

**DIAGNOSTICO DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
EL NUCLEO PROVINCIAL DE VÉLEZ Y PROPUESTA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES**

**OSCAR MAURICIO ANGULO PEREIRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2006**

**DIAGNOSTICO DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
EL NUCLEO PROVINCIAL DE VÉLEZ Y PROPUESTA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES**

**OSCAR MAURICIO ANGULO PEREIRA**

**Monografía de Grado para optar el título de  
Especialista en Química Ambiental**

**Asesora**

**ING. QUIMICA SANDRA BAYONA VERGEL  
COORDINADORA SALUD AMBIENTAL  
SECRETARIA DE SALUD DE SANTANDER**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2006**

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
<b>1. REFERENTE CONCEPTUAL</b>	<b>16</b>
1.1 RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	16
1.1.1 GENERALIDADES	16
1.1.1.1 Producción per cápita	17
1.1.1.2 Composición de los residuos sólidos	17
1.1.1.3 Aspectos de salud pública	19
1.1.1.4 Aspectos ambientales	19
1.1.1.5 Legislación ambiental y normatividad	20
1.1.2 GESTIÓN INTEGRAL	20
1.2.1 Aseo Urbano	21
1.2.1.1 Separación de residuos en la fuente	22
1.2.1.2 Recolección y transporte	23
1.2.1.3 Barrido y limpieza de áreas públicas	24
1.2.1.4 Aprovechamiento	25
1.2.1.4.1 El reúso o reutilización	25
1.2.1.4.2 El reciclaje	26
1.2.1.4.3 Uso energético	27
1.2.1.5 Tratamiento	28
1.2.1.5.1 Compost	29
1.2.1.5.2 Lombricultura	30
1.2.1.5.3 Incineración	30
1.1.3 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RSM	31
1.1.3.1 Practicas inadecuadas en la disposición final de los RSM	31
1.1.3.2 Botadero a cielo abierto	32
1.1.3.3 Propuesta de un sistema integrado de tratamiento y disposición final	
1.1.4 RELLENO SANITARIO	33
1.1.4.1 Métodos de relleno sanitario	34
1.1.4.1.1 Método de trinchera o zanja	34
1.1.4.1.2 Método de Área	35
1.1.4.1.3 Combinación de ambos métodos	35
1.1.4.2 Principios básicos de un relleno sanitario	36
1.1.4.3 Ventajas de un relleno sanitario	37
1.1.4.4 Desventajas de un relleno sanitario	37
1.1.4.5 Líquido percolado	38

1.1.4.6 Gases	38
1.1.4.7 Material de cobertura	39
<b>2. CONCEPTUALIZACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>40</b>
2.1 NUCLEO PROVINCIAL DE VÉLEZ	40
2.1.1 AGUADA	41
2.1.2 ALBANIA	42
2.1.3 BARBOSA	43
2.1.4 BOLÍVAR	44
2.1.5 CHIPATA	46
2.1.6 EL PEÑON	47
2.1.7 FLORIAN	48
2.1.8 GUAVATA	49
2.1.9 GÜEPSA	51
2.1.10 JESUS MARIA	52
2.1.11 LA BELLEZA	53
2.1.12 LA PAZ	53
2.1.13 PUENTE NACIONAL	54
2.1.14 SAN BENITO	54
2.1.15 SUCRE	55
2.1.16 VÉLEZ	55
<b>3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA INTERVENCIÓN</b>	<b>60</b>
3.1 Diseño	60
3.2 Población	60
3.3 Instrumentos de Recolección de Información	61
3.3.1 Formato recolector de información	61
3.3.2 Revisión PGIRS	62
3.3.3 Observación directa	62
<b>4. DIAGNOSTICO PROVINCIAL</b>	<b>63</b>
4.1 AGUADA	63
4.2 ALBANIA	64
4.3 BARBOSA	65
4.4 BOLÍVAR	66
4.5 CHIPATA	67
4.6 EL PEÑON	68
4.7 FLORIAN	69
4.8 GUAVATA	70
4.9 GÜEPSA	71
4.10 JESUS MARIA	72
4.11 LA BELLEZA	72

4.12 LA PAZ	72
4.13 PUENTE NACIONAL	72
4.14 SAN BENITO	72
4.15 SUCRE	72
4.16 VÉLEZ	73

## **5. ANALISIS DEL DIAGNOSTICO PROVINCIAL** **74**

5.1 ÁREA INSTITUCIONAL	74
5.1.1 Debilidad institucional	74
5.1.2 Operatividad deficiente	74
5.1.3 Falta de planificación	74
5.1.4 Carencia de sistemas nacionales de información y seguimiento	75
5.1.5 Incumplimiento de los instrumentos legales	75
5.1.6 Programas a corto, mediano y largo plazo	75
5.2 ÁREA TÉCNICA Y OPERATIVA	76
5.2.1 Tipo de disposición final encontrada	76
5.2.1.1 Botadero a cielo abierto	76
5.2.1.2 Relleno Sanitario no tecnificado	77
5.2.1.3 Incineración y compostaje	77
5.2.1.4 Reciclaje y reuso	77
5.2.15 Combinación de tecnologías	77
5.2.2 Infraestructura	77
5.2.3 Residuos Peligrosos	77
5.3 ÁREA ECONÓMICO-FINANCIERA	77
5.3.1 Evaluación de los beneficios económicos	77
5.3.2 Financiamiento del sector	77
5.3.3 Tasas y tarifas de aseo	78
5.6 ÁREA SOCIAL Y COMUNITARIA	78
5.5 ÁREA DEL AMBIENTE	78
5.4 ÁREA DE LA SALUD	78

## **6. PROPUESTA RELLENO SANITARIO MANUAL** **79**

6.1 RELLENO SANITARIO MANUAL	79
6.1.1 Planificación	79
6.1.2 Selección del sitio	79
6.1.2.1 Participación Comunitaria	80
6.1.2.1.1 Autoridades locales	80
6.1.2.1.2 Opinión pública	80
6.1.2.2 Aspectos técnicos	81
6.1.2.2.1 Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Regulador	81
6.1.2.2.2 Localización	81
6.1.2.2.3 Vías de acceso	82

6.1.2.2.4 Condiciones hidrogeológicas	83
6.1.2.2.5 Vida útil del terreno	83
6.1.2.2.6 Material de cobertura	84
6.1.2.2.7 Conservación de los recursos naturales	84
6.1.2.2.8 Condiciones climatológicas	85
6.1.2.2.9 Costos del terreno y de las obras de infraestructura	85
6.1.2.2.10 Propiedad del terreno	86
6.1.2.2.11 Uso futuro	86
6.1.2.2.12 Cronograma de Actividades	86
6.2 DISEÑO	86
6.2.1 Información Básica	87
6.2.1.1 Aspectos demográficos	87
6.2.1.2 Generación de RSM en las pequeñas poblaciones	87
6.2.1.3 Características de los RSM en las pequeñas poblaciones	88
6.2.1.4 Características del terreno	88
6.2.1.5 Condiciones climatológicas	88
6.2.2 Cálculo del volumen necesario para el relleno sanitario	89
6.2.2.1 Volumen de residuos sólidos	90
6.2.2.2 Volumen del material de cobertura	90
6.2.2.3 Volumen del relleno sanitario	91
6.2.3 Cálculo del área requerida	91
6.2.4 Diseño de taludes	92
6.2.4.1 Obras de tierra	93
6.2.4.2 Definición de talud	94
6.2.4.3 Diseño de taludes	95
6.2.5 Selección del método de relleno	96
6.2.5.1 Método de zanja o trinchera	97
6.2.5.2 Método de área	98
6.2.6 Cálculo de la capacidad volumétrica del sitio	99
6.2.6.1 Volúmenes de gran longitud (alrededor de un eje)	100
6.2.6.2 Volúmenes de gran extensión	101
6.2.7 Cálculo de la vida útil	102
6.2.8 Diseño del canal interceptor de aguas de escorrentía	103
6.2.9 Generación de lixiviado o percolado	104
6.2.9.1 Cálculo de la generación de lixiviado o percolado	105
6.2.9.2 Diseño del sistema de drenaje de lixiviado	106
6.2.10 Monitoreo de la calidad del agua	107
6.2.10.1 Localización de los pozos de monitoreo	108
6.2.10.2 Parámetros más representativos para el análisis de aguas y lixiviado	
6.2.11 Cálculo de la celda diaria	109
6.2.11.1 Cantidad de RSM que se debe disponer	110
6.2.11.2 Volumen de la celda diaria	111
6.2.11.3 Dimensiones de la celda diaria	112
6.2.12 Cálculo de la mano de obra	113
6.2.13 Proyecto paisajístico	114

6.2.14 Análisis de impactos socioambientales	115
6.3 CONSTRUCCIÓN	116
6.3.1 Método constructivo	117
6.3.2 Plan de construcción del relleno	118
6.3.3 Construcción de terraplenes	119
6.3.4 Construcción de las celdas	120
6.4 OPERACIÓN	121
6.4.1 Plan de operaciones	122
6.4.2 Personal (mano de obra)	122
6.4.3 Supervisión	123
6.4.4 Herramientas de trabajo	123
<b><u>7. CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>124</u></b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b><u>126</u></b>
<b><u>ANEXOS</u></b>	<b><u>127</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Integrado de tratamiento y disposición final (OPS) _____	29
Figura 2. Método de trinchera. (Guía OPS) _____	31
Figura 3. Método de área. (Guía OPS) _____	32
Figura 4. Combinación de ambos métodos. (Guía OPS) _____	33
Figura 5. Núcleo Provincial de Vélez (Gobernación Santander) _____	40
Figura 6. Posible cronograma práctico (Guía OPS) _____	81
Figura 7. Densidad de diseño (Guía OPS) _____	87
Figura 8. Coeficiente de permeabilidad (Guía OPS) _____	91

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1. Gestión de residuos sólidos municipales

127

## RESUMEN

TITULO: DIAGNOSTICO DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL NUCLEO PROVINCIAL DE VÉLEZ Y PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES<sup>\*\*</sup>

**AUTOR:** Angulo Pereira, Oscar Mauricio<sup>\*\* \*\*</sup>

**PALABRAS CLAVES:** Relleno sanitario, gestión de residuos sólidos, disposición final, núcleo provincial de Vélez.

**DESCRIPCION:** Los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria), institucionales, de mercados, y los resultantes de limpieza de áreas públicas, y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales.

El relleno sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económica, para las poblaciones menores de 30,000 habitantes, o para comunidades que generan menos de 15 toneladas diarias de basura, presentándose disminución de costos y posibles alianzas para municipios de pequeña población.

El núcleo provincial de Vélez ubicado en el Departamento de Santander se encuentra comprendido por los municipios de Aguada, Albania, Barbosa, Bolívar, Chipatá, El Peñón, Florián, Guavatá, Güepsa, Jesús Maria, La Belleza, La Paz, Puente Nacional, San Benito, Sucre y Vélez, en donde se pudo determinar que aproximadamente el 44% realizan la disposición final en una localidad vecina, otro 31% cuentan con botadero a cielo abierto, el 12% tienen sistemas de relleno no tecnificado y el 13% restante implementan sistemas controlados de incineración, compostaje y reciclaje.

Gracias a las situaciones encontradas se establece como propuesta la implementación de un relleno sanitario manual ajustado a las necesidades de las comunidades afectadas ya que esta técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo implementada correctamente no causa molestia ni peligro para la salud y la seguridad pública minimizando el impacto el ambiente utilizando principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen.

---

\* Monografía

\*\* Universidad Industrial de Santander, Especialización en Química Ambiental, Escuela de Química.

Asesor: Sandra Bayona Vergel

## SUMMARY

**TITLE: DIAGNOSE OF THE FINAL DISPOSITION OF SOLID REMAINDERS IN THE PROVINCIAL NUCLEUS OF VÉLEZ AND PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF MANUAL SANITARY FILLINGS \***

**AUTHOR:** Angulo Pereira, Oscar Mauricio \*\* \*\*

**KEY WORDS:** Stuffed toilet, management of solid remainders, final disposition, and provincial nucleus of Vélez.

**DESCRIPTION:** The municipal solid remainders are those that come from the domestic activities, commercial, industrialists (small industry), institutional, of markets, and the resultants of cleaning of public areas, and whose management is in charge of the municipal authorities.

The manual sanitary filling appears like a technical and economic alternative, for the smaller populations of 30.000 people, or for communities that they generate less than 15 tons daily of garbage, appearing diminution of possible costs and alliances for municipalities of small population.

The provincial nucleus of Vélez located in the Department of Santander is included by the municipalities of Aguada, Albania, Barbosa, Bolivar, Chipatá, El Peñón, Florián, Guavatá, Güepsa, Jesus Maria, La Belleza, La Paz, Puente Nacional, San Benito, Sucre and Vélez, in where it was possible to be determined that approximately 44% make the final disposition in a neighboring locality, another 31% count on The waste basket to opened sky, 12% have systems of stuffed not technician and 13% rest implement controlled systems of incineration, Compostaje and recycling.

Thanks to the found situations the implementation of a manual sanitary filling fit to the necessities of the affected communities since settles down like proposal this technique of final elimination of the solid remainders in the implemented ground correctly don't cause danger for the health and the public security diminishing the impact the environment using engineering principles to confine the sweepings in the possible smallest area, covering it with earth layers daily and compacting it to reduce its volume.

---

\* Monografy

\*\* Industrial University of Santander Environment Chemistry Specialization, School of Chemistry.

Adviser: Sandra Bayona Vergel

## INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la disposición final, es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo. Ello se refleja en la falta de limpieza de las áreas públicas, la recuperación de residuos en las calles, el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a toda clase de enfermedades y accidentes.

Este panorama se agrava debido a la crisis económica y a la debilidad institucional que obligan a reducir el gasto público y a mantener tarifas bajas. Además, la poca educación sanitaria y la escasa participación ciudadana generan una gran resistencia al momento de pagar los costos que implican el manejo y la disposición de residuos, en detrimento de la calidad del servicio de aseo urbano, lo que constituye otra de las causas que agravan el problema. Todo ello compromete la salud pública, aumenta la contaminación de los recursos naturales y el ambiente de nuestro territorio y deteriora la calidad de vida de la población.

El departamento de Santander y en el caso específico de la Provincia de Vélez no es ajena a esta situación, ya que se estima que alrededor del 22% de los municipios cuentan con algún tipo sistema de disposición final que claramente no cumple con los requerimientos ambientales ni de salud pública, involucrando los municipios restantes con sistemas de botaderos a cielo abierto sin ningún tipo de control; gracias a esto, la población ha tomado conciencia de la importancia de este problema y, en distintas localidades, ha demandado una acción más decidida de las instituciones públicas para

solucionarlo. En función de estos justos reclamos, las autoridades municipales han empezado a tomar acciones con la finalidad de atenuar los efectos negativos de esta mala práctica. De allí la necesidad de realizar una propuesta que abarque todas las etapas involucradas en la puesta en marcha de un relleno sanitario manual: Diseño, Construcción y Operación. En donde se persiga el aprendizaje de los municipios en las actividades de: Desarrollo de una gestión integral de residuos, administración y control de los rellenos, y análisis de costos para garantizar la sostenibilidad.

El relleno sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económicamente factible, tanto en beneficio de las poblaciones urbanas y rurales con menos de 30.000 habitantes —que no tienen la forma de adquirir equipo pesado para construir y operar un relleno sanitario convencional— como de las áreas marginadas de algunas ciudades. Esta técnica de operación manual solo requiere equipo pesado para la adecuación del sitio, es decir, para la construcción de la vía interna, la preparación de la base de soporte o la excavación de zanjas y la extracción de material de cobertura de acuerdo con el avance y método de relleno. Los demás trabajos pueden realizarse con los propios trabajadores, lo que permite a las pequeñas comunidades de escasos recursos —incapaces de adquirir y mantener en forma permanente un tractor de orugas o una retroexcavadora—, disponer adecuadamente la reducida cantidad de basura generada por ellas empleando mano de obra poco calificada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un diagnóstico de la disposición final de residuos sólidos en los municipios del núcleo provincial de Vélez para elaborar una propuesta que conlleve a la implementación de un relleno sanitario manual ajustado a las necesidades de cada municipio y que cumpla con la normatividad vigente.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Realizar un estudio actualizado de las condiciones como se lleva a cabo la disposición de los residuos sólidos municipales en la provincia de Vélez.

Proponer un modelo para la implementación de Rellenos Sanitarios Manuales de acuerdo al diagnóstico realizado en los municipios.

## **1. REFERENTE CONCEPTUAL**

### **1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES**

#### **1.1.1 GENERALIDADES**

Los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria y artesanía), institucionales (administración pública, establecimientos de educación, etc.), de mercados, y los resultantes del barrido y limpieza de vías y áreas públicas de un conglomerado urbano, y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales. Es importante considerar que no solo son residuos sólidos como lo indica su nombre, ya que se aprecia un gran volumen de residuos líquidos (como las pinturas, las medicinas viejas, los aceites usados, etc.) que son lamentablemente mezclados a la hora de disponerlos.

La gestión de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la disposición final, es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo. Ello se refleja en la falta de limpieza de las áreas públicas, la recuperación de residuos en las calles, el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas, de ambos sexos y de todas las edades, en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a toda clase de enfermedades y accidentes. La gestión inadecuada de los residuos sólidos tiene efectos negativos directos en la salud. La fermentación incontrolada de la basura es una fuente de alimentos y un hábitat para el crecimiento bacteriano. En el mismo ambiente proliferan insectos, roedores, y algunas especies de pájaros que actúan

como portadores pasivos en la transmisión de algunas enfermedades infecciosas.

El problema de los RSM está presente en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, el uso generalizado de envases y empaques y materiales desechables, que aumentan considerablemente la cantidad de residuos; los ejemplos de buenos tratamientos e instalaciones para la eliminación son la excepción más que la regla.

#### 1.1.1.1 Producción per cápita

La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por día, kilogramos por vivienda por día, kilogramos por cuadra por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de animales por día. La producción de residuos sólidos domiciliarios en la región varía de 0,3 a 1,0 kg/hab/día. Cuando a este tipo de residuos se agregan otros como los producidos por el comercio, las diversas instituciones, la pequeña industria, el barrido y otros, esta cantidad se incrementa entre 25 y 50%, o sea, que la producción diaria es de 0,5 a 1,2 kg/hab/día. La producción per cápita de residuos sólidos no solo varía de un país a otro, sino también de una población a otra e, incluso, de un estrato socioeconómico a otro dentro de una misma ciudad. Lo anterior confirma que el grado de desarrollo del país, el ingreso per cápita y el tamaño de las ciudades son factores determinantes para que se incremente su producción.

#### 1.1.1.2 Composición de los residuos sólidos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se componen de los residuos de tipo doméstico, comercial y alguno de tipo industrial (no peligrosos) recogidos por las autoridades privadas o públicas. Los residuos no se ajustan a un estándar y normalmente, no existen dos residuos iguales. Las basuras domésticas de una sola casa variarán de semana en semana. Las basuras domésticas recogidas conjuntamente con residuos industriales pueden ser muy diferentes de los residuos sólidos urbanos convencionales. Estos residuos son aquellos subproductos originados en las actividades que se realizan en la vivienda, la oficina, el comercio y la industria (lo que se conoce comúnmente como basura) y están compuestos de residuos orgánicos, tales como sobras de comida, hojas y restos de jardín, papel, cartón, madera y, en general, materiales biodegradables; e inorgánicos, a saber, vidrio, plástico, metales, objetos de caucho, material inerte y otros. En términos generales, los resultados de estudios latinoamericanos sobre composición de los RSM coinciden en destacar un alto porcentaje de materia orgánica putrescible (entre 50 y 80%), contenidos moderados de papel y cartón (entre 8 y 18%), plástico y caucho (entre 3 y 14%) y vidrio y cerámica (entre 3 y 8%). En el caso de los países de América Latina y el Caribe (ALC), los RSM tienen un mayor contenido de materia orgánica, una humedad que varía de 35 a 55% y un mayor peso específico, que alcanza valores de 125 a 250 kg/m<sup>3</sup>, cuando se miden sueltos.

