

Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales

**Eva Röben
DED/ Ilustre Municipalidad de Loja**

**Loja, Ecuador
2002**

Contenido

Página

- 1. Introducción**
- 2. Diseño de un Relleno Sanitario Para Desechos Domésticos**
 - 2.1. Rellenos Manuales y Rellenos con Compactación Mecanizada**
 - 2.2. Capacidad Necesaria del Relleno Sanitario**
 - 2.2.1. Area Necesaria Para el Cuerpo de Basura de un Relleno Compactado con Maquinaria
 - 2.2.2. Area Necesaria Para un Relleno Manual
 - 2.2.3. Area Necesaria Para Infraestructura y Plantas Auxiliares
 - 2.3. Selección del Lugar Para un Relleno Sanitario**
 - 2.3.1. Criterios de Selección
 - 2.3.2. Metodología Para la Selección del Sitio
 - 2.4. Formas Topográficas del Relleno y Seguridad del Suelo**
 - 2.4.1. Formas Comunes Para Rellenos Sanitarios
 - 2.4.1.1. Formas Posibles Para Rellenos Con Maquinaria Compactadora
 - 2.4.1.2. Formas Posibles de Rellenos Manuales
 - 2.4.2. Seguridad y Estabilidad del Relleno Sanitario Compactado con Maquinaria
 - 2.5. Construcción del Fondo del Relleno Sanitario**
 - 2.5.1. Capa de Base Impermeable del Relleno Sanitario
 - 2.5.1.1. Barrera Geológica
 - 2.5.1.2. Capa Mineral
 - 2.5.1.3. Capa de Plástico
 - 2.5.1.3.1. Capa de Plástico Estándar
 - 2.5.1.3.2. Recomendaciones Para Rellenos Manuales y Presupuestos Limitados
 - 2.5.2. Capa de Drenaje
 - 2.5.2.1. Sistema Estándar
 - 2.5.2.1.1. Capa de Grava o Piedra Bola
 - 2.5.2.1.2. Tubería de Drenaje
 - 2.5.2.2. Alternativas Cuando Es Difícil o Caro Conseguirse la Grava o Piedra Bola y los Tubos
 - 2.5.3. Estratos de Base del Relleno Sanitario
 - 2.5.3.1. Relleno Sanitario Cumpliendo Con el Estándar Técnico
 - 2.5.3.2. Criterios Mínimos Para la Base del Relleno
- 3. Emisiones del Relleno Sanitario**
 - 3.1. Reacciones Químicas y Biológicas en el Cuerpo de Relleno**
 - 3.2. Generación, Características y Tratamiento de las Aguas Lixiviadas**
 - 3.2.1. Cantidad de las Aguas Lixiviadas
 - 3.2.2. Contaminación de las Aguas Lixiviadas
 - 3.2.3. Tratamiento de las Aguas Lixiviadas
 - 3.2.3.1. Criterios de Descarga al Medio Recibidor
 - 3.2.3.2. Tecnología de Tratamiento
 - 3.2.3.2.1. Tratamiento Biológico
 - 3.2.3.2.1.1. Degradación Anaeróbica
 - 3.2.3.2.1.2. Tratamiento con Piscinas Aireadas
 - 3.2.3.2.1.3. Lagunas
 - 3.2.3.2.2. Precipitación Química
 - 3.3. Emisiones Atmosféricas del Relleno Sanitario**
 - 3.3.1. Fuente de las Emisiones Olfatorias
 - 3.3.2. Perceptibilidad y Medida de las Emisiones Olfatorias
 - 3.3.3. Drenaje, Incineración y Uso del Gas de Relleno
 - 3.3.3.1. Drenaje Pasivo
 - 3.3.3.1.1. Drenaje Pasivo Sin Chimeneas
 - 3.3.3.1.2. Drenaje Pasivo Con Chimeneas
 - 3.3.3.1.3. Incineración del Gas de Relleno en la Chimenea
 - 3.3.3.2. Drenaje Activo

2

- 3.3.3.2.1. Principios y Unidades de Sistemas Para el Drenaje Activo
- 3.3.3.2.3. Incineración del Gas Después del Drenaje Activo
- 3.3.3.2.3.1. Incineración Con Antorcha
- 3.3.3.2.3.2. Aprovechamiento de los Gases de Relleno
- 3.4. **Polvo**

- 4. **Planta de Reciclaje, Compostaje y Otras Plantas Auxiliares**
- 4.1. **Aprovechamiento de los Materiales Recuperables**
- 4.2. **Disposición Final de los Desechos Peligrosos**

- 5. **La Operación del Relleno Sanitario**
- 5.1. **Recursos Técnicos y Humanos**
- 5.1.1. Personal Necesario
- 5.1.2. Vehículos, Equipo y Herramientas
- 5.1.2.1. Vehículos Necesarios en el Relleno Con Compactación Mecanizada
- 5.1.2.2. Balanza Registradora
- 5.1.2.3. Herramientas
- 5.1.2.3.1. Herramientas Necesarias en el Relleno Manual
- 5.1.2.3.2. Herramientas Necesarias en el Relleno Con Compactación Mecanizada
- 5.1.2.4. Materiales Necesarios Para el Mantenimiento y la Operación
- 5.1.2.5. Materiales y Herramientas Para Análisis Químico, Físico y Bacteriológico
- 5.2. **Operación**
- 5.2.1. Plan de Operación
- 5.2.2. Ingreso de los Desechos y Registro
- 5.2.3. La Descarga, Colocación, Compactación y Cubierta de los Desechos Sólidos
- 5.2.3.1. Relleno Sanitario Manual
- 5.2.3.2. Relleno Sanitario Con Compactación Mecanizada
- 5.2.3.3. Terminación de una Celda o un Módulo
- 5.2.4. Monitoreo y Control
- 5.2.4.1. Descarga y Colocación de los Desechos
- 5.2.4.2. Aguas Lixiviadas
- 5.2.4.3. Aguas Subterráneas
- 5.2.4.4. Aguas Superficiales
- 5.2.4.5. Gas de Relleno
- 5.3. **Trabajos y Controles a Hacer Después del Cierre del Relleno**
- 5.3.1. Equipamiento e Infraestructura
- 5.3.2. Controles Después del Cierre del Relleno Sanitario
- 5.3.3. Uso Posterior del Terreno del Relleno Sanitario

- 6. **Arborización**

- 7. **Factores de Costo Concerniente el Relleno Sanitario**

- 8. **Literatura**

1. Introducción

En este manual se trata de desarrollar criterios estándar para el diseño y el manejo de rellenos sanitarios. Se considera tanto el caso de municipios grandes que disponen de equipo adecuado como de municipios pequeños que deben operar su relleno completamente a mano.

El documento no incluye la construcción y el manejo de rellenos especiales para desechos peligrosos (industriales o hospitalarios). Se trata únicamente de la disposición final de los desechos domiciliarios.

En comparación con un botadero incontrolado o semi-controlado, la construcción de un relleno sanitario tiene las ventajas siguientes:

- Mejor protección del medio ambiente (drenaje y tratamiento de las aguas lixiviadas, drenaje de gas por chimeneas, cubierta de los desechos)
- Mejor seguridad para los trabajadores (taludes definidas, compactación de la basura, menos peligro de caída del cuerpo de basura, menos contaminación en el lugar de trabajo)
- Ventajas económicas para el municipio: Con un manejo adecuado del relleno sanitario se puede utilizar al máximo el terreno. La compactación de la basura y la construcción planificada, extienden la vida útil del relleno y permiten un uso más prolongado del terreno.
- Menos molestia y contaminación para los ciudadanos: El manejo adecuado comienza con la selección del terreno para el relleno, que no debe ser cerca de sitios habitados.

2. Diseño de un Relleno Sanitario para Desechos Domésticos

Se deben tomar en consideración los criterios siguientes para el diseño técnico de un relleno sanitario:

- Tecnología adecuada
- Capacidad necesaria
- Selección de un sitio con características geológicas e hidrogeológicas adecuadas
- Diseño del cuerpo de basura considerando el tipo de basura (por ejemplo, con o sin desechos biodegradables) y de manejo técnico (manual o con equipo compactador)
- Sistema eficiente para asegurar la impermeabilidad del suelo y de la superficie del cuerpo de basura (Ver: Capítulos 2.4.1., 5.2.3.3.)
- Protección del medio ambiente, drenaje y tratamiento de emisiones gaseosas y líquidas

Los siguientes sub-capítulos explican estos asuntos detalladamente.

