 a 1:2, respectivamente, y de 1 a 2 grados en la superficie, o sea, de 2 a 3,5%.

5.3.2. Combinación de ambos métodos: Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es

posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.

5.4. Información básica

Se deben tener en cuenta aspectos poblacionales como la densidad demográfica y la proyección de la población de 5 a 10 años a fin de calcular la cantidad de residuos que se deberá disponer diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.

A continuación, un ejemplo de método matemático referido al crecimiento geométrico; es decir, al de las poblaciones biológicas en expansión, para el cual se asume una tasa de crecimiento constante. La siguiente expresión nos muestra su cálculo:

$$P_f = P_o (1 + r)^n \quad [1]$$

Donde:

P_f = Población futura

P_o = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = ($t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

Sin embargo, se recomienda comparar los resultados obtenidos con otros métodos de proyección.

Cuando se requiera llevar a cabo un sistema de recolección, tratamiento y disposición final, convendría estimar las cantidades de residuos que la población genera. Con el objetivo de ahorrar recursos, se sugiere utilizar para estos análisis métodos indirectos, como los que se presentan a continuación.

Producción per cápita

La producción per cápita de RSM se puede estimar globalmente así:

$$ppc = \frac{DSr}{Pob \times 7 \times Cob} \quad [2]$$

$$Pob \times 7 \times Cob$$

Donde:

ppc = Producción por habitante por día (kg/hab/día)

DSr = Cantidad de RSM recolectados en una semana (kg/sem)⁶

Pob = Población total (hab)

7 = Días de la semana

Cob = Cobertura del servicio de aseo urbano (%)

La cobertura del servicio es el resultado de dividir la población atendida por la población total:

$$\text{Cobertura del servicio (\%)} = \frac{\text{Población atendida (hab)}}{\text{Población total (hab)}} \quad [3]$$

Hay que señalar que también es posible relacionar la cantidad de residuos generados con las viviendas, o sea, kg/vivienda/día, dado que la basura es entregada por vivienda. Esto, además, tiene la ventaja de facilitar el conteo de las casas.

Con base en los muestreos de residuos realizados en algunas poblaciones pequeñas, rurales y áreas marginales en la Región sobre las características que se analizan en este trabajo, se ha encontrado que la ppc presenta rangos de entre 0,2 y 0,6 kg/hab/día. Tales valores son bastante representativos para la mayoría de estas poblaciones. Se recomienda tener presente lo anterior, ya que en la mayoría de los casos no se justifica un muestreo exhaustivo.

En los lugares turísticos, conviene recordar que la producción de residuos, sobre todo en las temporadas de vacaciones, se puede incrementar notablemente, con lo que se complica su manejo y disposición.

La producción de residuos está dada por la relación:

$$DSd = Pob \times ppc \quad [4]$$

Donde:

DSd = Cantidad de RSM producidos por día (kg/día)

Pob = Población total (habitantes)

ppc = Producción per cápita (kg/hab-día)

Proyección de la producción total

La producción anual de residuos debe ser estimada con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita. Se puede calcular la proyección de la población mediante métodos matemáticos, pero en lo que se refiere al crecimiento de la ppc difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente. No obstante, para obviar este punto y sabiendo que con el desarrollo y el crecimiento urbano y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular la producción per cápita total para cada año, con un incremento de entre 0,5 y 1% anual.

Los parámetros más importantes que debemos conocer para el manejo adecuado de los residuos que se producen en una población son la producción y sus características específicas (origen, composición física y densidad).

Densidad

La densidad o el peso volumétrico de residuos es otro parámetro importante para el diseño del sistema de disposición final de residuos. Para calcular las dimensiones de la celda diaria y el volumen del relleno, se pueden estimar las siguientes densidades:

Tabla 22. Densidad de diseño de la celda diaria y del relleno sanitario

Diseño	Densidad kg/m ³
Celda diaria (basura recién compactada manualmente)	400 - 500

Volumen del relleno (basura estabilizada en el relleno manual)	500 - 600
---	-----------

Estas densidades se alcanzan con la compactación homogénea y, a medida que se estabiliza el relleno, con todo lo que incide en la estabilidad y vida útil del sitio.

- El aumento de la densidad del relleno sanitario manual se logra especialmente mediante:
- El apisonado manual, con el uso diario del rodillo o los pisones de mano.
- El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas.
- La separación y recuperación de papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra, madera y otros materiales voluminosos. Con la práctica del reciclaje se disponen menos residuos en el relleno y, en consecuencia, se aumenta su vida útil.

Otros mecanismos que aumentan la densidad de los desechos sólidos son: el proceso de descomposición de la materia orgánica y el peso propio de las capas o celdas superiores que producen mayor carga y, obviamente, disminuyen su volumen.

5.5. Características del terreno

La geología y características específicas del suelo del terreno son algunos de los factores más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar el sitio. Gracias a estos se puede obtener información acerca de posibles desplazamientos de las infiltraciones de agua y de una eventual contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Al mismo tiempo, el estudio del suelo permite evaluar la estabilidad del terreno y la localización y calidad del banco de material de cobertura.

Sin lugar a dudas, en los proyectos de relleno sanitario para las grandes ciudades estos análisis tienen una importancia capital y deben ser una exigencia básica en cualquier estudio; pero para el caso de comunidades muy pequeñas, no es necesario ser demasiado rigurosos si, como ya se dijo, se considera la reducida magnitud de las obras y el tipo de residuos que generan. En lo posible, se debe recurrir a los servicios de un geólogo o de otro profesional con conocimientos en estos temas.

5.5.1. Tipo de suelo: un relleno sanitario debe estar localizado de preferencia sobre un terreno cuya base sean suelos areno-limo-arcillosos (arena gruesa gredosa, greda franco-arcillosa); también son adecuados los limo-arcillosos (franco-limoso pesado, franco-limo-arcilloso, arcillo-limoso liviano) y los arcillo-limosos (arcillo-limoso pesado y arcilloso). Es mejor evitar los terrenos areno-limosos (franco-arenosos) porque son muy permeables.

Permeabilidad del suelo: es la mayor o menor facilidad con que la percolación del agua ocurre a través de un suelo. El coeficiente de permeabilidad (k) es un indicador de la mayor o menor dificultad con que un suelo resiste a la percolación del agua a través de sus poros. En otras palabras, es la velocidad con la que el agua atraviesa los diferentes tipos de suelo.

Para ilustrar mejor lo anterior, se presenta la figura 13, donde se aprecia el tipo de suelo y su relación con el coeficiente de permeabilidad.