Lo más común es distinguir entre residuos orgánicos y residuos inorgánicos. Esto puede parecer satisfactorio para los particulares y para todos los usuarios (por ejemplo, verter lo inerte y transformar biológicamente lo orgánico). Lo que se explicará para la composición reflejará el tratamiento propuesto. Por ejemplo, si se propone incinerar los residuos, entonces es esencial evaluar el poder calorífico, y los residuos se clasificarían según sean combustibles o incombustibles. Los residuos generados dentro de un municipio (excluyendo los industriales y agrícolas) variarán ampliamente y

dependerán de la comunidad y de su nivel comercial e institucional. Los datos de los residuos dependerán también del nivel de sofisticación del funcionamiento de la gestión de residuos.

#### 1.1.1.3 Aspectos de salud pública

Dado a la exposición directa e indirecta a los residuos sólidos es posible la generación de enfermedades apreciándose incidencia en la transmisión de estas, por lo tanto se hace necesario tener en cuenta la composición de los residuos y sus riesgos patológicos. Los residuos sólidos pueden contener:

- ✓ Agentes patógenos humanos: pañales, pañuelos, comida contaminada y rellenos quirúrgicos.
- ✓ Agentes patógenos animales: residuos de animales domésticos.
- ✓ Agentes patógenos del terreno: residuos de jardín.

El almacenamiento inadecuado de estos residuos es alimento para los bichos, moscas, cucarachas y pájaros, que pueden actuar como portadores pasivos en la transmisión de enfermedades. El público en general, pero especialmente los que trabajan con residuos sólidos, están en peligro. Para que una persona esté en riesgo por los patógenos de los residuos sólidos, deben darse las condiciones adecuadas:

- ✓ Debe haber una dosis infecciosa del agente patógeno.
- ✓ Debe haber una ruta de transmisión de los patógenos a las personas, por ejemplo, aerosoles, vías fecales, contacto manos a boca, etc.
- ✓ La persona no debe ser inmune al agente patógeno.

#### 1.1.1.4 Aspectos ambientales

El tratamiento de los residuos sólidos y las metodologías de eliminación está cargado de problemas. Los vertederos, y los lugares de descarga en particular, producen contaminación de las aguas subterráneas si no se tratan adecuadamente. Los problemas ambientales adicionales en los vertederos

son los malos olores, desperdicios, animales carroñeros, fuegos e infección por ratas. La incineración de residuos ha originado problemas con los malos olores y la contaminación del aire. El proceso de formación de compost, ha originado problemas con los malos olores, metales pesados y con las escasas ventas dificultosas del compost. Los problemas de transporte están asociados más bien con los residuos peligrosos. La salud y la falta de higiene son los problemas a los que se enfrentan los operadores de residuos. La evacuación conjunta de residuos sólidos urbanos con residuos industriales y lodos ha resultado problemática. Los lodos líquidos-sólidos aplicados a los vertederos han sido muy difíciles de tratar. El vertido en climas húmedos produce grandes cantidades de lixiviado, que es tóxico y de gran fuerza orgánica y requiere tratamiento en las plantas de aguas residuales, mientras que el vertido en climas secos produce problemas localizados de contaminación del aire. La experiencia señala que el vertido, aunque es el camino más frecuente, está desaconsejado y se deben tomar vías alternativas.

#### 1.1.1.5 Legislación ambiental y normatividad

Las regulaciones en materia de ambiente y RSM son cada vez más exigentes; sin embargo, la adopción de normas de países industrializados puede constituir un obstáculo para dinamizar los procesos en los países en vías de desarrollo o bien impedir el avance de la gestión de RSM en caso de que no se adapten a las condiciones. El municipio es, por ley, el responsable del cumplimiento en su jurisdicción de las políticas ambientales nacionales, así como de la prestación del servicio público de aseo. De ahí la gran importancia de la gestión municipal en el caso de los residuos que se generen en su territorio.

#### 1.1.2 GESTIÓN INTEGRAL

La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas apropiadas, tecnologías y programas de gestión para conseguir objetivos y metas específicos. Lo prioritario en una política de gestión de residuos es su reducción, implicando que la industria, el comercio, la agricultura, y las viviendas creen la menor cantidad de residuos, enfatizando en que las industrias fabriquen productos con un mínimo de residuos. El reciclaje y la reutilización son un lema «verde» que sólo recientemente ha tenido aceptación en la industria. Las áreas más aptas para el reciclaje, papel, vidrio, metales y plásticos están todavía sin explotar en muchos países. La industria está haciendo grandes esfuerzos para que el producto sea reutilizado, reelaborado y refabricado. El reciclaje y la reutilización no se aplican solamente a los residuos sólidos urbanos, sino que también incluye a los fabricantes del producto, al comercio y la agricultura. Por ejemplo, los lodos líquidos-sólidos de las plantas depuradoras de aguas residuales podrían servir para aplicación al terreno como nutrientes del suelo más que para verterlos. La transformación de residuos, sea ésta en forma de incineración, compostaje o producción de biogás, todo sirve para reducir el volumen de residuos cuando el destino final es el vertedero. La incineración reduce el volumen de, aproximadamente, un 15% de su entrada, y genera energía. El compostaje transforma los residuos orgánicos en nutrientes. El biogás produce energía a partir de los residuos orgánicos normalmente co-digeridos con contribuciones de residuos industriales o agrícolas o con lodos urbanos. Sin embargo, parece que el vertido seguirá siendo indispensable, aunque es viable tecnológicamente reducir la cantidad de residuos municipales que acaba en los vertederos, hasta aproximadamente un 10 a 20%. Los problemas para lograrlo no sólo afectan a la ingeniería, sino también a la economía y a los aspectos sociales.

### 1.2.1 Aseo Urbano

El servicio de aseo urbano o limpieza urbana tiene como principales objetivos proteger la salud de la población y mantener un ambiente agradable y sano. Consta de las siguientes actividades: separación, almacenamiento, presentación para su recolección, recolección, barrido, transporte, tratamiento y disposición sanitaria final de los residuos sólidos; esta última es imprescindible para su manejo. En consecuencia, al municipio u operador del servicio de limpieza les corresponde recoger, transportar, barrer las vías y áreas públicas y colocar los RSM en un relleno sanitario. De manera complementaria, podrán asumir el procesamiento para aprovechamiento o tratamiento a fin de obtener beneficios económicos y ambientales o de hacerlos inocuos.

#### 1.2.1.1 Separación de residuos en la fuente

La separación de subproductos de los RSM 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 en la mayoría de los casos. El municipio debe 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.

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 segregadores puedan clasificar adecuadamente los diferentes materiales.

#### 1.2.1.2 Recolección y transporte

La recolección de RSM implica su transporte al lugar donde deberán ser descargados. Este puede ser una instalación de procesamiento, tratamiento o transferencia de materiales o bien un relleno sanitario. 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.

#### 1.2.1.3 Barrido y limpieza de áreas públicas

El barrido y limpieza se complementa con la recolección y tiene como propósito mantener las vías y áreas públicas libres de los residuos que arrojan al suelo los peatones, los asistentes a eventos especiales y espectáculos masivos, los responsables de la carga y descarga de mercancía o de materiales diversos, etc. La entidad encargada del aseo debe realizarla con una frecuencia tal que garantice que las vías y áreas públicas estén siempre limpias.

#### 1.2.1.4 Aprovechamiento

El abastecimiento de materias primas no es ilimitado y la recuperación de lo que se considera como residuo constituye un elemento esencial para la conservación de los recursos naturales; por lo tanto, su reúso, reciclaje y empleo constructivo se constituyen en una actividad importante en la gestión integral de los RSM, cuyo objetivo último es la disminución de su volumen y, especialmente, su aprovechamiento económico. Algunas de las ventajas que le podría reportar al municipio la recuperación de estos materiales en el origen son:

- ✓ Generar empleo organizado por medio de grupos cooperativos.
- ✓ Reducir el volumen de RSM.
- ✓ Disminuir las necesidades de equipo recolector.

- ✓ Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios y, por lo tanto, disminuir la demanda de terrenos, que son cada día más escasos y costosos.
- ✓ Disminuir los costos por la prestación del servicio de aseo urbano.
- ✓ Conservar los recursos naturales y proteger el ambiente

#### 1.2.1.4.1 El reuso o reutilización

Un primer nivel de recuperación es el reuso, es decir, la utilización directa de un producto o material sin cambiar su forma o función básica. Un ejemplo es el reuso de como botellas, frascos de plástico y metal o cajas de cartón y madera.

La refabricación supone el desmonte de productos similares para su limpieza, inspección, reemplazo, restauración, ensamble, prueba y distribución subsiguientes. Los productos remanufacturados típicos son: motores o transmisiones de automóviles, compresores de refrigeración o de aire acondicionado, estufas, etc.

#### 1.2.1.4.2 El reciclaje

El reciclaje es un proceso mediante el cual los residuos se incorporan al proceso industrial como materia prima para su transformación en un nuevo producto de composición semejante (vidrios rotos, papel y cartón, metales y plásticos, etc.). El reciclaje supone cambiar tanto la forma como la función del producto original. Por ejemplo, las llantas usadas se cortan para hacer suelas de zapatos. Los textiles se transforman en trapos para desempolvar, en rellenos de almohadas o en retazos para cobijas y alfombras. Las ventajas ambientales que ofrece el reciclaje son indiscutibles. Sin embargo, para su ejecución siempre debe tenerse en cuenta la poca calidad de los residuos de la región y que los beneficios económicos que permiten realizarlo de manera sostenibles están sujetos a la demanda en el mercado. La tendencia mundial es incrementar al máximo el reciclaje de la basura.

#### 1.2.1.4.3 Uso energético

Un tercer nivel de recuperación transforma el desecho en un material o una forma de energía diferente. Puede que el nuevo material sea un elemento recuperado o una sustancia relativamente homogénea utilizables como fuentes de energía (por ejemplo, gas combustible o biogás, producido por la digestión anaerobia de los residuos orgánicos y la recuperación de calor proveniente de la incineración de la basura). Asimismo, se trata del uso constructivo y de la transformación de RSM en diferentes productos (recuperación de terrenos mediante la construcción de rellenos sanitarios, muros de contención con llantas usadas de automotores y conversión de desechos orgánicos en compost).

#### 1.2.1.5 Tratamiento

El tratamiento en el manejo integral de los RSM tiene como objetivo principal disminuir los riesgos para la salud y su potencial contaminante. Por ello se deberá optar por la solución más adecuada a las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales locales. Los principales métodos de tratamiento son el compostaje, la lombricultura y la incineración, este último de gran impacto en la reducción de volumen. Estos métodos dejan residuos que son necesarios disponer en un relleno sanitario, de ahí que no sean considerados como soluciones finales ni definitivas.

##### 1.2.1.5.1 Compost

El 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. El compost es un material similar al humus (tierra); mejora los suelos pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial. Sin embargo, este valor suele ser menor que el costo de producción, por lo que este sistema debe ser subsidiado por el municipio. 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 RSM 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.

#### 1.2.1.5.2 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 RSM 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 RSM y de ninguna manera como la solución al problema.

#### 1.2.1.5.3 Incineración

La incineración de los RSM permite la reducción de su volumen al dejar un material inerte (escorias y cenizas) cercano a 10% del inicial. Tal reducción es obtenida con hornos especiales en los que se puede garantizar suficiente aire de combustión, turbulencia, tiempos de retención y temperaturas adecuadas. Una combustión incompleta, como es el caso de las quemas a cielo abierto, generará humos, cenizas y olores indeseables. Debido a que esta práctica requiere un elevado capital inicial, implica altos costos operativos, requiere de técnicos bien calificados, tiene una operación y un manejo complejo y requiere tanto combustible auxiliar como equipos de

control, se descarta su utilización en pequeñas poblaciones e incluso para la mayoría de ciudades del país.

### 1.1.3 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RSM

#### 1.1.3.1 Practicas inadecuadas en la disposición final de los RSM

Son inaceptables como prácticas de disposición final:

- ✓ La descarga de basura en los cursos de agua, lagos o mares ya que provoca desequilibrio ecológico debido sobre todo al aumento excesivo de nutrientes y carga orgánica en el agua.
- ✓ El abandono en botaderos a cielo abierto, ocasiona serios problemas de salud pública a causa de la proliferación de insectos y roedores transmisores de múltiples enfermedades, así como de los humos que se producen por las continuas quemas los que contribuyen al deterioro estético de las ciudades y del paisaje natural.
- ✓ La quema al aire libre.
- ✓ El uso de la basura como alimento de animales; altamente riesgoso para la salud humana a menos que exista un estricto control sanitario. Se puede admitir este tipo de alimentación solo si se garantiza que dichos desechos sean cocinados a una temperatura de 100°C durante 30 minutos.

#### 1.1.3.2 Botadero a cielo abierto

El botadero de basura es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. Se le llama botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc. Allí no existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la

contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemados y humos, polvo y olores nauseabundos. Los botaderos de basura a cielo abierto son cuna y hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades. En ellos se observa la presencia de perros, vacas, cerdos y otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona, especialmente para las familias de los segregadores que sobreviven en condiciones infrahumanas sobre los montones de basura o en sus alrededores. La segregación de subproductos de la basura promueve la proliferación de negocios relacionados con la reventa de materiales y el comercio ilegal. Ello ocasiona la depreciación de las áreas y construcciones colindantes; asimismo, genera suciedad, incremento de contaminantes atmosféricos y falta de seguridad por el tipo de personas que concurren a estos sitios.

#### 1.1.3.3 Propuesta de un sistema integrado de tratamiento y disposición final

En los últimos años está tomando fuerza, previa evaluación de las condiciones locales, la propuesta para que en un solo lugar se puedan concentrar tanto las actividades de clasificación y acopio de los subproductos recuperados de los RSM, los sistemas de tratamiento de residuos orgánicos por medio del proceso de compostaje en pilas y lombricultura, así como la disposición final en un relleno sanitario y la incineración en hornos especiales de los residuos infecciosos o su disposición en una celda especial. Es posible la integración de estos sistemas en una misma área siempre y cuando cada uno tenga su propia infraestructura y no se los descuide por buscar solo el beneficio económico.

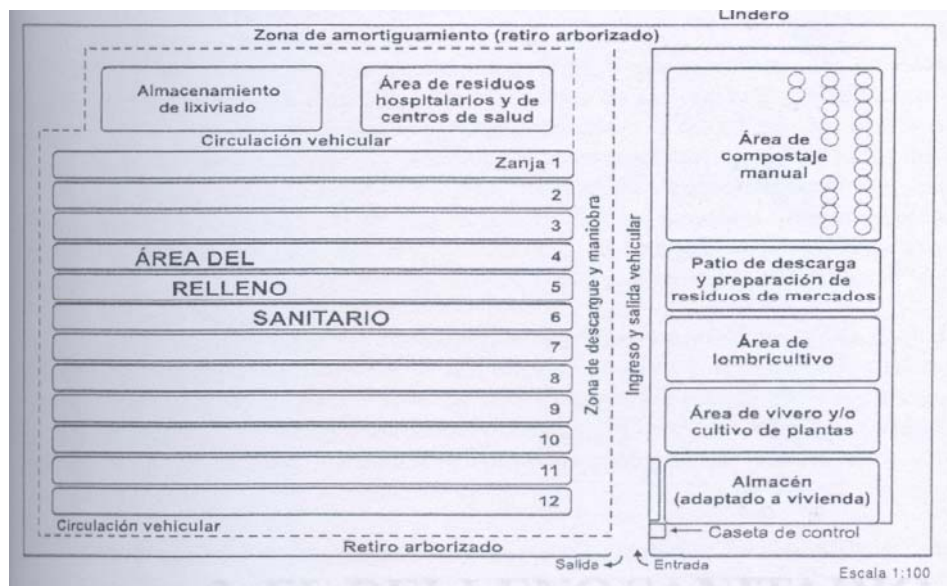


Figura 1. Sistema integrado de tratamiento y disposición final de RSM. (Guía OPS)

#### 1.1.4 RELLENO SANITARIO

El método de disposición final de prácticamente todos los RSM lo constituye el relleno sanitario. Es el único admisible, ya que no representa peligro alguno ni riesgos para la salud pública. Además, minimiza la contaminación y otros impactos negativos en el ambiente. La implantación de rellenos sanitarios es necesaria, bien sea como solución exclusiva, bien como destino de los rechazos de otros sistemas. En consecuencia, este primer paso exige la selección de sitios aptos para su construcción, tanto desde el punto de vista social como económico. Es importante tener en cuenta que los diferentes componentes de la gestión integral de RSM deben estar interrelacionados en cualquier programa o sistema y haber sido seleccionados para complementarse mutuamente. Con todo, el relleno sanitario se encuentra en el nivel más bajo de la jerarquía de la gestión integral de RSM porque representa el último medio deseable para manejar los residuos de la sociedad. Por esto la prioridad en la gestión de RSM, relacionada con su tratamiento y disposición final, debe estar orientada a la construcción de rellenos sanitarios, puesto que es urgente minimizar los

riesgos para la salud de la población, frenar la contaminación del medio ambiente y el deterioro de los recursos naturales.

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

#### 1.1.4.1 Métodos de relleno sanitario

El método constructivo y la secuencia de la operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno escogido, aunque también dependen de la fuente del material de cobertura y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras distintas para construir un relleno sanitario.

##### 1.1.4.1.1 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 el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. Es de anotar que existen experiencias de excavación de trincheras hasta de 7 m de profundidad para relleno sanitario. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra. Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para

captarlos y desviarlos e incluso proveerlas de drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser cortadas de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado. 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 del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero.

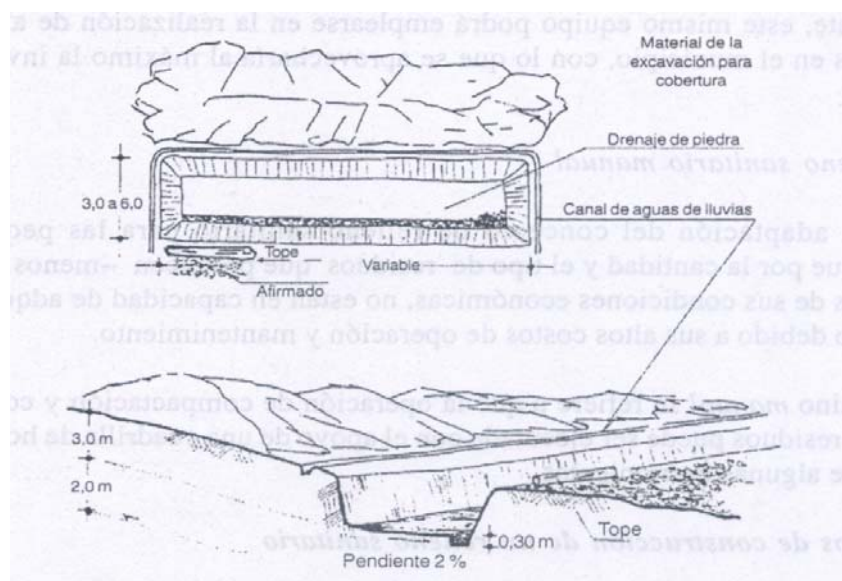


Figura 2. Método de trinchera. (Guía OPS)

#### 1.1.4.1.2 Método de Área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno. Se adapta 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 se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. 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 vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0,10 a 0,20 m de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie.