2.1. Rellenos Manuales y Rellenos con Compactación Mecanizada

El relleno sanitario manual es una tecnología que se aplica cuando la mano de obra está disponible más fácilmente 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, excavación de nuevos módulos etc.

La tecnología del relleno manual tiene sus límites. 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 fondos escasos.

Los rellenos sanitarios con compactación mecanizada son la tecnología apropiada para municipalidades medianas 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 un o dos tractores compactadores que realizan los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar nuevo 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).

En el Cuadro 1 se dan algunas recomendaciones indicando en qué situación se preferiría qué tipo de relleno sanitario. Se recomienda a cada municipalidad que planifica construir un relleno sanitario hacer un estudio de factibilidad comparando las ventajas y desventajas de las dos tecnologías para el caso específico.

Cuadro 1: Comparación del relleno manual con el mecanizado

Situación	Relleno manual	Relleno con compactación mecanizada
Municipalidad o comunidad muy pequeña (< 5000 habitantes)	Siempre se recomienda.	NO
Municipalidad pequeña (< 50 000 habitantes)	Se recomienda generalmente.	Se recomienda si se puede compartir con otros municipios cercanos.
Municipalidad mediana (50 000 – 200 000 habitantes)	Solamente en circunstancias especiales (existe terreno vasto, no hay mano de obra especializada, mano de obra barata, no se dispone de maquinaria).	Se recomienda generalmente
Municipalidad grande (> 200 000 habitantes)	NO	Siempre se recomienda
Municipalidad muy aislada	Favorable para la implementación del relleno manual	Solamente se recomienda para municipios medianos y grandes
Terreno es muy caro o limitado	Solamente para municipios muy pequeños	Se prefiere también para municipios pequeños – medianos (el tractor se puede utilizar a medio tiempo, si posible)
Sitio muy lluvioso	Se recomienda para municipios pequeños y muy pequeños, tomando precauciones especiales (drenajes, cubierta)	Se prefiere generalmente
Se entierran también desechos peligrosos	Se pueden implementar las dos alternativas, tomando precauciones especiales (establecimiento de una celda separada de seguridad)	

Cuadro 1: Comparación del relleno manual con el mecanizado - continua

Situación	Relleno manual	Relleno con compactación mecanizada
No se dispone de mano de obra calificada	Se prefiere para municipios pequeños - medianos	Solamente se recomienda para municipios medianos – grandes
El relleno sanitario se encuentra en un sitio bajo protección (parque nacional, bosque protegido etc.)	Se pueden implementar las dos alternativas con cuidado especial para disminuir las emisiones (capa impermeable de fondo, laguna suficiente, recuperación de los desechos valorables etc.)	
Mano de obra muy barata	Se prefiere generalmente	Se recomienda para municipios medianos – grandes

2.2. Capacidad Necesaria del Relleno Sanitario

Antes de buscar un lugar para un relleno, se debe calcular la cantidad de basura que será colocada en el relleno. Se recomienda a cada municipio hacer una investigación de la producción de basura per cápita (ppc) que será la base para todo diseño de infraestructura concerniente al manejo de los desechos sólidos. Aquí en el Ecuador, se puede estimar el ppc total de basura en 0.5 - 0.6 kg/(persona*día) en las ciudades, 0.4 - 0.5 kg/(persona*día) en áreas rurales /1/, /2/. El 60 - 80 % de esa basura es basura biodegradable, el resto es inorgánica. Se puede reducir la cantidad de basura considerablemente, si se clasifica previamente en los hogares y se valora mediante el compostaje y el reciclaje.

Si se aprovecha del compostaje/ lombricultura y del reciclaje, se disminuye la cantidad de basura que será dispuesta en el relleno, lo que extiende su vida útil y, por consecuencia, bajan los costos del manejo de desechos sólidos.

La capacidad necesaria se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{basura}} = \text{ppc} * N * 365 * t / \rho$$

$$V_{\text{relleno}} = 1.3 * V_{\text{basura}}$$

V_{basura} : Volumen de la basura

V_{relleno} : Volumen necesario para el relleno

ppc: Producción diaria de basura per cápita

N: Número de habitantes de una ciudad

t: Vida útil del relleno (años)

ρ : Densidad de la basura

La densidad de basura varía según su estado de compactación. Generalmente, se puede resumir como siguiente /3/, /4/, /5/:

Basura en el recipiente domiciliario: 105 - 210 kg/m³

Basura en el recolector: 350 - 630 kg/m³

Basura compactada en el relleno manual: 400 - 600 kg/m³

Basura compactada mediante maquinaria: 600 - 810 kg/m³

Se multiplica el volumen de basura con el factor 1.3 para obtener el volumen necesario del relleno, considerando que se añade material de cobertura. La vida útil debería ser más de 10 años, caso contrario, no se justifican los gastos para la adquisición y preparación del terreno. Es óptima una vida

útil mayor de 20 años. Se recomienda considerar el desarrollo demográfico cuando se calcula la producción de basura en los años subsiguientes.

2.2.1. Area Necesaria para el Cuerpo de Basura de un Relleno Compactado con Maquinaria

El volumen necesario para un relleno compactado con maquinaria se calcula con la densidad que se intenta obtener mediante la compactación. Eso depende del tipo de compactador con el cual cuenta el municipio en cuestión. Generalmente, los municipios pequeños y medianos no disponen de compactadores super-pesados, pero sí de tractores livianos. Otro factor importante es el sistema de colocación de la basura. Se obtiene una mejor compactación si se coloca la basura en capas medianas.

Ejemplo: El Municipio X tiene 65 000 habitantes. Se ha observado un crecimiento demográfico de 1.5 % anual. Se realizó una investigación de las características de la basura. Hay un ppc de 0.52 kg/(persona*día); la densidad de la basura compactada sobre el relleno es 0.7 t/m³. La producción de basura biodegradable es 0.35 kg/(persona*día); la de basura no biodegradable es 0.17 kg/(persona*día). El municipio cuenta con una planta de lombricultura con capacidad de 2 t/día. Se intenta construir un nuevo relleno sanitario y extender la planta de lombricultura hasta 10 t/d.

El cálculo necesario se presenta en el Cuadro 2:

Cuadro 2: Cálculo del volumen y área necesarios del relleno para el municipio X

Año	Población	Producción de basura (t/d)	Producción de basura biodegradable (t/d)	Basura al relleno (t/d)	Basura al relleno (t/a)	Basura al relleno (m3/a)	Volumen necesario (m3/a)	Area necesaria (ha)
2002	65000	33,8	11,1	23,8	8687	12410	16133	
2003	65975	34,3	11,2	24,3	8872	12674	16477	
2004	66965	34,8	11,4	24,8	9060	12943	16826	
2005	67969	35,3	11,6	25,3	9251	13215	17180	
2006	68989	35,9	11,7	25,9	9444	13491	17539	
2007	70023	36,4	11,9	26,4	9640	13772	17904	
2008	71074	37,0	12,1	27,0	9840	14057	18274	
2009	72140	37,5	12,3	27,5	10042	14346	18650	
2010	73222	38,1	12,4	28,1	10248	14639	19031	
2011	74320	38,6	12,6	28,6	10456	14937	19418	
2012	75435	39,2	12,8	29,2	10668	15239	19811	
2013	76567	39,8	13,0	29,8	10882	15546	20210	
2014	77715	40,4	13,2	30,4	11100	15858	20615	
2015	78881	41,0	13,4	31,0	11322	16174	21026	
2016	80064	41,6	13,6	31,6	11546	16495	21443	
2017	81265	42,3	13,8	32,3	11774	16820	21866	
Total					162832	232617	302402	3,02

Del volumen necesario, se puede calcular el área que se necesita para el relleno. El cálculo del área depende de tres factores importantes:

- Volumen necesario
- Relleno manual o relleno compactado con maquinaria
- Tecnología de tratamiento de las aguas lixiviadas

Si el municipio cuenta con maquinaria para la compactación de la basura, el relleno se puede diseñar como una gran colina artificial, lo que permite un uso óptimo del terreno.