Coeficiente de permeabilidad k (cm/s)

(Escala logarítmica)

Figura 1. Relación entre el tipo de suelo, el coeficiente de permeabilidad y su aceptación para drenaje y relleno sanitario.

k (cm/s)	10 ²	10 ¹	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Malo		Prácticamente impermeable			
Relleno sanitario	Pésimo									Bueno		
Tipo de suelo	Grava gruesa (cascajo)	Arena limpia, arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla				Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización			
		Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización										

El coeficiente de permeabilidad k de los suelos puede ser determinado en el campo, si es que se desea saber con certeza si ahí se puede construir o no un relleno sanitario.

Profundidad del nivel freático: tiene que ver con la altura de la tabla de aguas o la altura dominante del nivel freático. Se deberán preferir los terrenos bien drenados y con la tabla de aguas a más de un metro de profundidad durante todo el año. Los terrenos pobremente drenados —o sea, aquellos que en la tabla de aguas se mantienen la mayor parte del año por debajo de un metro— se deben drenar de manera artificial. En estos casos es mejor descartarlos, sobre todo los que permanecen inundados durante largos periodos.

Disponibilidad del material de cobertura: los terrenos planos, que cuentan con un suelo limo-arcilloso y el nivel freático a una profundidad tal que no haya posibilidad de contaminar las aguas subterráneas por la disposición de residuos, pueden ofrecer una buena cantidad de material de cobertura, en especial si se decide usar el relleno en zanjas. Por el contrario, si el terreno tiene un suelo arenoso o si el nivel freático está a poca profundidad (a menos de un metro), primero se tendrá que impermeabilizar el terreno y, luego,

acarrear el material de cobertura desde otro sitio, lo que elevará enormemente los costos, de ahí que sería preferible descartarlo.

Las hondonadas o los terrenos ondulados pueden brindar buenas posibilidades de material de cobertura, al nivelar el terreno y hacer los cortes en las laderas de las depresiones.

5.6. Condiciones climatológicas

La precipitación pluvial, la evaporación, la temperatura y la dirección del viento son los principales datos climatológicos que se deben recopilar para establecer las especificaciones de diseño de la infraestructura del relleno sanitario y tener un mejor conocimiento de las condiciones a las que estará sometida la obra en general.

Los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de:

La producción total de RSM.

La cobertura de recolección (la condición crítica de diseño es recibir el 100% de los residuos generados).

La densidad de los RSM estabilizados en el relleno sanitario manual.

La cantidad del material de cobertura (20-25%) del volumen compactado de RSM.

Volumen de residuos sólidos

Con los dos primeros parámetros se tiene el volumen diario y anual de RSM compactados y estabilizados que se requiere disponer, es decir:

$$V_{\text{diario}} = DSp \quad [5]$$

$$Dr_{\text{sm}}$$

$$V_{\text{anual compactado}} = V_{\text{diario}} \times 365 \quad [6]$$

donde:

Vdiario = Volumen de RSM por disponer en un día (m³/día)

Vannual = Volumen de RSM en un año (m³/año)

D_{Sp} = Cantidad de RSM producidos (kg/día)

365 = Equivalente a un año (días)

D_{rsm} = Densidad de los RSM recién compactados (400-500 kg/m³) y del relleno estabilizado (500-600 kg/m³)

Volumen del material de cobertura

$$m. c. = V_{\text{annual compactado}} \times (0,20 \text{ ó } 0,25) \quad [7]$$

donde:

m. c. = material de cobertura equivale al 20 a 25% del volumen de los desechos recién compactados.

Volumen del relleno sanitario: Con los resultados obtenidos de las formulas [6] y [7] se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, así:

$$VRS = V_{\text{annual estabilizado}} + m. c. \quad [8]$$

donde :

V_{RS} = Volumen del relleno sanitario (m³/año)

m. c. = material de cobertura (20 a 25% del volumen recién compactado de RS)

Los datos obtenidos se vacían en el cuadro 32 columna 11. Para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil, se tiene la siguiente fórmula:

$$VRS_{vu} = \sum_{i=1}^n VRS \quad [9]$$

Donde:

VRS_{vu} = Volumen relleno sanitario durante la vida útil (m³)

n = Número de años que serían los datos que aparecen en el cuadro 32, columna 12; es decir, los valores acumulados anualmente.

Cálculo del área requerida: Con el volumen se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría el relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea general de la topografía.

El relleno sanitario manual debe proyectarse para un mínimo de cinco años y un máximo de diez. Sin embargo, algunas veces es necesario diseñarlo para menos de cinco años si se considera la dificultad de encontrar terrenos disponibles. Este tiempo se llama vida útil o periodo de diseño.

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- cantidad de residuos que se deberá disponer;
- cantidad de material de cobertura;
- densidad de compactación de los RS;
- profundidad o altura del relleno sanitario;
- áreas adicionales para obras complementarias.

A partir de la ecuación 8 podremos estimar las necesidades de área así:

$$ARS = \frac{VRS}{hRS} \quad [5-10]$$

Donde:

VRS = volumen de relleno sanitario (m³/año)

ARS = área por rellenar sucesivamente (m²)

hRS = altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

y el área total requerida será:

$$AT = F \times ARS \quad [11]$$

Donde:

AT = Área total requerida (m²)

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones

sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre 20-40% del área que se deberá rellenar.

Diseño de taludes. Taludes en corte: Teniendo en cuenta que para la construcción de un relleno sanitario manual se recomienda que el terreno sea de un material relativamente impermeable (arena fina mezclada con limo, arcilla) y que las alturas del corte (H) sean menores de 5 metros se puede establecer como norma que no se requieren estudios de estabilidad para definir el talud más apropiado.

Para un corte de baja altura se puede recomendar un talud único; para alturas mayores podrán requerirse dos taludes diversos; en algunos casos, se sugerirá la construcción de bermas o banquetas intermedias.

A continuación se presenta una guía que puede ser utilizada sobre la base de la experiencia de varios países con respecto a la definición de los taludes de corte.