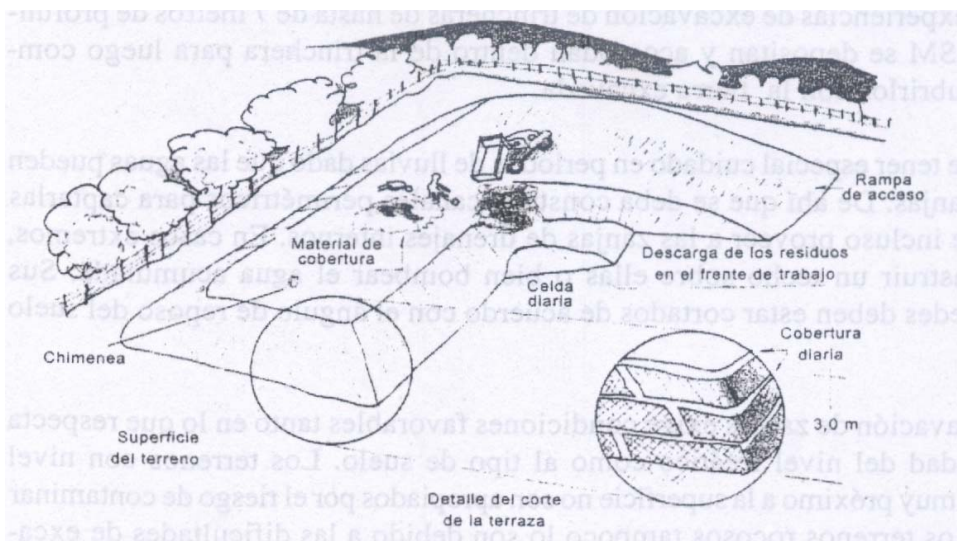


Figura 3. Método de área. (Guía OPS)

#### 1.1.4.1.3 Combinación de ambos métodos

Es necesario mencionar que, dado que estos dos métodos de construcción de un Relleno Sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno del material de cobertura y rendimientos en la operación.

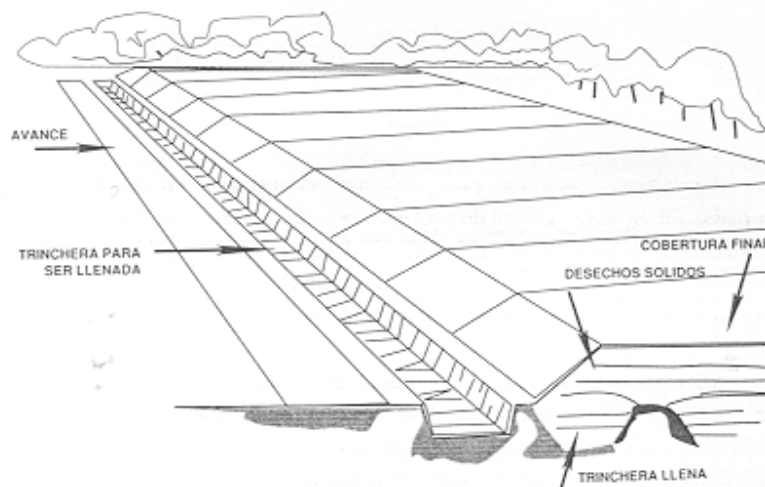


Figura3. Combinación ambos métodos (Guía OPS)

#### 1.1.4.2 Principios básicos de un relleno sanitario

- ❖ Supervisión constante, mientras se vacía, recubre la basura y compacta la celda, para conservar el relleno en óptimas condiciones. Esto implica tener una persona responsable de su operación y mantenimiento.
- ❖ La altura de la celda es otro factor importante a tener en cuenta; para el relleno sanitario manual, se recomienda una altura entre 1,0 m a 1,5 m para disminuir los problemas de hundimientos y lograr mayor estabilidad.
- ❖ Es fundamental el cubrimiento diario, con una capa de 0,10 a 0,20 m de tierra o material similar.
- ❖ La compactación de los desechos sólidos es preferible en capas de 0,20 a 0,30 m finalmente cuando se cubre con tierra toda la celda. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, alcanzando a largo plazo una mayor densidad y vida útil del sitio. Una regla sencilla indica que, alcanzar una mayor densidad, resulta mucho mejor desde el punto de vista económico y ambiental.
- ❖ Desviar aguas de escorrentía para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.
- ❖ Control y drenaje de percolados y gases para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.

- ❖ El cubrimiento final de unos 0,40 a 0,60 m de espesor, se efectúa siguiendo la misma metodología que para la cobertura diaria; además, debe realizarse de forma tal que sostenga vegetación, para lograr una mejor integración el paisaje natural.

#### 1.1.4.3 Ventajas de un relleno sanitario

- ❖ El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para los países en desarrollo. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- ❖ La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación.
- ❖ Bajos costos de operación y mantenimiento.
- ❖ Un relleno sanitario es un Método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.
- ❖ Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
- ❖ Recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
- ❖ Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- ❖ Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.

- ❖ Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación.
- ❖ Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

#### 1.1.4.4 Desventajas de un relleno sanitario

- ❖ La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:
  - La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
  - Asociarse el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto".
  - La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
  - El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
- ❖ La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo, a fin de evitar fallas futuras.
- ❖ Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.

- ❖ Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- ❖ Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

#### 1.1.4.5 Líquido percolado

La descomposición o putrefacción natural de la basura, produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, muy parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas), pero mucho más concentrado. De otro lado, las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado, puede causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua, nacimientos y pozos vecinos.

Si se tiene en cuenta que el área promedio a rellenar para disponer los desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones no es muy grande, los volúmenes de percolado entonces serán también pequeños. Por lo tanto, se puede optar por su infiltración en el suelo dado que, con el paso del tiempo, la carga contaminante de los lixiviados disminuye una vez terminado el relleno; además, el suelo actúa como filtro natural. No obstante, para proteger las aguas superficiales y subterráneas, se deben tomar las siguientes medidas:

- ❖ Verificar que las aguas subterráneas y superficiales cercanas no estén siendo utilizadas para el consumo humano o animal.

- ❖ Establecer una altura mínima de 1,0 – 2,0 m (depende de las características del suelo) entre la parte inferior del relleno y el nivel de agua subterránea.
- ❖ Tratar de contar con un suelo arcilloso o en su defecto impermeabilizar la parte inferior mediante una capa de arcilla de 0,30 – 0,60 m.
- ❖ Interceptar, canalizar y desviar el escurrimiento superficial y los pequeños hilos de agua, a fin de reducir el volumen del líquido percolado, y de mantener en buenas condiciones la operación del relleno.
- ❖ Construir un sistema de drenaje para posibilitar la recolección del líquido percolado y facilitar su posterior tratamiento en caso necesario.
- ❖ Cubrir con una capa de tierra final de unos 0,40 a 0,60 m, compactar y sembrar las áreas del relleno que hayan sido terminadas con pasto o grama para disminuir la infiltración de aguas de lluvias.

#### 1.1.4.6 Gases

En relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos. La descomposición natural o putrefacción de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, ocurre en dos etapas: aerobia y anaerobia. La aerobia es la etapa en la que el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, siendo rápidamente consumido. La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), así como trazas de gases de olor repugnante como ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de

la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente peligro de explosión en las áreas vecinas. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases. Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra, colocado en diferentes puntos del relleno sanitario, para que éstos sean evacuados a la atmósfera. Como el gas metano es combustible, se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje, una vez concluido el relleno sanitario. También se puede aprovechar este gas como energía en el empleo de una pequeña cocina para calentar alimentos o como lámpara para iluminar el terreno. Es de anotar que la recuperación y aprovechamiento del gas metano con propósitos comerciales, sólo se recomienda para rellenos sanitarios que reciban más de 200 ton/día y siempre que las condiciones locales así lo ameriten.

#### 1.1.4.7 Material de cobertura

Una de las diferencias fundamentales entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura para separar adecuadamente las basuras del ambiente exterior y confinarlas al final de cada jornada diaria.

El cubrimiento diario de los desechos sólidos con tierra es de vital importancia para el éxito del relleno sanitario, debido a que cumple las siguientes funciones:

- ❖ Prevenir la presencia y proliferación de moscas y gallinazos.
- ❖ Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- ❖ Evitar incendios y presencia de humos.
- ❖ Minimizar los malos olores.
- ❖ Disminuir la entrada del agua de lluvias a la basura.
- ❖ Orientar los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno sanitario.
- ❖ Dar una apariencia estética aceptable al relleno sanitario

- ❖ Servir como base para las vías de acceso internas.
- ❖ Permitir el crecimiento de vegetación

## 2. CONCEPTUALIZACIÓN GEOGRAFICA

### 2.1 NÚCLEO PROVINCIAL DE VÉLEZ



Figura 4. Núcleo Provincial de Vélez. (Gobernación de Santander)

El recorrido por esta provincia permite acceder a la más importante y significativa de las regiones folclóricas de Santander. Provincia unida por torbellinos, flores, guabina, requintos y tiples andariegos que endulza el corazón de la patria con exquisitos bocadillos. Los lugares históricos, las reliquias arquitectónicas civiles y religiosas, los encantos naturales y el paisaje rural complementan un conjunto cuyo arraigo cultural no se puede dejar pasar desapercibido. La región guarda en sus entrañas atractivos naturales, riquezas agrícolas y mineras. Tiene en su parte sur una prolongación con el departamento de Boyacá, de manera que resulta fácil empatar de ida o vuelta los recorridos. No faltan hoteles, paradores, ni restaurantes donde reposar y disfrutar del agradable clima de la región, el arrullo de las permanentes brisas provenientes de las montañas

circundantes. Se encuentra comprendida por los municipios de Aguada, Albania, Barbosa, Bolívar, Chipatá, El Peñón, Florián, Guavatá, Güepesa, Jesús Maria, La Belleza, La Paz, Puente Nacional, San Benito, Sucre y Vélez.

### 2.1.1 AGUADA

- Aspectos Generales del Municipio

Se encuentra localizado a 6°10'03" latitud norte y 73°02'00" longitud oeste. El Municipio limita territorialmente por el norte con el Municipio La Paz y El Guacamayo; por el sur con el Municipio de San Benito sirviendo de limite la Quebrada La Ropero que desemboca en el río Suárez; por el oriente con el Municipio de La Paz; y por el occidente con Guadalupe separados por el Río Suárez.

- Creación

El Municipio de Aguada fue fundado el 7 de junio de 1775.

- Aspectos Geográficos

Tiene una extensión de 7.575,48 hectáreas. La cabecera municipal tiene una extensión de 4.58 hectáreas, 89 predios, distribuidos en 3 sectores a saber: Esperanza, Jerusalén y Colmena. El área rural tiene una extensión de 7.570,89 hectáreas y 1.242 predios, distribuido en 8 veredas: Centro, San Isidro, Santa Rosa, San Martín, San Joaquín, San Diego Yarigüies, San Antonio y San Alberto.

- Aspectos Demográficos

Cuenta con una población de 3379 habitantes aproximadamente (Gobernación)

- Aspectos Socioeconómicos

La economía del municipio, esta soportada por los ingresos provenientes de las actividades agrícolas desarrolladas en una extensión de 476.85 hectáreas equivalente al 6.30% y las actividades pecuarias en un área de 1016 Hectáreas que corresponde al 13.5%. Se destaca en la producción

agrícola la caña panelera, el maíz, frijón, yuca, café, arveja, y arracacha, como sus principales cultivos y en la producción ganadero las especies más representativas corresponden al ganado bovino de doble propósito (leche y carne), la avicultura (huevos), la cría y engorde de cerdos, la piscicultura como actividad emergente y la tenencia de equinos con propósitos de carga o transporte de productos agrícolas y ayuda para las actividades productivas. Existe también un potencial minero de caliza, barita, fluorita y galena, que podrían ser explotados al igual que otros municipios de la región.

- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: Ubicada frente al parque principal, no tiene mayor uso debido a que se utiliza los días domingos se asea y se vuelve a utilizar a los ocho días.
  - ✓ Matadero: Existe un planchón de sacrificio encerrado y enchapado, con un volumen de sacrificio de 3 a 4 reses semanal.
  - ✓ Centro de salud Hermana Gertrudis: Entidad de prestación de servicios de salud quien opera para la prestación de servicios básicos; maneja residuos hospitalarios considerados peligrosos por contrato con una empresa propia de la ciudad de Bucaramanga.

#### 2.1.2 ALBANIA

- Aspectos Generales del Municipio

Se localiza a 5°46'00" latitud norte y 73°56'00" longitud oeste. Limita al norte con el Municipio de Jesús María, por el oriente con el municipio de Puente Nacional, Al Nor- occidente con el municipio de Florián y al sur con el departamento de Boyacá, municipios de Tunungua y Saboya.
- Creación

El Municipio de Albania fue creado por la ordenanza N. 46 del 12 de Julio de 1904.
- Aspectos Geográficos

El territorio municipal tiene una extensión de 16.704,67 Hectáreas. La cabecera municipal esta localizada al suroeste del municipio, tiene un área de terreno de 9,36 hectáreas (Km2), 14.766 metros cuadrados de construcción, conformado por 134 predios, esta dividido urbanisticamente en 7 sectores denominados: Cruz de la Misión, La Paz, Los Vecinos, Pozo Hondo, La Cuadra, Calle Central y la Amistad. Política y administrativamente el municipio esta dividido en el sector rural distribuido en 29 veredas con una extensión de 16.687,97 hectáreas.

- Aspectos Demográficos  
Población aproximada de 7.265 habitantes.
- Aspectos Socioeconómicos  
La economía del municipio depende de la producción agropecuaria, las explotaciones agrícolas son de subsistencia en su mayoría y la ganadería es extensiva.
- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: Ubicada sobre la calle 3, junto al centro de salud. Se realiza inspección a higiene locativa y en fabricación y manipulación de alimentos; falta un poco de mejora en sus instalaciones.
  - ✓ Matadero: Planchón de sacrificio, ubicado en el perímetro urbano. Fue sellado por la CAS el 20 de octubre de 2005. Actualmente se vienen realizando el proyecto de la nueva planta de sacrificio a 1 km. de la cabecera.
  - ✓ ESE Blanca Alicia Hernández: Entidad de prestación de servicios de salud quien opera para la prestación de servicios básicos; maneja residuos hospitalarios considerados peligrosos por contrato con una empresa propia de la ciudad de Chiquinquirá.

### 2.1.3 BARBOSA

- Aspectos Generales del Municipio

Barbosa cuenta con una temperatura promedio de 24°C.

- Creación

El embrión generador fue el poblado de CITE, fundado por Martín Galiano el 24 de Mayo de 1539 y que por muchos años ostentó la categoría de Municipio. Barbosa surgió por primera vez a la vida jurídica el 1° de octubre de 1939, precisamente en calidad de Corregimiento adscrito a Nuestra Señora de Cite, pero su inusitado crecimiento urbano y comercial, llevaron a la Asamblea del Departamento a aprobar la ordenanza N. 42 del 21 de junio de 1940 convirtiéndola en Cabecera Municipal.

- Aspectos Geográficos

Tiene una extensión de 67 Kilómetros cuadrados, y entre sus industrias también se incluye la del Bocado muy tradicional en toda la provincia de Vélez.

- Aspectos Demográficos

Aproximadamente 27968 habitantes.

- Aspectos Socioeconómicos

Su economía a partir de la agricultura (caña), ganadería y gran parte de comercio al ser paso obligado de transportadores y turistas quienes llevan la ruta del Suárez. En la actualidad Barbosa es una ciudad muy activa comercialmente, por ser sitio de paso obligado entre la capital de la república y las ciudades de: Bucaramanga y Cúcuta entre otras.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: El municipio cuenta con la plaza cuya operación se realiza masivamente el día domingo con condiciones aceptables para su normal funcionamiento.

- ✓ Matadero: Existe un planchón, el cual no reúne las condiciones higiénico sanitarias ni ambientales para su funcionamiento, se encuentra ubicado dentro del perímetro urbano sobre el río Suárez.

- ✓ Hospital San Bernardo: Cuenta con una buena planta física, recolectando y entregando los residuos sólidos hospitalarios a las empresas Descont y Sandesol de la ciudad de Bucaramanga.

#### 2.1.4 BOLÍVAR

- Aspectos Generales del Municipio

El municipio de Bolívar está ubicado al sur occidente del departamento de Santander, República de Colombia a 260 Km. Aproximadamente de Bogotá D.C. y 276 Km. De Bucaramanga. Limita por el norte con los municipios de Cimitarra, Landázuri y El Peñón; por el sur con los municipios de Sucre, la Belleza y el Departamento de Boyacá; por el Oriente con los municipios de Vélez y Gabata y por el occidente con los departamentos de Boyacá y Antioquia. Dos ejes viales determinan el sistema vial del municipio de Bolívar que permiten la comunicación de este con el resto del país: El primero en sentido Sur Norte comunica el municipio con la capital del departamento, Bucaramanga. El segundo en sentido Norte Sur comunica con el departamento de Boyacá y Cundinamarca.

- Creación

Se establece para el año de 1844.

- Aspectos Geográficos

El territorio del municipio de Bolívar es uno de los más extensos de Santander a pesar de las segregaciones sufridas en 1940. En esta época su extensión era de unos 3077 Km. Cuadrados y hoy es de 1730 Km. Cuadrados aproximadamente, extendiéndose a lo largo de los ríos Carare y Horta. El territorio del Municipio está distribuido así: Nueve corregimientos, ciento sesenta y ocho veredas y la cabecera municipal.

- Aspectos Demográficos

Tiene una población cercana a los 20.666 habitantes aproximadamente.

- Aspectos Socioeconómicos

Su economía se basa en pequeñas explotaciones ganaderas para la producción de leche y comercialización de carne vacuna y porcina. Se destaca también la producción de cultivos como la cebolla; también se observa la fabricación artesanal como actividad comercial importante.

- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: No cuenta con una instalación adecuada para tal fin, realizándose el comercio a campo abierto.
  - ✓ Matadero: Ubicado dentro del perímetro urbano, no reúne las condiciones técnicas. Se encuentra sellado por disposición y recomendación de la CAS.
  - ✓ ESE Hospital Local: Los desechos hospitalarios son recolectados y transportados a la ciudad de Bucaramanga para su respectivo tratamiento por la Empresa Sandesol.

#### 2.1.5 CHIPATA

- Aspectos Generales del Municipio

El Municipio de Chipatá se localiza entre las coordenadas planas: X = 1.157.000 m.N a la X = 1.170.000 m.N. y las coordenadas Y= 1042.000 m.E a la Y = 1.055.000 m.E. La Cabecera municipal se encuentra localizada geográficamente a 6°05' latitud norte y 73°39' de longitud al oeste con respecto al meridiano de Greenwich; a una distancia de 240 Km. de la ciudad de Bucaramanga, capital departamental. Territorialmente limita por el norte con el municipio de La Paz, por el Oriente con San Benito y Güepsa, por el sur Vélez y Güepsa y al Occidente con Vélez.
- Aspectos Geográficos

Tiene una extensión territorial de 9.519,161 hectáreas equivalente a 95,19 Km<sup>2</sup> y esta conformado por su Cabecera municipal y 12 veredas. La Cabecera municipal de Chipatá se localiza al centro del municipio, tiene un área de terreno de 11,65 hectáreas, 14.675 metros cuadrados de

construcción, una población de 614 habitantes esta conformado por 186 predios en el perímetro urbano delimitado por el IGAC y 14 predios adyacentes a este. El Área rural está conformada por 3.863 predios con una superficie de 9.507,51 hectáreas equivalente a 95,07Km<sup>2</sup>, con un área construida de 70.586 metros cuadrados, tiene una población de 4.609 Habitantes y esta distribuido en las veredas Centro, Toroba, Mirabuenos, Tubavita, Batan, Papayo, Mulatal, Llano de San Juan, San Miguel, Salitre seco, Tierra negra y Hatillo, definidos y delimitados por el IGAC y reconocidos por la comunidad.