El área necesaria se calcula de la manera siguiente para el relleno compactado:

$$A_{\text{basura}} = V_{\text{relleno}} / f$$

A: Área necesaria para el cuerpo de basura (ha)

V_{relleno} : Volumen necesario para el relleno (m^3)

f: Factor Volumen/área.

Ese factor se calcula como $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (equivalente a 1 millón m^3/ha)

El factor volumen/área de 10 m^3 de basura/ 1 m^2 de área ya incluye los taludes, considerando que el cuerpo de basura es pocas veces más elevado que 30 m y que el talud debe tener una pendiente de 18° o menos. Ese factor puede ser más elevado para rellenos muy grandes, pero generalmente es en el orden dicho.

En el ejemplo del municipio X, se calculó un área necesaria para el cuerpo de basura de 3.02 ha para una vida útil de 16 años.

2.2.2. Área Necesaria Para un Relleno Manual

En caso del relleno manual, se diseña generalmente un sistema de celdas rellenas sucesivamente. Esas celdas no deben tener una altura mayor de 3 m, por causa de la compactación insuficiente.

El área necesaria se calcula de la manera siguiente:

$$A = V_{\text{relleno}} / h_{\text{celda}}$$

Ejemplo: El Municipio Y tiene 12 000 habitantes. Se ha observado un crecimiento demográfico de 1.8 % anuales. Se realizó una investigación de las características de la basura. Hay un ppc de $0.37 \text{ kg}/(\text{persona} \cdot \text{día})$; la densidad de la basura compactada sobre el relleno es $0.5 \text{ t}/\text{m}^3$. La producción de basura biodegradable es $0.25 \text{ kg}/(\text{persona} \cdot \text{día})$; la de basura no biodegradable es $0.12 \text{ kg}/(\text{persona} \cdot \text{día})$. Se intenta construir un nuevo relleno sanitario manual. La altura del cuerpo de basura será 3 m. No se ha planificado la valoración de los desechos biodegradables o reciclables.

El cálculo necesario se presenta en el Cuadro 3:

Cuadro 3: Cálculo del volumen y área necesario del relleno para el municipio Y

Año	Población	Producción de basura (t/d)	Producción de basura biodegradable (t/d)	Basura al relleno (t/d)	Basura al relleno (t/a)	Basura al relleno (m3/a)	Volumen necesario (m3/a)	Area necesaria (ha)
2002	12000	4.4	2.0	4.4	1621	3241	4214	
2003	12180	4.5	2.1	4.5	1645	3290	4277	
2004	12363	4.6	2.1	4.6	1670	3339	4341	
2005	12548	4.6	2.1	4.6	1695	3389	4406	
2006	12736	4.7	2.2	4.7	1720	3440	4472	
2007	12927	4.8	2.2	4.8	1746	3492	4539	
2008	13121	4.9	2.2	4.9	1772	3544	4607	
2009	13318	4.9	2.3	4.9	1799	3597	4676	
2010	13518	5.0	2.3	5.0	1826	3651	4747	
2011	13721	5.1	2.3	5.1	1853	3706	4818	
2012	13926	5.2	2.4	5.2	1881	3762	4890	
2013	14135	5.2	2.4	5.2	1909	3818	4963	
2014	14347	5.3	2.4	5.3	1938	3875	5038	
2015	14563	5.4	2.5	5.4	1967	3933	5113	
2016	14781	5.5	2.5	5.5	1996	3992	5190	
2017	15003	5.6	2.6	5.6	2026	4052	5268	
Total					29061	58122	75559	2.52

2.2.3. Area Necesaria Para Infraestructura y Plantas Auxiliares

Además del cuerpo de basura, se necesita una cierta área para la infraestructura del relleno sanitario, el tratamiento de las aguas lixiviadas y, si se realiza un manejo integral de los desechos sólidos, las plantas auxiliares.

La infraestructura del relleno sanitario comprende:

- Vías de acceso y vías internas
- Casa del guardián, balanza (si hay) y caseta de registro
- El cerramiento o cerco vivo que separa el relleno de sus alrededores
- Bodega para el almacenaje de las herramientas y materiales de uso
- Instalaciones sanitarias para los obreros
- Laboratorio para análisis de gas o agua (solamente en rellenos muy grandes)
- Oficinas e infraestructura administrativa (solamente en rellenos muy grandes)

El porcentaje del área ocupada por estas instalaciones disminuye proporcionalmente con el tamaño del relleno sanitario. En los rellenos pequeños, se puede calcular el área requerida para infraestructura entre 20 y 40 % del área del cuerpo de basura /4/. En los rellenos medianos, este porcentaje baja hasta entre 10 – 20 %, y en los rellenos grandes se puede estimar el área necesaria para la infraestructura con menos del 10 % del área del cuerpo de basura. En todo caso, se recomienda hacer un cálculo exacto considerando el mapa topográfico de cada alternativa de sitio y la descripción exacta de las instalaciones con las cuales va a contar el relleno en cuestión.

El tratamiento de las aguas lixiviadas es indispensable para cada relleno sanitario. Los cálculos detallados para determinar el área necesaria se presentan en el Capítulo 3.2.3.2.1.3. Esta área depende mucho de diferentes factores como el método de tratamiento, el área del cuerpo de basura, la precipitación y el tipo de relleno sanitario.

Las plantas auxiliares que se pueden encontrar en un relleno sanitario son:

- Planta de compostaje o lombricultura
- Planta o área de reciclaje
- Sitio de disposición final de los desechos peligrosos (industriales o hospitalarios)
- Planta de conversión energética de los gases de relleno

El dimensionamiento de estas plantas auxiliares se trata en el capítulo 4.1. El Cuadro 4 da un resumen de las áreas diferentes que hay que tomar en cuenta para poder obtener el área total de un relleno sanitario.

Cuadro 4: Consideraciones para el cálculo del área total de un relleno sanitario

Función del área	Factores a considerar
Cuerpo de basura	Tipo de relleno (manual o con compactación mecanizada) Vida útil Población y desarrollo demográfico Porcentaje del material recuperado
Infraestructura	Topografía del sitio en cuestión Tipo de instalaciones previstas (balanza, casa de guardia etc.)
Tratamiento de las aguas lixiviadas	Tipo de relleno (manual o con compactación mecanizada) Área del cuerpo de basura Tipo de tratamiento Precipitación anual, precipitación máxima
Planta de lombricultura/compostaje	Cantidad de basura biodegradable procesada (porcentaje de la producción total) Tecnología de compostaje Factores climáticos Posibilidad de utilizar celdas cerradas para la construcción de los lechos o las pilas
Planta o área de reciclaje	Tecnología de reciclaje Estudio de mercado
Disposición final de los desechos peligrosos	No. de camas de hospital No. de consultorios, farmacias etc. Existencia de industrias productoras de desechos peligrosos, cantidad y tipo de los desechos producidos. Posibilidades de hacer eliminar los desechos peligrosos por sus productores
Planta de conversión energética	Cantidad de gas producido Tecnología utilizada Estudio de factibilidad

2.3. Selección del Lugar para un Relleno Sanitario

2.3.1. Criterios de Selección

La selección del lugar para el relleno tiene tres componentes muy importantes:

Factores económicos:

- Distancia del área de procedencia de los desechos
- Distancia de otra infraestructura relevante (ej.: lombricultura)
- Propiedad del terreno en cuestión (valor, propiedad municipal o privada)
- Dimensiones del terreno
- Posibilidad de extensión del relleno
- Caminos de acceso

Factores ambientales:

- Protección de las aguas superficiales (existencia de fuentes superficiales o sub-superficiales, nacimientos de agua)
- Valor ecológico del terreno en cuestión
- Proximidad a áreas habitadas
- Barreras naturales (taludes, bosques)
- Morfología del terreno (posibilidad de evacuar las aguas lixiviadas con pendiente natural)
- Existencia de áreas protegidas
- Nivel de las capas freáticas; se prefiere una profundidad mayor a 3 m durante todo el año /6/.
- Climatológicas (Viento predominante, precipitación)

Factores técnicos

- Morfología del terreno: Se prefiere la construcción en terreno plano o ligeramente inclinado; entre 3 - 12 % /6/.
- Condiciones sísmicas
- Presencia de fallas geológicas
- Estructura y composición del suelo (se prefieren suelos con alto porcentaje de arcilla para asegurar baja permeabilidad, ver también el Capítulo 2.4., Cuadro 6)
- Nivel de las capas freáticas
- Existencia de material apropiado para la cobertura
- Volumen de basura

2.3.2. Metodología para la Selección del Sitio

Para evaluar y comparar la aptitud de diferentes sitios para un relleno sanitario, se han elaborado cuadros de cálculo, donde cada sitio obtiene notas según el cumplimiento con los criterios diferentes. El sitio con la nota más alta es el más apropiado. Se da un ejemplo de estos cuadros de evaluación en el Cuadro 5.