Tabla 23. Taludes recomendados en corte

Tipo de material	Talud recomendable Si altura del corte H (m) hasta 5 m	Observaciones
1. Arenas limosas y limos compactos	1/2	k = 10-7 cm/s. Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada. Si son materiales fácilmente erosionables, deberá proyectarse talud 1:1
2. Arenas limosas, limo poco compacto	1/4	k = 10-7 cm/s contracuneta impermeable. Descopetar 1,5:1 la parte más intemperizada
3. Arenas limosas y limos muy compactos	1/4	k = 10-7 cm/s. Descopetar la parte superior suelta
4. Arcillas poco arenosas, firmes y homogéneas	1/2	k = 10-8 cm/s. Descopetar 1:1 la parte intemperizada. Si existe flujo de agua, construir subdrenaje

5. Arcillas blandas expansivas	1	k = 10-8 cm/s
--------------------------------	---	---------------

Fuente: Tomado y adaptado de Secretaría de Obras Públicas, Departamento de Antioquia, Colombia.

5.7. Taludes en terraplén: En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción, selección y colocación del material que forma el relleno (lleno en tierra), el valor que comúnmente se usa en taludes es el 1.5:1.

En relación con los taludes de basura para la conformación de los terraplenes en el relleno sanitario manual, se recomienda 2:1 ó 3:1. Se garantizará su estabilidad con una buena compactación manual de las basuras y la construcción de taludes compuestos con berma intermedia.

Método de zanja o trinchera: Dado que con frecuencia estas pequeñas poblaciones no cuentan con un tractor de oruga o una retroexcavadora, se recomienda su arriendo o préstamo para la excavación periódica de las zanjas, que deberán tener una vida útil de 60 a 90 días. De esta forma, se evitará el empleo constante de la maquinaria. Por ello se deberá planificar la excavación de las zanjas para todo el año, dependiendo de la disponibilidad del equipo, cuyos costos de renta deben ser incluidos en el presupuesto general.

Antes de que se complete el periodo de vida útil de la zanja, se debe contar con el equipo para proceder a la excavación de una nueva zanja, con el objeto de poder realizar la disposición sanitaria final de los residuos y proteger el ambiente. De lo contrario, el servicio se vería interrumpido y el lugar podría convertirse en un botadero a cielo abierto.

Orientación para la localización de las zanjas: Cuando se trata de terrenos que no son parejos —por ejemplo, con pendientes de 5% y en varias direcciones— y si se busca optimizar el uso del terreno y facilitar las excavaciones, se debe tratar que las zanjas sigan las curvas de nivel. De esta manera, se logra un mejor manejo de la tierra excavada, tanto para su almacenamiento a un lado de

la zanja como para su utilización posterior como material de cobertura. Por lo tanto, se recomienda realizar la apertura de las zanjas con excavaciones en la parte inferior del terreno para luego ir ascendiendo a medida que se van llenando.

Ante la dificultad de adquirir nuevos terrenos, se recomienda combinar este método de relleno en zanja con el de área; es decir, levantando el terreno unos metros por encima del nivel original para aprovechar así los excedentes de tierra como cobertura diaria y final de la nueva etapa del relleno. A veces pueden servir como una especie de cerco alrededor del terreno, que impida la visibilidad desde el exterior.

Volumen de la zanja: A partir de la vida útil de la zanja, se calcula el volumen de excavación y el tiempo requerido de la maquinaria con la siguiente fórmula:

$$VZ = t \times DSr \times m. c. \quad [12]$$
$$Drsm$$

Donde:

VZ = Volumen de la zanja (m³)

t = Tiempo de vida útil (días)

DSr = Cantidad de RSM recolectados (kg/día)

m. c. = Material de cobertura (20-25% del volumen compactado)

Drsm = Densidad de los RSM en el relleno (kg/m³)

Dimensiones de la zanja: Para efectos de la operación manual, las dimensiones de la zanja estarán limitadas por:

La profundidad de la zanja, que debe ser de 2 a 4 metros de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo y de equipo y costos de excavación.

El ancho de la zanja, que debe medir entre 3 y 6 metros (ancho del equipo). Esto es conveniente para evitar el acarreo de larga distancia de la basura y el material de cobertura, lo cual implica mejores rendimientos de trabajo. Así, la

operación puede ser planeada dejando un lado para acumular la tierra y el otro para la descarga de los RSM. Dependiendo del grado de compactación y del clima, se puede usar la superficie de una zanja terminada para la descarga de los residuos.

El largo está condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja. Entonces se tiene que:

$$l = \frac{VZ}{a \times hZ} \quad [13]$$

Donde:

l = Largo o longitud de la zanja (m)

VZ = Volumen de la zanja (m³)

a = Ancho (m)

hZ = Profundidad (m)

Tiempo de la maquinaria: El tiempo requerido para la excavación de la zanja y el movimiento de tierra en general dependerá mucho del material del suelo, del tipo y la potencia de la máquina, de su sistema de tracción (ya sea de ruedas o de orugas) y de la pericia del conductor.

$$t_{exc} = \frac{VZ}{R \times J} \quad [14]$$

Donde:

t_{exc} = Tiempo de la maquinaria para la excavación de la zanja (días)

VZ = Volumen de la zanja (m³)

R = Rendimiento de excavación del equipo pesado (m³/hora)

J = Jornada de trabajo diario (horas/día)

Vida útil del terreno: Podemos conocer el área requerida solo si se conoce la profundidad promedio del relleno sanitario. Sin embargo, en la práctica nos encontramos con un terreno al que hay que calcularle la vida útil.

En lo que respecta al método de zanja, una vez calculado su volumen, suponemos un factor para las áreas adicionales (separación entre zanjas, vías de circulación, aislamiento, etc.) y luego se estima el número de zanjas que se podrían excavar en el terreno. Así:

$$n = \frac{At}{F \times AZ} \quad [15]$$

Donde:

n = Número de zanjas

At = Área total del terreno (m²)

F = Factor para áreas adicionales de 1.2 a 1.4 (20-40%)

AZ = Área de la zanja (m²)

Entonces la vida útil estará dada por:

$$Vu = (tz \times n) / 365 \quad [16]$$

Donde:

Vu = Vida útil del terreno (años)

tz = tiempo de servicio de la zanja (días)

5.8. MÉTODO DE ÁREA: El método de área se emplea para construir el relleno sanitario sobre la superficie del terreno o para llenar depresiones.

Cálculo de la capacidad volumétrica del sitio: La capacidad volumétrica del sitio es el volumen total disponible del terreno para recibir y almacenar la basura y el material de cobertura que conforman el relleno sanitario. En otras palabras, es el volumen comprendido entre la superficie de desplante y la superficie final del relleno, para lo cual es indispensable determinar la capacidad volumétrica del terreno.

En general, existen dos métodos para realizar este tipo de cálculo:

Volúmenes de gran longitud y poca anchura.

Volúmenes de gran extensión (extensos en ambas direcciones).

