



**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA  
VICEMINISTERIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO**



# **Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios**

**1era Versión  
Diciembre/2010**

## ÍNDICE

### Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios

#### **Propósito de la Guía**

#### **Capítulo 1: Importancia de un Buen Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos?**

- 1.1 Efecto del manejo inadecuado de los residuos sólidos en la salud de la Población
  - 1.1.1 Riesgos Directos a la Salud de la Población.
  - 1.1.2 Riesgos Indirectos a la salud de la Población.
- 1.2 Efectos del manejo inadecuado de los Residuos Sólidos en el Medio Ambiente.
- 1.3 Situación del Manejo de los residuos sólidos en Bolivia
- 1.4 Responsabilidad de los Gobiernos Municipales

#### **Capítulo 2: Relleno Sanitario**

- 2.1 Relleno sanitario Manual.
- 2.2 Relleno sanitario Mecanizado.
- 2.3 Métodos de Construcción del Relleno Sanitario
  - 2.3.1 Método de trinchera.
  - 2.3.2 Método de Área.
- 2.4 Consideraciones preliminares para la ubicación del sitio del relleno sanitario
  - 2.4.1 Determinación del área requerida para el relleno sanitario.
    - 2.4.1.1 Área para relleno sanitario manual.
    - 2.4.1.2 Área para relleno sanitario mecanizado.
    - 2.4.1.3 Área para infraestructura auxiliar

#### **Capítulo 3: Selección del sitio más adecuado para el emplazamiento del relleno sanitario.**

- 3.1 Componentes a tomar en cuenta
  - 3.1.1 Factores ambientales
  - 3.1.2 Factores técnicos
  - 3.1.3 Factores económicos
  - 3.1.4 Factores Sociales

#### **Capítulo 4: Consideraciones para Diseño del Relleno Sanitario**

- 4.1 Estudios y análisis previos en el sitio de emplazamiento del Relleno Sanitario.
  - 4.1.1 Estudio topográfico
  - 4.1.2 Estudio Geotécnico
  - 4.1.3 Estimación de la Generación de lixiviados

**Capítulo 5: Diseño propio del relleno sanitario.**

**5.1. Construcción de Obras Preliminares**

- 5.1.1 Limpieza del área del relleno sanitario.
- 5.1.2 Drenaje pluvial
- 5.1.3 Área de amortiguamiento
- 5.1.4 Vías de circulación

**5.2 Selección del Método de Operación**

**5.3 Preparación de la Capa Base del Relleno Sanitario**

- 5.3.1 Preparación de la Capa base del relleno sanitario cuando existe Barrera natural o barrera geológica
- 5.3.2 Preparación de la Capa base del relleno sanitario cuando NO existe Barrera natural o barrera geológica
  - 5.3.2.1 Detalles de la Capa de Plástico
  - 5.3.2.2 Colocación de la capa de plástico
- 5.3.3 Recomendaciones para Rellenos Manuales y de escasos recursos:

**5.4 Sistema de drenaje de Lixiviados**

- 5.4.1 Sistema interno en las celdas del Relleno sanitario
  - 5.4.1.1 Drenaje de Grava
  - 5.4.1.2 Drenaje con tubería de PVC
- 5.4.2 Sistema externo de captación y conducción de lixiviados a tratamiento
- 5.4.3 Sistemas de tratamiento de lixiviados para rellenos manuales y mecanizados

**5.5 Sistema de Tratamiento de los lixiviados generados**

**5.6 Sistema de Manejo de Gases Generados en el Relleno Sanitario**

- 5.6.1 Sistema de Drenaje Pasivo para Gases del Relleno Sanitario.
  - 5.6.1.1 Construcción de las chimeneas Relleno Sanitario Manual
  - 5.6.1.2 Construcción de las chimeneas Relleno Sanitario Mecanizado
  - 5.6.1.3 Quema de los gases Orgánicos producidos en el relleno sanitario.

**5.7 Obras complementarias**

- 5.7.1 Obras complementarias rellenos manuales
  - 5.7.1.1 Cerca perimetral y cerco vivo de arboles
  - 5.7.1.2 Caseta de vigilancia
- 5.7.2 Obras Complementarias rellenos mecanizados
  - 5.7.2.1 Cerca perimetral y cerco vivo de arboles
  - 5.7.2.2 Caseta de vigilancia
  - 5.7.2.3 Caseta de pesaje y báscula
  - 5.7.2.4 Caminos
  - 5.7.2.5 Almacén, cobertizo y mantenimiento
  - 5.7.2.6 Servicios sanitarios
  - 5.7.2.7 Taller de mantenimiento
  - 5.7.2.8 Área administrativa y servicios de primeros auxilios.
  - 5.7.2.9 Pozos de monitoreo

## **Capítulo 6: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL RELLENO SANITARIO**

### *6.1 Recursos Técnicos y Humanos.*

*6.1.1. Calculo del Personal Necesario*

*6.1.2 Requerimiento de Herramientas, Equipos y Maquinaria Necesaria.*

*6.1.3 materiales para Mantenimiento y Operación.*

*6.1.3.1 Construcción de Chimeneas.*

*6.1.3.2 Cubierta diaria de la celda.*

*6.1.3.3 Equipos de Protección Personal (EPP).*

### *6.2 Plan de Operación*

*6.2.1 Planificación de orden en construcción de celdas.*

*6.2.2 Ingreso de los Residuos Sólidos y registro.*

*6.2.3 Descarga, colocación, compactación y cubierta de residuos sólidos.*

*6.2.3.1 Para Rellenos Manuales.*

*6.2.3.2 Para Relleno Mecanizados.*

*6.2.4 Conclusión de una celda o modulo de trabajo.*

### *6.3 Monitoreo y control*

*6.3.1 Monitoreo a la descarga, colocación y cubierta de los residuos.*

*6.3.2 Monitoreo de drenes y tratamiento de lixiviados.*

*6.3.3 Monitoreo de tratamiento de Gases.*

*6.3.4 Monitoreo de las aguas superficiales y subterráneas.*

## **Capítulo 7: CIERRE DEL RELLENO SANITARIO.**

### *7.1 Infraestructura y Equipamiento.*

#### *7.2 Controles posteriores al cierre del relleno sanitario.*

*7.2.1 Mantenimiento de vías de acceso y circulación interna.*

*7.2.2. Mantenimiento de la capa de cobertura cuando existen agrietamientos.*

*7.2.3 Limpieza y mantenimiento de drenajes y sistemas de captación y tratamiento de lixiviados.*

*7.2.4 Mantenimiento de chimeneas y quema de gas.*

*7.2.5 Mantenimiento de cerco perimetral y protón de ingreso.*

#### *7.3 Reforestación del las celdas antiguas y estabilizadas.*

#### *7.4 Realizar monitoreo de aguas subterráneas, superficiales.*

### **Bibliografía Consultada**

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

- Cuadro 1: Riesgos Indirectos del Manejo Inadecuado de los Residuos Sólidos  
Cuadro 2: Situación Actual de Ciudades Capitales de Bolivia  
Cuadro 3: Comparación de las Características de un Relleno Sanitario Manual y Mecanizado  
Cuadro 4: Datos Básicos Requeridos por el Municipio  
Cuadro 5: Generación Acumulada de Residuos Sólidos en el Municipio  
Cuadro 6: Disminución de la Densidad de los Residuos Sólidos al Interior del Relleno Sanitario  
Cuadro 7: Calculo de la Generación de Lixiviado por la Humedad Propia de los Residuos Sólidos  
Cuadro 8: Cuadro de Selección de Método de Trabajo  
Cuadro 9: Parámetros Importantes para la Capa Mineral de Base.  
Cuadro 10: Número Aproximado de Personal Necesario para el Manejo de un Relleno Sanitario  
Cuadro 11: Rendimiento de los Obreros en Relleno Manual  
Cuadro 12: Herramientas Mínimas Requeridas para el Relleno Sanitario Manual  
Cuadro 13: Equipamiento Requerido para el Relleno Mecanizado  
Cuadro 14: Actividades para la Cubierta Final  
Cuadro 15: Parámetros a Monitorear en Aguas Superficiales y Subterráneas  
Cuadro 16: Parámetros a monitorear en la etapa de post clausura de un relleno sanitario  
Figura 1.1: Contaminación de Fuentes de Agua con Residuos sólidos  
Figura 1.2: Contaminación del Aire por Residuos Sólidos  
Figura 1.3: Contaminación del Suelo por los Residuos Sólidos  
Figura 2.1: Componentes del Relleno Sanitario  
Figura 2.2: Relleno Sanitario Manual  
Figura 2.3: Relleno Sanitario Mecanizado  
Figura 2.4: Método de Trinchera para Relleno Mecanizado  
Figura 2.5: Método de Trinchera para Relleno Manual  
Figura 2.6: Método de Área Relleno Mecanizado  
Figura 2.7: Método de Área Relleno Manual  
Figura 4.1: Balance Hídrico en un Relleno Sanitario  
Figura 5.1: Drenaje para Aguas Pluviales (zanja de coronamiento para el relleno sanitario)  
Figura 5.2: Recomendaciones para el Metodo de Trabajo Seleccionado  
Figura 5.3: Forma Adecuada para Soldadura de laminas de PEHD  
Figura 5.4: Reemplazó del Geotextil o Tela de Ingeniería  
Figura 5.5: Sistema de Drenaje Interno para Lixiviados  
Figura 5.6: Construcción de Drenaje Interno para Lixiviados con Grava  
Figura 5.7: Sistema de Drenaje Interno para Lixiviados con Tubería de PVC  
Figura 5.8: Captación y Conducción Adecuada de Lixiviados  
Figura 5.9: Drenaje del Relleno Sanitario  
Figura 5.10: Almacenamiento de Lixiviados en Piscinas Impermeabilizadas  
Figura 5.11: Elaboración de Mezclas Terreas con lixiviados  
Figura 5.12: Sistema de Tratamiento con Filtro y Laguna de Oxidación

Figura 5.13: Forma de Construcción de las Chimeneas en Rellenos Manuales

Figura 5.14: Detalles del Sistema de Dren para Gas de Relleno Sanitario

Figura 5.15: Colocación de Tubo Perforado

Figura 5.16: Cerca Típica y Cortina Arbórea del Relleno Sanitario

Figura 6.1: Ropa de Trabajo

Figura 6.2: Planificación de los Módulos del Relleno Sanitario

Figura 6.3: Operación en Rellenos Manuales

Figura 7.1: Cortina Arbórea o Barrera Vegetal para el Relleno Sanitario

Diagrama 1: Construcción de la Capa Base con Barrera Natural

Diagrama 2: Construcción de la Capa Base Cuando NO hay Barrera Natural

Diagrama 3: Forma de Trabajo para Relleno Sanitario Manual Método de Trinchera

Diagrama 4: Forma de Trabajo para Relleno Sanitario Manual Método de Área

Diagrama 5: Forma de Trabajo para Rellenos mecanizados en la celda diaria

Diagrama 6: Cierre de Modulo de Trabajo en Relleno Manual

Diagrama 7: Cierre de Modulo de Trabajo en Relleno Mecanizado

Anexo 1: Cálculo de Área Requerida para un Relleno Sanitario.

Anexo 2: Selección de Sitios para Emplazamiento de Rellenos Sanitarios Manuales y Mecanizados.

Anexo 3: Estimación de la Generación de Lixiviado en Relleno Sanitario

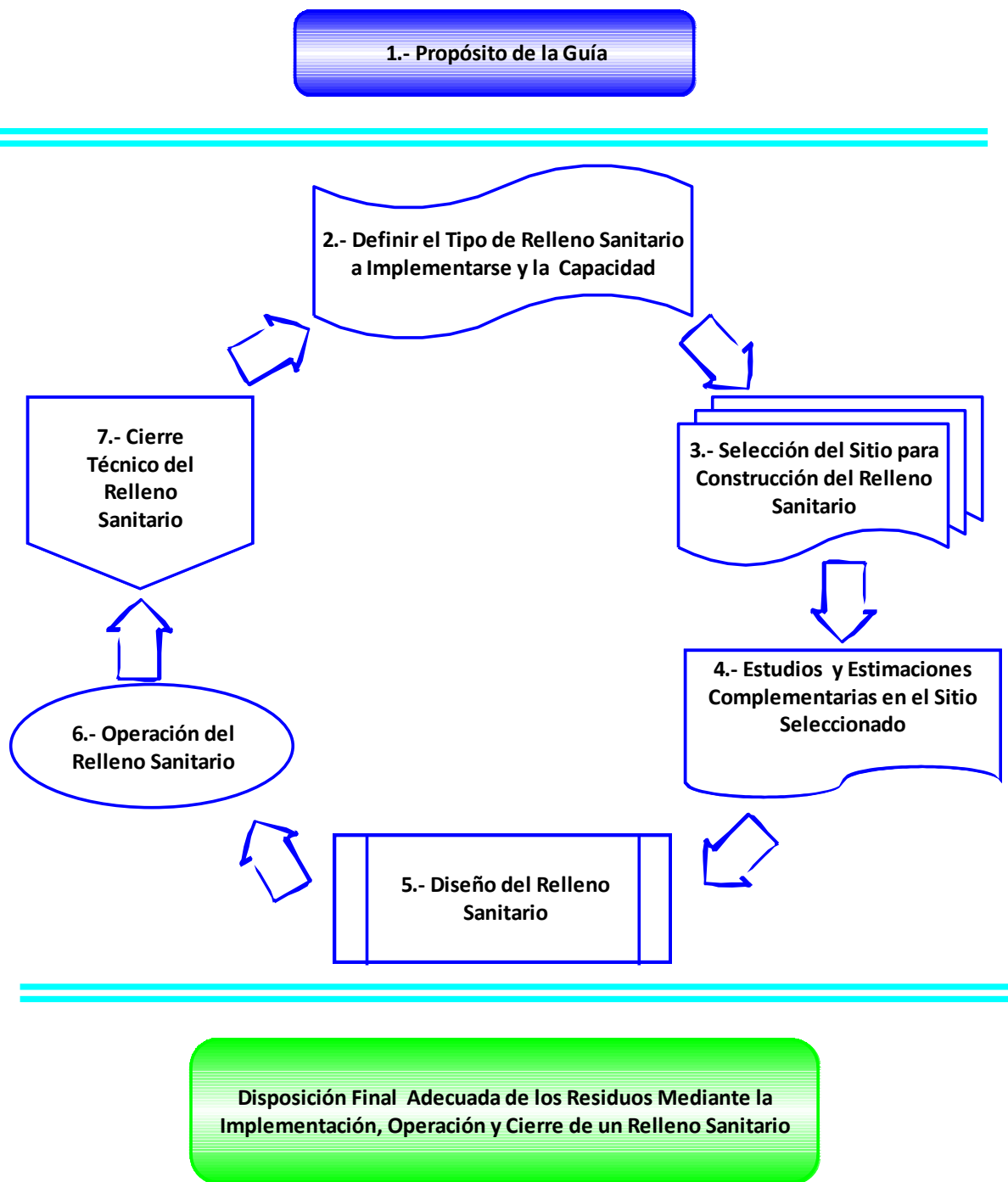
## PROPÓSITO DE LA GUÍA

El propósito de la presente Guía es proveer criterios estándar mediante un instrumento técnico y ambiental con ilustraciones y textos claros y sencillos, que orienten a los municipios a realizar en forma adecuada, la localización, el diseño, la construcción, la operación y el cierre de los rellenos sanitarios municipales, cuya aplicación garantiza la prevención y mitigación de los impactos ambientales.

### Organización de la Guía:

- En el capítulo 1 se identifican los problemas macros ocasionados por el mal manejo de los residuos sólidos a nivel nacional, enfocándose a la importancia de concretar la presente guía.
- En el capítulo 2 se describen conceptos generales y técnicos de un relleno sanitario, la infraestructura que se requiere y las metodologías de trabajo en las fases de construcción, operación y cierre.
- En el capítulo 3 se presenta la metodología para la ubicación de posibles sitios para el emplazamiento de un relleno sanitario y la metodología para seleccionar el mejor sitio desde varios puntos de vista tanto técnicos, ambientales, sociales y económicos.
- En el capítulo 4 se identifican los estudios complementarios que se deberán realizar en el sitio seleccionado, de forma de trabajar con el método más adecuado de disposición final de residuos sólidos y contar con las herramientas para el diseño propio de relleno sanitario.
- En el capítulo 5 Se establecen los elementos constructivos de un relleno sanitario, incluyendo la construcción de obras preliminares, preparación de la capa base del relleno sanitario, manejo de lixiviados, manejo de la generación de gases y obras complementarias.
- En el capítulo 6 Se determinan los recursos técnicos y humanos necesarios para el buen funcionamiento del relleno sanitario, así mismo se presenta un plan de operación y el monitoreo ambiental a que debe estar sujeto el relleno sanitario.
- En el Capítulo 7 se describe los procedimientos adecuados para el cierre del relleno sanitario, las actividades de control y monitoreo que se deben cumplir en la etapa de post cierre.

## DIAGRAMA DE LA GUIA





## **CAPITULO 1: IMPORTANCIA Y PROPÓSITO DE LA GUÍA**

La situación del manejo de residuos sólidos en Bolivia, por lo general es de carácter precario, se encuentra en un estado crítico desde los sistemas de recolección de los residuos sólidos hasta los sitios de disposición final, presentándose conflictos sociales en todos los departamentos por la contaminación que generan los sitios de disposición final de residuos sólidos. En la actualidad de acuerdo al diagnóstico en la gestión integral de los residuos sólidos realizado a nivel nacional, en la mayoría de los municipios los residuos se acumulan en botaderos a cielo abierto, en terrenos baldíos, las calles, quebradas o simplemente se queman a cielo abierto sin control.

### **1.1 Efecto del manejo inadecuado de los residuos sólidos en la salud de la Población**

El manejo inadecuado de los residuos sólidos tiene un impacto negativo en la salud de la población, en los ecosistemas y en la calidad de vida. Los impactos directos sobre la salud afectan principalmente a los recolectores y segregadores formales e informales, así mismo los impactos indirectos afectan a la salud de toda la población.

Algunos impactos indirectos se deben a que los residuos en sí y los estancamientos que causan cuando se acumulan en zanjas y en drenes, se transforman en reservorios de insectos, roedores y otros vectores. Estos vectores son causantes de diversas enfermedades como el dengue, el parasitismo y las infecciones de la piel. Además, la quema de basura a cielo abierto, en el campo y en los botaderos aumentan los factores de riesgo de las enfermedades relacionadas con las vías respiratorias, incluido el cáncer y deterioran el valor estético de los lugares y de los paisajes.

Los impactos al ambiente son la contaminación de los recursos hídricos tanto superficiales y subterráneos, del aire, del suelo, de los diferentes ecosistemas y el deterioro del paisaje.

Para comprender con mayor claridad los efectos del manejo inadecuado de los residuos sólidos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos.





#### **1.1.1 Riesgos Directos a la Salud de la Población.**

Estos riesgos son ocasionados por el contacto directo con la basura, que a veces contiene excrementos humanos y de animales; las personas más expuestas son los recolectores del servicio de aseo, debido a la manipulación de recipientes inadecuados para el almacenamiento de los desechos, al uso de equipos inapropiados y por carecer de ropa limpia, guantes y zapatos de seguridad. En peores condiciones se encuentran los segregadores, cuya actividad de separación y selección de materiales es realizada en las peores condiciones y sin la más mínima protección. Además, experimentan tasas más altas de lesiones que los recolectores de la Empresa de Aseo; estas lesiones se presentan en las manos y en los pies, así como también lastimaduras en la espalda, hernias, heridas, enfermedades respiratorias y en la piel, entre otras.

#### **1.1.2 Riesgos Indirectos a la salud de la Población.**

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

**Cuadro 1: Riesgos Indirectos del Manejo Inadecuado de los Residuos Sólidos**

VECTORES	FORMAS DE TRASMISIÓN	PRINCIPALES ENFERMEDADES	IMAGEN DE VECTOR
Ratas	Mordisco, Orina y heces	Peste bubónica	
	Pulgas	Tifus Leptospirosis	
Moscas	Vía mecánica (Alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Amibiasis Disentería Giardias	
Mosquitos	Picadura del mosquito	Malaria Leishmaniosis Fiebre Amarilla Dengue Filariosis	
Cucarachas	Vía mecánica (Alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea Cólera Giardiasis	
Cerdos	Ingestión de carne contaminada	Cisticercosis Toxoplasmosis Triquinosis Teniasis	

**1.2 Efectos del manejo inadecuado de los Residuos Sólidos en el Medio Ambiente.**

**Contaminación del Agua.-** La descarga de basura en corrientes de aguas superficiales, incrementa la carga orgánica y disminuye el oxígeno disuelto; aumenta los nutrientes y algas que dan lugar a la eutrofización en los lagos y lagunas que son alimentadas por estas aguas superficiales; causando la muerte de peces; genera malos olores y deteriora su aspecto estético, así mismo se produce contaminación en las aguas subterráneas por los líquidos percolados (lixiviados) de los botaderos a cielo abierto.