Esta metodología ha sido desarrollada en Europa en los fines de los años 80 y puede servir como guía durante el proceso de selección del sitio. La lista necesita algunas aclaraciones para poder aplicarla bien.

1. No parece tener mucho sentido aplicar la metodología europea sin alteraciones en América Latina. Las condiciones económicas son muy diferentes, además hay otra infraestructura, otra tecnología de relleno y otras prioridades. Para eso, se modificaron algunos puntos, se eliminaron otros y se dio más prioridad a criterios que influyen la operación diaria.
2. Los rellenos manuales tienen otras prioridades que los rellenos equipados con maquinaria, debido a la mala compactación y las restricciones concerniente la altura del cuerpo de relleno.
3. La evaluación de cada criterio (qué valor se acuerda para qué sitio) se debe hacer considerando las condiciones reales del sitio. El Apéndice No. 2 da unas explicaciones sobre como evaluar los diferentes criterios.

La Fotografía 1 muestra un sitio casi ideal para un relleno sanitario mecanizado que cumple con los siguientes requerimientos:

- El talud natural constituye una barrera contra la dispersión de malos olores y polvo
- Terreno bastante extendido (45 ha) para construir una planta integral de manejo de los desechos sólidos, incluyendo la lombricultura, el reciclaje, la disposición separada de los desechos peligrosos de procedencia hospitalaria y el tratamiento de las aguas lixiviadas

Cuadro 5: Evaluación de la aptitud de un sitio de relleno sanitario

Criterio		Valor máximo			
		Relleno grande o mediano (Europa)	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual	
Generales	Dimensión del terreno (superficie)	Superficie disponible para rellenar	1,1	2,5	4,3
		Superficie disponible para construcción de una laguna de tratamiento biológico de las aguas lixiviadas	0,0	3,0	3,1
		Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares (lombricultura, reciclaje)	0,0	2,3	2,3
		Volumen disponible para rellenar	1,4	2,1	0,0
	Morfología	Topografía del terreno	0,0	2,3	2,3
		Barreras naturales (taludes, bosques etc.)		1,9	1,9
	Posibilidad de extensión	Extensión superficial	1,1	0,8	0,9
		Extensión en volumen	1,1	0,8	0,0
	Propiedad (municipal/privada)	Propiedad actual	0,8	0,6	0,6
		Posibilidad de venta o de expropiación	0,8	0,6	0,6
Estructuras existentes, infraestructura y condiciones técnicas	Distancia a estructuras existentes	Distancia a barrios poblados	3,9	3,0	3,0
		Distancia a zonas protegidas	0,9	0,7	0,7
		Distancia a sitios de recreación	1,2	0,9	0,9
		Distancia a zonas sensibles de agricultura	0,9	0,7	0,7
		Distancia a zonas sensibles industriales	0,8	0,6	0,6
	Distancia a la infraestructura	Distancia al centro de gravedad de la procedencia de los desechos	0,0	3,0	3,1
		Distancia a otra infraestructura existente relacionada al manejo de los desechos sólidos	0,0	1,5	1,6
		Distancia a zonas industriales	0,9	0,7	0,7
		Distancia a vías de acceso	0,9	0,7	0,7
		Distancia al ferrocarril	0,2	0,0	0,0
		Distancia a infraestructura militar	0,3	0,2	0,0
	Existencia de la infraestructura necesaria para el relleno sanitario	Acceso a agua y alcantarillado	0,2	0,2	0,0
		Estado de las vías de acceso	0,7	1,1	1,1
		Alcantarillado para aguas lixiviadas y aguas servidas	0,4	0,2	0,0
		Drenaje para aguas de lluvia	0,1	0,1	0,1
		Electricidad y teléfono	0,1	0,1	0,0
		Necesidad de infraestructura para la preparación del terreno	0,1	0,1	0,1
		Cambios a hacer con las vías de acceso	0,3	0,5	0,5
		Conexión existente del sitio a las vías de acceso	0,3	0,5	0,5
		Conexión existente del sitio al ferrocarril	0,2	0,0	0,0
Medio ambiente	Impacto de la operación del relleno sanitario	Impacto estético al paisaje	0,5	0,4	0,4
		Destrucción de la capa vegetal existente	1,2	0,9	0,9
		Destrucción de biótupos existentes (flora/fauna)	0,6	0,5	0,5
		Destrucción de valores históricos o tradicionales	1,6	1,2	1,2
		Otros impactos visuales y estéticos	0,9	0,7	0,7
	Impactos después del cierre del relleno	Impacto estético al paisaje	1,8	1,4	1,4
		Destrucción de la capa vegetal existente	1,0	0,8	0,8
		Destrucción de biótupos existentes (flora/fauna)	1,0	0,8	0,8
		Destrucción de valores históricos o tradicionales	1,8	1,4	1,4
Agua	Propiedades hidrológicas	Permeabilidad del suelo	15,6	11,9	12,1
		Cuencas de agua alrededor del sitio del relleno	5,1	3,9	4,0
		Fuentes de agua o aguas superficiales dentro y cerca del sitio	4,6	3,5	3,6
		Nivel de las capas freáticas dentro del sitio		3,4	3,5
		Drenaje de las aguas superficiales	3,2	2,4	2,5

	Protección contra inundaciones		1,3	1,0	1,0	
		Drenaje de las aguas lixiviadas y otras aguas de proceso	Cantidad de aguas lixiviadas esperadas	1,9	2,9	3,0
			Posibilidad de conectar el sitio con una planta de tratamiento	4,6	0,8	0,4
	Valores límites de descarga al medio receptor		1,4	1,1	1,1	
		Dispersión de las emisiones a gran escala	Viento (distribución espacial de las emisiones)	8,2	6,2	6,4
			Frecuencia de neblina	0,5	0,4	0,4
Frecuencia de inversiones atmosféricas	1,3		1,0	1,0		
Clima y emisiones	Contaminación actual del medio ambiente alrededor del sitio	Polvo y aerosoles	0,3	0,2	0,2	
		SO ₂	0,3	0,2	0,2	
		Olor	0,5	0,4	0,4	
		Ruido	1,2	0,9	0,9	
		Ruidos agudos	0,2	0,2	0,2	
		Dispersión de las emisiones a microescala (dentro del sitio)	Viento	1,7	1,3	1,3
			Frecuencia de neblina	1,1	0,8	0,9
Frecuencia de inversiones atmosféricas	1,4		1,1	1,1		
Contaminación actual del sitio	Polvo y aerosoles	0,5	0,4	0,4		
	SO ₂	0,4	0,3	0,3		
	Gas de escape	0,1	0,1	0,1		
	Olor	0,7	0,5	0,5		
	Ruido	3,1	2,4	2,4		
	Ruidos agudos	0,5	0,4	0,4		
Aptitud natural para minimización de las emisiones	Producción de polvo durante la operación	0,9	0,7	0,7		
	Producción de polvo en caso de accidentes	0,5	0,4	0,4		
	Ruido generado por la operación	1,1	0,8	0,9		
	Ruido de tráfico en la vía de acceso	0,4	0,3	0,3		
	Ruido de tráfico en las otras vías cercanas	0,3	0,2	0,2		
	Dispersión de materiales volátiles	0,5	0,4	0,4		
Aptitud del sitio para la construcción	Existencia de material de cobertura	Material para capa impermeable de fondo y de cobertura final	0,5	0,8	0,8	
		Material para cobertura diaria	1,3	4,9	5,1	
		Material para recultivación después del cierre	0,4	0,6	0,6	
	Aptitud del suelo para excavación	Aptitud del suelo para excavación	0,7	0,5	0,5	
		Superficie disponible	0,6	0,5	0,5	
Seguridad general	Condición y aptitud del sitio en caso de catástrofe	Incendio	0,3	0,2	0,2	
		Explosiones	0,3	0,2	0,2	
		Caída de tierra o terremoto	0,3	0,2	0,2	
		Accidentes de transporte	0,3	0,2	0,2	
		Nieve extrema	0,3	0,0	0,0	
		Guerra o guerra civil	0,2	0,2	0,2	
Aptitud del sitio concierne los trabajos a hacer después del cierre del relleno		Caidas y sentamientos del terreno	0,8	0,7	0,6	
		Drenaje y tratamiento de las aguas lixiviadas	0,7	0,6	0,5	
		Drenaje de las aguas superficiales	0,4	0,3	0,3	
		Drenaje del gas	0,2	0,2	0,2	
		Incineración del gas	0,2	0,2	0,2	
TOTAL			100,0	100,0	100,0	