5.9. Volúmenes de gran longitud (alrededor de un eje): Por lo general, el trabajo de campo en esta categoría de determinación de volúmenes comprende la obtención de secciones transversales a intervalos regulares a lo largo de un eje del proyecto (poligonal). Primero se calculan las áreas de estas secciones y luego, usando la regla de Simpson para volúmenes o la del prismoide, puede calcularse el volumen del material que se deberá retirar o colocar.

Método 1. Cálculo del volumen por la regla de Simpson: Una vez calculada el área de las distintas secciones, puede hallarse el volumen del material contenido en el corte o relleno por medio de la regla de Simpson, que es la misma que se emplea para las áreas, aunque las áreas de las secciones reemplazan a las ordenadas en la fórmula

$$\text{Volumen} = \frac{d}{3} [A1 + A5 + 2 \times A3 + 4(A2 + A4)] \text{ m}^3 \quad [17]$$

Si llamamos M a la sección media, el volumen por la regla de Simpson será:

$$\text{Volumen} = \frac{1}{3} (d / 2) [A1 + A2' + 2(\text{cero}) + 4 M] \quad [18]$$

$$\text{Volumen} = \frac{d}{6} [A1 + A2 + 4M] \quad [19]$$

La ecuación [19] representa la regla del prismoide, que puede usarse para hallar el volumen de cualquier prismoide, siempre que se pueda conocer el área de la sección media

Nota: el área M no es el promedio de las áreas A1 y A2.

Método 2. Cálculo del volumen por la regla del prismoide: El prismoide se define como un sólido que tiene dos caras planas y paralelas de forma regular o irregular, unidas por superficies planas o alabeadas, en las que se puedan

trazar rectas desde una hasta la otra cara paralela. Cuya fórmula equivale a la [19].

Para determinar su volumen por la regla de Simpson, es necesario dividir la figura de forma que resulte un número de secciones equidistantes; tres es el número menor que cumple esta condición.

Método 3. Volumen a partir de las áreas extremas: A partir del eje del proyecto y de la nivelación por franjas de un terreno, se puede calcular el volumen entre dos secciones transversales consecutivas, multiplicando el promedio de las áreas de las secciones por la distancia que las separa (para estar más cerca de la realidad, se recomienda tramos de 20 metros).

El volumen entre las secciones A1 y A2 está dado por:

$$\text{Volumen} = \frac{(A1 + A2)}{2} \times d \quad [20]$$

Donde:

A1 y A2= Áreas de las secciones transversales (m²)

d = Distancia entre las secciones A1 y A2

Esta fórmula será más precisa a medida que A1 y A2 tiendan a ser iguales. En general, la precisión de este método es más que suficiente, puesto que se supone que el terreno será nivelado uniformemente entre las dos secciones, aunque se sabe que el volumen real es un tanto diferente

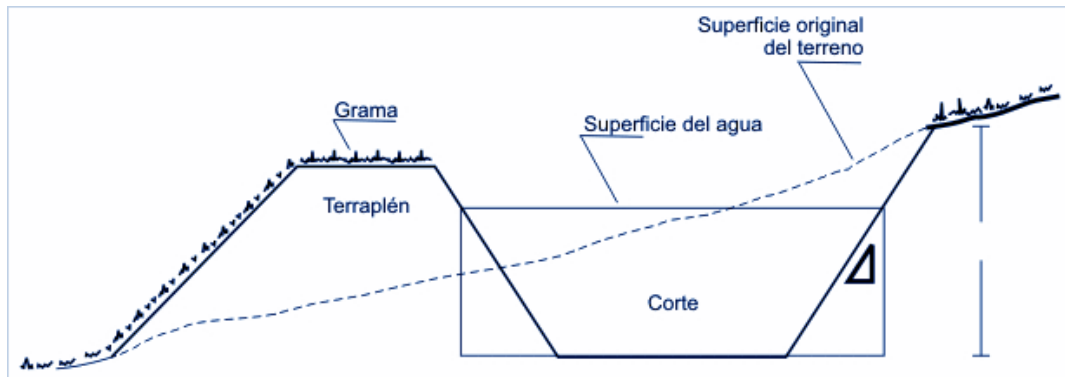
Cálculo de la vida útil: El volumen del relleno, es decir, el volumen comprendido entre las configuraciones iniciales y final del terreno, calculadas mediante cualquiera de los métodos descritos anteriormente, nos dará el volumen total disponible.

Diseño del canal interceptor de aguas de escorrentía: Es importante estudiar la precipitación pluvial del lugar, con el fin de establecer las características de los

drenajes perimetrales y las obras necesarias. Así se minimizará la producción del líquido lixiviado o percolado y se evitará la contaminación de las aguas.

Las aguas de lluvia que caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario suelen escurrirse hasta él, lo que dificulta la operación del relleno. Interceptar y desviar el escurrimiento de aguas de lluvia por medio de un canal perimetral fuera del relleno sanitario es, pues, un elemento fundamental de su infraestructura, que contribuirá a reducir el volumen del líquido percolado y mejorar las condiciones de operación. Es necesario construir un canal en tierra o suelo-cemento de forma trapezoidal y dimensionarlo teniendo en cuenta las condiciones de precipitación local, el área tributaria, las características del suelo, la vegetación y la pendiente del terreno. Para una pequeña cuenca se recomienda un canal con las dimensiones de la figura X.

Figura 2. Detalle de la sección transversal del canal trapezoidal



Si por las características del lugar se requiere mayor precisión, se puede calcular el caudal que aporta la cuenca mediante el método racional y las dimensiones del canal según la siguiente fórmula.

$$Q_p = \frac{K_i \times A_d}{3,6 \times 10^6} \quad [22]$$

Donde:

Q_p = Caudal que ingresa o máximo escurrimiento [m³/seg]

K = Coeficiente de escurrimiento.

i = Intensidad de la lluvia para una duración igual [mm/hora]

A_d = Área de la cuenca [m²]

t_c = Tiempo de concentración [min]

El canal debe ser trazado por la curva de nivel más alta a la que llegará el borde del relleno sanitario y deberá garantizar una velocidad máxima promedio de 0,5 metros por segundo, que no provoque erosión excesiva; el tamaño de la sección del canal se podrá calcular usando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q_p}{v} \quad [23]$$

Donde:

A = Área de la sección de la zanja [m²]

v = Velocidad máxima promedio [m/seg]

Una vez hallada el área de la sección, se deciden las dimensiones, sobre la base de las recomendaciones anteriores.

Generación de lixiviado o percolado.