- Aspectos Demográficos

En el municipio de Chipatá se encuentran aproximadamente 4879 habitantes distribuidos en 614 para el casco urbano y 4265 en las diferentes veredas.

- Aspectos Socioeconómicos

La base principal de la economía en Chipatá es, y ha sido la agricultura, la cual hace parte del sector primario, donde se desarrolla una economía tradicional, caracterizada por el monocultivo de la caña panelera, ejerciendo una presión socioeconómica sobre los recursos naturales debido al predominio de minifundio y pequeña propiedad; además sobresalen cultivos de maíz, frijol, café, y pan coger.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Ubicada en la Carrera 5<sup>a</sup> con calles 2<sup>a</sup> y calle 3<sup>a</sup>: construcción ampliada en el año 92, con un área de terreno de 456 metros cuadrados aproximadamente y buenas condiciones para su funcionamiento.
- ✓ Matadero: Se encuentra ubicado en el casco urbano del municipio; no reúne las condiciones técnico sanitarias. Actualmente se vienen realizando obras para su adecuación según la resolución de la CAS.
- ✓ Centro de salud Divino Niño Jesús: Según el PGIRH de la IPS se realizan dos procedimientos: Incineración: Inservibles, fármacos y

corto punzantes por parte del municipio. Enterramiento en el cementerio local: Anatomopatológicos.

#### 2.1.6 EL PEÑON

- Aspectos Generales del Municipio

El municipio del Peñon está situado a 262 km de Bucaramanga limitando con los municipios de Bolívar y Sucre.

- Creación

El Municipio fue creado el 08 de Febrero de 1993, mediante Decreto 0034, dicho decreto fue amparado bajo las ordenanzas 018 de Diciembre 10 de 1990 y la 022 de Noviembre 17 de 1992.

- Aspectos Geográficos

El área municipal adoptada por ordenanza es de 36426.4758 Ha. Su división político administrativa se basa en las 24 veredas que lo constituyen: El Danubio, Socorrito, La Victoria, Buena Esperanza, Bocas del Horta, Bajo Ceiba, Alto Ceiba, Otoval, Plan de Excehomo, Junín, La Reforma, San Antonio, Llano de Vargas, Millán, Robles, Hoya de Peperos, Tendidos, Honduras, Agua Fría, El Gaital, San Pablo, Agua Blanca, El Venado y El Godo.

- Aspectos Demográficos

Cuenta con una población de alrededor de 6201 habitantes.

- Aspectos Socioeconómicos

Se aprecia considerablemente cultivos de clima frío como la papa, el maíz y variedad de café; también la ganadería es base importante de la economía de el Peñón.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: No se tiene un establecimiento con estos fines utilizando los días miércoles y jueves la plaza de eventos ubicada en el sector San Carlos frente a la iglesia, demostrando pocas características favorables para su funcionamiento.

- ✓ Matadero: Se encuentra en obras de mejoramiento debido a las disposiciones de la CAS, pero no cumple todas las disposiciones legales acerca de las condiciones técnico- sanitarias.
- ✓ Centro de salud Local: Se tiene un contrato con DESCONT para la disposición final desarrollado para llevar los residuos hasta Vélez donde se encargan de recogerlo.

### 2.1.7 FLORIÁN

- Aspectos Generales del Municipio

Se encuentra localizado al sur del Departamento del Santander, a una distancia de 300 kilómetros de Bucaramanga. Posee tres pisos térmicos: Templado, Medio y Frío, con presencia de microclimas en parte de su territorio. Se encuentra ubicado a 1.700 mts sobre el nivel de mar. Limita al norte con el Municipio de La Belleza y el Municipio de Jesús María; al oriente con el Municipio de Albania, al sur y Occidente con el departamento Boyacá. Su temperatura promedio es de 18° centígrados

- Creación

El Municipio lleva el nombre en homenaje a la primera familia colonizadora de la región, representada por don Ezequiel Florián y su primogénita doña Romelia Florián Muñoz de Téllez, quienes procedían de Jesús María y se constituyeron en los primeros propietarios de la inmensa zona. Hacia 1910 existía la primera escuela localizada en el sitio el "manzano", entre 1915 y 1918 se fundo el actual caserío con el nombre de Puerto de Florián.

- Aspectos Geográficos

El Municipio tiene un área de 170 Km<sup>2</sup> comprendida dentro el sistema perteneciente a la cordillera oriental y dentro de los subsistemas iniciales de la cordillera de los Yariguies, al este y al norte de la antigua cordillera del Minero. Conformado por 33 veredas, 3 corregimientos y 2 inspecciones.

- Aspectos Demográficos  
Su población aproximadamente es de 6638 habitantes.
- Aspectos Socioeconómicos  
La base principal de la economía es la agricultura, la cual hace parte del sector primario, ejerciendo una presión socioeconómica sobre los recursos naturales debido al predominio de minifundio y pequeña propiedad; además sobresalen cultivos de maíz, frijol, café, y pan coger.
- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: Instalación provista de techo con pabellones de carne únicamente, el resto de mercado se realiza en sitio sin mesones, cada usuario ubica mesas y cajones de madera. Se organiza cada semana el día domingo.
  - ✓ Matadero: Ubicado en la cabecera municipal, actualmente esta en remodelación según compromiso con la CAS. Se sacrifica los días sábados.
  - ✓ ESE San José: Empresa recolectora Descont que presta el servicio de recolección de residuos sólidos hospitalarios.

#### 2.1.8 GUA VATÁ

- Aspectos Generales del Municipio  
El municipio de Guavatá se encuentra a unos 2000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura aproximada promedio de 19°C. Limita al norte con el municipio de Vélez, al sur con municipio de Puente Nacional, al occidente con los municipios de Sucre y Bolívar y al oriente nuevamente con el municipio de Vélez. Cuenta con una altura sobre el nivel del mar de 2.000 m y sus ríos mas importantes son: Tune y Mercadillo. La distancia entre esta población y la ciudad de Bucaramanga (Capital del Departamento) es de 251 Kilómetros, y su Santo patrono es la Santa Cruz.
- Creación

Se reconoce como fundado y creado en el año 1.812 aún que ya existía antes de la llegada de los españoles,

- Aspectos Geográficos

Su área es de 58km<sup>2</sup> aproximadamente donde 46km<sup>2</sup> son de clima templado y 12km<sup>2</sup> de clima frío.

- Aspectos Demográficos

Su población aproximada es de 5102 personas.

- Aspectos Socioeconómicos

Su economía se basa en explotación de plantas y animales para el uso humano. En sentido amplio, la agricultura incluye el cultivo del suelo, el desarrollo y recogida de las cosechas, la cría y desarrollo de ganado, la explotación de la leche y la silvicultura; encontrándose el cultivo de la guayaba como prioritario.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Cuenta con los servicios de acueducto y alcantarillado. Se deben construir e higienizar los expendios de comida a fin de dar cumplimiento a las normas sanitarias vigentes.

- ✓ Matadero: Ubicado en la zona urbana municipal, de acuerdo a normas ambientales debe estar ubicado en la zona rural. Ocasiona molestias de orden sanitario y ambiental, debido a la contaminación que genera por la descarga de residuos líquidos a la red de alcantarillado y finalmente a fuentes de agua.

- ✓ Centro de salud San José: De tipo básico, quien actualmente tiene un contrato con Descont para llevar los residuos hospitalarios a la ciudad de Bucaramanga.

#### 2.1.9 GÜEPSA

- Aspectos Generales del Municipio

En Güepsa la caña panelera evoca jornadas de arriería y rudeza campesina, por lo que en su recorrido no hay un instante en que el olor de

la molienda no deje de acompañar al paseante. Son tierras de alta calidad y magnífica productividad, en donde predomina el clima cálido.

- Aspectos Demográficos

Población de 6299 habitantes aproximadamente.

- Aspectos Socioeconómicos

Su economía gira en torno a la agricultura y a la producción y comercialización de mieles de caña y panela

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Funciona únicamente los días domingos, su infraestructura metálica, plancha de cemento, unidad sanitaria son adecuadas.
- ✓ Matadero: La planta existente funciona hasta el día 14 de octubre de 2005; fecha en que la CAS notificó la resolución 0754 de agosto 16 de 2005 por medio de la cual se clausuran las actividades y hasta la fecha se haya clausurado.
- ✓ Centro de salud San Roque: Buen manejo por parte de las directivas para la disposición final de los residuos hospitalarios sin mezclarlos con los domésticos.

#### 2.1.10 JESUS MARÍA

- Aspectos Generales del Municipio

Ubicado a 262 km de Bucaramanga y a 36 km de Puente Nacional, con 18°C de temperatura. La red hidrográfica está conformada por el río Mercadillo y numerosas quebradas y corrientes de caudal menor. Limita al norte con el municipio de Sucre, por el Oriente con los municipios de Guavata y Puente Nacional por el sur con el municipio de Albania y por el occidente con los municipios de Florián y La Belleza.

- Creación

El municipio fue fundado en el año de 1743

- Aspectos Geográficos

Cuenta con una extensión territorial de 72.47km<sup>2</sup>, conformado por un total de 12 veredas.

- Aspectos Demográficos

Su población es de aproximadamente 3337 habitantes.

- Aspectos Socioeconómicos

La economía del municipio gira en torno de la agricultura, la ganadería y la explotación de los recursos naturales. Al contar con dos regiones tanto de clima medio como frío, se establecen cultivos de café, yuca, plátano y frutales.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Cuenta con un sitio específico para la venta de víveres en general que se realiza una vez por semana, el cual cumple con disposiciones sanitarias.

- ✓ Matadero: Dentro del casco urbano pero con correctivos debido a la disposición de la CAS. Se encuentra con buena infraestructura para el alzado de las reses pero aun falta mejorar algunas condiciones para las buenas practicas de manufactura.

### 2.1.11 LA BELLEZA

- Aspectos Generales del Municipio

Se encuentra ubicado a 5°51'4" latitud norte y 73°58'06" longitud oeste de Greenwich. Su distancia a la capital del departamento es de 280 km y a la capital del país a 142 km. La Belleza limita al norte con el municipio de Sucre, al oriente con los municipios de Jesús María y Florián, al occidente con el Departamento de Boyacá y el municipio de Bolívar y al sur con el Departamento de Boyacá.

- Creación

El municipio fue fundado el 14 de agosto de 1975, mediante decreto número 2355 de la Gobernación de Santander.

- Aspectos Geográficos

Cuenta con un área de 317,8km<sup>2</sup> de extensión.

- Aspectos Demográficos

La población del municipio es de 8510 habitantes aproximadamente

- Aspectos Socioeconómicos

Basa su economía principalmente en la agricultura con diversos cultivos especiales de la region y en segundo nivel con el comercio que es bastante representativo en el municipio.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Se encuentra en buen estado, cumpliendo con las disposiciones pertinentes para su funcionamiento.

- ✓ Matadero: El municipio cuenta en el área urbana con instalaciones adecuadas para sacrificio de animales de abasto. Los operarios no siguen ninguna norma de seguridad industrial.

#### 2.1.12 LA PAZ

- Aspectos Generales del Municipio

Se encuentra localizado en la Cordillera de Los Yariguies o Serranía de los Cobardes a una altura de 1934 msnm. Su temperatura es de 18°C. Limita al norte con el Municipio de Santa Helena del Opón, al occidente con Vélez, al oriente con el Guacamayo, La Aguada y San Benito y al Sur con Chipata

- Creación

El municipio de La Paz, fue fundado en 1793, por el presbítero Ramón Blanco de Vianna.

- Aspectos Geográficos

Cuenta con una extensión de 363 km<sup>2</sup>. Se encuentra dividido en 21 veredas: Carrero, San Pablo y EL tigre (Zona Alta). Los medios, Palmar, Rincón Santo, Macanal, Linterna, Linternita, Recreo, Mirabuenos; Bocas del Opón, Compañía y Trochas (Zona Baja).

- Aspectos Demográficos

Su población es de 7619 habitantes.

- Aspectos Socioeconómicos

Las principales actividades económicas del municipio son la agricultura, la ganadería y la reforestación. Muchos de sus habitantes están dedicados a la producción de panela.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Ubicada en el centro del área urbana, funciona los días de mercado (jueves), es un salón amplio con buena capacidad para la demanda del municipio, cuenta con unidades sanitarias.

- ✓ Matadero: Planchón de Sacrificio donde se sacrifican en promedio 10 reses semanales (6 el miércoles y 4 el sábado) a las cuales se les realiza continuamente inspección ante y post mortem.

- ✓ Centro de salud: Los residuos sólidos hospitalarios son almacenados por la IPS centro de Salud La Paz quien tiene contrato con la empresa Descont de Bucaramanga.

### 2.1.13 PUENTE NACIONAL

- Aspectos Generales del Municipio

Ubicada a 12 Km de Barbosa y 19° C de temperatura. Esta población realiza el Festival del Torbellino y el Requinto en el mes de junio. Entre sus atractivos naturales se encuentran la cascada de la Bramadora y el Puente de Piedra, obra única en la naturaleza.

- Aspectos Demográficos

Su población es de 19121 habitantes aproximadamente.

- Aspectos Socioeconómicos

La economía se basa en la agricultura como se aprecia en la mayoría de la región, pero se ha convertido en un municipio con gran comercio por estar muy cerca de la vía principal y ser paso visitado de turistas.

- Establecimientos de Interés General

- ✓ Plaza de mercado: Se ubica en el casco urbano donde se utiliza los días lunes y jueves revisándose enfáticamente los expendios de pescado, pollo y toldos de fritanga. Cuenta con buena infraestructura de servicios públicos.
- ✓ Matadero: Ubicado en el casco urbano en el Barrio Bocapunte, sacrificándose aproximadamente 45 reses semanalmente cumpliendo parcialmente con las condiciones higiénico-sanitarias.
- ✓ Hospital Integrado San Antonio: Cuenta con una gran infraestructura para la prestación de los servicios de salud de gran parte de la provincia, sus residuos sólidos hospitalarios son recogidos por la empresa Descont.

#### 2.1.14 SAN BENITO

- Aspectos Generales del Municipio

El Municipio de San Benito, está ubicado al sur del Departamento en la hoya del río Suárez, con una temperatura de 19 a 22 grados centígrados. Limita al norte con los municipios de Suaita, Guadalupe, y La Aguada, al sur con Güepesa, al oriente con el Departamento de Boyacá y al occidente con La Paz.

- Creación

San Benito se elevó a la categoría de Municipio en 1751. Bajo la presidencia de Rafael Núñez, en 1887, el caserío ubicado en la hoya del Río Suárez adquirió el título de Municipio Adscrito a la provincia de Vélez con una extensión de 67 kilómetros cuadrados, distribuido en 10 veredas.

- Aspectos Geográficos

Cuenta con 9 veredas: Vereda Juntas, Vereda Chinchamato, Vereda Guanomo, Vereda Centro, Vereda el Junco, Vereda San Lorenzo, Vereda Zaque, Vereda Novillero, Vereda Hatos.

- Aspectos Demográficos

Con una población aproximada de 4020 personas.

- Aspectos Socioeconómicos
 

La base de la economía en el municipio se reduce en su mayoría al cultivo de la caña de azúcar para la elaboración de la panela sin dejar al lado los cultivos de plátano, café, yuca, maíz y la ganadería.
- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: Se encuentra al servicio de otras actividades, ya que se utiliza como bodega de materiales, realizándose el comercio en el parque principal con malas practicas de funcionamientos.
  - ✓ Matadero: Tipo planchón que no cumple con las mínimas condiciones sanitarias. Y aunque la CAS ordeno el cierre de este establecimiento decidió la apertura nuevamente siempre y cuando se realicen obras con respecto al tratamiento de aguas servidas.

#### 2.1.15 SUCRE

- Aspectos Generales del Municipio
 

Limita: Al norte con El Peñón y Bolívar; al Occidente con Bolívar; al sur con La Belleza y Jesús Maria y al oriente con Guavatá.
- Creación
 

El municipio fue fundado el 3 de agosto de 1892.
- Aspectos Geográficos
 

Tiene un área de 606.95km<sup>2</sup>.
- Aspectos Demográficos
 

Su población es de 11305 habitantes según los datos de la Gobernación.
- Aspectos Socioeconómicos
 

Su economía se basa en la Ganadería, siendo su aprovechamiento principalmente, el de la carne, la leche, el cuero, los huevos, entre otros productos y la agricultura.
- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: La plaza funciona una vez por semana el día domingo en el parque principal del municipio.

- ✓ Matadero: Por disposición de la CAS este se encuentra sellado pues consta de un planchón mal ubicado (cabecera) en pésimas condiciones sanitarias y ambientales.
- ✓ Centro de salud: Antes del proceso de descentralización de la salud en el municipio de Sucre, la IPS, dependía del Hospital San Antonio de Puente Nacional, pero una vez consolidado el proceso de asunción de la salud, el Centro de Salud de Sucre, está en capacidad de prestar los servicios con la eficiencia y eficacia. Los residuos hospitalarios, son separados y recogidos una vez por mes por la empresa Sandesol de la ciudad de Bucaramanga.

#### 2.1.16 VÉLEZ

- Aspectos Generales del Municipio

El municipio de Vélez, se halla situado en el extremo sur del Departamento de Santander, en límites con Boyacá en la Provincia de Vélez y Ricaurte. Sus coordenadas son Longitud 73°41' al W de Greenwich, latitud 6°01' norte y altitud de la cabecera Municipal 2140 m.s.n.m. Con el Magdalena Medio se comunica con la carretera del Carare a 100 Km. de Cimitarra y 230 a Puerto Berrío. Es el segundo municipio en población de la provincia de Vélez y es la capital cultural de la zona por la importancia internacional del folclor y su festival de la guabina y el tiple. Conocida como la "Capital Folclórica de Colombia", ubicada a 230 km al suroccidente de Bucaramanga, con una agradable temperatura de 17° C.

- Aspectos Geográficos

Vélez tiene una extensión de 29848 hectáreas, localizado en el centro de la provincia y el sur del Departamento de Santander. Desde el Siglo XVI, se ha constituido en el centro de referencia administrativa más importante de la provincia, como quiera que todo el territorio que ocupan los 19 municipios reciba el nombre de Vélez.

- Aspectos Demográficos  
Su población es aproximadamente de 26821 habitantes.
- Aspectos Socioeconómicos  
Su principal actividad productiva es la fabricación del bocadillo y explotación Agrícola y ganadera.
- Establecimientos de Interés General
  - ✓ Plaza de mercado: Ubicada en el casco urbano con condiciones sanitarias aceptables para su funcionamiento.
  - ✓ Matadero: El municipio cuenta en el área urbana con un sitio para sacrificio de animales de abasto publico que no reúne los requisitos sanitarios.
  - ✓ Hospital Regional de Vélez: El Hospital, no existe una persona capacitada independiente al personal de enfermería, para la manipulación, almacenamiento y disposición final pero se tiene contrato con Descot para su disposición final.