- Suelo natural con elevado porcentaje de arcilla (arcillo- limoso)
- El talud también consiste de arcilla, tiene un volumen suficiente para sacar el material de cobertura durante la vida útil del relleno sanitario y se encuentra directamente al lado del relleno, lo que disminuye al mínimo la distancia de transporte.
- Terreno de relleno poco inclinado
- Distancia suficiente de áreas habitadas, aunque no demasiado lejos del centro de gravedad de producción de basura

Fotografía 1: Sitio del Relleno Sanitario del Municipio de Loja



En la Fotografía 2 se muestra un sitio idóneo para un relleno manual que cumple también con los requerimientos citados arriba, con la única diferencia que aquí la barrera natural consiste en un bosque extendido.

Fotografía 2: Relleno Sanitario de Zamora



2.4. Formas del Relleno y Seguridad del Suelo

2.4.1. Formas Comunes para Rellenos Sanitarios

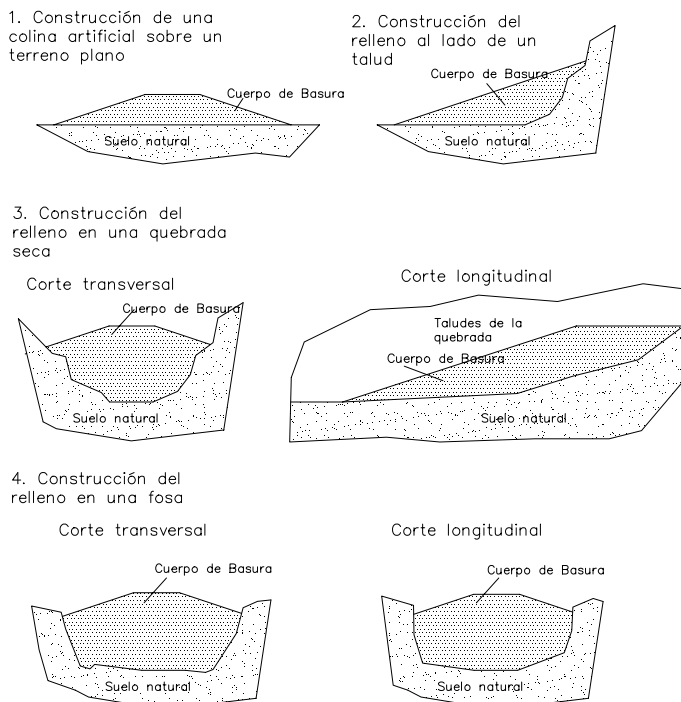
La forma del relleno sanitario depende de la topografía del terreno previsto para ese uso. Las formas más comunes para un relleno sanitario se resumen en el Cuadro 6:

Cuadro 6: Formas comunes de rellenos sanitarios

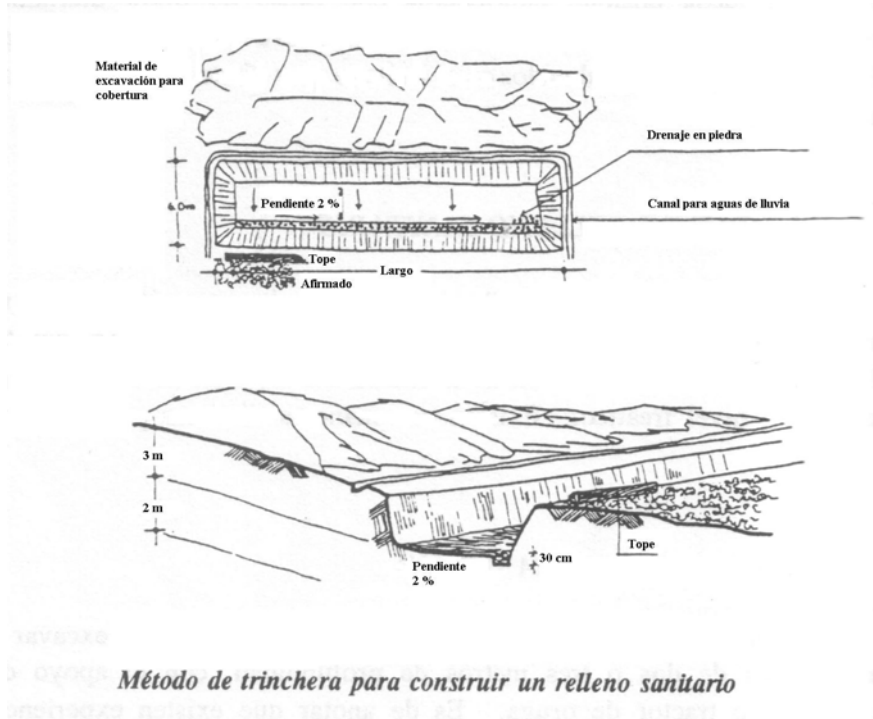
Relleno manual	Relleno con compactadora
- Excavación de celdas en un terreno plano	- Colina artificial sobre un terreno plano
- Construcción de celdas terracedas sobre un talud	- Relleno en una quebrada seca
	- Relleno al lado de un talud
	- Relleno de un hueco o una fosa

Se muestran las formas topográficas diferentes para rellenos con maquinaria en el Dibujo 1 /7/; para rellenos manuales en el Dibujo 2 /4/:

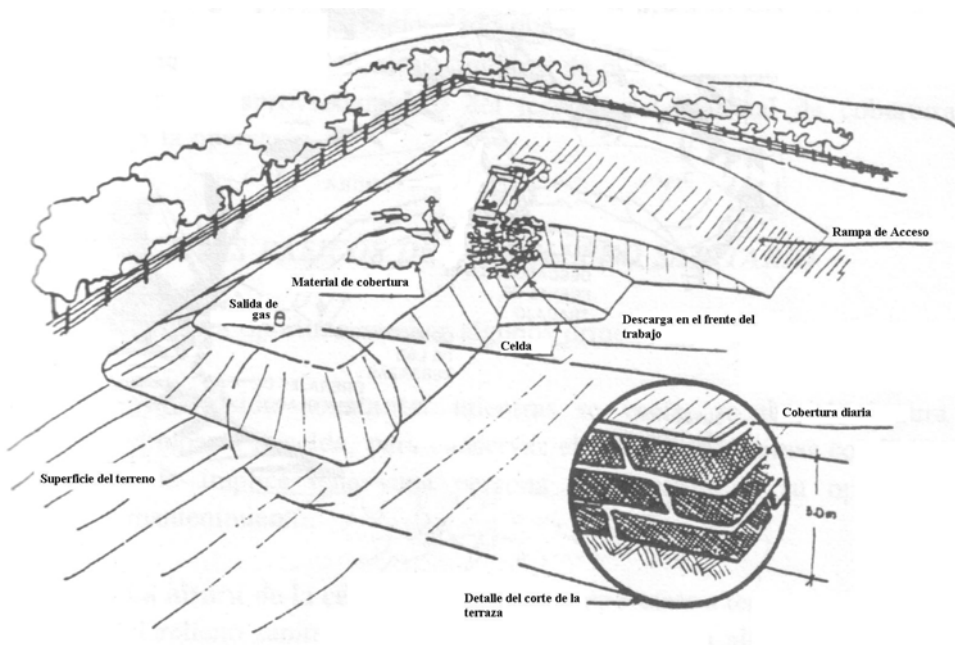
Dibujo 1: Formas posibles del cuerpo de basura en un relleno equipado con compactadora