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSM.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación

directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

Debido a las diferentes condiciones de operación y localización de cada relleno, las tasas esperadas pueden variar; de ahí que deban ser calculadas para cada caso en particular.

Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido.

El método suizo, por ejemplo, permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times K \quad [24]$$

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

- Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

- Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Sobre la base de las observaciones realizadas en varios rellenos pequeños, se puede afirmar que la generación de lixiviado se presenta fundamentalmente

durante los periodos de lluvias y unos cuantos días después, y se interrumpe durante los periodos secos. Por tal razón, sería conveniente una adaptación de este método de cálculo para calcular la generación del lixiviado en función de la precipitación de los meses de lluvias y no de todo el año. Este criterio es importante a la hora de estimar la red de drenaje o almacenamiento de lixiviado para los rellenos sanitarios manuales.

Por lo tanto, se sugiere que partiendo de la ecuación [24], los registros de precipitación sean los del mes de máxima lluvia, expresados en mm/mes, con lo cual se consigue una buena aproximación al caudal generado:

$$Q_{lm} = P \times A \times K \quad [25]$$

Donde:

Q_{lm} = Caudal medio de lixiviado generado (m³/mes)

P_m = Precipitación máxima mensual (mm/mes)

A = Área superficial del relleno (m²)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura

1 m = 103 mm

5.10. Diseño del sistema de drenaje de lixiviado: Dada la poca extensión superficial de los rellenos sanitarios manuales, en primer lugar se recomienda minimizar el ingreso de las aguas de lluvia no solo controlando las aguas de escorrentía por medio de canales interceptores a nivel perimetral. También se puede impedir que las lluvias caigan directamente sobre los terraplenes o zanjas con residuos si se construye un techo que funcione a manera de paraguas. De esta manera, la cantidad de lixiviado tiende a ser nula, con lo que se evita uno de los mayores problemas de este tipo de obras, sobre todo en las zonas lluviosas.

En segundo lugar, es conveniente construir un sistema de almacenamiento del lixiviado en forma de espina de pescado al interior del relleno, en concreto en la

base que servirá de soporte de cada plataforma. El sistema puede estar conectado.

5.10.1. Volumen de lixiviado: Si lo anterior no es suficiente, la mayor cantidad posible del lixiviado generado se almacenará en zanjas en el interior del relleno sanitario, a manera de falso fondo, y el resto se guardará en otras fuera del relleno para que se evapore.

Progresivamente se construirán más zanjas según las necesidades locales. El volumen de lixiviado se estima con la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t \quad [26]$$

Donde:

V = Volumen de lixiviado que será almacenado (m³)

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (m³/mes)

t = número máximo de meses con lluvias consecutivas (mes)

5.10.2. Longitud del sistema de zanjas para el lixiviado: Con el caudal obtenido se pueden calcular las dimensiones del sistema de zanjas para el almacenamiento de lixiviado, tal como se indica en la siguiente ecuación. Las zanjas deberán tener por lo menos un ancho de 0,6 metros por un metro de profundidad, siempre que el nivel freático esté un metro más abajo y el suelo tenga las condiciones de impermeabilidad recomendadas anteriormente.

$$l = V/a \quad [27]$$

Donde:

l = Longitud de las zanjas de almacenamiento (m)

V = Volumen de lixiviado que será almacenado durante los periodos de lluvia (m³)

a = Área superficial de la zanja (m²)

5.10.3. Monitoreo de la calidad del agua: Es importante que antes, durante y después de construir un relleno sanitario se tome una serie de medidas relacionadas con la prevención de riesgos potenciales para la calidad del ambiente.

Si bien es una obra pequeña, un relleno sanitario manual debería cumplir algunas normas ambientales y de seguridad, sobre todo en lo que se refiere a las aguas superficiales y subterráneas. En este caso, convendría contar con pozos de monitoreo para prevenir cualquier riesgo de inundación.

No podemos olvidar que gran parte de los RSM de las pequeñas poblaciones son de origen doméstico, de ahí que las exigencias y controles ambientales también deben estar acordes con la magnitud del problema y los recursos disponibles. Además, si se cuenta con un suelo limo-arcilloso, con un coeficiente de permeabilidad, $k < 10^{-7}$ cm/seg, y si el espesor del suelo por encima del nivel freático es mayor de un metro, las probabilidades de contaminación de las aguas subterráneas disminuyen considerablemente.

5.10.4. Cálculo de la celda diaria: Como se sabe, la celda diaria está conformada básicamente por los residuos y el material de cobertura y será dimensionada con el objeto de economizar tierra, sin perjuicio del recubrimiento y con el fin de que proporcione un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores.

Las dimensiones y el volumen de la celda diaria dependen de factores tales como los siguientes:

- La cantidad diaria de residuos que se debe disponer.
- El grado de compactación.
- La altura de la celda más cómoda para el trabajo manual.
- El frente de trabajo necesario que permita la descarga de los vehículos de recolección.

Para la celda diaria se recomienda una altura que fluctúe entre 1 y 1,5 metros, esto debido a la baja compactación alcanzada por la operación manual y a fin de brindar una mayor estabilidad mecánica a la construcción de los terraplenes del relleno sanitario. A partir del volumen diario de desechos compactados y teniendo en cuenta las limitaciones de altura, se calculará el avance y el ancho de la celda, procurando mantener un frente de trabajo lo más estrecho posible, con base en las ecuaciones [28] - [29].

5.10.5. Cantidad de residuos sólidos que se debe disponer: La cantidad de basura para diseñar la celda diaria se puede obtener de dos maneras:

A partir de la cantidad de basura producida diariamente, es decir:

$$DSrs = DSp \times (7/dhab) \quad [28]$$

donde :

DSrs = Cantidad media diaria de RSM en el relleno sanitario (kg/día)

DSp = Cantidad de RSM producidos por día (kg/día)

dhab = Días hábiles o laborables en una semana (normalmente d hab = 5 ó 6 días, y aun menos en los municipios más pequeños)

5.10.6. Volumen de la celda diaria

$$Vc = \frac{DSrs \times m. c.}{Drsm} \quad [29]$$

Donde:

Vc = Volumen de la celda diaria (m³)

Drsm = Densidad de los RSM recién compactados en el relleno sanitario manual, 400-500 kg/m³

m. c. = Material de cobertura (20-25%)

Debe notarse que la densidad usada para la basura recién compactada es menor que la de la basura estabilizada que se emplea para el cálculo del volumen.