### **3. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO PARA LA INTERVENCIÓN**

#### **3.1 DISEÑO**

Para lograr el objetivo del estudio, se determino hacer la monografía de corte descriptiva exploratoria que permitió llevar a cabo el análisis e interpretación de los datos encontrados, la descripción y el registro de las situaciones de la disposición final de los residuos sólidos, tomando como unidad de estudio al núcleo provincial de Vélez. Para la realización del diagnóstico se inicio primero con la identificación de los aspectos implícitos en la gestión integral de residuos sólidos y específicamente en su disposición final, los cuales a partir de la consulta teórica están agrupados bajo seis categorías: área institucional, área técnica y operativa, área económico- financiera, área de la salud publica, área del ambiente y área social. A partir de los datos recolectados y las visitas realizadas, se desarrollo un análisis provincial para determinar la situación, basado en los resultados obtenidos en este diagnóstico, logrando identificar, describir y analizar los principales problemas relacionados con la prestación del servicio público de aseo enfatizando en la disposición final y a la gestión integral de los residuos sólidos en el núcleo provincial.

#### **3.2 POBLACIÓN**

Hace referencia al número total de habitantes que constituyen el núcleo provincial de Vélez, haciendo énfasis en el casco urbano de cada municipio, debido a que la recolección de los desechos en la mayoría de los casos no se realiza en el área rural.

#### **3.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Para la elaboración del diagnóstico se recopiló toda la información administrativa, técnica, financiera, operativa, comercial, ambiental,

institucional y empresarial que se encuentra inmersa en la disposición final. Los datos municipales fueron consultados en el PGIR de cada localidad solicitado a las respectivas Secretarías de Planeación; en los casos donde no se cuenta aún con este plan, se realizó a través del diligenciamiento del formato recolector de información (Anexo 1), por parte de las autoridades locales con la colaboración del técnico de saneamiento de cada municipio para contar con una información veraz intentando desarrollar un diagnóstico lo más preciso posible.

Para efectos del estudio, se han utilizado tres técnicas de recolección de datos:

- Formato recolector de información dirigido a las autoridades municipales entendiéndose estas como: Alcaldes, Secretarios de Gobierno o Técnicos de Saneamiento.
- Revisión de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos de cada municipio. (Núcleo Provincial de Vélez)
- Observación directa a los sitios de disposición final del núcleo provincial.

### 3.3.1 Formato recolector de información

Por medio de la encuesta se obtuvo información de tipo cuantitativo y cualitativo sobre temas específicos como son la cantidad de residuos sólidos generados, el tipo de disposición final, las condiciones en las cuales se realiza esta disposición, el gasto municipal por este concepto, la tarifa que se cobra a la población, empleo e ingresos, entre otros; los cuales permitieron tener un conocimiento amplio de la realidad de la disposición final de los residuos sólidos. (Ver anexo 1)

### 3.3.2 Revisión PGIRS

Se realizó la revisión de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos en los municipios que contaban con él. Con el fin de corroborar la información.

### 3.3.3 Observación directa

Por medio de la observación directa se pudo llevar un registro de las condiciones reales en las cuales se encuentra la disposición final de los residuos sólidos en cada municipio, que permitió ampliar la información construida a través de otros instrumentos. Llevando los siguientes pasos: Formato de campo, Registros y Análisis de los registros.

## **4. DIAGNOSTICO DE LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL NÚCLEO PROVINCIAL DE VELEZ**

### **4.1 AGUADA**

En la actualidad el sistema de Gestión Ambiental utilizado en el municipio de la Aguada en lo relacionado con el manejo de los residuos sólidos o la prestación de servicio público, (Aseo, Alcantarillado, Agua potable) no es el mejor; debido a que no se encuentra conformada una empresa que maneje la prestación del servicio y mantenga un control administrativo y financiero, faltando consecuentemente evaluar la eficiencia del sistema. Por esto el municipio es el encargado de atender a la comunidad en el área de saneamiento básico. Para la disposición final de los residuos sólidos el municipio actualmente cuenta con:

- TIPO: Relleno Sanitario no tecnificado.
- DESCRIPCIÓN: El terreno presenta una inclinación de pendiente que oscila entre el 25° y 30°. Dentro del lote se encuentra una caseta en el costado izquierdo la cual se tiene destinada para el manejo del compostaje. En la actualidad se encuentra en servicio una sola celda; el manejo de los lixiviados se hace en la parte baja de la celda en un tanque con capacidad para 2000 lts, y que de acuerdo a lo establecido en el estudio, su manejo se hará a través de recirculación manual.
- UBICACIÓN: Se ubica a 1,2 Km del casco urbano en la vereda Centro por la vía que conduce hacia el municipio de La Paz, a una distancia aproximada de 700 m se toma un desvío en el margen izquierdo, el cual conduce hacia la Vereda San Isidro, tras un recorrido de 600 m en el margen izquierdo.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Se llevan actualmente los residuos municipales dos veces por semana, comprendido entre los días lunes y viernes.

- **PRODUCCIÓN:** Aproximadamente 4 Ton/Mes.
- **OBSERVACIONES:** Cerca al área de influencia del relleno no se encuentra viviendas ni fuentes hídricas que puedan resultar afectadas con la ejecución del proyecto. El sitio de disposición final, actualmente no tiene manejo técnico y operativo, por tal razón no es posible hacer una caracterización de los vertimientos líquidos puntual.

#### 4.2 ALBANIA

- **TIPO:** Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina.
- **DESCRIPCIÓN:** La disposición de los residuos sólidos se realiza en el relleno sanitario del Municipio de Chiquinquirá Boyacá, esto por medio del convenio de los Municipios, al mismo tiempo se realiza la clasificación y recolección de los residuos sólidos dos veces por semana.
- **DÍAS DE RECOLECCIÓN Y DISPOSICION:** 1 vez/semana el día martes.
- **PRODUCCIÓN:** Producción media mensual: 4,701 Ton/mes aproximadamente.
- **USUARIOS:** Alrededor de 500 habitantes para el casco urbano.
- **EQUIPOS Y PERSONAL:** Se cuenta con una volqueta y el número total de operarios es de 2, uno es el conductor de la volqueta y el otro es el operario para la recolección, este último encargado también del oficio de barrendero municipal.
- **COSTO ANUAL:** (\$15.000.000)

#### 4.3 BARBOSA

- **TIPO:** Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina.
- **DESCRIPCIÓN:** Los residuos sólidos son recolectados adecuadamente por la empresa privada "SAMA", y su disposición final se realiza en el municipio de Tunja, departamento de Boyacá.
- **DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN:** Se realiza la recolección de lunes a sábado.

- PRODUCCIÓN: Aproximadamente 40 Ton/Mes.
- USUARIOS: Aproximadamente 20100 usuarios del casco urbano.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Se cuenta con una volqueta que realiza la labor de llevar los residuos hasta la localidad vecina y cuatro operarios para esta labor.

#### 4.4 BOLÍVAR

- TIPO: Relleno Sanitario no tecnificado.
- DESCRIPCIÓN: Los residuos sólidos son recolectados por el municipio con una frecuencia de tres veces por semana y estos son llevados a un relleno sanitario local.
- UBICACIÓN: Se ubica en la vereda Centro a 300 m aproximadamente del casco urbano.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Lunes, miércoles y jueves.
- PRODUCCIÓN: Alrededor de 8 Ton/Mes
- USUARIOS: Se aprecian 2192 usuarios aproximadamente presentes en el casco urbano.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Se realiza la recolección en una volqueta del municipio con dos operarios.
- COSTO ANUAL: Aproximadamente \$15.000.000 anuales.

#### 4.5 CHIPATA

El Municipio de Chipatá actualmente no cuenta con rellenos sanitarios ni botaderos a cielo abierto. Como sitio de disposición final para el centro poblado se encuentra el horno incinerador de basuras.

- TIPO Y DESCRIPCIÓN: Los desechos son transportados para su disposición final:
  - ✓ Los residuos orgánicos a la PLANTA DE COMPOSTAJE localizada en la Granja municipal. Este sistema se viene implementado desde el año 2000, en la granja municipal en un área de 30 metros cuadrados

aproximadamente, funciona mediante dos composteras de dimensiones 5X1.50m y 1 metro de separación entre la dos. Se encuentran construidas en mampostería frisada, cubierta en estructura metálica y lámina de zinc.

- ✓ Los residuos inorgánicos al INCINERADOR. Se localiza al norte del Casco Urbano sobre la vía a Papayo, sobre un terreno provisto de cobertura vegetal a su alrededor y topografía plana. El sistema trabaja a través de un horno con chimenea donde se incineran los residuos semanales con operación manual y sin ayuda de combustibles.
- ✓ El reciclaje a la BODEGA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL ubicada en la vereda Papayo a 700 metros aproximadamente del casco urbano. La infraestructura tiene un área de 20 metros cuadrados, las paredes son en tabla, cubierta en teja de zinc, cerchas de madera y piso en tabla.
- **DÍAS DE RECOLECCIÓN:** El servicio de recolección de basura se presta a todos los usuarios (estratos 1, 2, 3, oficiales y comerciales) una vez por semana el día miércoles dentro del casco urbano del municipio.
- **PRODUCCIÓN:** La producción de residuos sólidos del municipio de Chipatá, se calculó, de acuerdo a las toneladas recolectadas selectivamente el día miércoles, determinando que la producción de residuos semanal es de 1,5 Toneladas, entonces para el valor mensual es:  $RSR = (1,5 \times 52) / 12 = 6,5 \text{ Ton/mes}$  y la PPC = 0,35 Kg/hab-día.
- **USUARIOS:** La Unidad Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios del municipio de Chipatá atiende a 186 usuarios en la recolección y transporte de los residuos sólidos.
- **EQUIPOS Y PERSONAL:** No se dispone del equipo como buldózer, retroexcavadora para la distribución y compactación de la basura, ya que esta maquinaria opera en rellenos sanitarios. El municipio cuenta con una volqueta con capacidad para 8 Ton equivalentes a 5 m<sup>3</sup> cuya función es la de transporte y recolección los miércoles de los residuos sólidos del

casco urbano. También se requiere (3) tres operarios (recolectores) y (1) Un conductor (vehículo transportador) para realizar las actividades consecuentes a una buena recolección y disposición final.

- COSTO ANUAL: Entre el personal y el manejo de las métodos de disposición se gastan aproximadamente (\$18.000.000) dieciocho millones de pesos anuales.
- OBSERVACIONES: De las 6,5 Ton/mes de residuos totales, 1,2 Ton son residuos orgánicos aprovechables.

#### 4.6 EL PEÑON

- TIPO: Botadero a cielo abierto
- DESCRIPCIÓN: Tiene recolección semanal pero su disposición final no es la mejor debido a que se utiliza un botadero a cielo abierto.
- UBICACIÓN: Ubicado en la vereda Llano de Vargas a 6 km aproximadamente del casco urbano vía Vereda Cruces.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Se realiza la recolección y disposición el día lunes.
- PRODUCCIÓN: Se considera que la producción de residuos es de 16 Ton/Mes
- USUARIOS: Alrededor de 1000 usuarios representando el 90% de estos el casco urbano.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Se utiliza la volqueta del municipio y un operario para llevar los residuos hasta la disposición final.
- COSTO ANUAL: El costo del proceso es de aproximadamente \$10.000.000.
- OBSERVACIONES: Botadero a cielo abierto causante de problemas paisajísticos, de salud publica y contaminación ambiental.

#### 4.7 FLORIAN

- TIPO: Reciclaje, compostaje y transporte relleno sanitario localidad vecina.
- DESCRIPCIÓN: El servicio de aseo es prestado por la alcaldía municipal, actividad ejecuta por la sección de obras públicas. Se esta reciclando en la fuente, recogida es llevada a la planta donde se selecciona y los sobrantes son llevados al municipio de Chiquinquirá (Boyacá).
- UBICACIÓN: La planta de compostaje se encuentra situada en la vereda centro a 300 mts del casco urbano.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Se realiza la recolección 3 veces por semana: lunes, miércoles y viernes.
- PRODUCCIÓN: Se recogen cinco (5) toneladas semanalmente igual a 20 Ton/mes.
- EQUIPOS: La planta es una construcción nueva con un equipo en condiciones aceptables para su funcionamiento, posee pozo para lixiviados; allí se esta preparando abonos para uso agrícola. Esta avalada por la CAS para su funcionamiento y posee maquinaria para triturado de vidrio y compactación de otros residuos.

#### 4.8 GUAVATA

- TIPO: Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina – Planta compostaje localidad vecina.
- DESCRIPCIÓN: Se separan y reciclan en la fuente. La basura orgánica se recolecta y transporta a la planta de compostaje del municipio de Puente Nacional. La basura muerta se recolecta y transporta a la Ciudad de Bucaramanga. En la actualidad se adelanta la clausura del botadero tradicional y el programa de recuperación ambiental del lugar ubicado en la zona periférica de la localidad.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Día lunes.
- PRODUCCIÓN: Aproximadamente 4 Ton/mes
- USUARIOS: Alrededor de 800 usuarios.

- EQUIPOS Y PERSONAL: Se cuenta con una volqueta para la recolección y la disposición final.
- COSTO ANUAL: Aproximadamente \$13.000.000

#### 4.9 GÚEPSA

- TIPO: Botadero a cielo abierto.
- DESCRIPCIÓN: Son recolectados 2 veces por semana por una empresa de servicios públicos especializada en recolección y disposición final de residuos sólidos. No existe separación en la fuente.
- UBICACIÓN: Ubicado a la salida hacia el municipio de San Benito.
- PRODUCCIÓN: Se producen mensualmente 4.5Ton/mes aproximadamente.
- USUARIOS: Cuenta con unos 2500 usuarios.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Dos operarios y una volqueta.

#### 4.10 JESUS MARIA

- TIPO: Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina.
- DESCRIPCIÓN: Los residuos sólidos domiciliarios son recolectados una vez por semana posteriormente son llevados al Municipio de San Gil, donde son seleccionados y enterrados.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Una vez por semana los días jueves.
- PRODUCCIÓN: Aproximadamente 2,5 Ton/semana = 10 Ton/Semana
- EQUIPOS Y PERSONAL: El Municipio dispone de tres operarios y un vehículo recolector (volqueta).
- COSTO ANUAL: Doce millones de pesos (\$12.000.000) por año aproximadamente.
- OBSERVACIONES: Se realiza separación en la fuente recuperando los orgánicos que se utilizan en el colegio del municipio por parte de los estudiantes para realizar compostaje.

#### 4.11 LA BELLEZA

- TIPO: Botadero a cielo abierto.
- DESCRIPCIÓN: Deficiencia en el proceso de selección. Desconocimiento por parte de la comunidad sobre los factores de riesgo asociados a la incorrecta manipulación, almacenamiento disposición final de basuras. Los sistemas disposición final, no reúnen los requisitos técnicos y sanitarios para su operación.
- UBICACIÓN: Vereda Salían aproximadamente a unos 3km del casco urbano.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Una vez por semana el día miércoles.
- PRODUCCIÓN: Se producen mensualmente unas 5Ton.

#### 4.12 LA PAZ

- TIPO: Botadero a cielo abierto.
- DESCRIPCIÓN: La recolección de los residuos se efectúa por todas las calles, no se realiza separación en la fuente, se realiza la disposición final en un botadero a cielo abierto a 1km.
- UBICACIÓN: Se encuentra ubicado en la vereda centro aproximadamente a 1 Km. del casco urbano.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: La recolección de los residuos se realiza dos veces por semana (martes y viernes)
- PRODUCCIÓN: Se producen 6Ton/mes de residuos sólidos.
- USUARIOS: Aproximadamente 1200 usuarios de la parte urbana.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Un operario y un vehiculo tipo volqueta.

#### 4.13 PUENTE NACIONAL

- TIPO: Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina – Planta de compostaje

- DESCRIPCIÓN: Se realiza la recolección por parte de la empresa EMSERPUNAL para llevarlos a la planta de compostaje ubicada en la vereda Alto Semisa del municipio. Anteriormente existía un relleno sanitario el cual ya cumplió su ciclo.
- UBICACIÓN: Vereda Alto Semisa a 2 km del casco urbano aproximadamente.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Martes, miércoles y viernes.
- PRODUCCIÓN: Se producen mensualmente unas 16Ton entre residuos orgánicos e inorgánicos.
- USUARIOS: Aproximadamente 6000 usuarios.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Planta de compostaje, volqueta y operarios (5).
- COSTO ANUAL: \$25.000.000

#### 4.14 SAN BENITO

- TIPO: Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina
- DESCRIPCIÓN: Se realiza la recolección y disposición final a través de la empresa UNIASER llevándose hasta el municipio de San Gil por medio de la empresa ACUASAN.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Día martes.
- PRODUCCIÓN: Se producen 1.5 Ton/semana = 6 Ton/mes
- USUARIOS: Entre la población urbana y rural que se beneficia aproximadamente unas 1000 personas.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Se cuenta con 3 operarios incluido el conductor de la volqueta del municipio quien realiza la disposición.

#### 4.15 SUCRE

El servicio de aseo y recolección de los residuos sólidos del casco urbano esta a cargo de la alcaldía municipal, con una cobertura del 100% de la totalidad de los predios.

- TIPO: Botadero a Cielo Abierto.

- UBICACIÓN: Ubicado a un (1) kilómetro en la vereda Cúchina.
- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Los residuos sólidos generadas en el sector urbano son recogidos una vez por semana.
- PRODUCCIÓN: Con un volumen aproximado de 7 M<sup>3</sup> de basura, equivalente a 28 M<sup>3</sup> mensuales.
- EQUIPOS: Los desechos son recolectados y transportados en volqueta para su disposición final.
- COSTO ANUAL: \$21.600.000 AÑO
- TARIFAS: El cobro de las tarifas del servicio lo hace la tesorería municipal, no hay distinción por estrato o usuario, para realizar el pago de la tarifa única, la cual es de Cuatro mil pesos (\$4.000) mensuales. Este cobro se hace en la misma factura de los servicios de acueducto y alcantarillado, por lo que los ingresos por este concepto llegan a las arcas de servicio público.
- OBSERVACIONES: En la actualidad el municipio no cuenta con una empresa prestadora de servicios públicos constituida lo que involucra el servicio de aseo, así como su viabilidad económica, ambiental y administrativa. Dentro de las alternativas que la administración municipal contempla es el desarrollo del convenio interadministrativo entre el Municipio de Sucre y el Municipio de Tona, que permita hacer el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, en el relleno sanitario de Berlín (Tona).

#### 4.16 VÉLEZ

- TIPO: Transporte a Relleno Sanitario localidad vecina – Planta compostaje localidad vecina
- DESCRIPCIÓN: Se carece de un sistema de disposición de desechos sólidos. Desconocimiento por parte de la comunidad, sobre los factores de riesgo asociados a la incorrecta manipulación y disposición final de basuras. Los sistemas disposición final, no tiene los requisitos técnicos y

sanitarios para su operación, proliferando en la comunidad la presencia de Vectores que causan enfermedades. La unidad Municipal de servicios públicos domiciliarios, entidad adscrita a la Administración Municipal, es la encargada de: Barrido de vías públicas, aseo y administración casa de mercado y matadero municipal, Recolección domiciliaria de las basuras y su disposición final.

- DIAS DE RECOLECCION Y DISPOSICIÓN: Toda la semana de lunes a viernes.
- PRODUCCIÓN: Veinte toneladas al mes aproximadamente (20Ton/mes)
- USUARIOS: Casi 10000 usuarios.
- EQUIPOS Y PERSONAL: Volqueta y 4 operarios.

## **5. ANALISIS DEL DIAGNOSTICO PROVINCIAL**

El diagnóstico permitió identificar los siguientes aspectos críticos agrupados bajo seis categorías: área institucional, área técnica y operativa, área económico- financiera, área de la salud pública, área del ambiente y área social.