**Figura 1.1: Contaminación de Fuentes de Agua con Residuos Sólidos**



**Contaminación del Aire.-** En los botaderos a cielo abierto es evidente el impacto negativo causado por los desechos, debido a los incendios y humos que reducen la visibilidad y son causa de irritaciones nasales y de la vista, así como de incremento en las afecciones pulmonares, además de las molestias originadas por los malos olores, generación de moscas y mosquitos.

**Figura 1.2: Contaminación del Aire por Residuos Sólidos**



**Contaminación del Suelo.-** Deterioro estético y desvalorización tanto del terreno como de las áreas vecinas, por el abandono y acumulación de los desechos sólidos a cielo abierto. Por otro lado, se contamina el suelo debido a las distintas sustancias depositadas allí, sin ningún control.

**Figura 1.3: Contaminación del Suelo por los Residuos Sólidos**



### **1.3 Situación del Manejo de los residuos sólidos en Bolivia**

El diagnóstico de la Gestión Integral de los residuos sólidos a nivel nacional evidenció el inadecuado manejo de los residuos sólidos en la mayoría de los Municipios, los siguientes cuadros son representativos de la situación actual de la disposición final que se realiza con los residuos sólidos tanto en ciudades capitales como en municipios del área rural.

Cuadro de ciudades capitales con la siguiente Información: Producción per cápita de generación de residuos, Producción Acumulada de un año, método de disposición final y observaciones al sitio de disposición final.

Cuadro de Municipios representativos de cada Departamento con la siguiente información: Producción per cápita de generación de residuos, Producción Acumulada de un año, método de disposición final y observaciones al sitio de disposición final

#### **1.4 Responsabilidad de los Gobiernos Municipales**

El buen manejo de los residuos sólidos es responsabilidad de todos. Sin embargo, por las leyes establecidas en nuestro País (Ley 1333, Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, Ley de Autonomías y la Ley 2028 de Municipalidades), una vez que los residuos sólidos son descartados por el generador, pasan a ser responsabilidad de los gobiernos municipales. La responsabilidad de los gobiernos municipios es de organizar y manejar el sistema de aseo público, incluida la provisión de infraestructura para el servicio desde la recolección hasta la disposición final de los residuos sólidos. A pesar de esta responsabilidad, los gobiernos municipales suelen carecer tanto de recursos financieros como de personal técnico capacitado en técnicas del manejo de los residuos sólidos, lo que les impide tomar decisiones acertadas para desarrollar mejores sistemas de disposición final.

## CAPITULO 2: RELLENO SANITARIO

La “Asociación Americana de Ingeniería Civil - ASCE” nos ofrece una correcta definición e indica la metodología constructiva básica en la misma.

“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 la seguridad pública; tampoco perjudica al medio ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo, este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor superficie posible, reduciendo su volumen por compactación al mínimo practicable, cubriéndola con capas de tierra diariamente. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica”.

Figura 2.1: Componentes del Relleno Sanitario



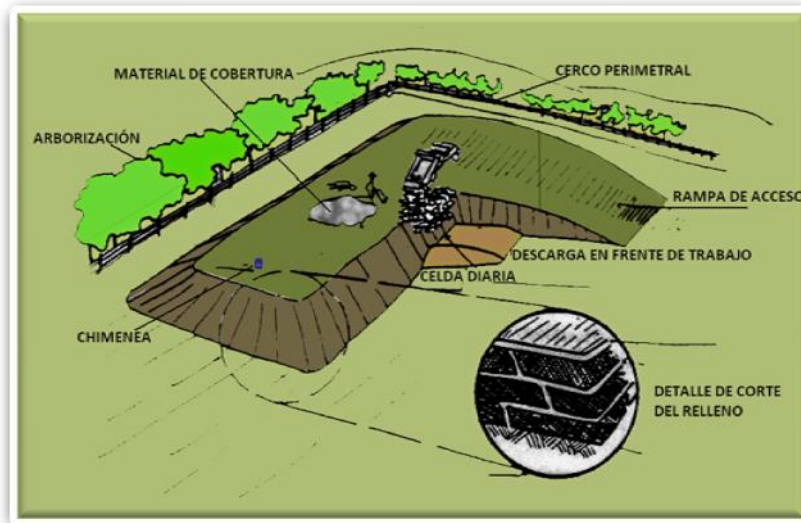
Existen tres métodos de rellenos sanitarios, el método manual que es para poblaciones que generan menos de 15 Tn/día de residuos sólidos y no utilizan maquinaria de ningún tipo únicamente herramientas, el Método semi mecanizado que es para poblaciones que generan hasta 40 Tn/días y utilizan maquinaria y herramientas adaptadas para el trabajo de relleno sanitario y el método Mecanizado que es para poblaciones que generan más de 40 Tn/día de residuos sólidos y utilizan maquinaria especializada para el manejo de la disposición final y métodos constructivos. Con la finalidad de tener una guía mas practica únicamente de ahora en adelante denominaremos relleno manual para poblaciones con generaciones menores a 20 Tn/día y Relleno Mecanizado para poblaciones con generaciones mayores a las 20 Tn/día.

### 2.1 Relleno Sanitario Manual.

El relleno sanitario manual es una tecnología que se aplica cuando la mano de obra está disponible más facilmente que la maquinaria que haría el mismo trabajo. Los obreros del relleno sanitario manual realizan todas actividades a mano: descarga, colocación, compactación y cubierta de los desechos, así como el mantenimiento de cunetas, construcción de chimeneas y drenajes de lixiviados, excavación de nuevos módulos etc.

La tecnología del relleno manual tiene sus limitantes, la compactación del material es menos eficiente, y por consecuencia, la estabilidad del cuerpo de basura no permite alturas elevadas. Esta situación resulta en la necesidad de un mayor espacio con el consecuente aumento en la producción de aguas lixiviadas. No obstante estas desventajas, suele ser la solución más conveniente para municipios y comunidades pequeñas, municipios ubicados en sitios aislados y municipios con escasos recursos económicos.

**Figura 2.2: Relleno Sanitario Manual**



**2.2 Relleno Sanitario Mecanizado.**

Los rellenos sanitarios con compactación mecanizada son la tecnología apropiada para municipios medianos y grandes que producen una cantidad diaria de basura que no sería factible manejar completamente a mano. Estos municipios disponen generalmente de fondos más adecuados y también de personal técnico capacitado. En el relleno sanitario mecanizado trabajan generalmente maquinaria que realiza los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar material de cobertura.

Los trabajos de mantenimiento se pueden hacer manualmente o con apoyo de maquinaria, dependiendo de la disponibilidad y necesidad de estas máquinas (por ejemplo, excavación de cunetas manualmente o con retroexcavadora).

**Figura 2.3: Relleno Sanitario Mecanizado**



**Cuadro 3: Comparación de las Características de un Relleno Sanitario Manual y Mecanizado**

CARACTERÍSTICA	RELLENO MANUAL	RELLENO CON COMPACTACIÓN MECÁNICA
Poblaciones < 5000 habitantes	SI	NO
Poblaciones < 50000 habitantes	Se recomienda su uso, con herramientas y maquinaria adaptada.	NO
50000 < Poblaciones < 200000	NO	SI
Poblaciones > 200000 habitantes	NO	SI
Utilización de Herramientas menores (pala, carretilla, pico, trinche, rastrillo)	SI	SI
Utilización de Maquinaria Adaptada (tractor agrícola, rodillos, saltarín)	SI	SI
Utilización de Maquinaria Pesada (Tractores, orugas, retro excavadoras)	NO	SI
Personal calificado	NO	SI
Cerco perimetral	SI	SI
Caseta de Control	NO	SI
Bascula de pesaje	NO	SI
Sistemas de Tratamiento de lixiviado	SI	SI
Metodología para el frente de trabajo	Excavación de celdas en terrenos planos	Colina artificial sobre terreno plano
	Construcción de celdas terraceadas sobre un talud	Relleno en una quebrada seca
		Relleno de un hueco o fosa
Sistema de Tratamiento de gases	SI	SI

### 2.3 Métodos de Construcción del Relleno Sanitario

Para definir el método constructivo de un relleno sanitario sea este manual o mecanizado existen condiciones básicas que resultan del sitio de emplazamiento seleccionado, considerando lo siguiente:

- Condiciones topográficas.
- Características del suelo.
- Nivel Freático.
- Disponibilidad de material de cobertura

#### 2.3.1 Método de Trinchera o Zanja

Cuando las condiciones del terreno lo permitan se podrá excavar trincheras, las dimensiones de estas dependerán de las características del terreno (hidrogeológicas) y del proyecto de relleno a realizar. Este método es recomendable para regiones planas y con suelos que tengan buenas características cohesivas, dado que se podrá incrementar la inclinación de los taludes (sin peligro de desmoronamientos), reduciendo

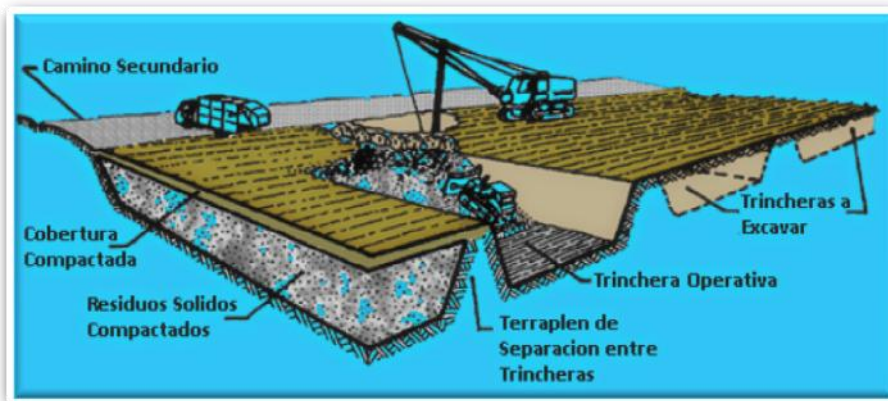
el espacio para su realización e incrementando el tiempo de vida útil del sitio de emplazamiento. La trinchera o zanja generalmente puede tener de 2 o 3 metros de profundidad y se realiza con una retroexcavadora o un tractor de orugas.

Los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos, el material de las excavaciones sirve como material de cobertura y para construir los terraplenes de circulación interna del relleno.

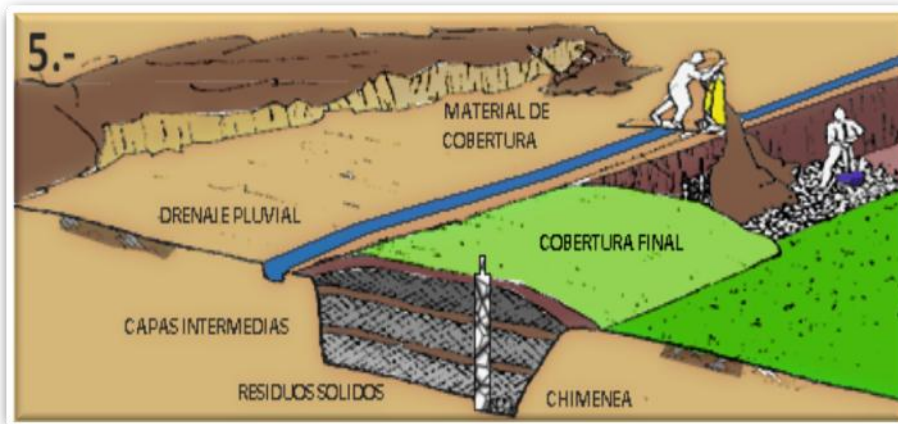
La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo, siendo exigencia de la NB 759 y NB 760 que espesor del suelo entre el nivel de desplante del suelo y el nivel máximo de subida de aguas freáticas sea como mínimo 2 m y la impermeabilidad del suelo de 10<sup>-6</sup> cm/seg deberá garantizarse, que el tiempo de llegada de cualquier contaminante a un cuerpo de agua superficial o subterránea sea mayor a 150 años.

Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

**Figura 2.4: Método de Trinchera para Relleno Mecanizado**



**Figura 2.5: Método de Trinchera para Relleno Manual**





### 2.3.2 Método de Área.

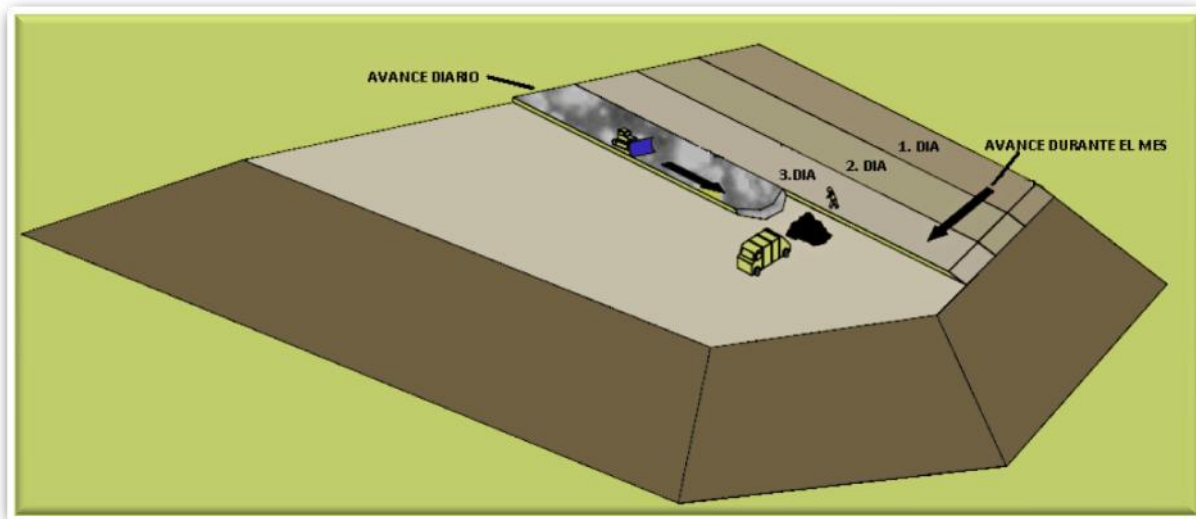
En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial de áreas colindantes, esto es en los siguientes casos:

- a) Se pretende rellenar depresiones naturales o provocadas por distintas extracciones de materiales.
- b) El área a rellenar se encuentra en una llanura, pero la calidad del suelo y la presencia de aguas subterráneas impiden practicar excavaciones.

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

En la aplicación del método de área se requiere siempre de la presencia de un sólido terraplén (natural o artificial), de forma de compactara los residuos sobre el mismo.

**Figura 2.6: Método de Área Relleno Mecanizado**



**Figura 2.7: Método de Área Relleno Manual**



## 2.4 Consideraciones preliminares para la ubicación del sitio del relleno sanitario

Los datos básicos con los que tiene que contar un Gobierno Municipal para iniciar el proceso de selección y ubicación del relleno sanitario son: Población servida, producción per cápita de residuos, caracterización o composición de los residuos, Vida útil planificada del relleno, aspectos ambientales del municipio (precipitaciones pluviales, temperaturas, dirección predominante del viento), plano de la mancha urbana del municipio.

**Cuadro 4: Datos Básicos Requeridos por el Municipio**

INFORMACIÓN REQUERIDA	UNIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN
Población del Municipio	[Habitantes]	Dato del INE proyectados del último censo poblacional
Producción Per Cápita	[Kg/día habitante]	NB 743 Determinación de parámetros de diseño; Así mismo se puede recurrir a fuentes secundarias como Estudios Realizados.
Cantidad de Residuos Recolectados	[Tn/día] o [m3/día]	Registro de la Empresa de Aseo Municipal
Caracterización o Composición de los residuos	[%] de componentes en los residuos	NB 743 Determinación de parámetros de diseño; Así mismo se puede recurrir a fuentes secundarias como Estudios Realizados.
Precipitación Pluvial	[mm/año]	Dato de la estación meteorológica más próxima.
Temperatura	[°C]	Dato de la estación meteorológica más próxima.
Dirección Predominante del Viento	dirección	Dato de la estación meteorológica más próxima.
Plano de crecimiento urbano	plano	Urbanismo del Municipio

### 2.4.1 Determinación del área requerida para el relleno sanitario.

#### 2.4.1.1 Área para la disposición final de los residuos sólidos.

Para realizar este cálculo, se dispone de la siguiente información básica:

- Población con servicio de recolección de residuos (habitantes) o el Volumen de desechos sólidos recolectados medidos en el vehículo recolector ( $m^3$ /día).
- Tasa de crecimiento (% anual)
- Densidad de los desechos sólidos compactados ( $tn/m^3$ )

A. Proyección de la población:

Se adoptó un crecimiento geométrico para el cálculo de la proyección de la población, para estimar las necesidades de los próximos 15 a 20 años, considerando una tasa de crecimiento de (%), mediante la siguiente ecuación:

$$PE = P1 (1 + r)^n$$

Donde P1 = Población año base

r = Tasa de crecimiento

n = años

**B. Producción Per Cápita:**

La producción per cápita se estima aplicando la ecuación siguiente:

$$PPC = \left( \frac{\text{Cantidad de Residuos Sólidos Generados en el Municipio por día}}{\text{Poblacion Total}} \right)$$

**C. Cantidad de Residuos Sólidos:**

**Cuadro 5: Generación Acumulada de Residuos Sólidos en el Municipio**

Año	Población (hab)	PPC (kg/hab-día)	RESIDUOS SOLIDOS		
			Generación diaria (kg)	Generación al Año (365* GD/1000) (ton)	Residuos Acumulada (ton) (Año 1+Año2+...+Año20)
1	Año 1	La producción per cápita se la puede tomar constante			
2	Año 2				
3	Año 3				
4	Año 4				
5	Año 5				
20	Año 20				

La generación diaria en kg se puede calcular también de la generación en volumen que se recolecta en un municipio que no cuente con dato de la Producción Per Cápita, si se tiene la cantidad de residuos sólidos que se generan en el municipio por día (m<sup>3</sup>/día), entonces la Generación Diaria en (kg) = (m<sup>3</sup>/día)\*densidad de los residuos sólidos (tn/m<sup>3</sup>).

**D. Cálculo del área requerida:**

El Área requerida será el total de área para los años proyectados para el funcionamiento del relleno sanitario, por consiguiente el área para el volumen acumulado de residuos se determinara de la siguiente ecuación:

Área Total para los n años de funcionamiento = Residuos Acumulados en los n años (m<sup>3</sup>) / altura proyectada para cada celda de residuos.

Se debe considerar que de tratarse de método de área para el relleno sanitario esta altura será máxima de 3 metros para rellenos manuales, de 8 metros para rellenos mecanizados.

Si el método de trabajo es el método de trinchera para el relleno sanitario esta altura será mayor tanto para los rellenos manuales como mecanizados, dependiendo de la compactación realizada y estabilidad de taludes que se logre.

#### 2.4.1.2 Área para infraestructura auxiliar

Tanto para rellenos manuales como mecanizados se debe incrementar al área total calculada para disposición de residuos sólidos un 20 a 40% para infraestructura complementaria como portería, administración, talleres, báscula, vías de circulación y área de maniobras de los equipos y vehículos.

Anexo 1: Cálculo de Área Requerida para un Relleno Sanitario

### CAPITULO 3: SELECCIÓN DEL SITIO MÁS ADECUADO PARA EL EMPLAZAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO

Una vez que tenemos la información preliminar y se determinó el área mínima que se requiere para el emplazamiento del relleno sanitario ya sea este manual o mecanizado, se procede a identificar de forma preliminar los sitios que reúnen la mayor cantidad de características favorables para el emplazamiento del relleno sanitario en la jurisdicción del Gobierno Municipal teniendo como base los requerimientos de la Norma Boliviana NB 759. De esta forma se prepara el cuadro de aptitud de los sitios para el emplazamiento de un relleno sanitario.

**3.1 Componentes a tomar en cuenta:** El estudio necesario para determinar el sitio de emplazamiento de un relleno sanitario deberá considerar varios factores o criterios ambientales, técnicos, económicos, sociales.

#### 3.1.1 Factores Ambientales:

**Presencia de fuentes de agua superficiales:** La presencia de fuentes de agua dentro del sitio es un problema muy importante. Si existen fuentes de agua dentro del área de relleno, pueden causar deslizamientos del terreno; además, aumenta la cantidad de aguas lixiviadas. Es importante tener observaciones del terreno durante un año completo, especialmente durante la estación lluviosa, por existir fuentes que se secan según las estaciones. De acuerdo a normas se recomienda una distancia mínima de 500 metros de distancia a cuerpos de agua superficial. Este criterio es importante también para evitar la contaminación de cuerpos de agua superficial y subterráneos que pueden proporcionar agua para riego o consumo humano.

**Proximidad a áreas habitadas:** Este criterio es muy importante considerando la molestia causada por las emisiones del relleno sanitario y el tráfico de los vehículos recolectores, el relleno debe estar como mínimo a una distancia de 2.500 metros del último núcleo urbano.