Tabla 24. Capacidad volumétrica del sitio para el relleno sanitario

Terraplén o plataforma	Elevación cota (m)	Área (m ²)		H(m)	Capacidad volumetrica (m ³)				Volumen de terraplén (m ³)	Vida útil decada terraplén (meses)
		Para cada curva de nivel	Promedio entre curvas de nivel		Entre curvas de nivel	Volu- men acumulado	Corte de tierra (material de cobertura)	Material de cobertura acumulado		
1										
2										
3										
4										
5										
Total relleno sanitario										
Capacidad total del terreno									_____ m ³	
Volumen relleno sanitario = Capacidad total del terreno x 0,8									_____ m ³	
Material de cobertura = 20-25% del volumen de residuos compactados									_____ m ³	
Cantidad de RSM = Volumen RSM (m ³) x densidad estabilizada (t/m ³)									_____ t	

Dimensiones de la celda diaria

Área de la celda

$$Ac = \frac{Vc}{hc} \quad [30]$$

Donde:

Ac = Área de la celda (m²/día)

hc = Altura de la celda (m) - límite 1,0 m a 1,5 m. Flintoff reporta alturas entre 1,5 y 2,0 m para rellenos sanitarios con operación manual, con lo que disminuye el material de cobertura.

Largo o avance de la celda (m)

$$l = \frac{Ac}{a} \quad [31]$$

Donde:

a = Ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores (m). Debe tenerse en cuenta que en pequeñas comunidades serán uno o dos vehículos como máximo los que descarguen a la vez, lo que determina el ancho entre 3 y 6 m.

Como los taludes (perímetro) también deben ser cubiertos tierra, la relación del ancho con el largo de la celda que menos material de cobertura requerirá sería la de un cuadrado. Se trata, entonces, de la raíz cuadrada del área de la celda:

$$a = l = \sqrt{Ac} \quad [32]$$

Cuando esto no se cumple por ser el ancho resultante demasiado estrecho para la descarga de los vehículos, entonces se fija primero el ancho y luego se calcula el avance, tal como se explicó con la fórmula [33].

Proyecto paisajístico

El relleno sanitario manual también debe tener consideraciones estéticas y paisajísticas, para que, una vez concluida su vida útil, pueda integrarse al ambiente natural y se armonice con el entorno.

La cobertura final compactada de 0,4 a 0,6 metros, como mínimo, y los drenajes de aguas de escorrentía y gases son esenciales para la vida vegetal sobre el relleno, la que se restringe a especies de raíces cortas mientras el relleno se estabiliza.

Se recomienda sembrar en toda el área arbustos de raíces cortas que no traspasen la cobertura. Se admite también el plantío en hoyos rellenos con tierra abonada más pasto o grama, a fin de evitar la erosión y el aumento del lixiviado. A medida que se terminen algunas áreas del relleno, conviene sembrar el pasto sin esperar a que se acabe toda la superficie de las plataformas o terraplenes.

5.11. Análisis de impactos socioambientales

Los análisis de impactos ambientales buscan identificar anticipadamente los efectos positivos y negativos que tiene todo proyecto de relleno sanitario en sus distintas fases: selección del sitio, construcción, operación y clausura. La medición de los impactos debe ser interdisciplinaria y realizarse en los componentes naturales tanto del sitio como del entorno (agua, suelo y aire), al igual que en las variables de tipo económico y social.

En la tabla 25 se presentan los principales aspectos socioambientales asociados con las etapas del proyecto de un relleno sanitario.

Tabla 25. Aspectos socioambientales asociados a un proyecto de relleno sanitario manual⁷

Etapas del proceso	Fuente / Actividad										
	Suelo		Agua		Aire				Salud	Social	
	Desvalorización la zona	Contaminación visual	Superficial	Subterránea	Ruido	Olores	Humo	Polvo	Material disperso	Vectores	Vecinos

⁷ CEPIS

Selección del sitio											
Usos del suelo											
Opinión pública											
Vía de acceso y tráfico vehicular											
Dirección del viento											
Costos del terreno											
Relleno sanitario manual											
Generación de empleo											
Turismo											
Preparación del terreno											
Camino de acceso											
Desvío de aguas											
Canal perimetral											
Construcción											
Caminos internos											
Adecuación de la plataforma											
Excavación de zanjas											
Caseta (portería e											

instalaciones sanitarias)											
Operación y manto											
Tipo de residuos											
Recepción de residuos											
Compactación de residuos											
Cobertura diaria											
Drenajes (gases y lixiviado)											
Manejo de lixiviado											
Clausura del relleno											
Cobertura final											
Uso futuro											

6. DEFINICIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

En la Tabla 26 se registran los programas y proyectos para el desarrollo del plan de gestión integral de residuos sólidos.

Tabla 26. Programas y Proyectos

PROGRAMA	PROYECTO
Participación Comunitaria	Desarrollo y fortalecimiento de la participación comunitaria en la zona urbana de cada municipio. Asistencia y manejo de los residuos sólidos en la zona rural.
Optimización de Componentes técnico operativos	Optimización de componentes implementados en las zonas urbanas. Optimización de componentes de aprovechamiento y disposición final.
Fortalecimiento y Gestión Empresarial	Fortalecimiento institucional de la Empresa de Servicios Públicos Gestión financiera de proyectos.
Gestión de Residuos Sólidos, Especiales y Peligrosos	Manejo de residuos sólidos especiales. Manejo de residuos sólidos peligrosos.

Tabla 27. Proyectos y Actividades

PROYECTO	ACTIVIDAD
Desarrollo y fortalecimiento de la participación comunitaria en la zona urbana de cada municipio.	Educación y capacitación en la gestión integral de residuos sólidos. Educación y sensibilización ambiental.
Asistencia y desarrollo en el manejo de los residuos sólidos en la zona rural.	Ampliación de cobertura a centros poblados. Capacitación, desarrollo cultural y apoyo técnico sobre la gestión integral de residuos sólidos. Diseño e implementación de programas educativos.
Optimización de componentes implementados en las zonas urbanas.	Optimización del sistema de recolección y transporte. Optimización de indicadores operativos.
Optimización de componentes de aprovechamiento y disposición final.	Cierre, saneamiento y recuperación del botadero a cielo abierto del municipio. Diseño y adecuación de relleno sanitario.