Dibujo 2: Formas posibles de rellenos manuales



Método de área



2.4.1.1. Formas Posibles Para Rellenos con Maquinaria Compactadora

El relleno de una fosa se realiza generalmente en lugares donde ya existen fosas causadas por una actividad anterior, por ejemplo fosa de mina cantera, que se pueden utilizar para la disposición final de los desechos sólidos. Es verdad que no se recomienda ese tipo de relleno por las causas siguientes:

- El acceso con equipamiento (compactadora, excavadora etc.) es difícil
- No hay como evacuar las aguas lixiviadas; se deben bombear, lo que aumenta los costos operativos. Si no se bombean, causan contaminación de las capas freáticas y transforman el cuerpo de basura en un pantano.
- En muchos casos, el nivel de la más alta capa freática es arriba del fondo de la fosa. En ese caso, las aguas lixiviadas se mezclan directamente con las aguas subterráneas y las contaminan.

La evacuación de las aguas lixiviadas es más fácil en los rellenos construidos en una quebrada o al lado de un talud. Aquí surge otro problema: La estabilidad del suelo se logra más difícilmente; cuando hay taludes fuertemente inclinados o sitios donde existen fuentes de agua bajo del cuerpo de basura, pueden ocurrir caídas de terreno (en el relleno serían caídas de basura). Se debe calcular muy bien el talud del cuerpo de basura para eliminar ese riesgo; además se debe estar seguro que no hay nacimientos de agua en el terreno. Si se hace un relleno al lado de un talud o en una quebrada, el drenaje de las aguas de lluvia es muy importante.

Desde el punto de vista de la seguridad y control de emisiones, la topografía más apta es el área plana. Aquí se debe solamente nivelar el terreno para asegurar una pendiente mínima al fin de evacuar las aguas lixiviadas por pendiente natural. La desventaja del terreno plano es que ese tipo de terreno ya se utiliza en muchos casos para la agricultura o urbanizaciones y tiene un precio más elevado que los terrenos inclinados. Especialmente en la Sierra es casi imposible encontrar un terreno plano con una extensión suficiente para la construcción de un relleno sanitario.

2.4.1.2. Formas Posibles de Rellenos Manuales

Para los rellenos manuales son válidas las mismas limitaciones como para los rellenos compactados por maquinaria. Es decir, la excavación de zanjas en un terreno plano pone el mismo problema de la evacuación de las aguas lixiviadas como el relleno de una fosa. Es verdad que no se da tanta importancia a ese problema en comunidades pequeñas, pensando que la cantidad de aguas lixiviadas es sumamente baja y se puede infiltrar al suelo. No es muy factible construir las celdas de un relleno manual sobre un terreno plano, puesto que se los obreros deberían levantar la basura hacia el nivel actual de la celda, lo que significaría mucho más esfuerzo físico que el relleno de una celda excavada.

Para los rellenos manuales es ideal la construcción de celdas en terrazas, al fin de poder evacuar las aguas lixiviadas con pendiente natural.

Debido a que la compactación manual no da tan buenos resultados como la compactación con maquinaria pesada, la extensión vertical de un relleno manual es limitada. El material relativamente suelto puede caer y causar daños graves tanto a los obreros como al medio ambiente (p.e., caída dentro de un río). Por eso, no se recomienda construir un relleno manual con terrazas superpuestas. Debe construirse como se lo indica en el Dibujo 4.

2.4.2. Seguridad y Estabilidad del Relleno Sanitario Compactado con Maquinaria

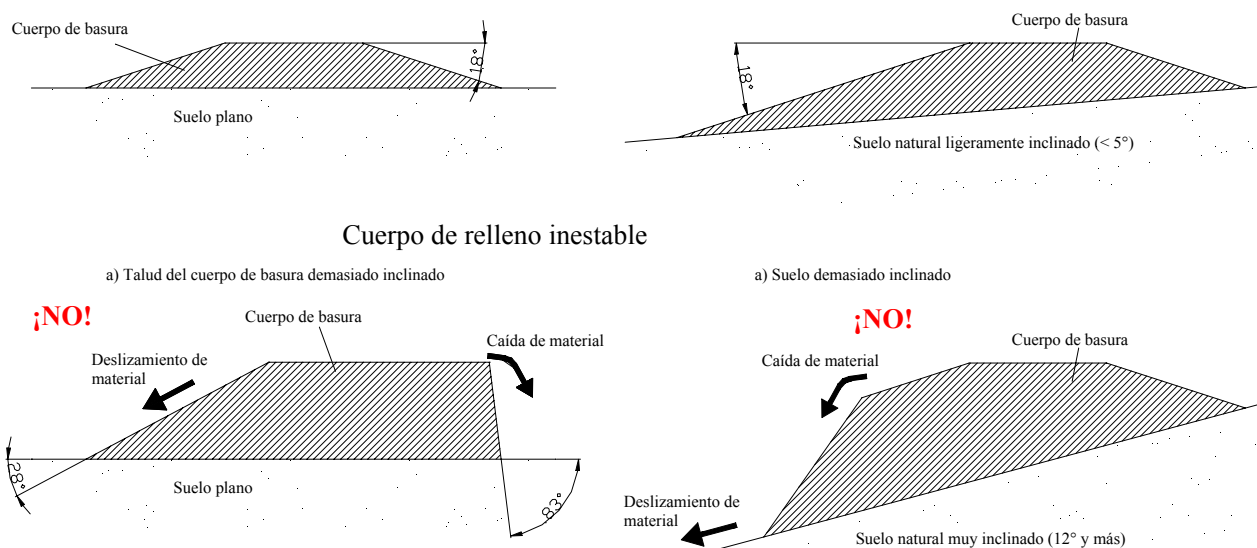
Los rellenos sanitarios que cuentan con maquinaria compactadora se construyen generalmente en forma de colina artificial. Desde el punto de vista de la estabilidad del suelo, el relleno construido al lado de un talud se puede también considerar como colina artificial. El plano horizontal se diseña según la topografía específica del sitio. Lo más importante es que el diseño asegure la estabilidad tanto del fondo como de los taludes del relleno. Es muy importante si se dispone todo tipo de basura en el relleno o si se valora la basura biodegradable y la basura reciclable, en cuyo caso la basura que se dispone en el relleno sanitario tiene características muy parecidas a un suelo natural, se puede compactar más fácilmente y tiene menos peligro de caídas. En el otro caso, si se dispone material biodegradable al relleno, la humedad y la pérdida de material por causa de descomposición de la basura orgánica baja la estabilidad del cuerpo de basura.

Se deben tomar en consideración dos tipos de inclinación: La inclinación del terreno, si se hace el relleno en un área inclinada (como en una quebrada seca), y la inclinación del talud del cuerpo de basura. Existen dos criterios importante para optimizar la inclinación del talud. Si el talud es muy inclinado, el volumen disponible crece proporcionalmente, pero baja la estabilidad del cuerpo de basura y, por consecuencia, hay más peligro de caídas del material. En un país con alta influencia sísmica, como es el Ecuador, la estabilidad del cuerpo de basura es especialmente importante.

Si se construye un relleno sobre un terreno inclinado, son válidos los mismos principios para la estabilidad de ese terreno. No se debe utilizar un terreno demasiado inclinado para no arriesgar la seguridad estática del cuerpo de basura que podría caerse completamente o parcialmente. La presencia de fuentes bajo el cuerpo de basura o un drenaje insuficiente aumentaría ese riesgo. Además, es casi imposible hacer una compactación apropiada sobre un terreno sumamente inclinado.