### **5.1 ÁREA INSTITUCIONAL**

#### **5.1.1 Debilidad institucional**

En el núcleo provincial no se reconoce como sector formal al de residuos sólidos, por lo tanto, no ha contado hasta ahora con el desarrollo ni el protagonismo necesarios para que el manejo de los residuos sólidos tenga prioridad. La falta de un organismo rector líder afecta la disponibilidad de recursos, los procesos de información y la cobertura de los servicios.

#### **5.1.2 Operatividad deficiente**

Existe deficiencia administrativa por parte de las autoridades departamentales y nacionales como ente normativo y fiscalizador, y de los gobiernos municipales como operadores. Las limitaciones se deben al centralismo y a la falta de prioridad que tiene el manejo de residuos sólidos, a pesar de que en muchos municipios al aseo urbano le corresponde buena parte del presupuesto.

#### **5.1.3 Falta de planificación**

No existen a largo plazo planes operativos, financieros ni ambientales en relación al manejo de los residuos sólidos, tanto a nivel nacional como a nivel de los organismos ejecutores.

#### 5.1.4 Carencia de sistemas nacionales de información y seguimiento

Esta falta restringe la posibilidad de planificar y de contar con un elemento valioso para la correcta toma de decisiones, la adecuada gestión, la formalización de planes y programas, la jerarquización de actividades, la asignación de recursos y la realización de labores de monitoreo, vigilancia y control.

#### 5.1.5 Incumplimiento de los instrumentos legales

En algunos casos se desconoce la legislación por insuficiente difusión.

#### 5.1.6 Programas a corto, mediano y largo plazo

Pocos municipios los han formulado; se han preparado algunos planes maestros de áreas metropolitanas y ciudades grandes, pero son escasos los implementados. La mayoría de los proyectos piloto tiene solo valor académico y técnico pero son raros los que han permanecido, principalmente por falta de autosostenibilidad económica y financiera.

### 5.2 ÁREA TÉCNICA Y OPERATIVA

#### 5.2.1 Producción promedio de residuos sólidos en el núcleo provincial

Se aprecia que la producción de residuos en el núcleo es aproximadamente entre 4 y 8 Ton/municipio/mes a excepción de los municipios más grandes como el caso de Vélez, Puente Nacional y Barbosa, este último considerando su naturaleza comercial con casi 40Ton/ mes.

#### 5.2.2 Tipo de disposición final encontrada

Se pudo determinar que casi el 44% de los municipios del núcleo provincial de Vélez realizan la disposición final de sus residuos sólidos en una localidad vecina (Municipio de San Gil y Chiquinquirá mayoritariamente) cancelando un costo operativo para entregar los residuos, tratando de no generar

inconvenientes en sus poblaciones respecto a la salud pública y la conservación del medio ambiente debido a que anteriormente en estos municipios se tenían sistemas de botadero a cielo abierto y enterramiento de residuos. Por otra parte se estableció que aun cinco (5) municipios realizan su disposición en botadero a cielo abierto aproximadamente el (31%) de la totalidad de los municipios, encontrándose estos ineficientes sistemas alejados del casco urbano pero damnificando a parte de la población rural. En el caso de municipios como Bolívar y Aguada se determinan sistemas de relleno no tecnificado pues se realiza la disposición pero no se cuenta con tecnología básica para la compactación de los residuos ni para el manejo de los lixiviados encontrándose allí un 12% más que se puede sumar a este mal manejo de los residuos. Y como se puede apreciar únicamente el 13% tiene un sistema de tratamiento que intenta realizar una mejor gestión implementando sistemas controlados de incineración, compostaje, reciclaje pero ninguno con un relleno sanitario manual. En este caso se puede apreciar al municipio de Chipata donde los desechos son transportados para su disposición final así: los residuos orgánicos a la planta de compostaje o a la bodega de reciclaje localizada en la Granja municipal y los residuos inorgánicos al incinerador.

### 5.2.3 Infraestructura

La totalidad de los municipios cuentan con una volqueta para realizar el transporte hacia la respectiva disposición final al igual que personal recolector.

## 5.3 ÁREA ECONÓMICO-FINANCIERA

### 5.3.1 Evaluación de los beneficios económicos

Con excepción de algunos municipios, las autoridades municipales no han identificado los beneficios económicos que traen consigo el adecuado

manejo de los RSM. Al no poder cuantificarlos, las evaluaciones se reducen a valorizar el material recuperado y reciclado, la venta de compost (que aun no tiene mucho comercio), el aumento del valor de los terrenos recuperados por rellenos sanitarios y otros beneficios marginales.

### 5.3.2 Financiamiento del sector

La mayor parte de los recursos financieros provienen de los municipios y de los limitados recursos departamentales. El interés de los organismos internacionales y bilaterales es reciente y generalmente el financiamiento no es exclusivo para proyectos de residuos sólidos. Otro problema es el acceso de estos municipios intermedios y pequeños al crédito internacional y bilateral, y la falta de información contable sobre costos de manejo de residuos sólidos.

### 5.3.3 Tasas y tarifas de aseo

Como fue posible observar, en la mayoría de los municipios o no se cobran o existen tasas y tarifas mínimas por razones políticas, por lo difícil de la cobranza, por falta de educación comunitaria o porque el servicio es de tan baja calidad que los usuarios se niegan a pagarlo. También se establece un régimen tarifario desactualizado que puede empeorar la rentabilidad y eficiencia del sistema.

## 5.4 ÁREA DE LA SALUD

Las poblaciones expuestas a los agentes físicos, químicos y biológicos de los RSM son los trabajadores formales e informales que manipulan residuos; la población no servida; la que vive cerca de los sitios de tratamiento y disposición de los RSM; y la población en general, a través de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, del consumo de carne de animales criados en basureros, y de la exposición a residuos peligrosos. Los principales factores que contribuyen a esta situación

son la poca atención de las autoridades relacionadas con el sector y la deficiente calidad de servicios prestados.

#### 5.5 ÁREA DEL AMBIENTE

El impacto ambiental negativo se presenta en los sitios de disposición final y plantas de tratamiento y recuperación. Este impacto está relacionado con la contaminación de los recursos hídricos; del aire; del suelo; y del paisaje. La protección del ambiente tiene limitaciones de orden institucional, de legislación ambiental, financieros y sobre todo de vigilancia para el cumplimiento de las regulaciones. Por otra parte, las políticas para reducir la generación de residuos municipales, especiales y peligrosos aun no han dado resultados; y la reducción de la peligrosidad de los residuos en la fuente mediante procesos productivos mas limpios, es aun incipiente. Para lograr un desarrollo sostenible, se requiere incrementar la recuperación, reuso y reciclaje, campo en el cual hay algún avance en el núcleo provincial. Pero lo principal para prevenir los impactos negativos al ambiente es mejorar el manejo de RSM y específicamente la disposición final de estos.

#### 5.6 ÁREA SOCIAL Y COMUNITARIA

La participación comunitaria en el manejo de los residuos sólidos es débil porque se considera que el problema compete únicamente a las autoridades municipales, consecuentemente, la actitud respecto al pago del servicio es negativa. La educación de los actores del proceso, autoridades, productores y generadores, y especialmente la comunidad, es parte importante de la gestión integral; siendo el camino correcto para lograr la sustentabilidad de los servicios de aseo urbano.

## **6. PROPUESTA RELLENO SANITARIO MANUAL**

### **6.1 RELLENO SANITARIO MANUAL**

El relleno sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones urbanas y rurales menores de 30,000 habitantes, como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 15 toneladas diarias de basura. Si el costo de transporte lo permite, puede resultar ventajosa la utilización de un mismo relleno sanitario manual para dos o más poblaciones. Mediante la técnica de la operación manual, sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, y excavación de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y método de relleno. En cuanto a los demás trabajos, todos pueden realizarse manualmente, lo cual permite a estas poblaciones de bajos recursos, incapacitadas de adquirir y mantener equipos pesados permanentes, disponer adecuadamente sus basuras y utilizar la mano de obra que en los países en desarrollo es bastante abundante. Se estima que es posible llevar a cabo un relleno sanitario manual hasta llegar a la cantidad de 15 ton/día; sin embargo, se precisa de un análisis minucioso de las condiciones locales de cada región, puesto que según sea el costo de la mano de obra, el tipo de relleno, las condiciones climáticas, etc., tal vez resulte preferible el uso de equipo pesado en el relleno sanitario, ya sea en forma parcial o permanente.

#### **6.1.1 Planificación**

El relleno sanitario manual, aunque es una pequeña obra, no deja de ser un proyecto de ingeniería, en el que gran parte de los problemas potenciales se previenen por medio de una buena planeación desde las etapas iniciales, puesto que de esta manera resulta más sencillo y económico que si se efectúan correcciones en el transcurso de las operaciones. La planeación

inicial desarrollará las bases para las diferentes actividades a cumplir, tales como: selección del sitio; diseño; construcción y operación; y teniendo en cuenta que se debe contar con la información básica sobre la población a servir, la procedencia, calidad y cantidad de desechos sólidos a disponer, los posibles sitios disponibles, el uso futuro del terreno una vez terminado el relleno, los recursos para su financiación y la asesoría de un profesional competente. A pesar de la poca magnitud de esta obra, es importante contar con la asesoría de un ingeniero sanitario con experiencia en el campo del diseño, construcción y operación, sobre todo en las etapas iniciales del proyecto. La planeación inicial deberá incluir un programa de información pública que explique cuáles son los pro y los contra de la implantación del relleno. El apoyo del público es una de las metas que debe procurar cualquier administración local que esté interesada en construir esta obra de saneamiento básico puesto que, sin este apoyo, es muy probable que la misma no pueda llevarse a la práctica. Toda comunidad debe tener presente que un relleno sanitario manual, como cualquier obra, requiere de recursos para su financiación, tanto para los estudios y diseños, como para su construcción, operación y mantenimiento.

#### 6.1.2 Selección del sitio

Para la selección del sitio deberán considerarse, de preferencia, aquellos lugares donde las operaciones del relleno sanitario conduzcan a mejorar el terreno. La selección apropiada del lugar destinado para la construcción del relleno sanitario, eliminará en el futuro muchos problemas operacionales.

##### 6.1.2.1 Participación Comunitaria

###### 6.1.2.1.1 Autoridades locales

En muy pocas ocasiones, un terreno reunirá las condiciones ideales del sitio para la construcción de un relleno sanitario. Por lo tanto, se deben clasificar

aquellos que presenten buenas características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles. Determinación de las áreas adecuadas y disponibles como sitios para el relleno sanitario, tomar la decisión preliminar para la selección del sitio (estableciendo un orden de preferencias), realizar los cálculos respectivos y diseños rápidos de la configuración final de los terrenos y, en lo posible, estimar costos y vida útil; y tomar la decisión final la cual estará supeditada a razones administrativas y políticas, teniendo en cuenta a la opinión pública. Y por último elaborar los cálculos y diseños definitivos del relleno sanitario, evaluando los costos y buscando su financiación para proceder a su ejecución.

#### 6.1.2.1.2 Opinión pública

Las relaciones públicas son las actividades que las autoridades municipales y los técnicos descuidan con mayor frecuencia durante la selección del sitio. Desde el inicio del proceso de selección, el público debe tener la oportunidad de participar, comentar y objetar las propuestas realizadas. En todos los casos, es esencial asegurar el apoyo de los distintos sectores de la comunidad, durante todas las fases de selección, diseño, construcción, operación, mantenimiento, y uso futuro del relleno sanitario. Este aspecto es muy importante dada la confusión que existe por parte de la comunidad, originada por la creencia que un relleno sanitario es un botadero a cielo abierto. Se recomienda entonces efectuar una campaña de educación e información a través de las escuelas y colegios, asociaciones, casa de cultura, clubes, etc., haciendo uso de los medios de comunicación local.

#### 6.1.2.2 Aspectos técnicos

Desde el punto de vista técnico, el ingeniero sanitario debe tener en cuenta los siguientes factores:

#### 6.1.2.2.1 Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Regulador

Para la selección del sitio, es fundamental que se consulte el plan de ordenamiento territorial o plan regulador del municipio, a fin de tener en cuenta la delimitación del perímetro urbano, la tendencia de crecimiento o las zonas de futura expansión.

#### 6.1.2.2.2 Localización

La ubicación del terreno juega un papel importante en la explotación del sistema, por cuanto la distancia y más aún, el tiempo al centro urbano de gravedad (plaza principal) repercute en el costo de transporte de los desechos sólidos, debiéndose propender al uso económico de los vehículos recolectores. Por lo tanto, se recomienda que esté cerca (no más de 30 minutos) de ida y regreso. Además de disminuir los costos de transporte, permite tener una mayor vigilancia y supervisión permanente por parte de la comunidad que estará atenta para que el relleno sanitario sea operado y mantenido en las mejores condiciones posibles. Es de anotar que no existen reglas fijas; mucho dependerá de la disponibilidad de terrenos, de su topografía, la vida útil del relleno, y del número de establecimientos vecinos. Se recomienda que los límites de un relleno, estén trazados a una distancia mayor de 200 metros del área residencial más cercana.

#### 6.1.2.2.3 Vías de acceso

El terreno debe estar cerca a una vía principal, para que su acceso sea fácil y resulte más económico el transporte de los desechos sólidos y la construcción de las vías internas de penetración. Estas deben permitir el ingreso fácil, seguro y rápido a los vehículos recolectores hasta el frente de trabajo en todas las épocas del año.

#### 6.1.2.2.4 Condiciones hidrogeológicas

Además de observar la existencia de nacimientos de agua en el terreno que habrá que drenar bajando su nivel, es necesario evaluar la profundidad el manto freático o aguas subterráneas, dado que es ineludible mantener por lo menos una distancia de 1 a 2 metros entre éstas y los desechos sólidos. Así mismo, es preciso identificar las características del suelo, en cuanto a su permeabilidad y capacidad de absorción.

#### 6.1.2.2.5 Vida útil del terreno

La capacidad del sitio debe ser suficientemente grande para permitir su utilización a largo plazo (más de cinco años), a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación y las obras de infraestructura. Obviamente, todo depende de su disponibilidad.

#### 6.1.2.2.6 Material de cobertura

El terreno debe tener abundante material de cobertura, ser fácil de extraer y, en lo posible, con buen contenido de arcilla por su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes. Cuando sea escaso en el propio sitio, se debe garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, teniendo en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos y los costos de transporte. De no ser así, es preferible desechar el lugar antes del inicio de cualquier trabajo, puesto que se corre el riesgo de convertirlo en un botadero a cielo abierto.

#### 6.1.2.2.7 Conservación de los recursos naturales

El relleno sanitario debe estar lo suficientemente alejado de las fuentes destinadas al abastecimiento de agua. Idealmente, debería estar localizado en un área aislada, de poco valor comercial y bajo potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. En otras palabras, debe estar en condiciones de proteger tanto los recursos naturales como la vida animal y vegetal.

#### 6.1.2.2.8 Condiciones climatológicas

La dirección del viento predominante es importante, debido a las molestias que puede causar tanto en la operación, por el polvo y papeles que se levantan, como por el posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por tanto, la ubicación del relleno sanitario, en lo posible, deberá estar de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él. En caso contrario, deberán preverse algunas medidas para contrarrestar este aspecto, como la siembra de árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno.

#### 6.1.2.2.9 Costos del terreno y de las obras de infraestructura

Antes de proceder a elaborar los cálculos y diseños del relleno sanitario, es necesario conocer los costos del terreno y cuán factible es su adquisición. Además, se debe efectuar una estimación de la inversión necesaria para su adecuación y para la construcción de las obras de infraestructura. En ocasiones, el costo de estas últimas es tan alto que el municipio no tiene los recursos suficientes para su ejecución, por lo que se recomienda buscar otros sitios disponibles.

#### 6.1.2.2.10 Propiedad del terreno

Un proyecto de relleno sanitario debe iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno (generalmente el municipio), tenga en su poder el documento legal que acredite su propiedad sobre el terreno y autorice (Acuerdo Municipal) a construirlo con sus obras complementarias, estipulando también la utilización futura, ya que los posibles usos pueden facilitar algún desarrollo, como por ejemplo, área recreativa o zona de reforestación.

#### 6.1.2.2.11 Uso futuro

En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario se debe tener en mente la probabilidad de su utilización futura, a fin de integrarlo perfectamente al ambiente natural. Una vez terminada su vida útil, el relleno sanitario manual puede ser transformado en un parque, área deportiva, jardín, vivero o en un pequeño bosque.

#### 6.1.2.2.12 Cronograma de Actividades

Actividad	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes
<b>- Gestiones preliminares</b>						
✓ Toma de decisión de autoridades locales						
✓ Programa de educación sanitaria para la población						
✓ Consulta con entidades financieras						
<b>- Identificación del sitio y sus alrededores</b>						
✓ Presentación de alternativas a las autoridades locales						
✓ Selección del sitio y negociación						
✓ Legalización del terreno (saneamiento fiscal)						
✓ Levantamiento topográfico y preparación del plano						
<b>- Estudios y diseño (incluye presupuesto)</b>						
✓ Presentación a las autoridades y comunidad vecina						
✓ Consecución de recursos de crédito para la inversión						
<b>- Preparación del terreno</b>						
✓ Limpieza y desmonte						
✓ Preparación del suelo de soporte						
✓ Corte de taludes						
<b>- Construcción de la infraestructura periférica</b>						
✓ Camino de acceso al terreno						
✓ Drenaje pluvial						
✓ Desvío y aislamiento de eventuales cursos de agua						
<b>- Construcción de la infraestructura del relleno</b>						
✓ Caminos internos						
✓ Drenaje pluvial perimetral e interno						
✓ Drenaje de líquido lixiviado o percolado						
✓ Drenaje de gases						
<b>- Construcciones auxiliares</b>						
✓ Encerramiento perimetral						
✓ Arborización perimetral						
✓ Caseta de control (con instalaciones sanitarias)						
✓ Valla publicitaria o cartel de presentación						
✓ Pozos de monitoreo						
<b>- Clausura del (de los) botadero(s) local(es)</b>						
✓ Exterminio de roedores y artrópodos						
✓ Cubrimiento con tierra y apisonado						
✓ Encerramiento						
✓ Avisos de prensa y cartel de clausura						
<b>- Inicio de la operación del relleno sanitario manual</b>						

Figura 5. Posible cronograma práctico para la orientación y programación de actividades. (Guía OPS)

## 6.2 DISEÑO

### 6.2.1 Información Básica

#### 6.2.1.1 Aspectos demográficos

##### ✓ Población

Es necesario conocer el número de habitantes meta para definir las cantidades de RSM que se van a disponer. Cabe anotar que en la producción de estos residuos se debe discriminar entre la producción rural y la urbana; ya que la primera presentará menos exigencias por ser más bien reducida, si bien la recolección resulta más difícil. En cambio, la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población y desarrollo tecnológico y urbanístico, de ahí que merezca especial atención.

##### ✓ Proyección de la población

Resulta de suma importancia estimar la población futura que tendrá la comunidad por lo menos entre los próximos 5 a 10 años, a fin de calcular la cantidad de RSM que se deberá disponer diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del relleno sanitario. El crecimiento de la población se podrá estimar por métodos matemáticos, o bien vaciando los datos censales en una gráfica y haciendo una “proyección” de la curva dibujada.

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 muestra su cálculo:

$$Pf = Po (1 + r)^n \qquad \text{(Ecuación 1.)}$$

Donde: Pf = Población futura

Po = 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.