**Barreras naturales (taludes, bosques):** Las barreras naturales son muy importantes para prevenir la dispersión de las emisiones del relleno sanitario (malos olores, gases de relleno, dispersión de materiales livianos etc.) y mitigar el efecto visual y paisajístico del área seleccionada.

**Flora y fauna:** Se debe considerar que el proceso constructivo requerirá de movimiento de tierras, maquinaria y personal, por lo que se recomienda que el área seleccionada presente el mínimo de cobertura vegetal y fauna nativa del lugar..

**Morfología del terreno:** Alteraciones al paisaje del área seleccionada, importancia del área por vistas panorámicas o áreas con alto valor turísticos, deben evitarse para la disposición final de los residuos.

**Existencia de áreas protegidas:** Aquí se refiere a zonas de protección ambiental, como los parques nacionales, reservas ecológicas, bosques protegidos etc., la distancia que debe respetar un relleno sanitario de áreas protegidas es de 1000 m, para no dañar al equilibrio ecológico con las emisiones del relleno y el tráfico de los vehículos recolectores.

**Dirección del viento predominante:** El sitio de emplazamiento del relleno sanitario no debe tener dirección de viento predominante a centros poblados.

### 3.1.2 Factores Técnicos

**Morfología del terreno:** Se prefiere la construcción en terreno plano o ligeramente inclinado; entre 3 - 12 %. La topografía del terreno decide sobre la extensión vertical del cuerpo de basura, así como la evacuación de las aguas de lluvia y lixiviados con pendiente natural. Es también un factor económico importante, puesto que determina, como determina la cantidad de excavación y nivelación del terreno que se debe hacer, este factor es muy importante para los rellenos manuales ya que el sitio seleccionado tendrá que tener la posibilidad de evacuar las aguas lixiviadas con pendiente natural.

En rellenos manuales es un factor muy importante ya que se debe realizar la evacuación de los lixiviados por medio de la pendiente natural del terreno.

**Estructura y composición del suelo:** Se prefieren sitios con suelos con alto contenido de arcilla. El contenido de arcilla determina el grado de impermeabilidad que puede proporcionar el suelo natural, este contenido de arcilla es muy importante para evitar posibles contaminaciones a aguas subterráneas. El grado de permeabilidad del suelo determinará también el costo de las medidas constructivas que se deben tomar para minimizar esta contaminación, Se prefiere el sitio con la menor permeabilidad del suelo, de forma de contar con una barrera natural contra la infiltración de los lixiviados, es recomendable tener suelos con permeabilidad  $< 10^{-6}$  cm/seg y espesores mayores a 1 metro.

**Nivel de las napas freáticas:** Un nivel alto de las capas freáticas dentro del sitio significa problemas importantes con el drenaje, con la operación en la estación lluviosa, y además hay alto riesgo de contaminar estas napas. Por eso, se desea un nivel freático lo más bajo posible, se recomienda 2 metros de profundidad como mínimo entre la capa base del relleno sanitario y la napa freática, con suelo de impermeabilidad  $< 10^{-6}$  cm/seg y espesor superior a 1 metro.

**Condiciones sísmicas:** Está prohibida la ubicación de sitios de confinamiento de residuos sólidos en zonas sísmicas, en zonas potencialmente sísmicas, en áreas de fallas geológicamente activas y en áreas volcánicas activas.

### 3.1.3 Factores Económicos:

**Existencia de material apropiado para la cobertura:** Aquí se trata de todo tipo de material que se utilizará durante la vida útil y después del cierre del relleno sanitario: la capa impermeable de fondo, el material de cobertura diaria, la capa de cobertura final y la tierra humus necesaria para la reforestación del sitio, se preferirán los sitios que cuenten con material de cobertura en el mismo emplazamiento o en sus proximidades.

**Caminos de acceso:** Se deberá contar con vías de acceso al sitio seleccionado ya que el costo de apertura y acondicionamiento de estos elevara el presupuesto o inviabilizara el proyecto por derechos de vías y expropiaciones.

**Infraestructura existente:** Se debe dar preferencia a sitios con infraestructura ya existente como servicios básicos (agua, luz, alcantarillado), pues esto minimizará los costos de hacer llevar estos servicios.

**Rellenos mancomunados:** Considerar la posibilidad de realizar un trabajo en relleno mancomunado entre agrupación de municipios es un factor positivo para incrementar los recursos del relleno sanitario y mejorar las posibilidades de adquisición de maquinaria.

### 3.1.4 Factores Sociales:

**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, la población 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 sociales 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 las comunidades, originada por la creencia que un relleno sanitario es un botadero a cielo abierto.

**Vida Útil del Relleno:** Cuando se construye un relleno sanitario, se debe intentar conseguir un terreno que sea suficiente para 15 años o más, considerando el crecimiento poblacional, con el fin de obtener un resultado máximo de las inversiones y esfuerzos que se hacen para la adquisición y la preparación del sitio, y no tener conflictos sociales en el corto tiempo.

**Uso actual del terreno y sus colindancias:** Se debe verificar que los terrenos no cuenten con uso productivo actual, se preferirán áreas improductivas y mineralizadas por procesos erosivos, así mismo verificar en planes de ordenamiento territorial del Municipio las actitudes que tiene la zona de crecimiento si será urbano, agrícola, industrial, de acuerdo a las actividades que ya se desarrollan en los predios colindantes al sitio.

**Propiedad del terreno en cuestión (propiedad municipal o privada):** Este criterio se refiere a la facilidad de adquirir el terreno que se intenta utilizar para ubicar el relleno sanitario. Es tan importante la propiedad jurídica como las condiciones de venta del terreno. Si se presentan dificultades jurídicas con la compra del terreno (resistencia de los propietarios, incertidumbre concerniente a los títulos de propietario etc.), la construcción del relleno sanitario se puede postergar por un lapso importante.

**Área de amortiguamiento:** Se dará prioridad a los sitios seleccionados que puedan ofrecer áreas de amortiguamiento para el relleno sanitario, de forma de evitar que existan asentamientos futuros cerca del relleno sanitario y problemas sociales.

Teniendo en cuenta todos estos criterios es fundamental el relevamiento ocular y el análisis de cada sitio con el mayor detalle posible de forma de realizar una calificación cualitativa y cuantitativa, En el anexo 2 se presenta un cuadro que podría ser un apoyo para la selección de alternativas y selección del sitio más apto.

## **CAPITULO 4: CONSIDERACIONES PARA DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO**

### **4.1 Estudios y análisis previos en el sitio de emplazamiento del Relleno Sanitario.**

Previamente a realizar el diseño de un relleno sanitario, se deberán contar con los siguientes estudios y análisis:

#### **4.1.1 Estudio topográfico**

La compatibilización de los niveles del relleno sanitario con algunas zonas vecinas resulta fundamental para:

- Seleccionar y definir los frentes de trabajo.
- Establecer métodos de operación.
- Determinación de la capacidad volumétrica del sitio.
- La ubicación de bancos de préstamo para terraplenes y cobertura diaria.
- Ubicación de sistemas de monitoreo ambiental.

El levantamiento topográfico consistirá en la planimetría y altimetría del sitio de emplazamiento tomando las siguientes delimitaciones:

##### **a) Planimetría**

- Tolerancia angular =  $1 - \sqrt{N}$
- Tolerancia lineal =  $1/5.000$

Donde:

N es el número de vértices de la poligonal

- Todos los puntos en sus vértices, deberán estar referenciados a bancos de nivel fijos y de ser posibles oficiales, con objeto de rehacer la poligonal cuantas veces se requiera.
- La poligonal del terreno deberá estar referida a un sistema de coordenadas.
- La poligonal del terreno en cada uno de sus vértices deberá contar con ángulos internos, rumbos y azimut.
- Al plano de altimetría se anexarán las libretas de campo.

##### **b) Altimetría**

- Los bancos de nivel deberán estar referidos a bancos oficiales.
- Las curvas de nivel se trazarán de acuerdo a los siguientes requerimientos: en equidistancias de curvas a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

#### **4.1.2 Estudio Geotécnico**

Los estudios geotécnicos deberán de cubrir las siguientes actividades:

##### **a) Exploración y muestreo**

Se deberá definir de manera precisa, la estratigrafía del sitio, para ello se realizará un sondeo por cada cuatro hectáreas, con una profundidad mínima de 10 m por debajo de la cota inferior del relleno sanitario o hasta llegar a un estrato de material consolidado impermeable.



### **b) Pruebas de permeabilidad**

Se determinará la permeabilidad de los estratos del subsuelo, aplicando técnicas de ensayo, en perforaciones vecinas a los sondeos que se refiere el inciso anterior, la profundidad de cada prueba se definirá con el perfil de sondeos. Terminadas las pruebas de permeabilidad en cada perforación, se deberá sellar, a fin de evitar la contaminación futura de los acuíferos del sitio.

### **c) Localización de bancos de préstamo**

Con base en el estudio geológico regional, se ubicarán bancos potenciales de préstamo para la construcción del revestimiento del fondo, taludes y las cubiertas intermedias y final del relleno sanitario.

Se realizaran pozos a cielo abierto de 3 m a 5 m de profundidad y se obtendrán muestras alteradas de la pared, para efectuar los ensayos de laboratorio permeabilidad.

#### **4.1.3 Estimación de la Generación de lixiviados**

La generación de lixiviado en un relleno sanitario está directamente relacionada con las condiciones climatológicas (precipitación, temperatura, humedad, evapotranspiración, radiación solar, etc), propiedades del suelo, humedad de los residuos y la metodología de trabajo del relleno sanitario, siendo importante la estimación del lixiviado a generarse porque será la base de cálculo para los sistemas de drenaje a construirse, y el sistemas de tratamiento que se pueda aplicar a dichos lixiviados.

#### **Criterio Practico para estimar la generación de lixiviados en un relleno sanitario Manual y Mecanizado**

La generación de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial y de la humedad propia de los residuos sólidos en proceso de descomposición al interior del relleno sanitario, por consiguiente calcularemos la generación por la precipitación y la generación por humedad de los residuos sumamos estos valores y esta será la cantidad aproximada de lixiviados que tendremos que manejar en el relleno sanitario.

#### **Calculo de la generación de lixiviado debido a la precipitación Pluvial:**

Para el caso de la precipitación pluvial utilizaremos el método suizo, que permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times k$$

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

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m<sup>2</sup>) (área con disposición de residuos sólidos, celdas)

t = Numero 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 en (m/mm):

Para rellenos débilmente compactados (manuales) con peso específico de 0,4 a 0,6 Tn/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 (Mecanizados) con peso específico  $> 0,6 \text{ Tn/m}^3$ , 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.

**Calculo de la generación de lixiviado debido a humedad de los residuos sólidos:**

Para el caso de la descomposición de la basura al interior del relleno sanitario utilizaremos la siguiente metodología para encontrar la generación de lixiviado:

Primeramente tomamos el dato de cantidad de residuos sólidos que serán depositados en los próximos 5 años en el relleno sanitario.

**Cuadro 6: Disminución de la Densidad de los Residuos Sólidos al Interior del Relleno Sanitario**

DENSIDADES SEGÚN ETAPA DE COMPACTACIÓN ETAPA	DENSIDAD EN TON/M <sup>3</sup>
Residuos descargado en relleno	0.3-0.6
Residuos recién relleno (compactación)	0.6 - 0.7
Residuos estabilizado (5 años dispuesto)	$> 0.9$

Se consideran una serie de supuestos obtenidos por experiencias en rellenos sanitarios y revisión bibliográfica, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

VARIABLES UTILIZADAS VARIABLES	VALOR
DENSIDAD DE INGRESO DE LOS RESIDUOS	$0.5 \text{ Ton /m}^3$
HUMEDAD DE INGRESO DE LOS RESIDUOS	45%
DENSIDAD INICIAL DE COMPACTACIÓN	$0.7 \text{ Ton/m}^3$
HUMEDAD INICIAL DE COMPACTACIÓN	25, 7 %
DENSIDAD FINAL DE COMPACTACIÓN	$0.9 \text{ Ton /m}^3$
HUMEDAD FINAL DE COMPACTACIÓN	20%

En el área de relleno se produce una diferencia del % de humedad, lo que corresponde al líquido liberado producto de la capacidad de compactación que experimentan los residuos, de los cuales el 40% de ellos percola, mientras que el otro 60% se recupera en el esponjamiento de los residuos y es utilizado en su degradación. Con este criterio se espera que en cinco años de compactación se llegue a una densidad de  $0,9 \text{ ton/m}^3$ , y a una humedad de 20%, con la aplicación del siguiente cuadro se determinara el volumen de lixiviado que se generara por la humedad de los residuos.

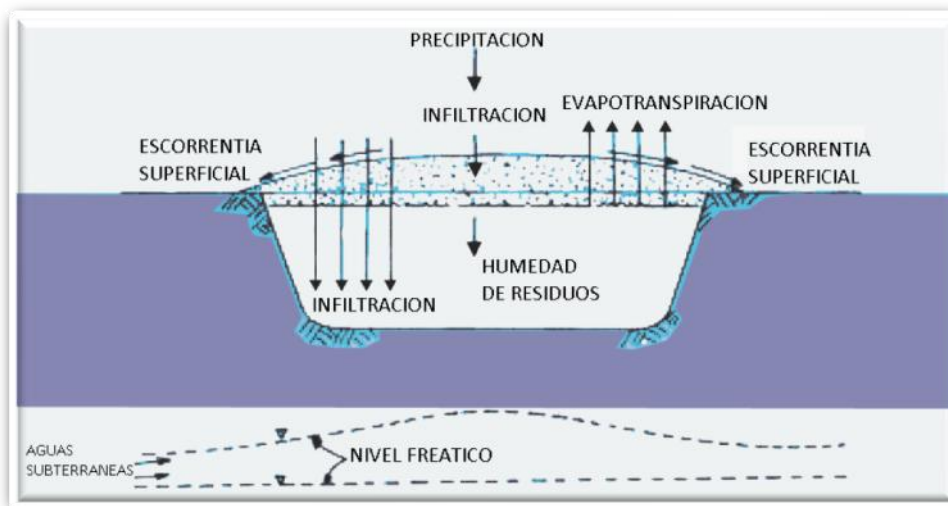
**Cuadro 7: Calculo de la Generación de Lixiviado por la Humedad Propia de los Residuos Sólidos**

Residuos para el año 1	Periodo De descomposición en 5 años	Cantidad Tn/Año	Densidad de los Residuos D	Volumen Residuos Sólidos V	% de Humedad Inicial HI	% de Humedad Final HF	Diferencia de Humedades (HI-HF)	Volumen de Líquido liberado por los Residuos VL= (V*H)	Volumen que Percola como Lixiviado VLP=VL*40%
	1	73.000	0.7	104286	0.45	0.35	0.10	10429	4171
	2	73.000	0.75	97333	0.35	0.25	0.10	9733	3893
	3	73.000	0.8	91250	0.25	0.22	0.03	2738	1095
	4	73.000	0.85	85882	0.22	0.21	0.01	859	344
	5	73.000	0.9	81111	0.21	0.20	0.01	811	324

- Es importante realizar la aclaración de que la mayor generación de lixiviados por concepto de compactación, degradación de los residuos orgánicos al interior del relleno sanitario será en los 2 primeros años de vida del relleno sanitario, pero considerando que estos lixiviados tienen que percolar por las capas de residuos y el drenaje interno del relleno sanitario serán visibles a partir del tercer año de vida útil.

La suma de la generación de lixiviados por la precipitación pluvial y la generación por descomposición y humedad de los residuos nos da un valor tentativo para realizar los cálculos para el dimensionamiento de los sistemas de recolección y tratamiento de dichos lixiviados.

**Figura 4.1: Balance Hídrico en un Relleno Sanitario**



- Es importante realizar la aclaración que existen métodos mucho más precisos para determinar la generación de lixiviados de un relleno sanitario, como ser el programa modelo HELP (The Hydraulic Evaluation and Landfill Performance), el método del balance de agua de C. W. THORNTHWAITE,, pero los cuales requieren datos y análisis mucho más exhaustivos, lo cual no es tema de esta guía que pretende ser una herramienta de fácil comprensión y ayuda a pequeños municipios, sin dejar el carácter técnico para las ciudades capitales. En el Anexo 3 se presenta una metodología para la estimación de la Generación de Lixiviado en Relleno Sanitario, que podría ser de utilidad a los técnicos municipales.

## Capítulo 5: DISEÑO PROPIO DEL RELLENO SANITARIO.

### 5.1 Obras Preliminares para en Emplazamiento del Relleno Sanitario

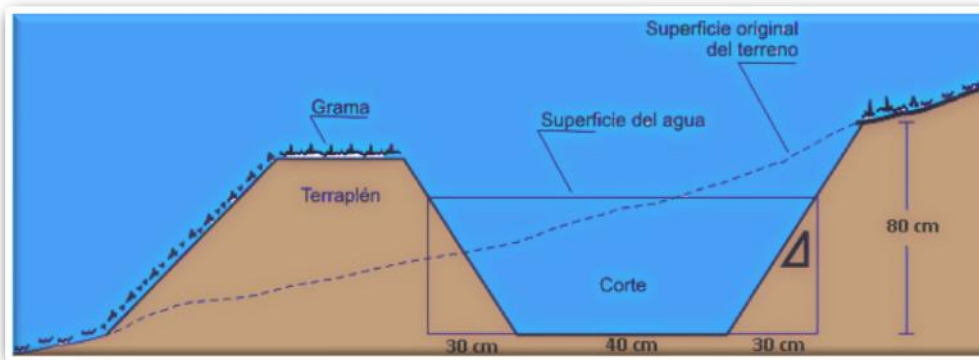
#### 5.1.1 Limpieza del área del relleno sanitario.

En el terreno se debe preparar un área que servirá de base o suelo de soporte al relleno, siendo por lo general necesaria la tala de árboles y arbustos, puesto que éstos constituirán un obstáculo para la operación. Esta limpieza debe hacerse por etapas, de acuerdo con el avance de la obra, evitando así la erosión del terreno

#### 5.1.2 Drenaje pluvial (Zanja de Coronamiento)

Las obras de drenaje se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas pluviales, los canales deberán revestirse con material apropiado. La velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0,60 m/seg. ni mayor de 1.80 m/seg., se recomienda dimensiones de 1 metro ancho y 0.8 metros de profundidad.

Figura 5.1: Drenaje para Aguas Pluviales (zanja de coronamiento para el relleno sanitario)



#### 5.1.3 Área de amortiguamiento

- El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 30 m y 50 m.
- Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales de talla y follaje suficiente para que reduzca la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la operación.

#### 5.1.4 Vías de circulación

Se deberá proveer áreas de circulación para el ingreso de los carros basureros, conformación de terraplenes para la descarga de los residuos, vías de circulación para el acarreo de material de cobertura y vías de circulación del personal encargado del manejo de los residuos.

**5.2 Selección del Método de Operación:** Definido el sitio para el emplazamiento del relleno sanitario y con los estudios preliminares del sitio seleccionado el paso subsiguiente es definir el método de operación a emplear, la selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario, se deberá realizar con base en las condiciones topográficas, geotécnicas y geohidrológicas del terreno elegido, seleccionándolo de entre los siguientes: trinchera, área o combinado de los dos métodos.

Para definir técnicamente el método a emplear se debe establecerse el nivel estratigráfico del suelo, el nivel de acuíferos freáticos permanentes y transitorios y la disponibilidad de material de cobertura.

Los resultados de estos estudios definirán el método a emplear Trinchera o Área, de esta forma presentamos criterios técnicos a utilizar:

- a) Si el primer acuífero transitorio o permanente se encuentra a más de 6 metros de profundidad, respecto al nivel natural del terreno y se encuentra protegido de una capa de arcilla de por lo menos 2 metros de espesor con un coeficiente de impermeabilidad igual o menor a  $K < 10^{-6}$  cm/seg, en este es recomendable el método de trinchera.
- b) Si el primer acuífero transitorio o permanente se encuentra a menos de 1 metro de profundidad, respecto al nivel natural del terreno, el método de trinchera resulta impracticable, por lo que se deberá trabajar con el método de área y requerir un tratamiento mayor de capa base, recomendase 60 cm de arcilla compactada y el empleo de polietileno de 250 micrones.
- c) Para casos intermedios pueden aplicarse cualquiera de los dos métodos pero se deberá considerar cumplir las siguientes premisas:
  - a. Impermeabilidad de la capa base del relleno sanitario.
  - b. Una profundidad mínima del acuífero de 2 metros respecto a la capa base impermeable del relleno sanitario.
- d) Si el estudio estratigráfico del suelo identifica roca o presencia de roca fragmentada no es recomendable el método de trinchera, por los elevados costos de excavación y la alta permeabilidad que puede tener el sitio para llegar a contaminar acuíferos subterráneos, en esta situación se utilizara el método de Área.

Un aspecto importante a considerar para la selección del método a emplear es definir la disponibilidad de material de cobertura en el sitio de emplazamiento del relleno sanitario, considerando el costo de acarreo de material de cobertura se puede tomar la mejor decisión para el método.