Los peligros de la construcción de un cuerpo de basura con talud demasiado inclinado y de la construcción del relleno sanitario sobre un terreno muy inclinado son mostrados en el Dibujo 3:

Dibujo 3: Casos de inestabilidad del suelo y del cuerpo de basura



Es verdad que en la Sierra puede ser imposible encontrar un terreno plano o casi plano para la construcción de un relleno sanitario. Si se construye un relleno sanitario en un terreno inclinado, se recomienda no elegir terrenos con una inclinación mayor de 12°, lo que equivale a una pendiente > 1: 4.5. Además se recomienda preparar el terreno en forma de terrazas, a fin de obtener un relleno a varios niveles planos. El material excavado durante la preparación de las terrazas se puede utilizar después como material de cobertura.

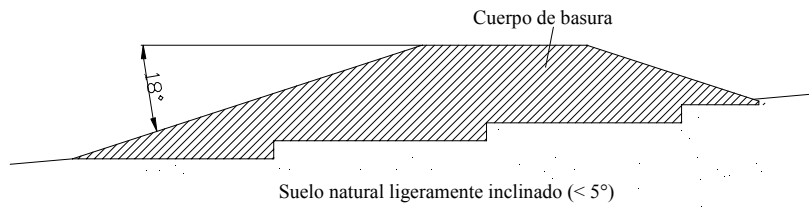
El Dibujo 4 muestra un relleno sanitario construido en terrazas sobre un terreno inclinado; la Fotografía 3 muestra un ejemplo de la realidad.

Fotografía 3: Relleno sanitario manual de los desechos biopeligrosos en Loja

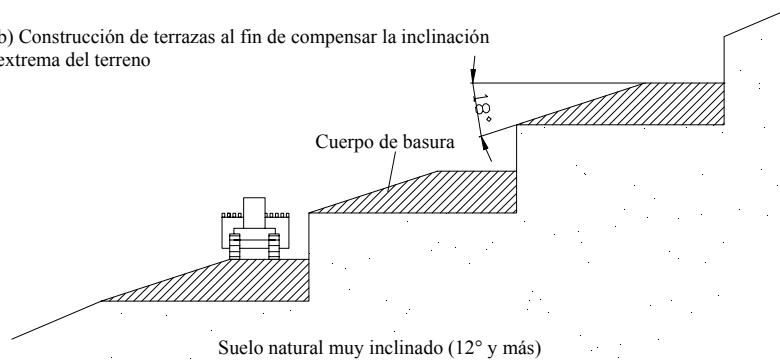


Dibujo 4: Relleno sanitario construido en terrazas

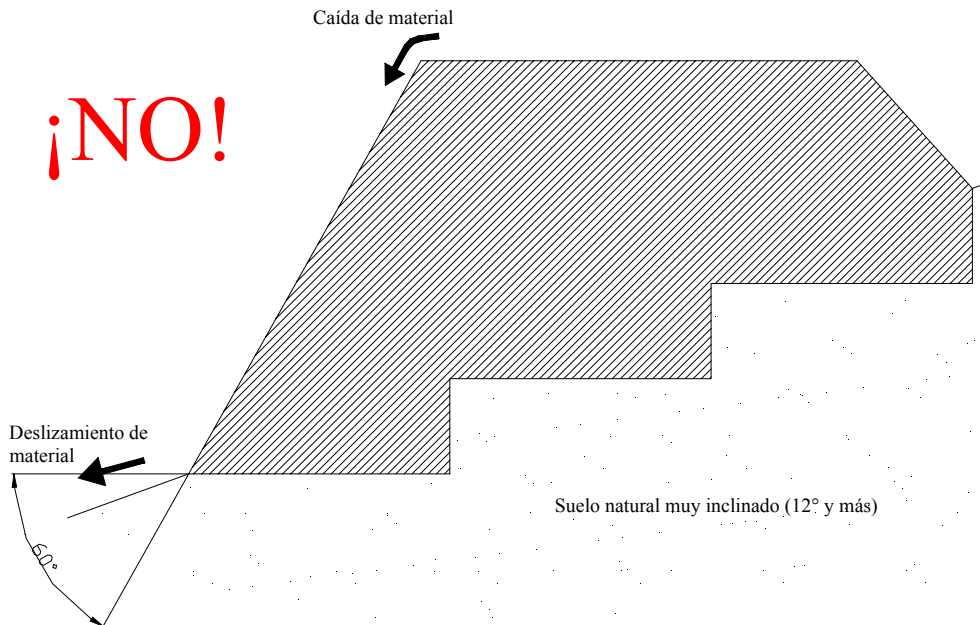
a) Relleno en terrazas para ganar más volumen



b) Construcción de terrazas al fin de compensar la inclinación extrema del terreno



c) Construcción inestable en terrazas, por causa del crecimiento vertical exagerado y del talud demasiado inclinado



El talud del cuerpo de basura tampoco debe superar los 18° - 18,5° (pendiente de 1:3). Si se plantan arbustos y árboles sobre los taludes terminados, se mejora la estabilidad de estos. El Dibujo 3 muestra la forma adecuada del cuerpo de basura.

2.5. Construcción del Fondo del Relleno Sanitario

2.5.1. Capa de Base Impermeable del Relleno Sanitario

2.5.1.1. Barrera Geológica

La barrera geológica es una capa de suelo natural de baja permeabilidad que se encuentra arriba de la primera capa freática. Lo ideal para la construcción de un relleno sanitario es si el terreno ya dispone de una barrera geológica. Son ideales suelos de:

- arcilla
- limo, loess
- roca desgredada (morrena)
- terreno margoso /8/.

Si el suelo natural tiene una permeabilidad más baja de $k_f = 10^{-6}$ y una 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 aguas lixiviadas 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

Puede no ser posible encontrar un lugar de construcción con barrera geológica natural, o puede ser que no sean lo bastante conocidas las características de suelo de las alternativas investigadas. Pero si se conoce la geología de los lugares posibles y si existe un lugar con barrera geológica, sería preferible ese lugar.

2.5.1.2. Capa Mineral de Base

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 las aguas lixiviadas hacia las capas freáticas. La mejor solución es una capa impermeable natural, es decir, la construcción del relleno sanitario en un terreno arcilloso. Se recomienda hacer un análisis del suelo durante el procedimiento de selección del terreno y aquí medir el factor de permeabilidad del suelo. 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, se recomienda una inspección visual aproximada sobre parámetros como: Espesor, contenido de arena, tamaño maximal de partículas y contenido de agua. El Cuadro 7 muestra los parámetros más importantes para la capa mineral de base.