#### 6.2.1.2 Generación de RSM en las pequeñas poblaciones

De la generación y composición de los desechos que serán manejados en las pequeñas comunidades, se puede decir que para el cálculo de producción el sector residencial es predominante, siendo las demás actividades tan incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de RSM, salvo los provenientes de los mercados y de los visitantes, cuando existen atractivos turísticos. 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:

$$ppc = \text{DSr en una semana} / \text{Pob} * 7 * \text{Cob} \quad (\text{Ecuación 2.})$$

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

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

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:

Cobertura del servicio (%) = Población atendida (hab)/Población total (hab)

Hay que señalar que también es posible relacionar la cantidad de RSM 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 RSM realizados en algunas poblaciones pequeñas, rurales y áreas marginales en la provincia 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.

✓ Producción Total

El conocimiento de la producción total de RSM permite tomar decisiones sobre el equipo de recolección más adecuado, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad de área para el tratamiento y la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa de aseo.

La producción de RSM está dada por la relación:

$$DSd = Pob \times ppc \quad (\text{Ecuación 3.})$$

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 RSM debe ser estimada con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita. Como ya se mencionó, 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.

#### 6.2.1.3 Características de los RSM en las pequeñas poblaciones

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

##### ✓ Origen o procedencia

Los RSM en las áreas urbanas de las pequeñas poblaciones se pueden clasificar según su procedencia: residencial, comercial, industrial, barrido de vías y áreas públicas, mercado e institucional.

##### ✓ Composición física y química

La composición física de los RSM en el núcleo provincial está caracterizada por su alto porcentaje de materia orgánica (entre 50 y 70% del total de residuos), lo que se traduce en un mayor contenido de humedad con valores que fluctúan entre 35 y 55%; el resto es papel, cartón, vidrio, metales, plásticos y material inerte, entre otros. La composición física de los RSM de estas poblaciones tienen importancia para evaluar la factibilidad de establecer programas de reciclaje y tratamiento, dado que la composición química no reviste mayor atención y que el método de disposición final se realiza a través de la técnica del relleno sanitario, con el que se procurará minimizar la generación de lixiviado.

##### ✓ Densidad

La densidad o el peso volumétrico de los RSM es otro parámetro importante para el diseño del sistema de disposición final de residuos. Se tienen valores de entre 200 y 300 kilogramos por metro cúbico para la basura suelta, es decir, en el recipiente; tales valores son mayores que los que presentan los países industrializados. Para calcular las dimensiones de la celda diaria y el volumen del relleno, se pueden estimar las siguientes densidades:

DISEÑO	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>
• Celda diaria (basura recién compactada manualmente)	400- 500
• Volumen del relleno(basura estabilizada en el relleno)	500-600

*Tabla 1. Densidad de diseño de la celda diaria y del relleno sanitario manual. (Guía OPS)*

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 RSM 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.

#### 6.2.1.4 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. En lo posible, se debe recurrir a los servicios de un geólogo o de otro profesional con conocimientos en estos temas. Los estudios de campo para poblaciones con menos de 5.000 habitantes pueden consistir solo en simples pruebas de percolación y análisis del suelo. A continuación, se hará una breve descripción de los principales parámetros que se deben tener en cuenta en el análisis y la evaluación de cualquier terreno:

✓ 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 (francos 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.

k (cm/s)	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
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								

Tabla 2. Coeficiente de permeabilidad  $k$  (cm/s) (Escala logarítmica - Guía OPS)

✓ 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.

✓ 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.

#### 6.2.1.5 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.

#### 6.2.2 Cálculo del volumen necesario para el relleno sanitario

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.

##### 6.2.2.1 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:

$$V_{\text{DIARIO}} = DC_p / D_{\text{RSM}} \quad (\text{Ecuación 4.})$$

$$V_{\text{ANUAL COMPACTADO}} = V_{\text{DIARIO}} * 365 \quad (\text{Ecuación 5.})$$

Donde:  $V_{\text{DIARIO}}$  = Volumen de RSM por disponer en un día ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$V_{\text{ANUAL COMPACTADO}}$  = Volumen de RSM en un año ( $\text{m}^3/\text{año}$ )

$DC_p$  = Cantidad de RSM producidos ( $\text{kg}/\text{día}$ )

365 = Equivalente a un año (días)

$D_{RSM}$  = Densidad de los RSM recién compactados (400-500 kg/m<sup>3</sup>) y del relleno estabilizado (500-600 kg/m<sup>3</sup>)

#### 6.2.2.2 Volumen del material de cobertura

$$m. c. = V_{ANUAL COMPACTADO} \times (0,20 \text{ ó } 0,25) \quad (\text{Ecuación 6.})$$

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

#### 6.2.2.3 Volumen del relleno sanitario

Con los resultados obtenidos de las formulas anteriores se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, así:

$$V_{RS} = V_{ANUAL ESTABILIZADO} + m. c. \quad (\text{Ecuación 7.})$$

Donde:  $V_{RS}$  = Volumen del relleno sanitario (m<sup>3</sup>/año)

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

Para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil, se tiene la siguiente fórmula:

$$V_{RSVU} = \sum_{i=1}^n \quad (\text{Ecuación 8.})$$

Donde:  $V_{RSVU}$  = Volumen relleno sanitario durante la vida útil (m<sup>3</sup>)

n = Número de años

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

- Cantidad de RSM que se deberá disponer.
- Cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los RSM.
- Profundidad o altura del relleno sanitario.
- Áreas adicionales para obras complementarias.

A partir de la ecuación 7. se pueden estimar las necesidades de área:

$$A_{RS} = V_{RS}/h_{RS} \quad (\text{Ecuación 9.})$$

Donde:  $V_{RS}$  = Volumen de relleno sanitario ( $m^3/año$ )

$A_{RS}$  = Área por rellenar sucesivamente ( $m^2$ )

$h_{RS}$  = Altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

Así el área total requerida será:

$$A_T = F \times A_{RS} \quad (\text{Ecuación 10.})$$

Donde:  $A_T$  = Área total requerida ( $m^2$ )

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.

#### 6.2.4 Diseño de taludes

##### 6.2.4.1 Obras de tierra

Los rellenos sanitarios para residuos urbanos son obras de ingeniería construidas en el suelo y muchas de sus estructuras o partes son ejecutadas

con tierra. Entre las principales obras de un relleno figuran: construcción de terraplenes o diques de contención, construcción de bermas de equilibrio, excavación de trincheras, excavación de canales de drenaje, construcción de accesos en tierra y de capas de tierra compactada para impermeabilización o protección. En las etapas de construcción y operación, uno de los principales aspectos que se debe tener en cuenta para los rellenos sanitarios manuales es la estabilidad de los taludes de tierra y de los terraplenes de basura.

#### 6.2.4.2 Definición de talud

Se denomina talud a la superficie que delimita la explanación lateralmente. En cortes, el talud está comprendido entre el punto de chaflán y el fondo del canal. En terraplenes, el talud está comprendido entre el chaflán (pata del terraplén) y el borde de la berma. La convención usada para definir el talud es en la forma de "S" unidades en sentido horizontal por una unidad en sentido vertical.

#### 6.2.4.3 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.

##### ✓ 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.

#### 6.2.5 Selección del método de relleno

Como ya se mencionó, el diseño del relleno sanitario depende del método adoptado, trinchera, área o su combinación, de acuerdo con las condiciones topográficas del sitio, las características del suelo y la profundidad del nivel freático. El diseño debe presentar de la siguiente manera los planos que orienten la construcción del relleno sanitario:

- ✓ Conformación del terreno original

La conformación del terreno original es obtenida a partir del levantamiento topográfico del sitio donde se construirá el relleno sanitario, y es necesaria para elaborar los cálculos y el diseño de la obra.

- ✓ Configuración inicial del desplante o suelo de soporte

Generalmente, el sitio seleccionado debe ser preparado, tanto para construir las obras de infraestructura necesarias como para brindar una adecuada base de soporte al relleno sanitario y obtener el material de cobertura del propio terreno. Estos cambios se presentan en un plano topográfico a fin de orientar al constructor en el movimiento de tierras.

- ✓ Configuración final del relleno

Es la conformación del terreno una vez que se termine su vida útil. Es importante representarla en un plano topográfico para presentarlos niveles máximos que alcanzará la obra de acuerdo con la visión del proyectista.

✓ Configuraciones parciales del relleno

Las configuraciones parciales del relleno representan el avance de la construcción y sirven de guía al constructor para los controles correspondientes.

#### 6.2.5.1 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 RSM 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:

$$V_z = (t * DSr * m.c.) / D_{rsm} \quad (\text{Ecuación 11.})$$

Donde:  $V_z$  = Volumen de la zanja ( $m^3$ )

t = Tiempo de vida útil (días)

DSr = Cantidad de RSM recolectados (kg/día)

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

$D_{rsm}$  = Densidad de los RSM en el relleno ( $kg/m^3$ )

✓ 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:

$$l = V_z / a * h_z \quad (\text{Ecuación 12.})$$

Donde: l = Largo o longitud de la zanja (m)

$V_z$  = Volumen de la zanja ( $m^3$ )

a = Ancho (m)

$h_z$  = 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.

$$t_{exc} = V_z / R * J \quad (\text{Ecuación 13.})$$

Donde: t = Tiempo de la maquinaria para la excavación de la zanja (días)

$V_z$  = Volumen de la zanja ( $m^3$ )

R = Rendimiento de excavación del equipo pesado ( $m^3$ /hora)

J = Jornada de trabajo diario (horas/día)

✓ Vida útil del terreno

En lo que respecta al método de zanja, una vez calculado su volumen, se supone 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:

$$n = A_t / F * A_z \quad (\text{Ecuación 14.})$$

Donde: n = Número de zanjas

$A_t$  = Área total del terreno ( $m^2$ )

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

$A_z$  = Área de la zanja ( $m^2$ )

Entonces la vida útil estará dada por:

$$V_u = (t_z * n)/365 \quad (\text{Ecuación 15.})$$

Donde:  $V_u$  = Vida útil del terreno (años)

$t_z$  = tiempo de servicio de la zanja (días)

#### 6.2.5.2 Método de área

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

#### 6.2.6 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 y volúmenes de gran extensión (extensos en ambas direcciones).

##### 6.2.6.1 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.

$$\text{Volumen} = d/3 [A_1+A_5+2*A_3+4(A_2+A_4)] \text{ m}^3 \quad (\text{Ecuación 16.})$$

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

$$\text{Volumen} = 1/3 (d/2)[A_1+A_2 + 2(\text{cero})+4M] \quad (\text{Ecuación 17.})$$

$$\text{Volumen} = d/6 [A_1+A_2+4M] \quad (\text{Ecuación 18.})$$

La ecuación 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. 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  $A_1$  y  $A_2$  está dado por:

$$\text{Volumen} = [(A_1 + A_2) * d] / 2 \quad (\text{Ecuación 19.})$$

Donde:  $A_1$  y  $A_2$  = Áreas de las secciones transversales ( $m^2$ )

$d$  = Distancia entre las secciones  $A_1$  y  $A_2$

Esta fórmula será más precisa a medida que  $A_1$  y  $A_2$  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.

#### 6.2.6.2 Volúmenes de gran extensión

##### Método 1. De la retícula

Cuando se trata de hallar el volumen de un terreno de gran extensión y poca profundidad, el trabajo de campo consiste en cubrir el área de la superficie de desplante con una retícula de cuadros y obtener los niveles de sus vértices. El volumen total se puede calcular como la suma de volúmenes de todos los prismoides que tienen como área transversal un cuadro de la retícula y como altura la distancia a la superficie final del relleno. Esta altura estará dada por el promedio de las distancias entre la superficie de la configuración final del relleno y los vértices del cuadrado. Es decir, que si las elevaciones de los vértices de un cuadro son  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  y  $e_4$ , la elevación de superficie final en este punto es  $e_f$ , y el área de cada cuadrado de la retícula es  $A$ . Así, el volumen sería:

$$V_i = A (e_f - (e_1 + e_2 + e_3 + e_4) / 4) \quad (\text{Ecuación 20.})$$

El grado de precisión que se obtenga será mayor mientras más pequeños sean los cuadrados de la retícula.

Método 2. A partir de las curvas de nivel

Consiste en determinar el volumen existente entre los planos horizontales del terreno, para lo cual es necesario calcular las áreas, luego promediarlas y multiplicarlas por la diferencia de altura que las separa. Se parte de la ecuación 19.

$$V = (A_1 + A_2) / 2 \Delta h \quad (\text{Ecuación 21.})$$

Mientras más pequeño es el incremento  $\Delta h$ , mayor será la precisión del método. Además, será más fácil de usar si se tiene el levantamiento topográfico con curvas de nivel cada metro y si se utiliza un planímetro para el cálculo de las áreas. Este es el método más común en el caso de grandes rellenos sanitarios.

Donde:  $V$  = Volumen entre dos curvas de nivel ( $m^3$ )

$A_1$  y  $A_2$  = Áreas de los planos horizontales ( $m^2$ )

$\Delta h$  = Diferencia de altura entre los planos (m)

Por tanto, la capacidad volumétrica del sitio está dada generalmente por la siguiente ecuación:

$$V = (A_1 + A_2) / 2 \Delta h_1 + (A_2 + A_3) / 2 \Delta h_2 + (A_4 + A_5) / 2 \Delta h_3 + \dots \quad (\text{Ecuación 22.})$$

Cuando las áreas tomadas son equidistantes entre sí:

$$V = \Delta h / 2 A_1 + 2 \sum_{2}^{n-1} A_i + A_n \quad (\text{Ecuación 23.})$$

Cuando las curvas de nivel están muy separadas, si se desea obtener cierta precisión al calcular el volumen se puede emplear la fórmula del prismoide. Al aplicar esta fórmula se debe considerar que los planos de las curvas de nivel dividen la depresión en una serie de prismoides. El volumen de cada uno de ellos puede hallarse mediante aplicaciones sucesivas de la regla del

prismoide o, en casos favorables, empleando directamente la regla de Simpson. Al utilizar la fórmula del prismoide se toman las áreas de tres curvas a la vez y la del centro se usa como sección media. La precisión del resultado depende sobre todo de la diferencia de nivel entre las curvas. En general, a menor intervalo, mayor exactitud en el volumen.

#### 6.2.7 Cálculo de la vida útil

El volumen del relleno —o sea, el volumen comprendido entre las configuraciones inicial y final del terreno, calculadas mediante cualquiera de los métodos descritos anteriormente— dará el volumen total disponible.

#### 6.2.8 Diseño del canal interceptor de aguas de esorrentía

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. 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 fórmula:

$$Q_p = K_i * A_d / 3.6 * 10^6 \quad (\text{Ecuación 24.})$$

Donde:  $Q_p$  = Caudal que ingresa o máximo escurrimiento [ $m^3$ /seg]

K = Coeficiente de escurrimiento

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

A<sub>d</sub> = Área de la cuenca [m<sup>2</sup>]

t<sub>c</sub> = 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.

#### 6.2.9 Generación de lixiviado o percolado

##### 6.2.9.1 Cálculo de la 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:

$$Q = 1/t P * A * K \quad (\text{Ecuación 25.})$$

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

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m<sup>2</sup>)

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/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup>, 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 25., 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:

$$Q_{lm} = P * A * K \quad (\text{Ecuación 26.})$$

Donde:  $Q_{lm}$  = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado ( $m^3/mes$ )

$P_m$  = Precipitación máxima mensual ( $mm/mes$ )

$A$  = Área superficial del relleno ( $m^2$ )

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

$l_m = 103 \text{ mm}$

#### 6.2.9.2 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.

#### ✓ Volumen de lixiviado

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:

$$V = Q * t \quad (\text{Ecuación 27.})$$

Donde:  $V$  = Volumen de lixiviado que será almacenado ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado ( $m^3/mes$ )

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

✓ 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.

$$L = V/a \quad \text{(Ecuación 28.)}$$

Donde:  $L$  = Longitud de las zanjas de almacenamiento (m)

$V$  = Volumen de lixiviado que será almacenado durante los periodos de lluvia ( $m^3$ )

$a$  = Área superficial de la zanja ( $m^2$ )

#### 6.2.10 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 se puede 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.

#### 6.2.10.1 Localización de los pozos de monitoreo

Los pozos de monitoreo deberán estar situados como mínimo a unos 10, 20 y 50 m del área del relleno y del drenaje exterior del líquido percolado; con unos 3 ó 4 pozos será suficiente. Para la toma de muestras del agua subterránea, si los mantos freáticos son superficiales (a unos 4 m), estos pozos podrán ser excavados manualmente.

#### 6.2.10.2 Parámetros más representativos para el análisis de aguas y lixiviado

Los análisis de laboratorio de las muestras de aguas subterráneas y superficiales cercanas se pueden hacer intensivos durante los primeros meses y menos frecuentes una vez que se registren valores constantes en los resultados. Se pueden establecer los parámetros para medir la calidad del agua y lixiviado dentro de los más representativos como lo son el pH, la DBO, la DQO, la temperatura, los sólidos entre otros.

#### 6.2.11 Cálculo de la celda diaria

Como se sabe, la celda diaria está conformada básicamente por los RSM 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 RSM 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.

#### 6.2.11.1 Cantidad de RSM 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:

$$DS_{rs} = DS_p \times (7/d_{hab}) \quad (\text{Ecuación 29.})$$

Donde:  $DS_{rs}$  = Cantidad media diaria de RSM en el relleno sanitario (kg/día)

$DS_p$  = Cantidad de RSM producidos por día (kg/día)

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

#### 6.2.11.2 Volumen de la celda diaria

$$V_c = DS_{rs}/D_{rsm} * m.c. \quad (\text{Ecuación 30.})$$

Donde:

$V_c$  = Volumen de la celda diaria ( $m^3$ )

$D_{rsm}$  = Densidad de los RSM recién compactados en el relleno sanitario manual, 400-500  $kg/m^3$

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.

### 6.2.11.3 Dimensiones de la celda diaria

✓ Área de la celda

$$A_c = V \rho / h_c \quad (\text{Ecuación 31.})$$

Donde:  $A_c$  = Área de la celda ( $m^2/día$ )

$h$  = 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)

$$l = A_c / a \quad (\text{Ecuación 32.})$$

$a$  = 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:

$$a = l = \sqrt{A_c} \quad (\text{Ecuación 33.})$$

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 ecuación 31.

#### 6.2.12 Cálculo de la mano de obra

La mano de obra necesaria para conformar la celda diaria depende de:

- La cantidad de RSM que se debe disponer.
- La disponibilidad y el tipo de material de cobertura.
- Los días laborables en el relleno.
- La duración de la jornada diaria.
- Las condiciones del clima.
- La descarga de los residuos en el frente de trabajo según la distancia.
- El rendimiento de los trabajadores.

Para esto es necesario revisar los anteriores aspectos y calcular el nivel de eficiencia y la capacidad de contratar del municipio,

#### 6.2.13 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 rellenados 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.

#### 6.2.14 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.

### 6.3 CONSTRUCCIÓN

Una vez realizado el diseño del relleno sanitario, sigue la ejecución del proyecto. De hecho, un buen diseño no es suficiente si no existe la voluntad político-administrativa para destinar los recursos necesarios a fin de que sea ejecutado debidamente. La buena construcción de un relleno sanitario es de vital importancia en comparación con la de otras obras públicas, debido a la duración de su ejecución y al permanente mantenimiento que requiere. Para planificar la construcción y el avance del relleno sanitario es conveniente contar con una serie de planos, a saber: el del diseño del proyecto, el de la planta general de localización de las obras, el de las modificaciones del terreno (configuración inicial del sitio) y el de los detalles de las obras de infraestructura. También se requieren los de la planta y los perfiles de las zanjas o terraplenes, que indican la forma de excavación de las primeras y la configuración del relleno de las segundas; estos permitirán orientar las configuraciones parcial y final de la obra. Todos estos planos indican la forma de programar el frente de trabajo y su avance, calculando los volúmenes ocupados y las alturas de acuerdo con el diseño.