**Cuadro 8: Cuadro de Selección de Método de Trabajo**

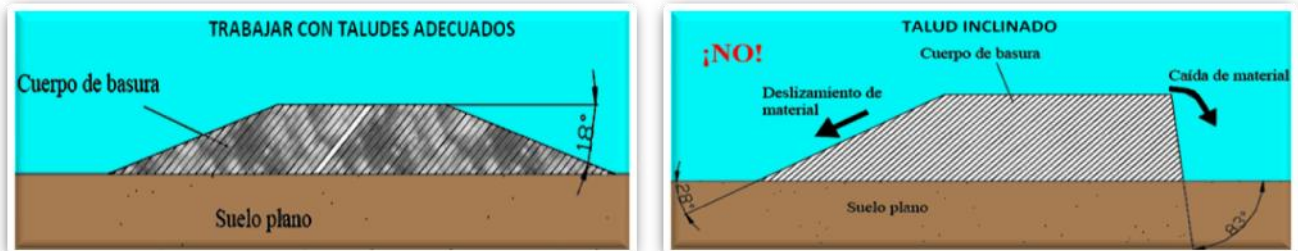
PRIORIDAD	CARACTERÍSTICAS DEL SITIO	PREMISAS DE SELECCIÓN	MÉTODOS RECOMENDADOS	SELECCIÓN
1	Condiciones Topográficas	Áreas planas o llanuras	Método de Área o Trinchera	
		Área con pendientes hasta 12 °	Método de Área o Trinchera	
		Áreas con pendientes mayores a los 12 °	Método de Trinchera	
		Depresiones naturales o artificiales	Método de Área	
2	Profundidad de napa freática	Profundidad > 6 metros	Método de trinchera	
		Profundidad < 6 metros	Método de Área	
3	Permeabilidad de los suelos	$k < a 10^{-6}$ cm/seg	Método de Trinchera	
		$k > a 10^{-6}$ cm/seg	Método de Área	
4	Disponibilidad de Banco de préstamo para cobertura	Existe disponibilidad de material	Método de Área	
		Existe Material de cobertura en sitios cercanos	Método de Área	
		No existe material de cobertura	Método de trinchera	

- Se seleccionara el metodo mas adecuado para la mayoría de las características que coincidan en el metodo recomendado.

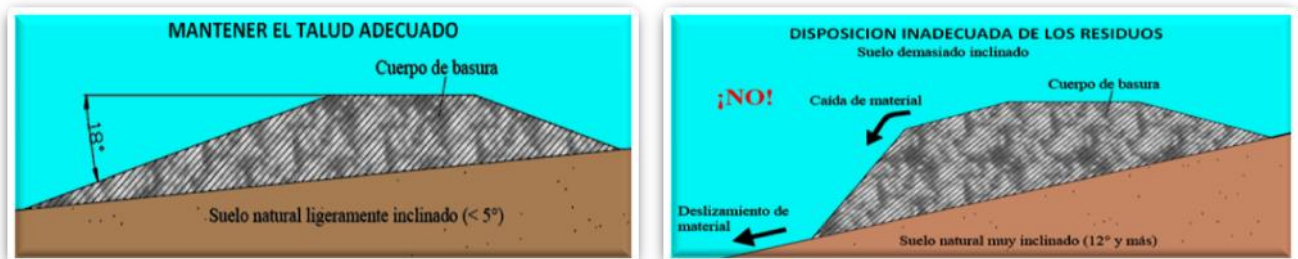
Una vez seleccionado el método de trabajo se debe considerar las siguientes recomendaciones para mantener taludes en el relleno sanitario.

**Figura 5.2: Recomendaciones para el Método de Trabajo Seleccionado**

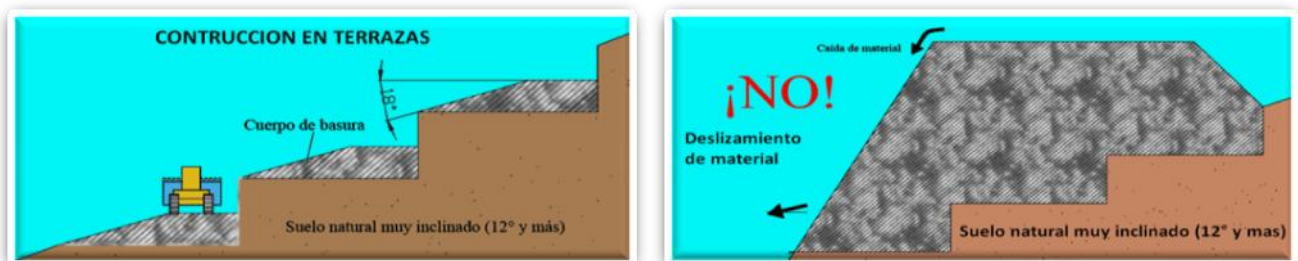
1.- Si se trabaja en método de área en ubicaciones planas:



2.- Si se trabaja en un área con leve inclinación menor a doce grados:



3.- Si trabajamos en un área con pendiente mayor a 12 grados:



### 5.3 Preparación de la Capa Base del Relleno Sanitario

Dependiendo de los estudios preliminares (estratigráfico del suelo y el nivel de acuíferos freáticos permanentes y transitorios) se realizará las siguientes preparaciones de capa base del relleno sanitario manual o mecanizado.

#### 5.3.1 Preparación de la Capa base del relleno sanitario cuando existe barrera natural o barrera geológica:

La barrera natural o geológica es una capa de suelo de baja permeabilidad que se encuentra arriba de la primera capa freática. Lo ideal para la construcción de un relleno sanitario es que el terreno disponga de una barrera natural o geológica conformada por arcilla, limo y morrenas.

Si el suelo natural tiene una permeabilidad menor a  $k_f = 10^{-6}$  y un espesor de 3 m o más, constituye una buena barrera geológica para un relleno sanitario.

El objetivo de preferir un terreno con barrera geológica es:

- Minimizar la cantidad de lixiviados que se infiltran al suelo, al fin de proteger las capas freáticas.
- Ralentizar la difusión de contaminantes en el suelo
- Garantizar que la mayoría de los contaminantes se queden en la proximidad del relleno, incluso si se daña la capa mineral y la capa plástica.

Para una mejor protección de las aguas subterráneas, es muy importante que se construya una capa mineral impermeable al fondo del relleno sanitario, a fin de impedir la filtración de los lixiviados hacia las capas freáticas.

Generalmente se considera como impermeable un suelo con un factor  $k_f < 10^{-8}$  m/s, lo ideal sería un factor  $k_f < 10^{-9}$  m/s. El análisis de permeabilidad se puede hacer en cualquier laboratorio de suelos de una universidad. En caso de que no exista un laboratorio cercano que pueda realizar el análisis de impermeabilidad para el caso de relleno manual, se recomienda una inspección visual aproximada sobre parámetros como: Espesor, contenido de arena, tamaño máxima de partículas y contenido de agua.

**Cuadro 9: Parámetros Importantes para la Capa Mineral de Base.**

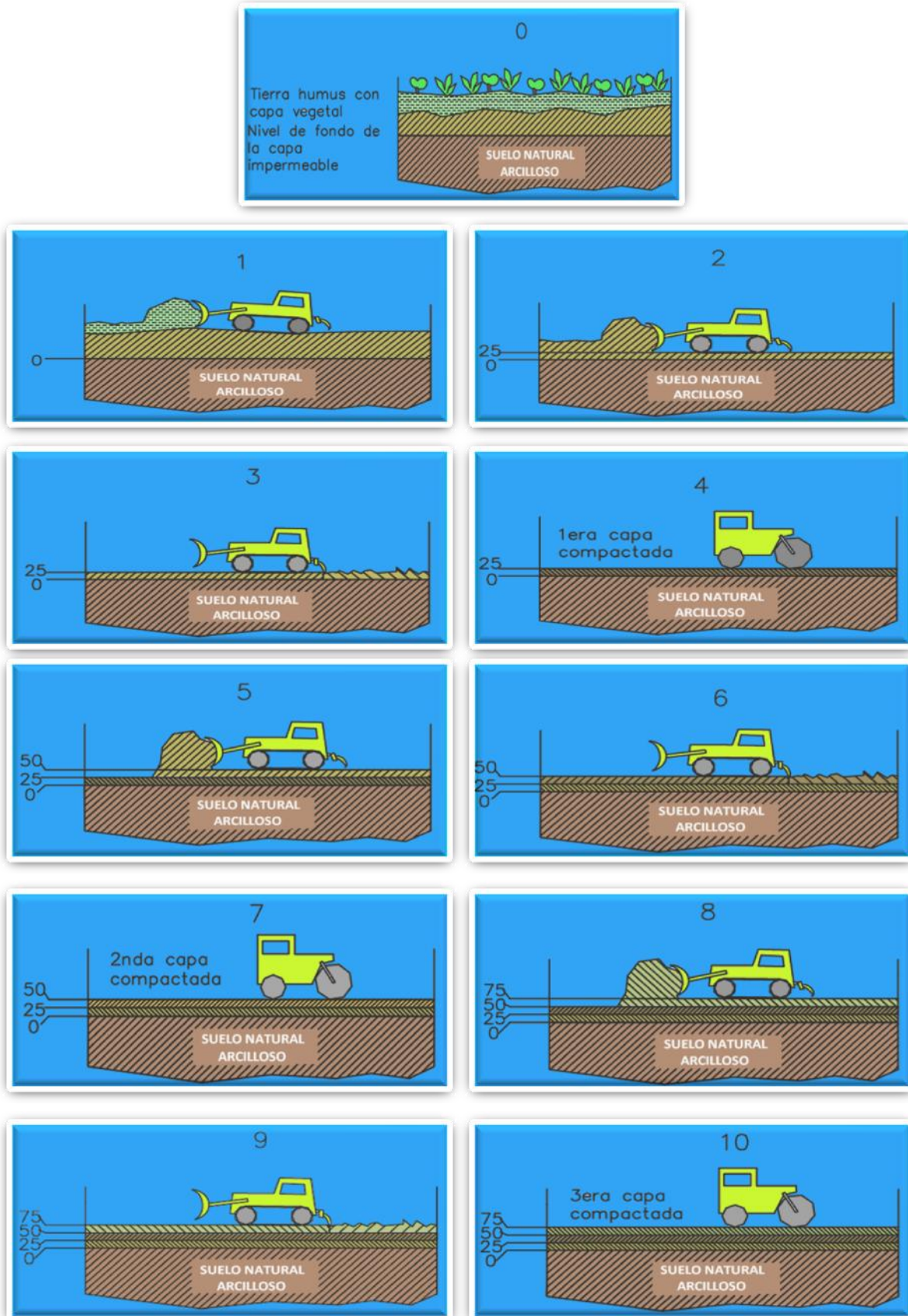
<b>Criterio</b>	<b>Valor Recomendado</b>
Espesor de capa base	0,75 (m)
Factor de Permeabilidad	$10^{-9}$ (cm/seg)
Contenido de partículas pequeñas (< 0,002 mm)n (%)	>20 %
Contenido de arcilla	> 10 (%)
Tamaño mínimo de partículas	20 (mm)
Contenido de agua	< 5 (%)
Contenido de materia orgánica	< 5 (%)

No es probable encontrar un suelo que cumpla con todos estos criterios. El suelo que tiene las características más próximas a los criterios descritos sería el más apropiado tanto para la capa base como para material de cobertura intermedia y final del relleno sanitario.

Los trabajos y valores recomendados para la construcción de la capa base del relleno sanitario cuando existe una barrera natural o geológica se explican gráficamente.



Diagrama 1: Construcción de la Capa Base con Barrera Natural



1.- Excavación de la tierra superficial.	6.- Se escarifica y homogeniza el segundo estrato (hacia una profundidad de 25 cm), después se moja y seca.
2.-Preparación del terraplén, lo que va a servir como primer estrato. El terraplén se hace 25 cm arriba del nivel diseñado como fondo del relleno. Si es necesario, se compacta con rodillo.	7.- Compactación del segundo estrato.
3.- Se escarifica y homogeniza el primer estrato (hacia una profundidad de 25 cm), después se moja y seca.	8.- Se carga el tercer estrato con un espesor de 25 cm. Para eso, se puede utilizar el material excavado durante la preparación del terraplén.
4.- Compactación del Primer Estrato.	9.- Se escarifica y homogeniza el tercer estrato (hacia una profundidad de 25 cm), después se moja y seca.
5.- Se carga el segundo estrato con un espesor de 25 cm. Para eso, se puede utilizar el material excavado durante la preparación del terraplén.	10.- Compactación del tercer estrato.

Si un municipio realiza un relleno sanitario manual y no dispone de la maquinaria necesaria para hacer la preparación de la capa base, es aconsejable el realizar mínimamente una buena compactación el suelo natural y colocar una capa base escarificada y compactada.

### 5.3.2 Preparación de la Capa base del relleno sanitario cuando NO existe Barrera natural o Barrera Geológica:

En sitios donde no se presenta barrera natural o geológica y se tiene un alto grado de permeabilidad de los suelos y por consiguiente alta probabilidad de contaminar las aguas subterráneas será necesario aplicar una capa de plástico, la misma que será la medida de mitigación ante esta ausencia de barrera natural.

#### 5.3.2.1 Detalles de la Capa de Plástico:

Se recomienda utilizar laminillas de Polietileno (PEHD) con un espesor no menor a 2 mm o un material equivalente. Las características físicas y químicas más importantes que deben tener estas laminillas son:

- No debe contener huecos, roturas, burbujas o cavidades
- No debe tener torsiones diagonales
- Su espesor debe ser homogéneo
- Deben ser impermeables para agua, hidrocarburos clorados y no clorados, acetona.
- Deben ser resistentes contra calor y condiciones climáticas adversas.
- Deben ser resistentes contra desgaste mecánico (roturas, pinchazos etc.)

#### 5.3.2.2 Colocación de la capa de plástico

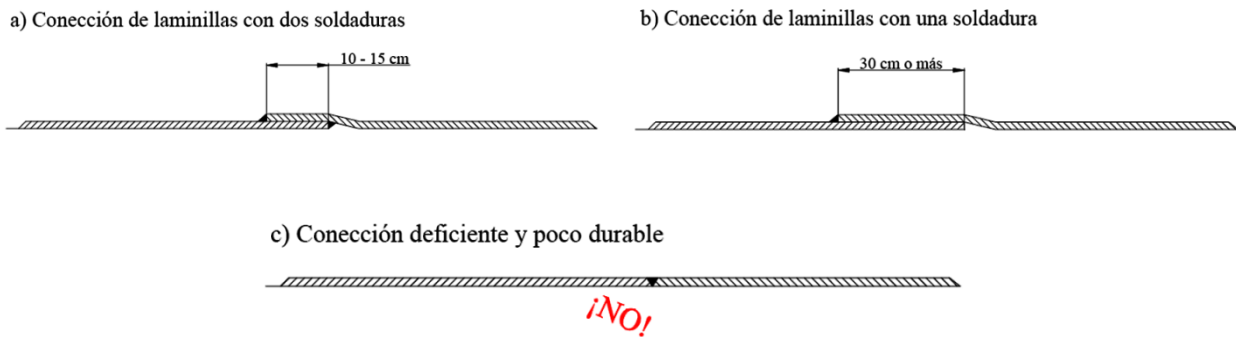
Se recomienda preparar un plano de colocación, considerando el ancho y el largo de las laminillas. Ese plano debe tener el objetivo de bajar el número de soldaduras al mínimo posible. No se debe juntar más de tres laminillas en un punto, y no se debe hacer soldaduras diagonales.

Las laminillas de Polietileno (PEHD) se colocan directamente sobre la capa mineral. No se deben utilizar máquinas pesadas o máquinas con cadenas (p.e., niveladoras) porque podrían dañar las laminillas. Si el tamaño y el peso de las laminillas lo permiten, se prefiere colocar las laminillas manualmente, sino, con una excavadora liviana o un pequeño rodillo.

Soldadura: Se recomienda hacer las soldaduras por un experto en soldadura de plástico. Si la fábrica productora dispone de tal experto, sería lo mejor que el experto de esta compañía realice este trabajo.

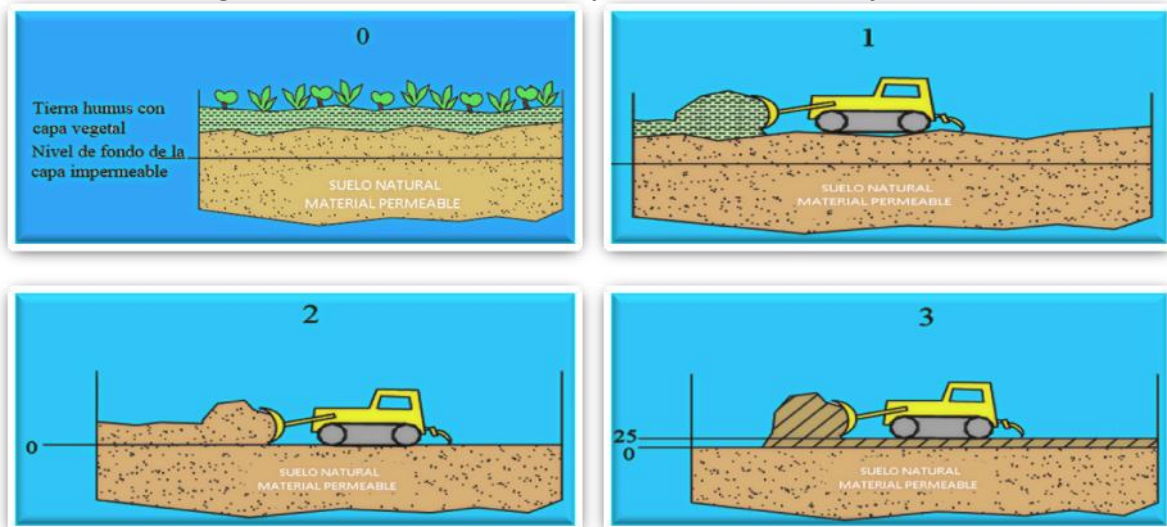
- Las laminillas deben ser limpias y secas cuando se hace la soldadura.
- Hay que dejar un borde suficiente para la soldadura. Si se juntan las laminillas con una sola soldadura, este borde debería ser de por lo menos 30 mm; si se hacen 2 soldaduras paralelas, 10 - 15 mm de borde son suficientes. Se recomienda hacer 2 soldaduras paralelas, especialmente para las soldaduras largas. Estas soldaduras se pueden hacer con una distancia de 10 - 15 mm.

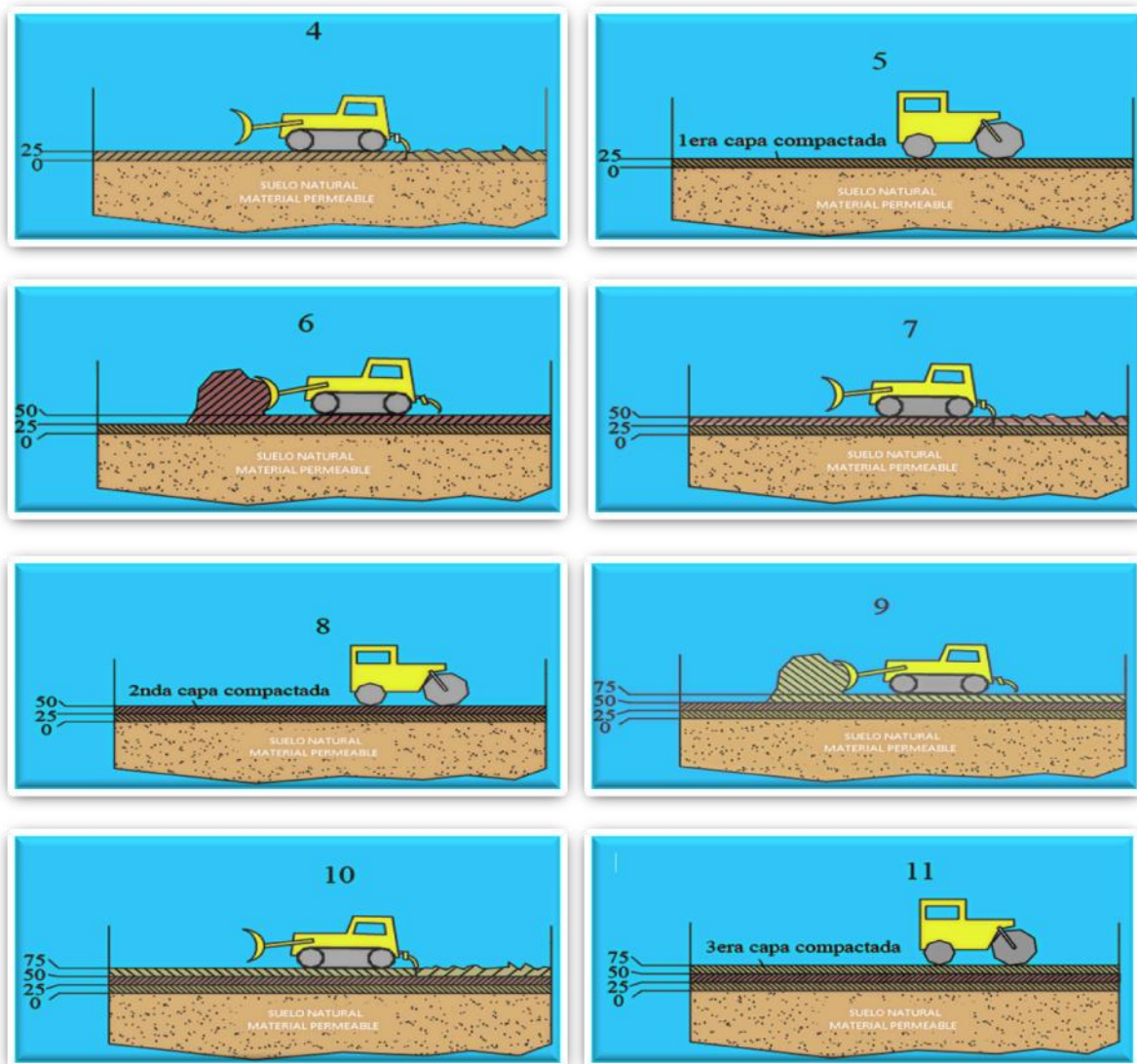
**Figura 5.3: Forma Adecuada para Soldadura de laminas de PEHD**



Los trabajos y valores recomendados para la construcción de la capa base del relleno sanitario cuando no existe una barrera natural o geológica y se utiliza una paca de plástico se explica gráficamente.