PROYECTO	ACTIVIDAD
	Optimización de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos. Estudio de mercado y comercialización de subproductos.
Fortalecimiento institucional de la Empresa de Servicios Públicos.	Organización de los procesos administrativos y operativos. Implementación del Sistema de Gestión de calidad.
Gestión financiera de proyectos.	Definición e implementación de estrategias de financiación. Capacitación a personal. Formulación de proyectos y fuentes de financiación.
Manejo de residuos sólidos especiales.	Manejo de residuos especiales resultado del componente de barrido y limpieza de áreas públicas. Definir la gestión de residuos sólidos especiales.
Manejo de residuos sólidos peligrosos.	Diseño e implementación del sistema de manejo de residuos sólidos peligrosos en la PTRS. Programas de seguimiento para la gestión de residuos peligrosos en el casco urbano. Educación en gestión de residuos peligrosos en las fuentes generadoras.

Tabla 28. Costo estimado por actividad – Valores constantes.

ACTIVIDAD	COSTO (Miles)
Proyecto. Desarrollo y fortalecimiento de la participación comunitaria en la zona urbana de cada municipio.	
Educación y capacitación en la gestión integral de residuos sólidos.	25.000
Educación y sensibilización ambiental.	110.700
Subtotal	135.700
Proyecto. Asistencia y desarrollo en el manejo de los residuos sólidos en la zona rural.	
Ampliación de cobertura a centros poblados.	4.100
Capacitación, desarrollo cultural y apoyo técnico sobre la gestión integral de residuos sólidos.	6.760
Diseño e implementación de programas educativos.	14.940
Subtotal	25.800
Proyecto. Optimización de componentes implementados en las zonas urbanas.	
Optimización del sistema de recolección y transporte.	91.650

ACTIVIDAD	COSTO (Miles)
Optimización de indicadores operativos.	13.250
Subtotal	104.900
Proyecto. Optimización de componentes de aprovechamiento y disposición final.	
Cierre, saneamiento y recuperación del botadero a cielo abierto del municipio.	307.980
Diseño y adecuación de relleno sanitario.	98.850
Optimización de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos.	505.700
Definición del sistema de mercadeo y comercialización de subproductos.	16.320
Subtotal	928.850
Proyecto. Fortalecimiento institucional de la Empresa de Servicios Públicos.	
Organización de los procesos administrativos y operativos.	43.300
Implementación del Sistema de Gestión de calidad.	36.000
Subtotal	79.300
Proyecto. Gestión financiera de proyectos.	
Definición e implementación de estrategias de financiación.	90.280
Capacitación a personal	9.950
Formulación de proyectos y fuentes de financiación.	
Subtotal	103.230
Proyecto. Manejo de residuos sólidos especiales.	
Manejo de residuos especiales resultado del componente de barrido y limpieza de áreas públicas.	25.400
Definir la gestión de residuos sólidos especiales.	8.550
Subtotal	33.950
Proyecto. Manejo de residuos sólidos peligrosos.	
Diseño e implementación del sistema de manejo de residuos sólidos peligrosos en la PTRS.	6.900
Programas de seguimiento para la gestión de residuos peligrosos en el casco urbano.	11.450
Educación en gestión de residuos peligrosos en las fuentes generadoras.	18.000
Subtotal	36.350
VALOR TOTAL	1.447.280

Fuente: Resultados estudio y EPGA. Se aclara que los valores consignados están sujetos a modificaciones según lo requiera la ejecución de los proyectos y actividades y según los presupuestos asignados.

Tabla 29 Consecuencias por evento en los componentes del servicio

Componente	Susceptibilidad	Consecuencia
Producción	Baja	- Posible aumento de producción de residuos por recolección de escombros y material de remoción.
Separación	Media	- Detrimiento en el porcentaje de separación por actividades de restablecimiento de condiciones.
Almacenamiento	Baja	
Presentación	Baja	
Recolección	Baja	
Transporte	Media	- Obstrucción de vías por daños en estructuras viales y por flujo de material hacia carretera. - dificultad para transportar residuos por parte de los municipios beneficiados con el proyecto regional.
Aprovechamiento	Media	- Impedimento en realización de actividades de aprovechamiento por averías en la estructura física de la Planta de Tratamiento. - Baja eficiencia en los procesos de aprovechamiento por detrimento significativo en el componente de separación en la fuente.
Disposición Final	Media	- En caso de ocurrir sismo de alto grado las actividades de disposición final pueden interrumpirse debido a desestabilidad de la masa y de la base de talud del predio proyectado. - En el caso de avalar la operación del sitio de disposición final la vida útil de este se ve afectada significativamente por la cantidad de material a disponer.
Gestión Empresarial	Bajo	

Fuente: EPGA.

7. CONCLUSIONES

En la identificación de los morfotipos se tuvo en cuenta para la conformación de los consorcios el grado de confiabilidad dado por las norma técnicas para este tipo de actividades, encontrándose que *Pseudomona fluorescens*, *Aeromona hydrophila*, *Shewanella putrefaciens* presentaron porcentajes de confiabilidad entre el 97.3% y el 99.6%, criterio que se tuvo en cuenta para conformar los consorcios bacterianos.

La asociación de *Pseudomona fluorescens* y *Bacillus sp* utilizados como consorcio 1 en el tratamiento 1, aceleró el proceso de compostaje en 60 días; sin embargo, este mismo consorcio empleado en el tratamiento 2 no presentó la misma eficacia debido a la utilización del lixiviado como humectante.

Los otros consorcios bacterianos conformados por *Aeromona hydrophila* y *Lactobacillus sp.* y por *Shewanella putrefaciens* y *Pseudomona fluorescens* aunque no presentaron la misma eficacia que el consorcio 1, consiguieron optimizar el proceso de compostaje en 75 días, tiempo menor al alcanzado por el tratamiento de las pilas control (105 días).

Se evidenció el efecto de la temperatura en el resultado de los tamaños poblacionales de los grupos funcionales estudiados, estableciéndose una relación directa entre el descenso de la temperatura y la disminución de dichos tamaños a lo largo de las cuatro fases del proceso.

La bioaumentación incrementa los tamaños poblacionales de heterótrofas totales y pseudomonas, sin intervenir en el desarrollo normal de mohos y levaduras los cuales son responsables de la maduración del compost.

La planta a pesar de contar con unas instalaciones adecuadas no cuenta con toda la infraestructura ni todos los equipos necesarios para optimizar el proceso de selección en planta y de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, lo que incrementa el volumen de residuos no aprovechables y a disponer en el botadero.

La implementación del microrelleno sanitario es fundamental para optimizar el proceso ejecutado en la planta por cuanto permitirá efectuar una disposición final de los residuos no aprovechables, con condiciones controladas que reduzcan el impacto sobre los recursos naturales, la seguridad de los operarios y el impacto en el paisaje y por ende en la zona.