#### 6.3.1 Método constructivo

El método constructivo de un relleno sanitario manual depende principalmente de la topografía del sitio, aunque también está condicionado por el tipo de suelo y la profundidad del nivel freático. El método de área se emplea en terrenos planos, canteras abandonadas, depresiones y partes

bajas de las cañadas. Las características propias del lugar determinarán si es posible extraer la tierra de cobertura del sitio o si se la debe transportar de lugares cercanos. El método consiste en depositar los residuos sobre la superficie y recostarlos contra el talud del terreno inclinado; luego se los compacta en capas inclinadas para formar la celda que después será cubierta con tierra. Al inicio, las celdas se construyen en un extremo del área que debe ser rellenada y se avanza hasta terminar en el otro extremo. Se suele usar el método de trinchera cuando el nivel de las aguas freáticas es profundo y las pendientes del terreno son suaves; de ahí que las zanjas pueden ser excavadas con equipos de movimiento de tierra. Este método consiste en depositar los residuos en un extremo de la zanja recostándolos contra el talud; ahí los trabajadores los esparcen y compactan en capas con herramientas de albañilería hasta formar una celda que al final de la jornada será cubierta con la tierra extraída de la zanja.

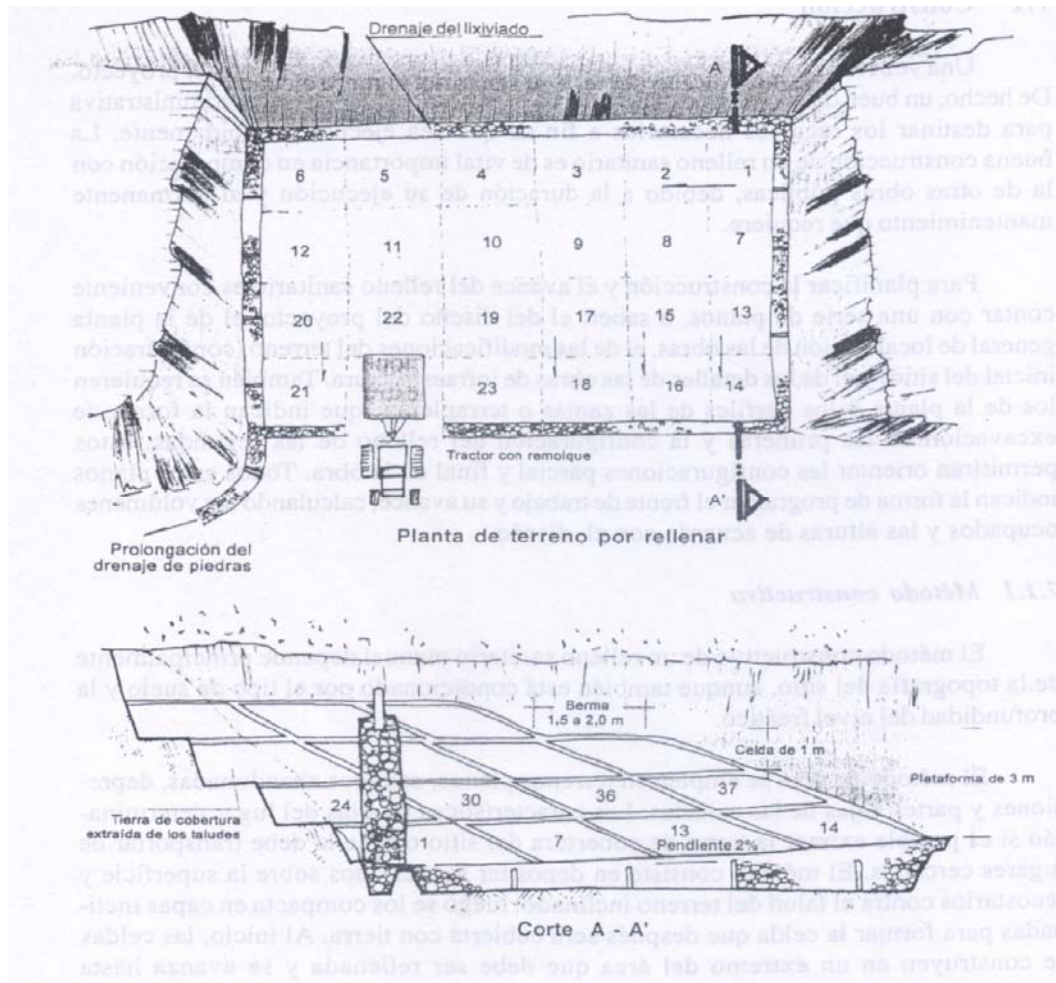


Figura 5. (Localización de las celdas y avance de la construcción del relleno (Guía OPS)

Se emplea el método combinado cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son las adecuadas. Por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa en la parte superior con el de área. Este método es considerado el más eficiente, ya que permite ahorrar el transporte del material de cobertura (siempre y cuando exista en el lugar) y aumentar la vida útil del sitio.

### 6.3.2 Plan de construcción del relleno

La construcción del relleno sanitario debe planearse de manera que se pueda controlar su avance de conformidad con su diseño y uso futuro.

#### 6.3.3 Construcción de terraplenes

Con el propósito de brindarle estabilidad al relleno sanitario manual construido con el método de área, se recomienda la construcción de varias terrazas o terraplenes de tres metros de altura, conformadas por dos o tres celdas de 1,0 a 1,5 metros cada una, respectivamente. Cada terraza corresponderá a una fase de la construcción del relleno. Entre cada terraza se deja una berma o pasillo de 2 a 4 metros de ancho a fin de darle estabilidad a la obra.

#### 6.3.4 Construcción de las celdas

La celda diaria se define como la unidad básica de construcción del relleno sanitario y está constituida por la cantidad de basura que se entierra en un día y por la tierra necesaria para cubrirla.

##### ✓ Dimensiones

Las dimensiones de la celda diaria varían para cada caso y se definen, teóricamente, como un paralelepípedo; su ancho equivale al frente de trabajo necesario para que los vehículos recolectores (en estos casos no suelen ser más de dos) puedan descargar la basura al mismo tiempo. El largo (avance) está definido por la cantidad de basura que llega al relleno en un día y la altura se limita a un metro o metro y medio para lograr una mayor compactación. Con el propósito de ahorrar tierra, se recomienda que la celda sea cuadrada.

##### ✓ Conformación de la celda diaria típica

La basura se descarga en el frente de trabajo; luego los trabajadores la esparcen sobre la superficie de terreno al pie del talud o de las celdas ya

terminadas en capas sucesivas de 0,20 a 0,30 metros; para ello se emplean horquillas (garfios de tres dientes), rastrillos (de ocho o diez dientes) o zapas. A continuación, se nivela la superficie superior y se compacta con el rodillo; de otro lado, las superficies laterales se compactan con pisonos de mano hasta conseguir una superficie uniforme. El esparcimiento y compactación se realizan en capas horizontales o inclinadas con una pendiente de 3:1 ó 2:1 (avance: altura), lo cual proporciona mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra y mejor contención y estabilidad del relleno. Al iniciar la construcción, siempre se le deberá proporcionar contención al relleno apoyando cada celda en el talud del terreno natural o en las paredes de la trinchera durante el avance sobre la celda ya terminada.

#### ✓ Cobertura de la celda

Para concluir la celda, se cubre con una capa de tierra de 0,10 a 0,15 metros, se esparce con ayuda de carretillas de mano, palas y azadón y se compacta con un rodillo y pisonos de mano, siguiendo el mismo procedimiento efectuado con la basura. La cobertura diaria controla la presencia de insectos, roedores y aves, así como las quemaduras, el humo, los malos olores, el ingreso de agua y la basura dispersa. El cubrimiento deberá realizarse todos los días al final de la jornada, después del ingreso de residuos. Al cabo, no deberán quedar RSM al descubierto y menos para el fin de semana. No se debe ser exigente con la calidad del material de cobertura para un relleno sanitario manual; hay que aprovechar la tierra que se encuentre más accesible ya que es muy importante cubrir los desechos. La cantidad del material de cobertura necesario es de un metro cúbico de tierra por cada 4 ó 5 metros cúbicos de RSM; es decir, entre 20 y 25% del volumen de residuos compactados. La cobertura final será de 0,30 a 0,60 metros y se realizará en dos etapas, con capas de 0,15 a 0,30 metros y a intervalos de un mes, todo esto para tratar de cubrir los asentamientos que

se produzcan en la superficie de la primera capa. A continuación se describen algunos procedimientos para el cubrimiento del relleno:

#### Relleno sanitario de área

Si se excava en el propio sitio, los costos de acarreo de tierra para la cobertura son mínimos. Se recomienda extraerla de los taludes del terreno, conformando terrazas para evitar la erosión, al tiempo que se aumenta la capacidad del sitio y alarga su vida útil. También conviene aprovechar la tierra sobrante de las excavaciones de las construcciones en el área urbana. Esto se consigue con una declaración pública para recibir tierra en el relleno o contactando directamente a los constructores de la localidad. El costo del transporte debe estar a cargo de este último. En los periodos de estiaje, se recomienda extraer y acumular tierra para cobertura con un tractor o retroexcavadora; de esta forma, se obtienen mejores rendimientos. La tierra puede ser acumulada en otra celda concluida y de ahí descender a la celda que se está por cerrar. En época de lluvia ocurrirá a la inversa: el material acumulado se pierde por arrastre y se toma más pesado debido a la humedad, lo que dificulta su transporte. En estas circunstancias, lo aconsejable es extraer la cantidad de tierra que sea necesaria para cubrir la celda correspondiente.

#### Relleno sanitario de trinchera

Cuando se trabaja con este método, el material de cobertura está asegurado, ya que proviene de la excavación de la zanja; se recomienda acumularlo a un lado de ella o sobre una trinchera ya rellena.

#### ✓ Compactación

Esta obra de saneamiento básico ha sido concebida para emplear recursos propios de la región y mano de obra poco calificada. Por consiguiente, la conformación de las celdas y la compactación de la basura se harán con

herramientas de albañilería.

Las densidades alcanzadas en el relleno sanitario manual serán relativamente bajas (400-500 kg/m<sup>3</sup>), pero suficientes para los fines propuestos. Entre los mecanismos más importantes que inciden en la compactación de los RSM en un relleno sanitario manual, están los siguientes:

- El tránsito de los vehículos sobre las celdas terminadas; por tanto, debe realizarse con mayor frecuencia en los periodos secos.
- El proceso de descomposición de los RSM debido a su alto contenido de materia orgánica.
- El peso propio de las celdas superiores sobre las inferiores.
- El almacenamiento de material de cobertura sobre las celdas ya terminadas.

## 6.4 OPERACIÓN

### 6.4.1 Plan de operaciones

El relleno sanitario se debe llevar a cabo siguiendo un plan general de operaciones preestablecido o bajo la guía de un manual de operación, el cual debe ser flexible para que el supervisor pueda actuar según su criterio cuando haya que resolver situaciones inesperadas, como cambios de clima o emergencias. La basura y el material de cubrimiento deben ser descargados solo en el frente de trabajo autorizado, y a diferencia de la operación de un relleno convencional, que utiliza equipo pesado, se recomienda que los residuos no se depositen en la parte inferior del talud sino desde la parte superior de la celda ya terminada, a fin de facilitar el trabajo y poder así conformar la nueva celda.

Los siguientes son los pasos para la conformación de las primeras celdas diarias:

- Señalar en el terreno el área que ocupará la primera celda con la basura del día, de acuerdo con las dimensiones estimadas que se basan en el

volumen de ingreso esperado y en el grado de compactación que se obtendrá.

- Descargar la basura en el frente de trabajo, a fin de mantener una sola y estrecha área descubierta durante la jornada y evitar el acarreo a grandes distancias.
- Esparcir la basura en capas delgadas de 0,2 a 0,30 metros y compactada manualmente hasta obtener una altura de celda que mida entre 1 y 1,5 metros, procurando una pendiente suave en los taludes exteriores (por cada metro vertical se avanza horizontalmente 2 ó 3 metros).
- Cubrir por completo la basura compactada con una capa de tierra de 0,1 a 0,15 metros de espesor cuando la celda haya alcanzado la altura máxima.
- Compactar la celda hasta obtener una superficie uniforme al final de la jornada.

Una vez completada la primera celda, la segunda podrá ser construida de inmediato al lado o sobre la primera, siguiendo siempre el plan de construcción del relleno sanitario. En los periodos secos se recomienda que los vehículos transiten por encima de las celdas terminadas para darles una mayor compactación.

#### 6.4.2 Personal (mano de obra)

El trabajo en el relleno sanitario puede ser hecho por obreros del municipio o por una pequeña firma de construcción (cooperativa de trabajadores) contratada para tal fin; el número de trabajadores necesarios depende de la cantidad de RSM que se debe enterrar, de las condiciones del clima y del método de operación del relleno. Es necesario contar con un responsable o supervisor que posea los conocimientos necesarios para la operación y el control del relleno. Es importante capacitar a todos los trabajadores del servicio de aseo en las prácticas de construcción, operación y mantenimiento

del relleno sanitario, así como en todo el proceso de manejo de RSM, destacando la importancia de cada actividad y el papel que deben desempeñar para lograr un buen trabajo.

#### 6.4.3 Supervisión

Uno de los elementos más importantes en el relleno sanitario es el jefe o supervisor, quien debe organizar, dirigir y controlar las operaciones; de ahí que deba contar con el pleno respaldo de la administración municipal. Si el relleno sanitario manual no tiene una buena administración y supervisión, suficientes recursos económicos y un adecuado mantenimiento técnico, se convertirá en un botadero de basura a cielo abierto.

#### 6.4.4 Herramientas de trabajo

El equipo para operar un relleno sanitario manual se reduce a una serie de herramientas o utensilios de albañilería, tales como: carretillas de llanta neumática, palas, picos, azadones, barras, tijeras, pisones de madera, horquillas o rastrillos, zapas y un rodillo compactador. La cantidad de estas herramientas está en función del número de trabajadores, y el de estos, a su vez, depende de la cantidad de RSM que se debe enterrar en el relleno.

## 7. CONCLUSIONES

- El relleno sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones urbanas y rurales menores de 30,000 habitantes, como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 15 toneladas diarias de basura. Si el costo de transporte lo permite, puede resultar ventajosa la utilización de un mismo relleno sanitario manual para dos o más poblaciones, en varios de los casos del núcleo provincial se podría estudiar esta medida ya que en localidades cercanas se lograría buscar la sociedad como por ejemplo: Güepsa y San Benito, Jesús María y Puente Nacional, Florián y La Belleza entre otros.
- Se pudo determinar que casi el 44% de los municipios del núcleo provincial de Vélez realizan la disposición final de sus residuos sólidos en una localidad vecina (Municipio de San Gil y Chiquinquirá mayoritariamente) cancelando un costo operativo para entregar los residuos, tratando de no generar inconvenientes en sus poblaciones respecto a la salud pública y la conservación del medio ambiente debido a que anteriormente en estos municipios se tenían sistemas de botadero a cielo abierto y enterramiento de residuos. Por otra parte se estableció que aun cinco (5) municipios realizan su disposición en botadero a cielo abierto aproximadamente el (31%) de la totalidad de los municipios, encontrándose estos ineficientes sistemas alejados del casco urbano pero dañificando a parte de la población rural. En el caso de municipios como Bolívar y Aguada se determinan sistemas de relleno no tecnificado pues se realiza la disposición pero no se cuenta con tecnología básica para la compactación de los residuos ni para el manejo de los lixiviados encontrándose allí un 12% más que se puede sumar a este mal manejo de los residuos. Y como se puede apreciar únicamente el 13% tiene un

sistema de tratamiento que intenta realizar una mejor gestión implementando sistemas controlados de incineración, compostaje, reciclaje pero ninguno con un relleno sanitario manual. En este caso se puede apreciar al municipio de Chipata donde los desechos son transportados para su disposición final así: los residuos orgánicos a la planta de compostaje o a la bodega de reciclaje localizada en la Granja municipal y los residuos inorgánicos al incinerador.

- En el núcleo provincial no se reconoce como sector formal al de residuos sólidos, por lo tanto, no ha contado hasta ahora con el desarrollo ni el protagonismo necesarios para que el manejo de los residuos sólidos tenga prioridad. La falta de un organismo rector líder afecta la disponibilidad de recursos, los procesos de información y la cobertura de los servicios.
- La participación comunitaria en el manejo de los residuos sólidos es débil porque se considera que el problema compete únicamente a las autoridades municipales, consecuentemente, la actitud respecto al pago del servicio es negativa. La educación de los actores del proceso, autoridades, productores y generadores, y especialmente la comunidad, es parte importante de la gestión integral; siendo el camino correcto para lograr la sustentabilidad de los servicios de aseo urbano.

## BIBLIOGRAFIA

- ☺ Guía de Aprendizaje Interactiva Multimedia, del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Municipales, UNICEF Colombia, Sena, Superintendencia de Servicios públicos y Domiciliarios, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Desarrollo , Embajada de Países Bajos, Comisión de regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000.
  
- ☺ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2000. Resolución 1096 de 2000 Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). 2000. Bogotá D.C.
  
- ☺ Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, 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.
  
- ☺ Kiely Gerard. Ingeniería Ambiental, fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión, volumen II, Mc Graw Hill, Aravaca Madrid, 1999.

## ANEXOS

### ANEXO 1. GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

MUNICIPIO \_\_\_\_\_ ÁREA \_\_\_\_\_

Cuenta con PGIR NO \_\_\_ SI \_\_\_\_\_ Fecha Aprobación \_\_\_\_\_

#### Generación, Recolección, Transporte y Disposición Final

	Cantidad	Unidades
Generación per cápita de RRSS		Kg/hab/día
Cantidad de residuos domésticos generados		ton/día
Cantidad de residuos domésticos recolectados		ton/día
Cantidad de residuos de mercados, hoteles y restaurantes recolectados		ton/día
Cantidad de residuos de barrido, jardinería y desmonte recolectados		ton/día
Cantidad de residuos hospitalarios generados		ton/día
Cantidad de residuos industriales generados		ton/día
Cantidad de residuos transportados a planta de transferencia (Si existe dicha Planta)		ton/día
Cantidad de residuos recepcionados en el botadero o relleno sanitario		ton/día o ton/semana

#### Personal en limpieza publica

	Cantidad	Unidades
Funcionarios y administrativos		personas
Cantidad total de barredores		personas
Cantidad total de personal en recolección		personas
Otros.		personas

#### Maquinaria y equipos

	Cantidad	Unidades
Número de camiones utilizados para recolección		unidades
Capacidad promedio de los camiones		Toneladas
Antigüedad promedio de los camiones		años

#### Disposición Final

Tipo de Disposición	Ubicación	Cantidad	Unidades
Disposición en Relleno Sanitario(*)			
			Ton/día
Disposición en Botaderos (*)			Ton/día
	a.		Ton/día
	B		Ton/día

Reciclaje

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Cantidad de materia orgánica reciclada		Ton/día
Cantidad de materia inorgánica reciclada		Ton/día
Generación de Compost		Ton/mes
Generación de Humus		Ton/mes

Presupuesto

	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Egresos del Municipio por limpieza urbana y disposición final		Pesos/año
Tarifas a los usuarios por el servicio		Pesos/año