**Diagrama 2: Construcción de la Capa Base Cuando NO hay Barrera Natural**





1. Retiro de cobertura vegetal; 2. Nivelación de Base; 3. Esparcir material impermeable; 4. Escarificación de material; 5.- Compactación primera capa; 6.- Esparcir material impermeable; 7. Escarificación de material; 8.- Compactación segunda capa; 9.- Esparcir material impermeable; 10. Escarificación de material; 11.- Compactación tercera capa.

### 5.3.3 Recomendaciones para Rellenos Manuales y de Escasos Recursos:

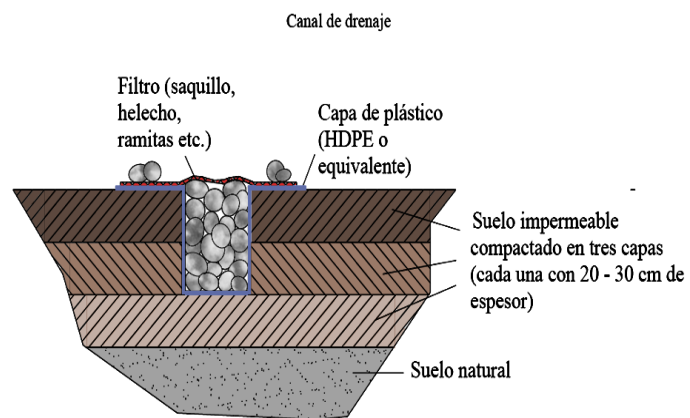
Existen varios municipios que no tienen el presupuesto necesario para adquirir la capa de plástico adecuada y la tela de ingeniería (geotextil). Siendo el problema más importante para municipios que tienen planificado un relleno manual, ya que este tipo de relleno necesita para la misma cantidad de basura una extensión más grande que un relleno compactado, por causa del crecimiento vertical limitado.

Se recomiendan las siguientes medidas para municipios que se encuentren planificando rellenos manuales o municipios que no cuentan con el presupuesto necesario para la capa de plástico:

1. La recomendación más importante sería la disminución de los lixiviados y del volumen de basura destinada al relleno sanitario. Si se composta la basura biodegradable, se reduce considerablemente la cantidad de materiales que se van al relleno, y también se reduce la cantidad de lixiviados que escurren del resto de la basura depositada. Si el volumen del relleno ya está reducido a casi la mitad, puede ser más fácil para el municipio hacer un suelo impermeable según el estándar técnico. Dependiendo del lugar de relleno (profundidad de las napas freáticas, distancia de poblaciones y agricultura, calidad del suelo natural) podría ser posible también renunciar a la capa de plástico.

2. Si el municipio en cuestión requiere de una capa de plástico como impermeabilizante de la base del relleno sanitario, pero no dispone del presupuesto necesario, se puede utilizar cubiertas de invernadero desechadas. En ese caso hay que dar mucha atención a huecos y daños en las laminillas. Los huecos se pueden soldar. Si se utiliza plástico usado de invernadero o otra fuente, se recomienda superponer dos a tres capas, soldando los huecos, así mismo el geotextil se puede reemplazar con pasto, yute o tela de saquillo.

**Figura 5.4: Reemplazó del Geotextil o Tela de Ingeniería**



3. En algunos casos es posible renunciar a la capa de plástico:

- si se cuenta con un muy buen suelo natural (con muy baja impermeabilidad y bastante espesor)
- si se cuenta con una barrera geológica suficiente mayor a 3 metros.
- si el nivel de la más alta napa freática es mucho más bajo que el fondo del relleno más de 6 metros de profundidad.
- en climas muy secos donde casi no hay lluvia y, por consecuencia la generación de lixiviados es mínima.

En estos casos es muy importante que se recojan separadamente los desechos tóxicos, peligrosos e infecciosos y que se construya una celda separada para ese tipo de desechos. Ese relleno separado debería ser equipado con suelo mineral bien compactado, capa de plástico y geotextil.

Con esa medida se evita que los componentes más peligrosos se escurran juntos con los lixiviados del relleno para la basura domiciliar. Los lixiviados de la celda separada de desechos tóxicos, peligrosos e infecciosos pueden tratarse de forma conjunta con los lixiviados del relleno común, lo importante es el mejor aislamiento de la celda especial de estos desechos.

## 5.4 Sistema de drenaje de Lixiviados

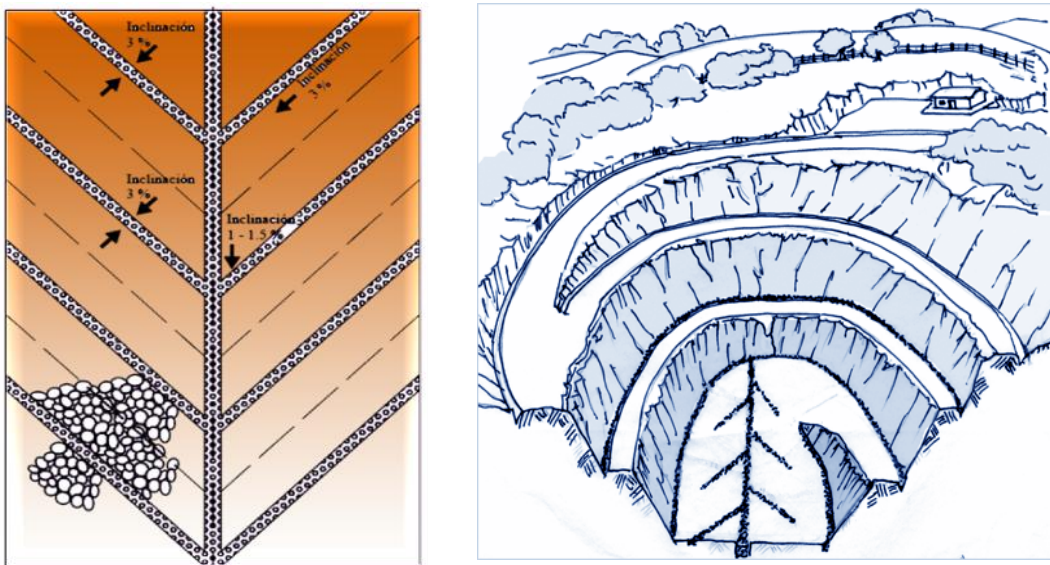
El manejo del lixiviado es uno de los mayores problemas que se presentan en un relleno sanitario. En algunos casos, a pesar de contar con los canales periféricos para interceptar y desviar las aguas de escorrentía pluvial, la lluvia que cae directamente sobre la superficie del relleno aumenta significativamente el volumen del lixiviado.

Así mismo se deberá considerar que dentro de las celdas del relleno sanitario manual o mecanizado existirá escorrentía de lixiviados que serán generados por los procesos químicos internos de los residuos depositados.

Por consiguiente se deberá contar con un sistema de drenaje interno de la celda del relleno sanitario y debe construirse un sistema de captación y conducción de los lixiviados al sistema de tratamiento más adecuado de acuerdo al relleno sanitario.

Para evitar acumulaciones de aguas lixiviadas y asegurar una conducción rápida y eficiente a la planta de tratamiento, se recomienda diseñar el fondo del relleno en sistema espina de pescado. En rellenos grandes, se recomienda dividir el área de relleno en diferentes "cuencas" con un colector mayor en el centro.

**Figura 5.5: Sistema de Drenaje Interno para Lixiviados**



**5.4.1 Sistema interno en las celdas del Relleno Sanitario:** Este sistema de drenaje tratará que la absorción o infiltración de los lixiviados sea nula en el área rellena, puesto que el lixiviado seguirá produciéndose por muchos años posteriores al cierre del relleno, esta capa de drenaje deberá ser bien construida.

**5.4.1.1 Drenaje de Grava:** Normalmente se construye la capa de drenaje de grava o piedra bola. Las piedras utilizadas deben ser grandes (con dimensiones más o menos homogéneas) recomendándose piedra de 6" o 8" y no contener partículas finas, con eso se asegura una buena permeabilidad hidráulica. El espesor hidráulicamente eficiente debe ser al menos 30 cm; se recomienda construir una capa con espesor de 50 cm con el fin de proteger la permeabilidad hidráulica durante muchos años.

Se extiende una capa de geotextil o de materiales reemplazantes (pasta, yute, tela de saquillo, compost en maduración) sobre la capa de drenaje, al fin de evitar que se congestione la capa de drenaje con partículas sólidas escurridas en las aguas lixiviadas.

**Figura 5.6: Construcción de Drenaje Interno para Lixiviados con Grava**

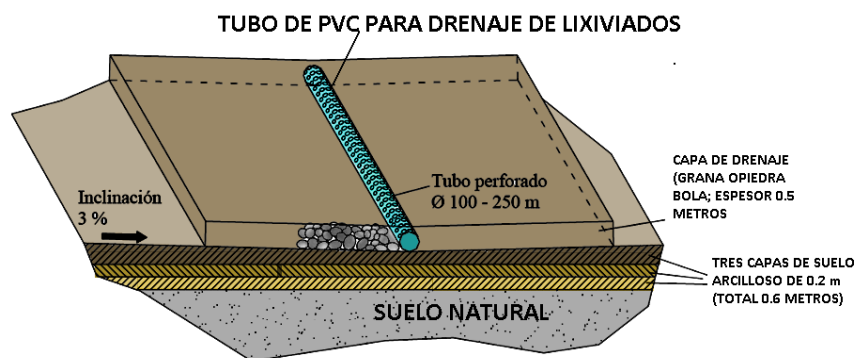


**5.4.1.2 Drenaje con tubería de PVC:** Si es económicamente factible, el sistema ideal de drenaje interno del relleno sanitario consiste en tubos perforados que se colocan dentro de la capa de piedra bola o grava. Estos tubos deben ser colocados al fondo de la capa, para permitir que todas las aguas se percolen al interior del tubo, es importante que exista una capa de filtro sobre la capa de drenaje (geotextil, pasto, saquillo extendido u otro material equivalente) para evitar que se colmaten los tubos.

El diámetro de los tubos puede variar entre 100 y 300 mm, dependiendo de la cantidad de residuos sólidos a depositarse y la precipitación pluvial. Para los colectores mayores en rellenos grandes, se recomiendan tubos con el diámetro de 250 a 300 mm.

El diámetro de los huecos en la tubería se debe determinar según las dimensiones de la grava o piedra bola seleccionada. Hay que evitar que entren piedras dentro de la tubería y la congestionen. El área total de orificios tiene que ser superior a 100 cm<sup>2</sup>/m de tubo. Eso corresponde a orificios con un diámetro de 1 cm y una distancia entre ellos de 2.5 cm o > 127 orificios por metro lineal.

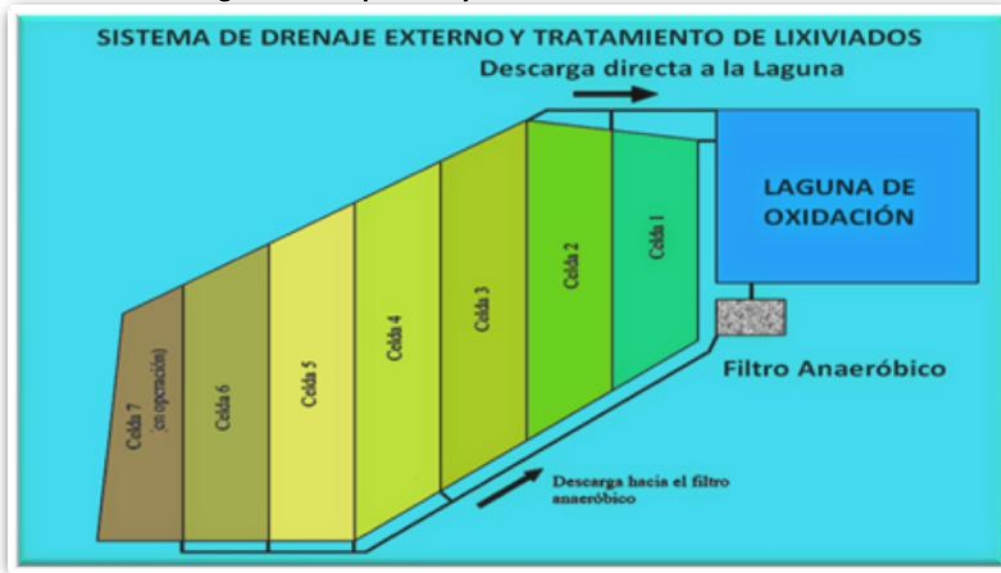
**Figura 5.7: Sistema de Drenaje Interno para Lixiviados con Tubería de PVC**



**5.4.2 Sistema externo de captación y conducción de lixiviados a tratamiento:** Posterior al drenaje interno que tienen que tener las celdas de disposición de residuos sólidos, se debe considerar la captación de los lixiviados y su transporte a un sistema de tratamiento.

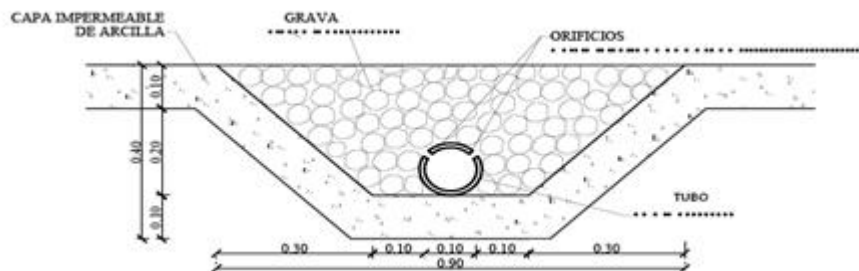
La forma más adecuada de hacer este sistema de captación y conducción es por medio de zanjas con base impermeabilizadas de arcilla y recubiertas por mortero y hormigón pobre, las mismas deben tener una pendiente de 1.5 a 2% con la finalidad de conducir los lixiviados y no retenerlo.

**Figura 5.8: Captación y Conducción Adecuada de Lixiviados**



El sistema de captación y conducción de lixiviados debe ser construido de tal forma que sirva para todas las celdas del relleno sanitario y dirigido a la cota más baja del sitio elegido, donde se recomienda tener un sistema de retención de los lixiviados y la planta de tratamiento.

**Figura 5.9: Drenaje del Relleno Sanitario**



### 5.5 Sistema de Tratamiento de los lixiviados generados

Las buenas prácticas de operación pueden resultar en una reducción de la generación de lixiviados. No hay técnicas que eliminen absolutamente la generación de lixiviado y éste no representa ningún problema, a menos que migre desde el punto de generación hacia las aguas superficiales o subterráneas.

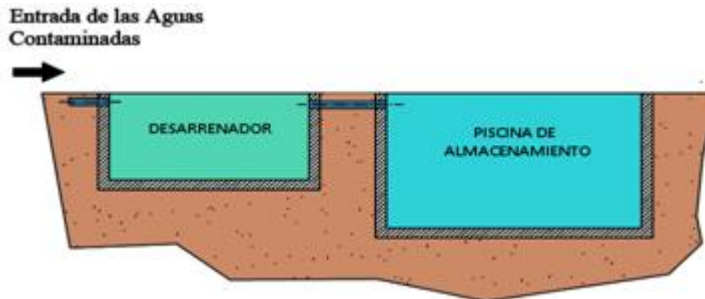
Existen diferentes métodos de control para el manejo y tratamiento de los lixiviados generados, lo conveniente en el caso de rellenos sanitarios manuales es procurar minimizar la generación de lixiviados mediante el control de las aguas pluviales de escorrentía con la construcción de canales perimetrales, recirculación de lixiviados, entre otros métodos.

Para el caso de generación de lixiviados se presentan los siguientes métodos de tratamiento y dependerán de la cantidad de lixiviado que se genere:



**Almacenamiento Temporal de Lixiviados:** Este método consiste en el almacenamiento temporal de lixiviados provenientes de los sistemas de drenaje de captación y conducción, en estanques diseñados para este fin (impermeabilizados), este método será empleado principalmente en época de lluvias, ya que el contenido de humedad en los Residuos Sólidos imposibilitará la recirculación de lixiviado.

**Figura 5.10: Almacenamiento de Lixiviados en Piscinas Impermeabilizadas**



**Recirculación de Lixiviados:** Es un método efectivo para el manejo de lixiviados debido a que cuando se recircula el lixiviado se atenúan y diluyen los compuestos orgánicos e inorgánicos que están contenidos en los lixiviados, es importante resaltar que la recirculación debe ser realizada en rellenos sanitarios que cuentan con capa base impermeabilizada, sistema de drenes de lixiviados y sistema de dren de gases, la recirculación debe ser realizada por las chimeneas de gases para evitar proliferación de moscas, mosquitos y generación de olores en la superficie del relleno sanitario, así mismo se debe contar con sistema de almacenamiento temporal de lixiviados antes ya detallado para poder almacenar el lixiviado en épocas de lluvia.

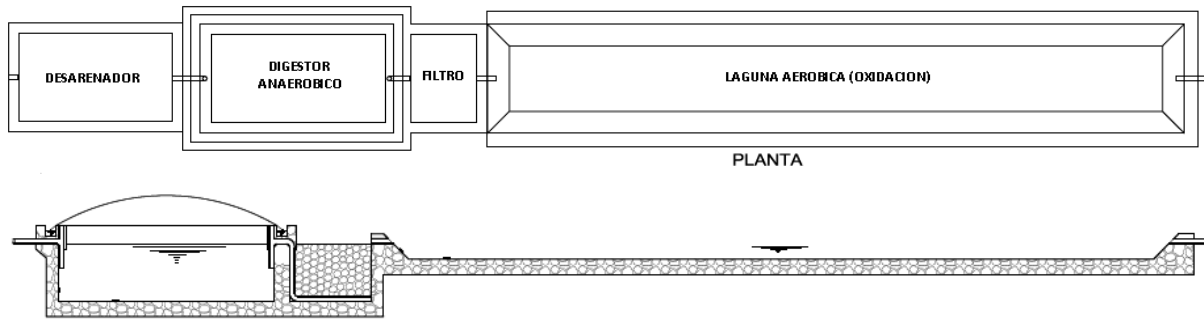
**Elaboración de mezclas terreas humedecidas de lixiviado:** Este método consiste en la mezcla de un volumen determinado de lixiviado con tierra en una proporción en volumen de 1 a 4 (cada metro cúbico de lixiviado debe mezclarse con 4 m<sup>3</sup> de tierra), posteriormente estas mezclas son sometidas al sol y reingresadas al relleno sanitario como material de cobertura de residuos sólidos.

**Figura 5.11: Elaboración de Mezclas Terreas con lixiviados**



**Sistema de tratamiento por medio de filtros y lagunas de oxidación:** Este método consiste en realizar una serie de lagunas anaeróbicas y aeróbicas en serie para poder disminuir la carga orgánica de los lixiviados, realizar la retención del material sedimentario de los lixiviados y reincorporarlo al relleno sanitario mediante un sedimentador, así mismo realizar la evapotranspiración en laguna de oxidación con la finalidad de disminuir la cantidad de lixiviado.

**Figura 5.12: Sistema de Tratamiento con Filtro y Laguna de Oxidación**



**5.6 Sistema de Manejo de Gases Generados en el Relleno Sanitario:** El proceso de estabilización de los residuos sólidos al interior de un relleno sanitario manual o mecanizado produce gases orgánicos, los productos finales o definitivos de la descomposición orgánica y estabilización de los residuos depositados en términos de gases serán  $\text{CH}_4$  (metano),  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y serán producidos durante un largo tiempo (25 años) aun después del cierre del relleno sanitario, estos gases orgánicos deben ser evacuados del relleno sanitario.

El gas de relleno se puede evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuar solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos.