Dentro de la planta no se cuenta con un plan de seguridad industrial estructurado y el manejo de registros es deficiente.

El estudio del compost permitió lograr una identificación de las poblaciones microbianas de este con el fin de reducir el tiempo de maduración y el cual permitirá mejorar tanto la calidad como la inocuidad del abono producido.

Los lixiviados no son tratados por lo que se esta generando contaminación tanto subterránea por percolación de este como de cuerpo de agua superficiales.

La utilización de lixiviado para humectación del material orgánico en proceso de compostación genera presencia de metales pesados y de agentes microbianos que pueden afectar la inoxidación de este, así mismo por la presencia de metales pesados se inhiben la bioaumentación de complejos microbianos indispensables para la maduración del compost.

Los operarios de la planta no cuentan con un programa de capacitación permanente que permita mejorar su nivel de conocimiento, de operación de equipos y de seguridad industrial.

No hay una cultura ni efectividad en los programas de separación en la fuente por parte de los municipios que se benefician de la planta para la disposición de los residuos sólidos.

Los operarios de recolección no tienen un adecuado entrenamiento en la recolección de los residuos ni en la clasificación de estos, lo que afecta el sistema de recolección y disposición de residuos sólidos.

8. RECOMENDACIONES

Para efectos de cálculo del relleno sanitario, se recomienda tomar como mínimo la producción y recolección de una semana, ya que esta varía de acuerdo con las distintas actividades de la población. En lo posible, la cantidad de basura se determinará pesando todos los camiones durante una semana o estimando su volumen.

En la adecuación de terrazas es importante que la separación entre zanjas sea de un metro para darle más estabilidad. Esta separación depende del tipo de suelo y de la forma de la trinchera (cuadrada o trapezoidal), entre otros factores.

Debe considerarse que el volumen diario de residuos sólidos se incrementará cada año, y en consecuencia también lo hará el tamaño de la celda, lo que indica que puede ser necesario reevaluar anualmente la mano de obra requerida.

Identificar, capacitar y evaluar a todos los trabajadores en los factores de riesgos y en la manera de controlarlos para prevenir sus efectos.

De acuerdo con la identificación y valoración de riesgos, proveer a todos los trabajadores además de las dotaciones de ley, de todos los elementos de protección personal que requieran para mitigar el efecto de los riesgos.

Realizar mantenimiento preventivo para garantizar la seguridad de los trabajadores, conservando todo el equipo, edificios y servicios, minimizando las fallas imprevistas de manera que aumente la productividad y disminuyan los costos, en resumen contribuir a que se incremente la eficiencia de la planta.

El programa de mantenimiento debe incluir actividades tales como: planeación, organización, control, dirección y ejecución de métodos de conservación de los equipos. Este programa se realizará bajo los conceptos de mantenimiento Programado o sistemático, predictivo, preventivo y correctivo que permita la confiabilidad permanente de los equipos y servicios.

Mantener las instalaciones de la planta y relleno sanitario bajo un ambiente sano, agradable y propicio a los trabajadores. Para ello se debe disponer de adecuados servicios de agua potable, luz, baños, vestieros, casino y manejo de residuos. Igualmente se implementarán campañas de fumigación para controlar plagas, insectos y roedores.

Establecer el Plan de emergencia, el cual constituye una serie de actividades diseñadas para controlar emergencias dentro de las instalaciones de la planta, las cuales son ejecutadas básicamente con el apoyo de una brigada de emergencia. Este plan se diseñará para la base de operaciones y el relleno sanitario partiendo del establecimiento de una brigada incipiente, conformada por personal que labore dentro de las instalaciones. El fin primordial de este plan será el de estar preparados para afrontar y controlar cualquier acontecimiento que pueda causar lesiones en las personas y/o pérdidas materiales en las instalaciones (tal como se define en el capítulo anterior).

Adecuar un cuarto donde dispongan y manejen los consorcios obtenidos en el proyecto de evaluación de los microorganismos benéficos del proceso de compostación llevado a cabo en la planta.

Implementar un medio de cultivo artesanal para bioaumentar los consorcios bacterianos nativos caracterizados, con el fin de reducir costos y seguir optimizando el proceso.

Realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico al lixiviado con el que convencionalmente humectan las pilas de compostaje para evaluar los posibles factores que afecten la dinámica del proceso

Implementar herramientas que permitan el establecimiento de un programa permanente de sensibilización, capacitación y acompañamiento en la separación en la fuente y el aprovechamiento de los residuos. Así mis o en la evaluación de este con caracteres preventivos y correctivos en su ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

CARIELLO, M. E., CASTAÑEDA, L., RIOBO, I. & GONZALEZ, J. 2007. Inoculante de los microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 7(3): 26-37.

CEPIS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

JARAMILLO JORGE. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. 2002.

LUNA, C, G. 1991. Manual operativo de análisis microbiológico para alimentos. Ed. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

http://uesp.gov.co/html/relleno_sanitario.html

<http://www.ccc.org.co/Documents/2006/Marzo/Basuras/HectorCollazos.pps>

COLLAZOS PEÑALOZA HÉCTOR. Diseño y operación de rellenos sanitarios. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2005.

GUIA AMBIENTAL PARA RELLENOS SANITARIOS. Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá 2002.

MEMORIAS CURSO TEÓRICO PRÁCTICO. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUELOS Y ABONOS ORGÁNICOS. Énfasis en microorganismos patógenos. IDEAM, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. 2007.

GUÍA PARA ELABORAR EL PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. Municipios menores de 50.000 habitantes. Formulación y Evaluación de Alternativas. UNICEF, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Febrero de 2005.

Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios. Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental, DESA/UPMG. Fundação Estadual do Meio Ambiente. FEMA/MG. 1995.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. LEY 9 DE 1979. Por la cual se dictan medidas sanitarias.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA. LEY 388 DE 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan disposiciones en cuanto al ordenamiento territorial.

MADIGAN, M., MARTINKO, J. & PARKER, J. 2004. Brock Biología de los Microorganismos. Editorial, Pearson Prentice Hall. 12ª Edición. Madrid, España.

MERCK. 2000. Manual de preparación de medios de cultivo. Ed. Merck.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Decreto 1713/02. Gestión Integral de Residuos Sólidos.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1140 de 2003. Que modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
Decreto 1505 de 2003. Que modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
Decreto 838 de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
Resolución 1045 de 2003. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Resolución 1096 del 17 de NOVIEMBRE de 2.000. “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.”