#### **5.6.1 Sistema de Drenaje Pasivo para Gases del Relleno Sanitario.**

Si se realiza el drenaje pasivo hay que construir chimeneas de drenaje durante la operación del relleno sanitario. Aquí se aprovecha de la difusión horizontal del gas en el relleno. El gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen que tener una alta permeabilidad para el gas.

##### **5.6.1.1 Construcción de las Chimeneas Relleno Sanitario Manual:**

Para rellenos sanitarios manuales es aconsejable realizar las chimeneas con una diámetro de 0.3 a 0.5 metros y separadas de 20 a 50 metros, considerando que mínimamente una por celda de disposición final cuando el relleno sanitario manual es relativamente pequeño y no cuenta con celdas de más de 2500 metros cuadrados.

Estas chimeneas serán construidas de forma vertical a medida que avanza el relleno sanitario y desde la base del mismo, procurando que el entorno de la chimenea este bien compactada, los materiales de construcción pueden ser diversos pero se aconseja puntales de madera, con trabas a cada metro, así mismo recubiertos por malla olímpica o malla de gallinero, rellenos de piedra con diámetros de 4" o 6" u otro tipo de material como piedra partida o grabas de dimensiones mayores a los 4 cm, con el fin de garantizar el flujo del gas durante la vida útil del relleno y su posterior cierre .

**Figura 5.13: Forma de Construcción de las Chimeneas en Rellenos Manuales**



Chimenea de Puntales de Madera

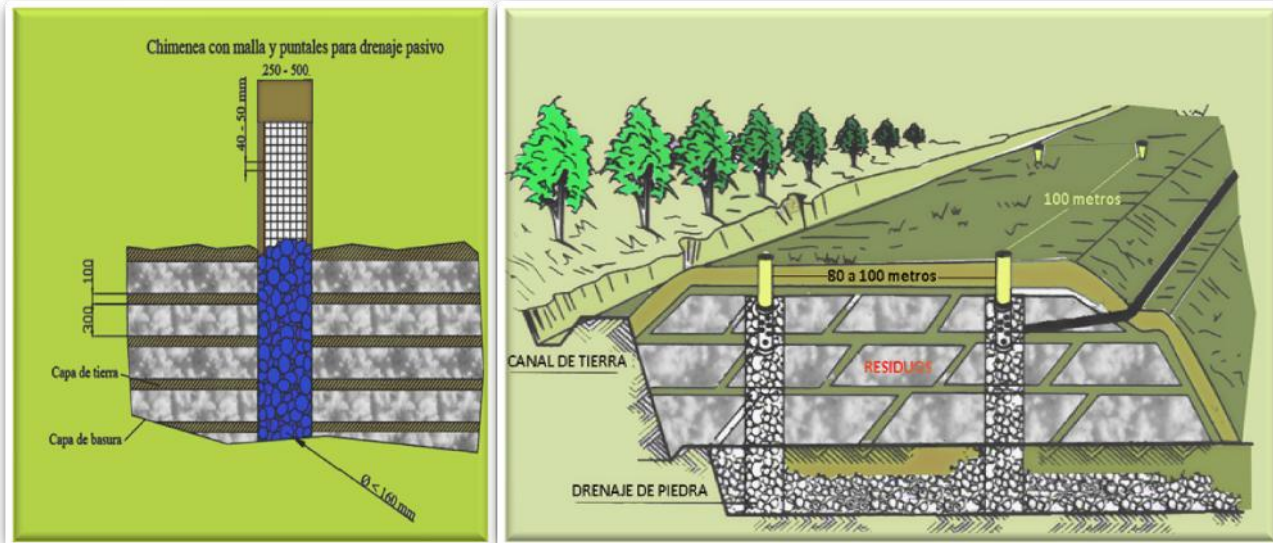
Chimenea con Turril Accedente

**5.6.1.2 Construcción de las Chimeneas Relleno Sanitario Mecanizado:**

Para rellenos mecanizados se recomienda que las chimeneas tengan un diámetro de 0.6 a 1.2 metros y separadas de 80 a 100 metros o a criterio del técnico del relleno sanitario.

Las chimeneas deberán ser construidas de forma vertical, iniciando en la base del relleno sanitario, su construcción es aconsejable que sea mediante un tubo metálico que es implantado en la base del relleno sanitario, el cual es relleno con piedra de 6” a 8” para garantizar que no exista obstrucción durante la vida útil del relleno y su posterior cierre.

**Figura 5.14: Detalles del Sistema de Dren para Gas de Relleno Sanitario**

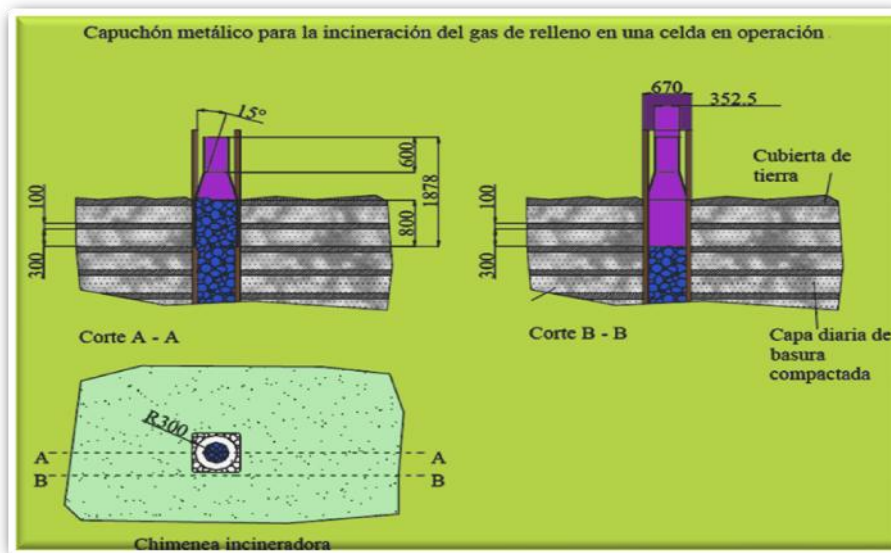
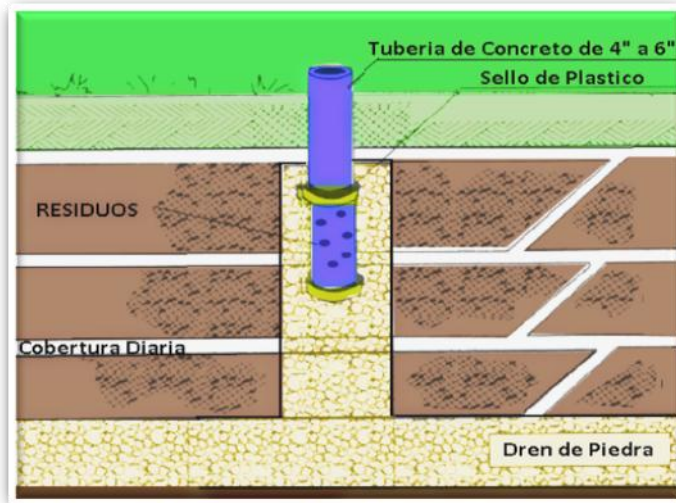


**5.6.1.3 Quema de los gases Orgánicos producidos en el relleno sanitario.**

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas, es muy importante que se queme el gas que sale de las chimeneas. Si no, las chimeneas constituyen un peligro importante para los obreros y recicladores en el relleno, porque los gases de relleno salen casi sin dilución de las chimeneas, Además, el gas de relleno puro que sale de las chimeneas causa graves daños al medio ambiente.

Luego de tenerse prevista la conclusión de la última capa de residuos sólidos para una celda, se instala el sistema para realizar la quema de estos gases, pudiendo quemarse el gas de relleno dentro de la chimenea, protegiendo los puntales y la malla con un tubo de hormigón o un capuchón metálico.

**Figura 5.15: Colocación de Tubo Perforado**



### 5.7 Obras complementarias

El relleno sanitario antes de entrar a la etapa de operación deberá contar con una serie de obras complementarias mínimas como a continuación se indica:

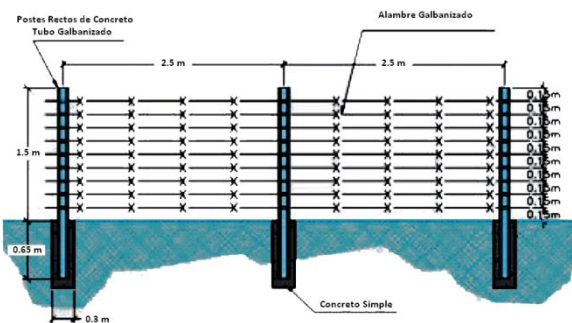
- Cerca perimetral
- Caseta de vigilancia
- Pesaje y báscula
- Almacén y cobertizo
- Servicios sanitarios
- Taller de mantenimiento

Área administrativa y servicios de primeros auxilios.  
Pozos de monitoreo  
Área de amortiguamiento  
Señalización

### 5.7.1 Cerca perimetral y cerco vivo de arboles

El relleno sanitario deberá estar cercado, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m de alto, partir del nivel del suelo con postes de madera, hormigón o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 2.5 m entre sí, con alambre de púas entreverados cada 0.15 m.

Figura 5.16: Cerca Típica y Cortina Arbórea del Relleno Sanitario



Es también necesaria la conformación de un cerco vivo de árboles y arbustos como aislamiento visual, pues oculta de los vecinos y transeúntes la vista de los desechos sólidos; da buena apariencia estética al contorno del terreno, y puede servir para retener papeles y plásticos levantados por el viento. Se recomienda plantar árboles de rápido crecimiento (pino, eucalipto, bambú, etc.)

### 5.7.2 Caseta de vigilancia

La construcción de una caseta es importante para ser usada como: portería, lugar para guardar las herramientas, cambio de ropa (antes y después del trabajo) e instalaciones sanitarias, esta caseta deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región y de acuerdo a las necesidades del tipo de relleno a construir y personal que trabajar en el sitio.

### 5.7.3 Caseta de pesaje y báscula

- Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 10 m<sup>2</sup>, para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.
- La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:
  - Capacidad acorde a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga.

### 5.7.4 Caminos

- Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo con las especificaciones siguientes:
  - Ser de trazo permanente
  - Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario

c) Los caminos interiores deben cumplir las especificaciones siguientes:

- Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores o de transferencia hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.
- Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayores del 5 %.
- Deberán tener los radios de giro adecuados.

#### **5.7.5 Almacén, cobertizo y mantenimiento**

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipo, herramientas y materiales que sean de uso para el relleno, el tamaño dependerá del equipo que se disponga, camionetas, maquinaria pesada y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén. Deberá contar junto al cobertizo, con un área para el mantenimiento y limpieza de los equipos.

#### **5.7.6 Servicios sanitarios**

Los servicios sanitarios se instalarán conforme a los requisitos que establezcan las disposiciones aplicables, siendo obligatorio un sanitario por cada 8 obreros de acuerdo al reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional de la Ley General del Trabajo.

#### **5.7.7 Taller de mantenimiento**

Para rellenos sanitarios mecanizados se deberá contar un galpón para el mantenimiento preventivo de toda la maquinaria, vehículos y equipos que se cuente, esta área debe ser cubierta para el trabajo en todo tipo de condiciones climáticas.

#### **5.7.8 Área administrativa y servicios de primeros auxilios.**

En rellenos sanitarios mecanizados se debe contar con área para el personal administrativo del relleno Sanitario.

#### **5.7.9 Pozos de monitoreo**

La instalación de pozos de monitoreo se realizará siempre y cuando el nivel de la napa freática este a menos de 25 metros respecto al nivel del terreno natural, será necesario realizar la construcción de por lo menos 2 pozos de monitoreo para realizar un seguimiento a la calidad de las aguas subterráneas, estos pozos de monitoreo deberán estar en la dirección del flujo de las aguas subterráneas ubicados a 100 metros aguas arriba del relleno sanitario y el otro a 100 metros aguas abajo del relleno sanitario.

#### **5.7.10 Área de amortiguamiento**

- a) El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 30 m y 50 m del relleno sanitario.
- b) Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales de talla y follaje suficiente para que reduzca la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la operación.

#### **5.7.11 Señalización**

Las señales a implementar en el relleno sanitario se podrán dividir en tres géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo.

## Capítulo 6: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL RELLENO SANITARIO

### 6.1 Recursos Técnicos y Humanos.

Los siguientes criterios determinan la cantidad y las características del personal necesario para la Operación y Mantenimiento de un relleno sanitario, sea este manual o mecanizado:

- Área del relleno
- Cantidad diaria de desechos descargados
- Cantidad diaria de vehículos
- Número de rellenos (si hay, por ejemplo, un relleno para desechos domésticos y otro para desechos hospitalarios peligrosos)
- El tipo de los desechos (domiciliarios clasificados o no clasificados, industriales, hospitalarios, peligrosos o no peligrosos)
- Estándares y leyes vigentes de protección del medio ambiente y de calidad
- Disponibilidad y material de cobertura
- Días laborables en el relleno
- Duración de la jornada diaria
- Condiciones del clima
- Rendimiento de los trabajadores
- Maquinaria, equipos y herramientas con las que se cuenta.

#### 6.1.1. Calculo del Personal Necesario

**Cuadro 10: Número Aproximado de Personal Necesario para el Manejo de un Relleno Sanitario**

Personal Requerido		Relleno con Compactación Mecanizada		Personal para Relleno Manual
		Personal para Relleno Mediano	Personal para Relleno Grande	
Jefe de Relleno Sanitario		1	1	0
Ayudante del Jefe de relleno		0	1	0
Técnico de laboratorio o químico		0	1	0
Chofer de Maquinaria pesada (tractor, oruga, pala, retroexcavadora)		2	3	0
Mecánico para reparación de maquinaria pesada.		1	1	0
Técnico mecánico para reparación de vehículos y otros equipos.		0	1	0
Responsable de balanza y portería		1	2	1
Obreros para el relleno	Colocado, compactado y cubierta de residuos	3	6	8
	Construcción de chimeneas			
	Limpieza de Canales de drenaje y cunetas			
	Mantenimiento de planta de tratamiento de lixiviados			
<b>Total de Personal</b>		<b>8</b>	<b>16</b>	<b>9</b>

En el caso de rellenos manuales es muy importante tener el número de obreros para un buen funcionamiento, por consiguiente del rendimiento de los obreros en un relleno sanitario manual se hace como se presenta en el siguiente cuadro:

**Cuadro 11: Rendimiento de los Obreros en Relleno Manual**

ACTIVIDAD	PERSONAL REQUERIDO PARA ESTA ACTIVIDAD
Colocado de los residuos =	$\frac{\text{Desechos.solidos}(\text{tn}/\text{día})}{0.95(\text{tn}/\text{hora} - \text{hombre})} \times \frac{1}{\text{horas.trabajo.por.día}} \times \frac{7}{\text{días.laborables.por.semana}} = (\text{hombres}/\text{día})$
Compactación de los residuos =	$\frac{\text{Area.superficial}(\text{m}^2)}{20 \text{ m}^2(\text{hora} - \text{hombre})} \times \frac{1}{\text{horas.trabajo.por.día}} \times \frac{7}{\text{días.laborables.por.semana}} = (\text{hombres}/\text{día})$
Movimiento de tierra de cobertura =	$\frac{\text{Tierra}(\text{m}^3)}{0.35 \text{ a } 0.7 \text{ m}^3/(\text{hora} - \text{hombre})} \times \frac{1}{\text{horas.trabajo.por.día}} \times \frac{7}{\text{días.laborables.por.semana}} = (\text{hombres}/\text{día})$
Cobertura diaria de los residuos con compactación =	$\frac{\text{Area.superficial}(\text{m}^2)}{20 \text{ m}^2(\text{hora} - \text{hombre})} \times \frac{1}{\text{horas.trabajo.por.día}} \times \frac{7}{\text{días.laborables.por.semana}} = (\text{hombres}/\text{día})$

Con estas sencillas ecuaciones se podrá estimar el personal que mínimamente deberá contra el relleno sanitario manual para realizar una disposición adecuada de los residuos sólidos.

#### 6.1.2 Requerimiento de Herramientas, Equipos y Maquinaria Necesaria.

En el siguiente cuadro se describen las herramientas más necesarias en un relleno sanitario manual y en qué actividades son usadas, estas mismas herramientas serán necesarias en un relleno sanitario mecanizado aun que se utilizara maquinaria para realizar estas actividades y las herramientas son únicamente de apoyo.

**Cuadro 12: Herramientas Mínimas Requeridas para el Relleno Sanitario Manual**

Herramienta	Actividad en que es requerida
Pala	Cargar, descargar y colocar residuos sólidos
	Cargar, descargar y colocar material de cobertura.
	Mantenimiento de drenes y cunetas.
	Mantenimiento de piscinas de lixiviados, retirando lodos.
Azadón	Aflojar el terreno
	Trabajos de arborización
	Mantenimiento de cunetas y canales de drenes
Barra	Aflojar terreno para excavaciones
	Trabajos de arborización
Pico	Remover el terreno para excavaciones
	Trabajos de arborización
	Mantenimiento de cunetas y canales de drenes
Rastrillo	Colocación de material de cobertura de forma homogénea.
Pisón de mano	Compactación manual de la basura y conformación de taludes
Machete	Afilar palos y estacas
	Cortar árboles pequeños y arbustos para la preparación del terreno
Sierra	Cortar árboles, palos y otras maderas
Carretilla	Trasporte interno de residuos y material de cobertura
Rodillo Manual	Compactación de los residuos y cubierta con tierra



En el caso de rellenos mecanizados será necesario contar con estas herramientas, pero así mismo con la siguiente maquinaria:

**Cuadro 13: Equipamiento Requerido para el Relleno Mecanizado**

MAQUINARIA O VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN A DESARROLLAR
Tractor Compactador	Tractor pesado con pala y oruga con ruedas especiales	Mover y colocar los residuos sólidos descargados, compactar y cubrir los residuos con material de cobertura
		Si el material de cobertura esta en el mismo sitio del relleno el tractor puede traer el material de cobertura.
		Hacer trabajos de preparación del suelo (excavaciones, colocación de capa mineral), así también trabajos de cierre de celdas de residuos sólidos.
Tractor pequeño	Tractor común de construcción	En rellenos grandes, donde se utilizan compactadores pesados el tractor común de construcción sirve para excavar y traer el material de cobertura y otros trabajos de construcción
Volqueta	Volqueta de 8 o 10 cubos	Traer material de cobertura, si existen planta de lombricultura o compostaje dentro el relleno sanitario, trasladara materiales entre estas plantas y el sitio de disposición final.
Vehículos auxiliares	Camionetas, triciclos	Son vehículos para traer y llevar al personal, traer combustible para la maquinaria pesada y lubricantes.
Balanza Registradora	Balanza de piso para volquetas de alto tonelaje	Pesaje de todos las volquetas que ingresan con residuos sólidos al relleno Sanitario, llevando un registro.

### 6.1.3 Materiales para Mantenimiento y Operación.

Serán necesarios diversos materiales para el mantenimiento y operación de rellenos manuales y mecanizados entre los más importantes se consideran los siguientes:

#### 6.1.3.1 Construcción de Chimeneas.

Las chimeneas serán construidas a medida que existe avance en la operación de de un relleno sanitario pro lo que se debe contar con los siguientes materiales:

- Malla metálica: Para recubrir la chimenea, puede ser malla tipo gallinero.
- Piedra bola: Para la conformación de las chimeneas verticales.
- Palos: Para las esquinas y trabas de las chimeneas.
- Clavos: Asegurar la malla a los postes de madera.

### 6.1.3.2 Cubierta diaria de la celda.

La cubierta de los residuos sólidos será realizada diariamente, así se tendrá un frente de trabajo mínimo y con cobertura al final del día, para lo cual será necesario contar con el siguiente material:

Material de cobertura: Se preferirá un material con contenido de arcilla de forma de garantizar la impermeabilización de las capas intermedias y final contra la infiltración por precipitaciones pluviales, será utilizado tanto para la cubierta diaria de los residuos y su compactación como para la preparación de nuevas celdas de trabajo, se debe considerar que el material de cobertura será de un 20% del volumen de residuos que se depositaran.

### 6.1.3.3 Equipos de Protección Personal (EPP).

En cumplimiento a normas laborales, es necesario que todo el personal del relleno sanitario cuente con los Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados al trabajo a realizar, en consecuencia en un relleno sanitario se deberá contar con lo siguiente:

**Figura 6.1: Ropa de Trabajo**

- Ropa de Trabajo (overoles)
- Ropa de Trabajo para época de lluvia (impermeables)
- Guantes de goma y de cuero.
- Botines de seguridad
- Botas de Goma para épocas de lluvia.
- Filtros o barbijos según el caso.



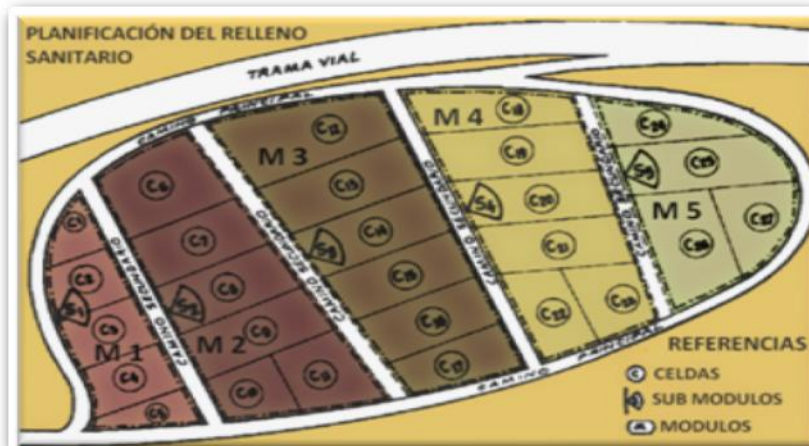
## 6.2 Plan de Operación

Con un plan de operación, se puede hacer más eficiente el manejo diario del relleno sanitario y se establece con claridad los papeles y responsabilidades de los involucrados.

### 6.2.1 Planificación de orden en construcción de celdas.

Se deberá planificar el orden adecuado en la construcción de las celdas, sean estas trincheras o plataformas para el método de área, el objetivo será utilizar la mayor cantidad de área del sitio seleccionado para la disposición de residuos sólidos, minimizar recorridos de acarreo de material de cobertura, y construir infraestructura adecuada para la vida útil del relleno sanitario.

**Figura 6.2: Planificación de los Módulos del Relleno Sanitario**



### 6.2.2 Ingreso de los Residuos Sólidos y Registro.

Se deben registrar los residuos sólidos que entran en el relleno sanitario, esto es para cuantificar la cantidad de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario, esto se lo puede hacer a través de la balanza llevando un control en (Tn/día) o mediante la capacidad volumétrica de los vehículos que se utilizan para la recolección de los residuos ( $m^3/día$ ).

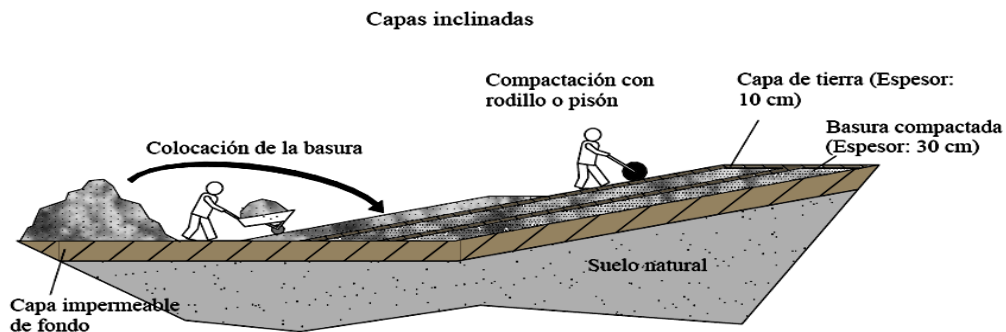
### 6.2.3 Descarga, colocación, compactación y cubierta de residuos sólidos.

Se pueden aplicar diferentes estilos de descarga y de colocación de los desechos sólidos. Depende mucho si se trata de un relleno sanitario manual o un relleno con compactación mecanizada. Los trabajos para obtener un relleno seguro y una prolongada vida útil no teniendo mayores impactos ambientales, se describen a continuación:

#### 6.2.3.1 Para Rellenos Manuales.

La basura se descarga lo más cerca posible al sitio donde se rellenará; para eso es importante que se indique al chofer del vehículo recolector. Los trabajadores colocan la basura en capas delgadas, de un espesor máximo de 30 cm. Se pueden construir capas horizontales o capas inclinadas que se apoyen en un talud natural o en las capas construidas anteriormente. Si se hace la colocación de la basura con capas inclinadas, estas no deben ser más inclinadas que 1: 3.

**Figura 6.3: Operación en Rellenos Manuales**



Las capas se deben construir diariamente, compactar y cubrir con tierra. Para la protección del relleno sanitario contra roedores, insectos y otros animales (gallinazos, perros callejeros etc.), y para impedir la dispersión de materiales volátiles, polvo y olores es muy importante que no quede expuesto ningún desecho.

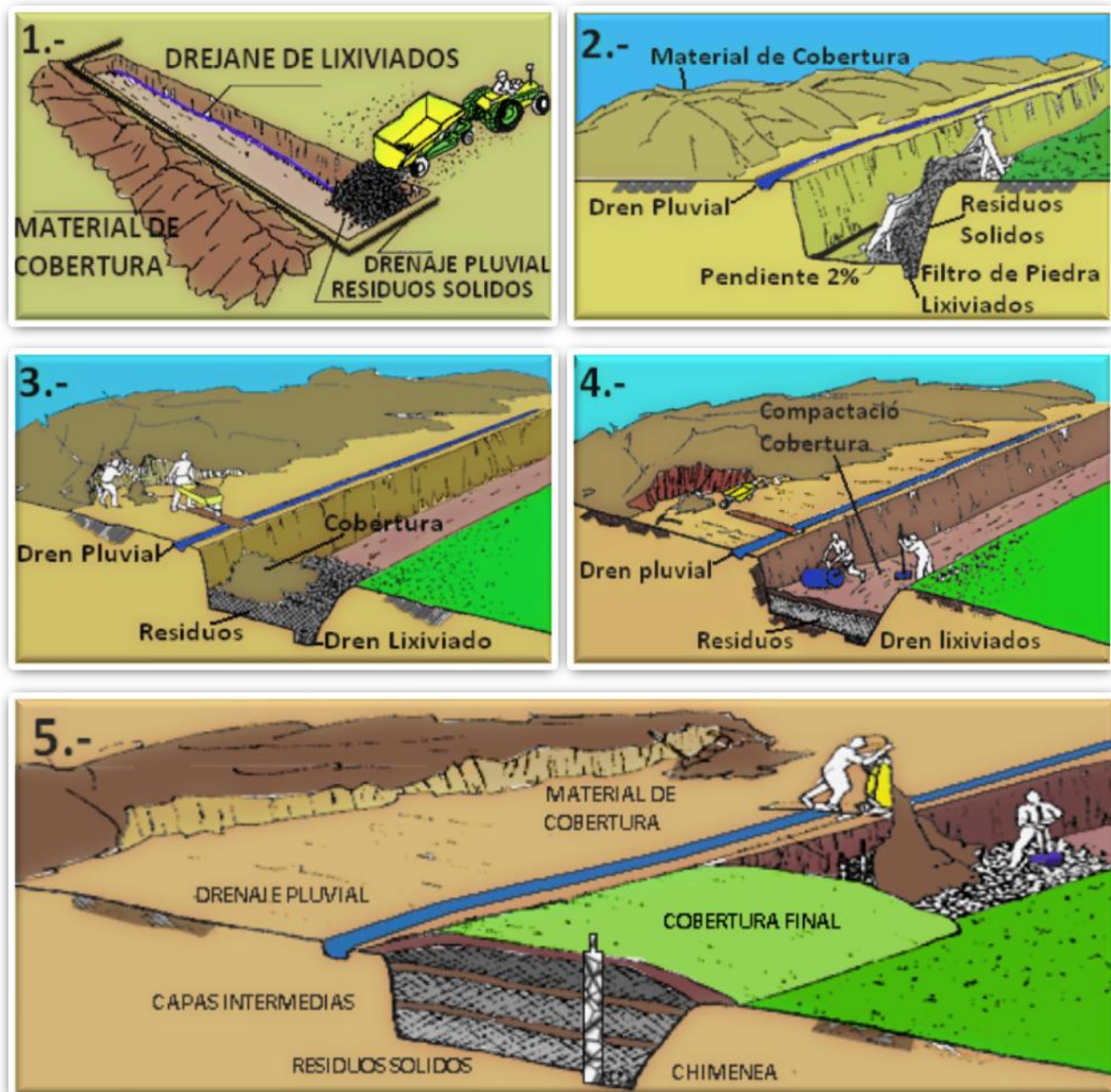
El material de cobertura se puede conseguir del sitio mismo del relleno. Si se hace el relleno manual en forma de trinchera, el material excavado sirve como cobertura diaria y también se puede utilizar como cobertura final. En caso de que se construya el relleno sanitario en el área, hay diferentes posibilidades de suministrar el material de cobertura:

- Si se aprovechan los desechos biodegradables produciendo humus, la fracción gruesa del compost se puede utilizar para cubrir los desechos.
- Si el relleno se construye en un terreno inclinado, se puede nivelar el talud y utilizar la tierra sobrante
- Se puede acoger en el relleno sanitario la tierra sobrante de excavaciones dentro de la ciudad, anunciando que se recibe la tierra en el relleno.

En regiones con mucha precipitación, la excavación o el transporte diario del material de cobertura puede ser problemático, cuando la tierra se satura de humedad, pesa más y es más pegajosa que en la época seca. Aquí se recomienda almacenar una cantidad suficiente de material de cobertura en el mismo relleno. Si es posible, se almacena esta tierra sobre una celda ya terminada. Con esto, la distancia de transporte hacia la celda actualmente operada sería mínima, y el peso de la tierra acumulada ayudaría a compactar más la celda terminada y disminuye la generación de aguas lixiviadas.

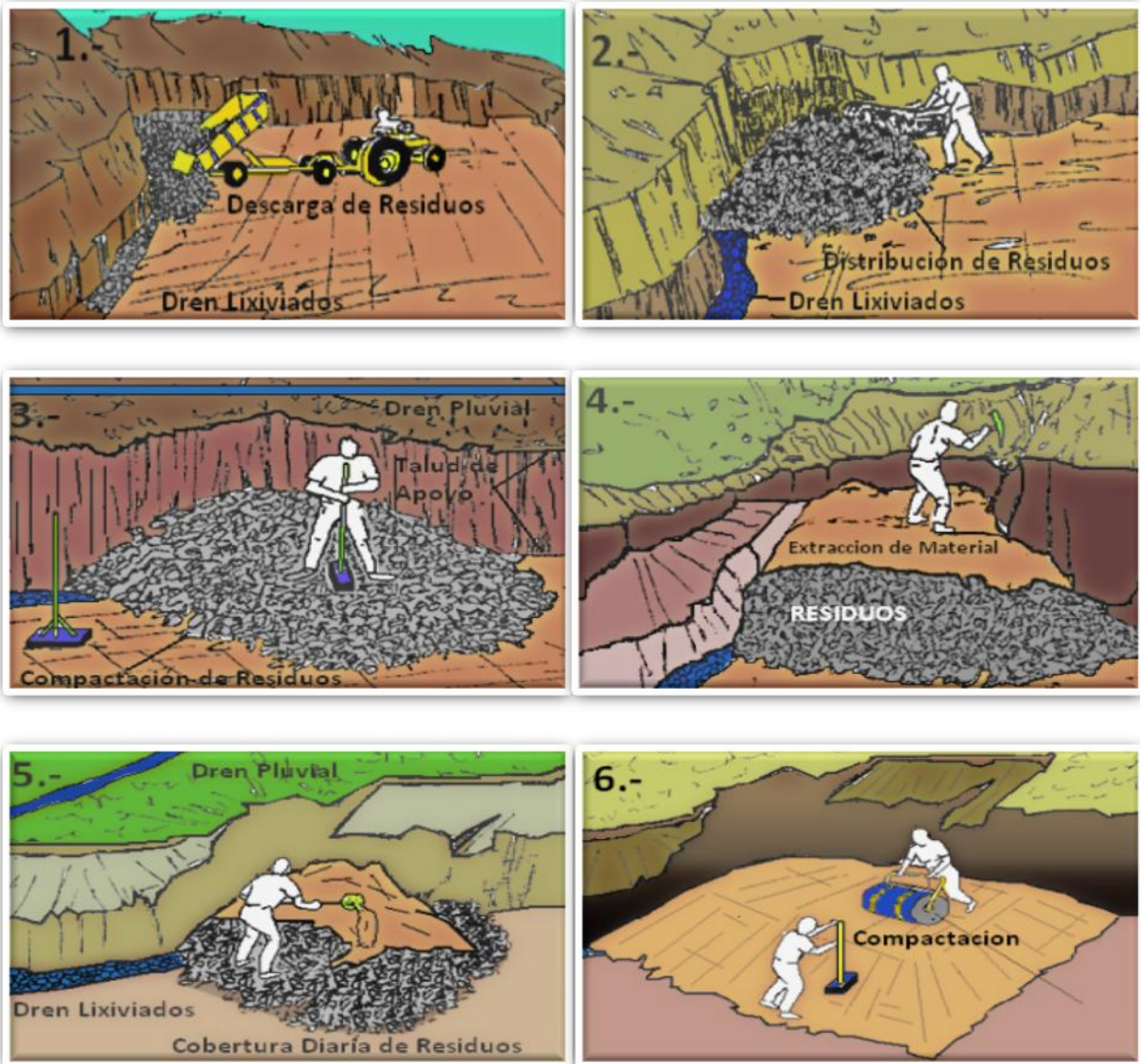
La compactación de la basura colocada y de la cobertura se realiza con los pisones manuales y con el rodillo manual. Para compactar los taludes, el uso del pisón es más recomendable; para superficies horizontales se utiliza el rodillo manual, así mismo es una gran ayuda el uso de saltarín de obras civiles para realizar esta tarea de compactación aun que aumenta el costo por el uso de combustible pero la eficiencia del trabajo y rendimiento de los obreros es muy significativa.

**Diagrama 3: Forma de Trabajo para Relleno Sanitario Manual Método de Trinchera**



- |   |
|---|
| 1.- Descarga de los residuos sólidos en la trinchera  |
| 2.- Distribuir y compactar los residuos sólidos en capas de 30 cm de espesor.                         |
| 3.- Realizar la cobertura diaria de los residuos con material arcilloso con un espesor de 10 a 15 cm. |
| 4.- Compactar el material de cobertura diario.  |
| 5.- Construcción de chimenea y cobertura final de la celda de trabajo.                                |

**Diagrama 4: Forma de Trabajo para Relleno Sanitario Manual Método de Área**



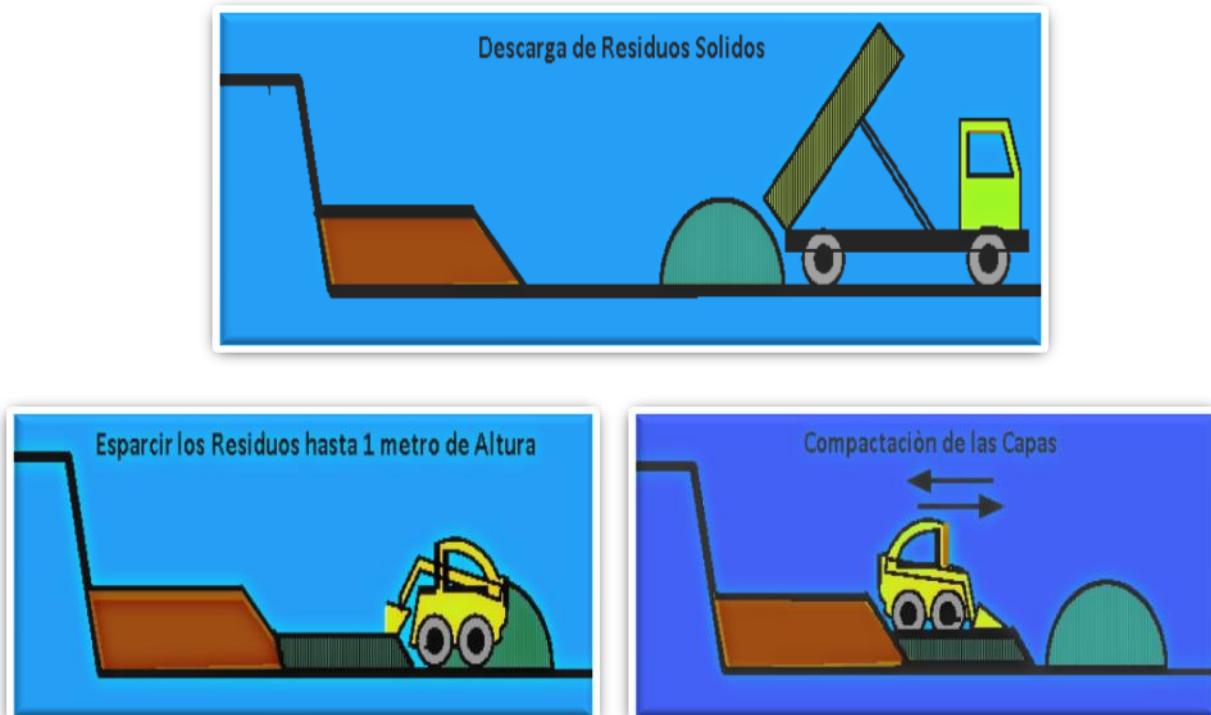
- |  |
|--|
| 1.- Descarga de los residuos sólidos en el frente de trabajo                   |
| 2.- Distribuir los residuos sólidos en capas de 30 cm de espesor.              |
| 3.- Realizar una compactación de los residuos sólidos con pisón.               |
| 4.- Realizar la extracción de material de cobertura de los taludes adyacentes. |
| 5.- Realizar la cobertura de los residuos sólidos                              |
| 6.- Compactación del material de cobertura diario.                             |

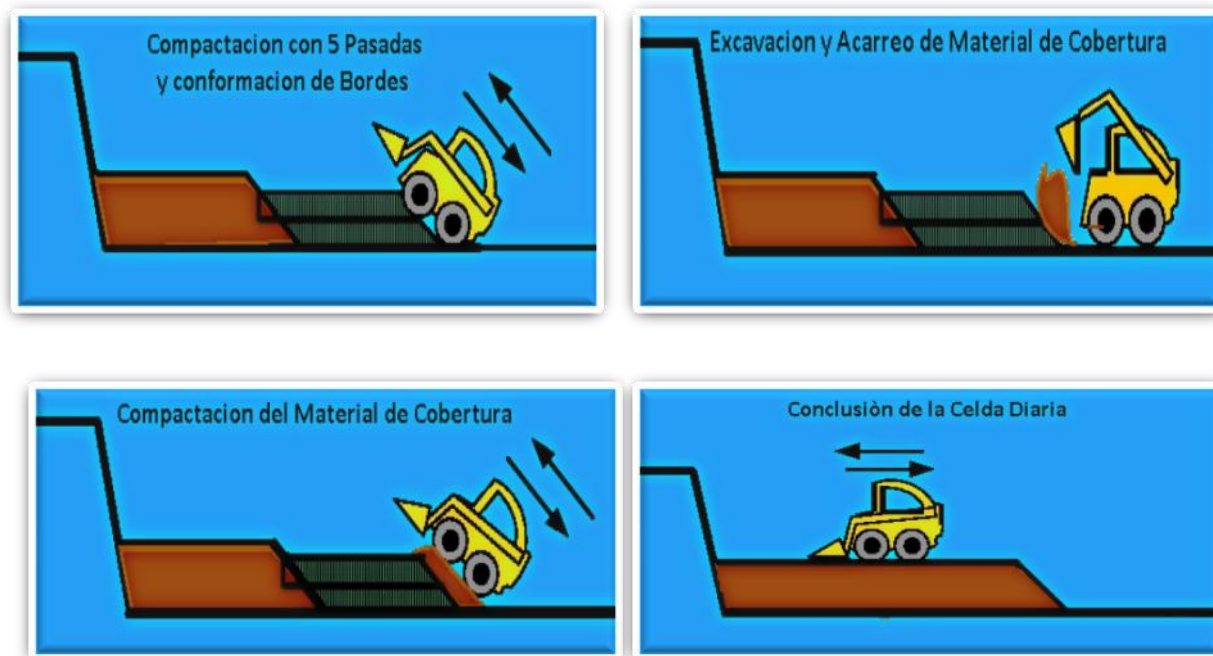
### 6.2.3.2 Para Relleno Mecanizados.

Se pueden aplicar diferentes métodos de descarga y colocación de los desechos sólidos en el relleno sanitario mecanizados, dependiendo de la forma y topografía del terreno. Es indispensable compactar los desechos de manera óptima para extender la vida útil del relleno y minimizar los impactos ambientales. Las siguientes medidas ayudan a lograr este objetivo:

- Los desechos se deben colocar de forma homogénea. Es importante que el personal que tiene la función de indicar los lugares de descarga los organice de tal manera que los montículos de desechos descargados se distribuyan homogéneamente sobre el área de frente de trabajo diario. Esta precaución minimiza también el trabajo y consecuentemente los costos del tractor compactador.
- Solamente los desechos que no se pueden valorar se mandan al relleno sanitario, además los residuos que sobran del procesamiento de los desechos recuperables.
- Se recomienda utilizar compactadores pesados especiales (31 - 36 t) en rellenos muy grandes y utilizar un segundo tractor liviano para trabajos auxiliares y realizar capas delgadas de entre 0.5 a 1 m de forma de obtener buenos resultados con la compactación.
- El número de las pasadas que hace el tractor sobre los desechos influye en la compactación, Se puede pasar compactando entre 5 y 25 veces sobre una capa de desechos. La bibliografía establece que realizar más de 8 pasadas no contribuye significativamente en el grado de compactación, por consiguiente de forma de no encarecer los costos por maquinaria y maximizar el uso de esta se recomienda realizar únicamente 8 pasadas para la compactación de residuos sólidos.
- Se debe cubrir la basura descargada cada día al fin de la jornada con una capa de tierra. La cantidad del material usado para la cobertura debe ser en una relación de 1 (material de cobertura) a 3(residuos sólidos). Si se entierran 50 m<sup>3</sup>/d de basura, se debe utilizar entre 13 - 15 m<sup>3</sup> de tierra para la cobertura.

**Diagrama 5: Forma de Trabajo para Rellenos mecanizados en la celda diaria**





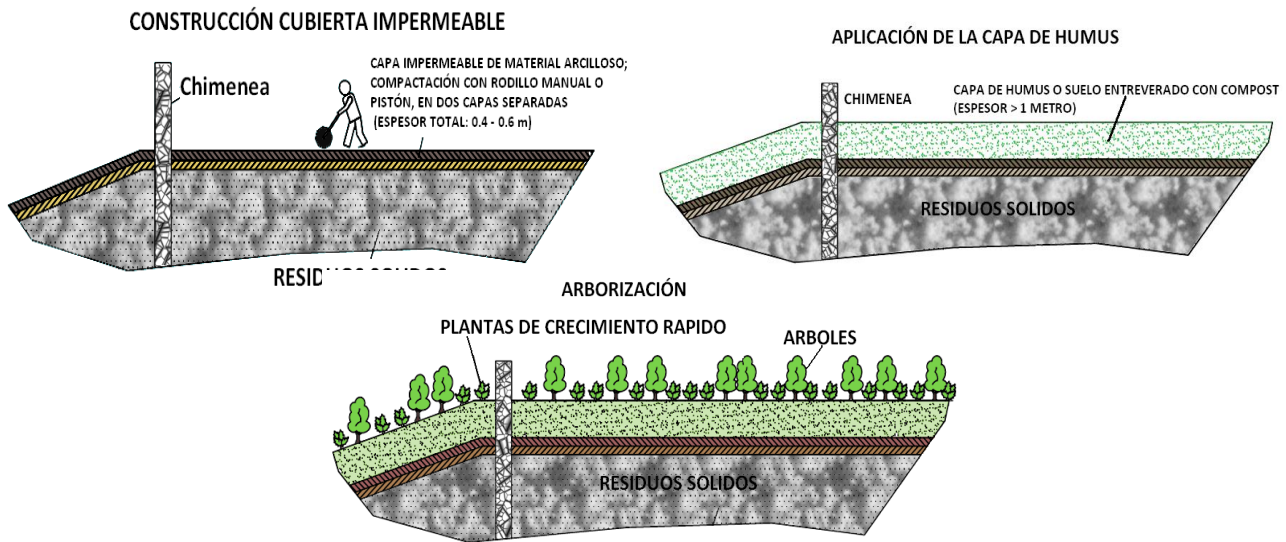
#### 6.2.4 Conclusión de una celda o modulo de trabajo.

Quando se cierra el relleno sanitario o un módulo del relleno, hay que construir una capa final para poder restaurar el terreno, se debe construir una cubierta final más elaborada que las cubiertas diarias o intermedias. Se recomienda construir una capa final de 0.40 - 0.60 m en dos etapas, cada una de 0.20 - 0.30 m de espesor, con un intervalo de aproximadamente un mes para tratar de cubrir los asentamientos que se produzcan en la primera capa.

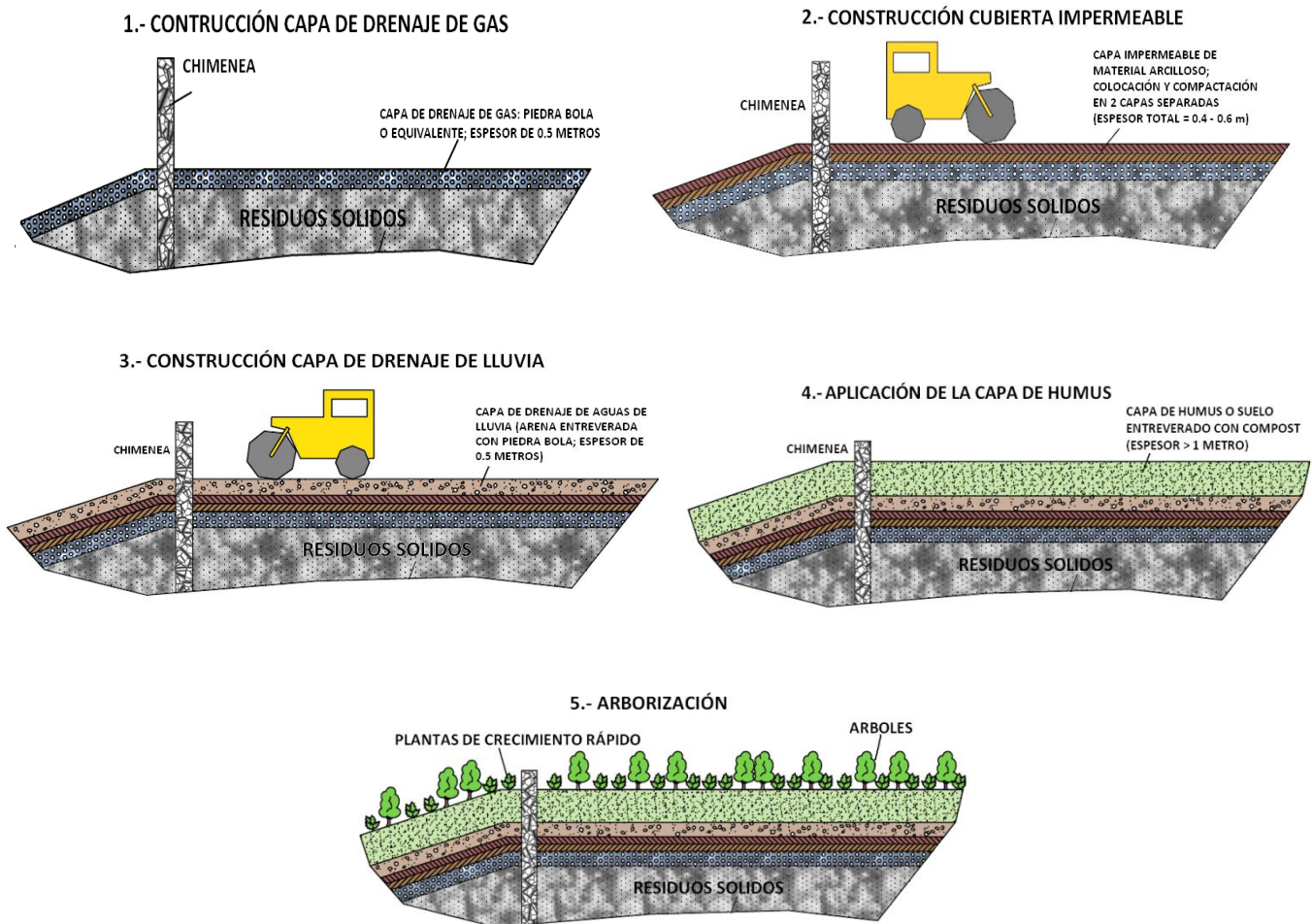
**Cuadro 14: Actividades para la Cubierta Final**

NUMERO	CUBIERTA FINAL	MATERIAL	RELLENO MECANIZADO	RELLENO MANUAL
1	Capa de drenaje de gas con espesor > 50 cm	Arena, compost grueso, piedra bola.	SI	NO
2	Capa Impermeable con espesor de 40 a 60 cm.	Material con contenido de arcilla, limo arcilloso	SI	SI
3	Capa de drenaje de aguas de lluvia espesor de 50 cm	Arena, suelo entremezclado con piedra o grava	SI	NO
4	Capa de humus espesor de 100 cm	Suelo natural enriquecido con humus o compost	SI	SI
5	Reforestación	Plantines	SI	SI

**Diagrama 6: Cierre de Modulo de Trabajo en Relleno Manual**



**Diagrama 7: Cierre de Modulo de Trabajo en Relleno Mecanizado**





### 6.3 Monitoreo y control

El monitoreo y control durante la etapa de operación es importante para ir detectando fallencias que pudieran ocurrir, así mismo controlar el buen desempeño de toda la disposición final de los residuos sólidos.

#### 6.3.1 Monitoreo a la descarga, colocación y cubierta de los residuos.

Durante la descarga de los desechos, esto es especialmente importante en rellenos donde se reciben diferentes clases de desechos, con la finalidad de no mezclar desechos peligroso y bioinfecciosos con los residuos domiciliarios, ya que esto puede causar inhibición en el proceso de degradación de los residuos y por consiguiente alteraciones en la planificación del relleno sanitario, en pequeños rellenos sanitarios donde se descargan solamente desechos domiciliarios, esta precaución no es necesaria.

El crecimiento y la forma del cuerpo de basura se debe observar cuidadosamente. Los controles más importantes son:

- El ángulo del talud del cuerpo de basura (especialmente importante para rellenos con compactación mecanizada, que se construyen en forma de colina artificial)
- La compactación adecuada de los residuos.
- La existencia de fugas de gas o de aguas lixiviadas (las fugas de gas se pueden detectar con equipos de medición; si el municipio en cuestión no dispone de este, se pueden detectar con el olfato y observando el crecimiento de las plantas. El metano impide este crecimiento.)
- La altura actual del cuerpo de basura: Para rellenos grandes construidos como colina artificial, se recomienda realizar un levantamiento topográfico de las celdas ya terminadas y las celdas en operación cada año o cada dos años, con el fin de detectar asentamientos del suelo y comparar el verdadero crecimiento del cuerpo de basura con las proyecciones anteriormente hechas.

#### 6.3.2 Monitoreo de drenes y tratamiento de lixiviados.

Durante la etapa de operación es importante que se realice un control a los canales pluviales o zanjas de coronamiento del relleno sanitario, de forma de garantizar su limpieza y funcionamiento, para evitar que ingrese agua de lluvia por procesos de escorrentía superficial al área del relleno sanitario.

Se debe realizar controles de fisuras en los canales o drenes de captación y conducción de los lixiviados, de forma de verificar su limpieza y libre circulación de los lixiviados para su tratamiento.

Así mismo se deberá verificar que se construyan adecuadamente los drenes internos para lixiviados en las nuevas celdas y que no se dañen o se coloquen obstrucciones en celda en operación.

Se debe realizar controles periódicos del sistema de tratamiento de lixiviados:

- Realizar un control de la infraestructura de forma de verificar que no existan fugas o agrietamientos que puedan ocasionar derrames en lo futuro.
- Verificar niveles de sedimentos en las piscinas de tratamiento.
- Verificar nivel de altura de los lixiviados antes de la época de lluvia de forma de estar preparados contra contingencias.

### 6.3.3 Monitoreo de tratamiento de Gases.

Durante la etapa de operación se debe controlar la construcción de los drenes para gas (chimeneas) de forma que se realice una compactación adecuada al contorno, así mismo que la maquinaria no golpee los drenes y estos se mantengan verticales desde la base hasta la cobertura final, el relleno con material adecuado piedra bola de dimensiones adecuadas (6" a 8").

En rellenos mecanizados grandes, se debe realizar un control del contenido de gas metano en las celdas antiguas ya cerradas mínimamente 2 veces al año, de forma de evitar explosiones en las chimeneas.

### 6.3.4 Monitoreo de las aguas superficiales y subterráneas.

Durante la etapa de operación del relleno sanitario se debe dar mantenimiento a los pozos de monitoreo excavados tanto aguas arriba del relleno como aguas abajo, verificar que tengas cubierta y que no ingrese material ajeno a los mismo.

El programa de monitoreo del acuífero y lixiviados, tiene como objetivo, conocer en forma precisa las condiciones del acuífero, aguas abajo y aguas arriba del sitio de disposición final. Con esto se asegura que el acuífero no ha sido contaminado por lixiviados generados por los residuos sólidos.

Los parámetros a determinar tanto en el acuífero como en los lixiviados, así como la frecuencia de muestreo, se indican en el siguiente cuadro:

**Cuadro 15: Parámetros a Monitorear en Aguas Superficiales y Subterráneas**

Parámetro	Frecuencia
pH	Semestral
Conductividad	Semestral
Oxígeno Disuelto	Semestral
Metales Pesados	Semestral
DQO, DBO	Semestral
Amoniaco	Semestral
Nitratos	Semestral
Nitritos	Semestral

A pesar de no contar con una reglamentación del contenido específico del lixiviado, se puede tomar los límites permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 del Medio Ambiente.

## Capítulo 7: CIERRE DEL RELLENO SANITARIO.

Se diseñará el cierre del relleno sanitario para cuando finalice su vida útil, tomando en cuenta su conformación final, estabilidad de taludes, mantenimiento, monitoreo y control de contaminantes, así como su uso final.

El diseño de cierre del relleno sanitario, deberá incluir el aprovechamiento que se le dará al sitio, una vez concluida su vida útil, el cual estará acorde con el uso de suelo permitido, prohibiéndose el instalar edificaciones en general.

### 7.1 Infraestructura y Equipamiento.

Cuando se cierra un relleno sanitario, no hay necesidad de la mayoría del equipamiento y de la infraestructura. La balanza se puede sacar y trasladar al nuevo relleno o a otro lugar donde se la necesita; lo mismo los vehículos. Si el relleno dispone de luz y agua potable, esto se puede cancelar (salvo en el caso que exista otra infraestructura como, por ejemplo, una planta de lombricultura, que lo necesitaría).

La planta de tratamiento de las aguas lixiviadas y las chimeneas de evacuación de gas, además los dispositivos de incineración del gas de relleno (si hay) se necesitarán durante algunos años más. Se recomienda guardar una bodega con las herramientas que se necesitan para el mantenimiento de la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas.

### 7.2 Controles posteriores al cierre del relleno sanitario.

Se debe realizar los siguientes controles después del cierre del relleno sanitario:

- Estabilidad de taludes: La configuración de los taludes definitivos del relleno, deberá definirse de acuerdo a los lineamientos, que marque un análisis de estabilidad de taludes, realizado previamente
- Levantamiento topográfico del terreno
- Asentamientos y derrumbes (Control visual, una vez por año)
- Fugas del gas de relleno fuera del área (en rellenos grandes y en rellenos medianos cercanos de áreas pobladas, eso se debe controlar entre 2 y 4 veces por año durante los 5 primeros años después del cierre del relleno).
- Estado de la reforestación sobre el cuerpo del relleno, en los taludes y alrededor.

El estado de las plantas es un buen indicador si hay fugas de gas. Como el metano tiene un impacto asfixiante sobre muchas plantas, tanto en la atmósfera como en el suelo, un sitio con considerable menor densidad de vegetación indica una fuga de gas.

#### 7.2.1 Mantenimiento de vías de acceso e infraestructura del relleno sanitario.

Posterior al cierre del relleno sanitario se debe realizar mantenimiento de las vías principales, de forma de poder acceder a las celdas y verificar que no existan agrietamientos, así mismo poder acceder a la infraestructura que funcionara durante muchos años (aproximadamente 20 años) posteriores al cierre, canales pluviales, drenes de captación y conducción de lixiviados, planta de tratamiento de lixiviados, chimeneas en las plataformas de residuos sólidos.

Este mantenimiento de deberá ser mínimamente 1 vez al año, en preferencia antes de las épocas de lluvia, para mitigar cualquier contingencia en el relleno sanitario ya cerrado.

### 7.2.2. Mantenimiento de la capa de cobertura cuando existen agrietamientos.

Se deberá elaborar un programa de mantenimiento de post-cierre del relleno sanitario para todas las instalaciones del relleno sanitario.

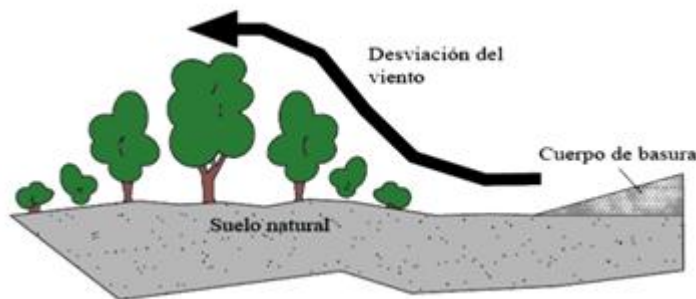
También se debe elaborar un programa de mantenimiento de la cubierta final, para reparar hundimientos provocados por la degradación de los residuos, así como los daños por erosión de escurrimientos pluviales y eólica.

### 7.3 Reforestación del las celdas antiguas y estabilizadas.

La arborización de un relleno sanitario es un tema muy importante. Se debe comenzar con este trabajo durante la construcción del relleno y continuar durante todo el periodo operativo. Después del cierre final, se deben sembrar plantas de la región adecuadas sobre todas las celdas cerradas o sobre la colina artificial entera. La arborización del relleno sanitario ayuda considerablemente a minimizar daños ambientales; además, contribuye a estabilizar los taludes y disminuye la cantidad de las emisiones. El eucalipto, el cedro o el pino pueden también ser utilizados para producir los palos y estacas necesarios en la construcción de chimeneas.

El cerco vivo es muy importante, ya que en muchos sitios no existe una barrera natural. Se recomienda plantar un cerco vivo de 30 – 50 m de ancho, usando arbustos en los bordes y arboles más altos en el centro. Con el cerco vivo, se puede desviar los vientos y se reduce considerablemente la molestia causada por malos olores en los alrededores.

**Figura 7.1: Cortina Arbórea o Barrera Vegetal para el Relleno Sanitario**



### 7.4 Realizar monitoreo de lixiviados, gases, contaminación de aguas subterráneas, superficiales.

Los sistemas de control y monitoreo de biogás, lixiviados y contaminación de aguas superficiales y subterráneas requieren de una atención continua, lo mismo que el sistema de drenaje pluvial y el control de la erosión, el período de post clausura podría comprender un tiempo de 20 a 30 años.

**Cuadro 16: Parámetros a monitorear en la etapa de post clausura de un relleno sanitario**

<b>Factor a Monitorear</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Parámetros a Monitorear</b>	<b>Límites Permisibles</b>
Lixiviados	Semestral	pH DQO, DBO OD: Oxígeno Disuelto Metales Pesados Conductividad Eléctrica Amoniac Nitratos Nitritos	No se cuenta límites permisibles de acuerdo a norma vigente
Gases	Bimensual	Composición de Biogás: CH <sub>4</sub> , O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	No se cuenta límites permisibles de acuerdo a norma vigente
Contaminación aguas superficiales	Semestral	pH DQO, DBO OD: Oxígeno Disuelto Metales Pesados Conductividad Eléctrica Amoniac Nitratos Nitritos	Límites del RMCH
Contaminación aguas subterráneas	Semestral	pH DQO, DBO OD: Oxígeno Disuelto Metales Pesados Conductividad Eléctrica Amoniac Nitratos Nitritos	Límites del RMCH

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

1. **SINA Colombia**, Guía Ambiental de Rellenos Sanitarios, 2002.
2. **Jorge Jaramillo, CEPIS**, Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos sanitarios Manuales, 2002.
3. **Eva Röben**, DED/ Ilustre Municipalidad de Loja Ecuador, Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, 2002.
4. **Ing. José Sued, Ing. Aldo H. Mennella**, Relleno Sanitario para Grandes Conglomerados, OPS/HPE/CEPIS.
5. **Normas Bolivianas NB742-NB760**, IBNORCA, 1996.
6. **Bogota-Colombia, Departamento de Nariño**, Plan de Cierre Botaderos a Cielo Abierto Municipio El Tablón de Gómez, 2008
7. **Dr. Günther Wehenpohl** GTZ, Manual para la Supervisión y Control de Rellenos Sanitarios México, 2000.
8. **Programa Nacional de Competitividad Costa Rica**, Guía Básica para el Manejo Ambiental de Rellenos Sanitarios.
9. **Ing. Héctor Fuentes**, IDOM, Sistema de Tratamiento de Lixiviado Relleno Sanitario.
10. **Henry, J. G.; Heinke, Gary. W.** “Ingeniería Ambiental”; segunda edición. Editorial Pearson. 1996.
11. **SINA Colombia**, Guía Ambiental para el saneamiento y Cierre de Rellenos a Cielo Abierto, 2002.
12. **M.Sc. Alejandro Fernández Colomina, M.Sc. Mayra Sánchez-Osuna**, ONUDI – LARE, Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, 1997.
13. **Ing. Boroshilov Castro Merizalde**, Manual Programa de Computo HELP-2.5, 1993.
14. **Doreen Brown Salazar**, PROARCA/SIGMA Argentina, 2004 “Guía para la Gestión del Manejo de Residuos Sólidos Municipales”
15. **Carlos Eduardo Meléndez**, PROARCA/SIGMA Argentina, 2004 “Guía Práctica para la Operación de Celdas Diarias en Relleno Sanitarios Pequeños y Mediados”