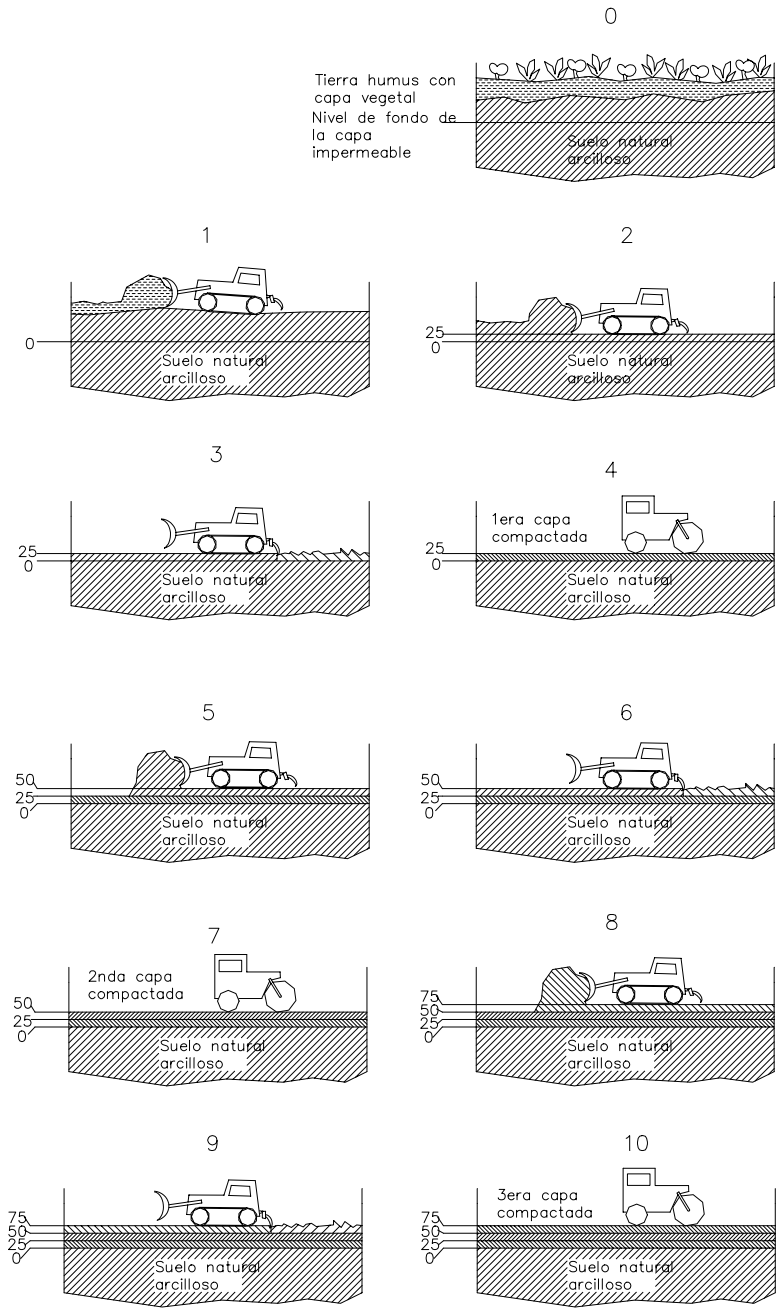
Cuadro 7: Criterios de calidad para un suelo impermeable /9/, /10/

Criterio	Valor recomendado
Espesor (m)	0.75
Factor de permeabilidad k_f (m/s)	$< 10^{-9}$
Resistencia contra sufusión	Necesaria
Contenido de partículas pequeñas (< 0.002 mm) (%)	> 20
Contenido de arcilla (%)	> 10
Tamaño máximo de partículas (mm)	20
Contenido de carbonato de potasio (%)	< 15
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 en el Cuadro 6 sería el más apropiado. Normalmente, se pueden lograr los valores dados en el Cuadro 6 solamente con suelos altamente arcillosos. Para eso es muy importante que se haga el análisis del suelo antes de decidirse por un terreno. Cuando se selecciona un terreno donde no existe un suelo suficientemente impermeable, hay que traer el material desde afuera, lo que tiene un alto costo y que se debería evitar.

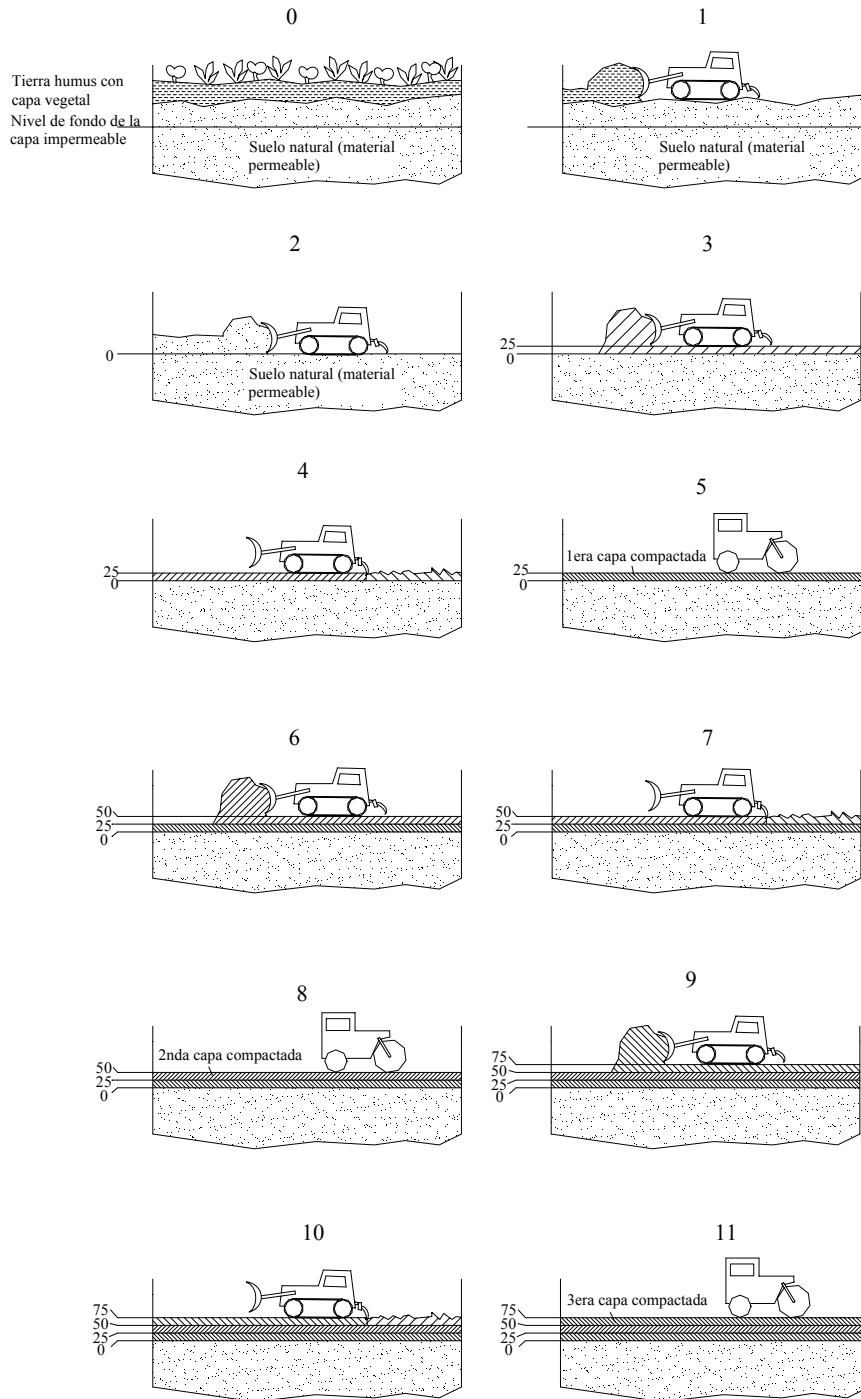
Los trabajos necesarios para la construcción de la capa mineral se muestran en el Dibujo 5. El Dibujo 5 a, explica como se prepara el suelo cuando ya existe una capa natural; el Dibujo 5 b, explica la aplicación cuando se debe traer la capa mineral desde afuera.

Dibujo 5 a: Preparación de la capa mineral cuando existe una capa mineral natural /7/



- | | |
|--|--|
| <p>0 Suelo natural</p> <p>1 Excavación de la tierra superficial</p> <p>2 Preparación del terraplén, lo que va a servir como primera estrata. El terraplén se hace 25 arriba del nivel diseñado como fondo del relleno. Si necesario, se compacta con rodillo.</p> <p>3 Se escarifica y homogeniza el primer estrato (hacia una profundidad de 25 cm), después se moja y seca.</p> <p>4 Compactación del primer estrato</p> <p>5 Se carga el segundo estrato con una espesor de 25 cm. Para eso, se puede utilizar el material excavado durante la preparación del terraplén.</p> | <p>6 Se escarifica y homogeniza el segundo estrato (hacia una profundidad de 30 cm), después se moja y seca.</p> <p>7 Compactación del segundo estrato</p> <p>8 Se escarifica el tercer estrato con un espesor de 25 cm. Para eso, se puede utilizar el material excavado durante la preparación del terraplén</p> <p>9 Se escarifica y homogeniza el tercer estrato (hacia una profundidad de 30 cm), después se moja y seca.</p> <p>10 Compactación del tercer estrato</p> |
|--|--|

Dibujo 5 b: Preparación de la capa mineral cuando no existe una capa mineral natural /7/



- | | | | |
|---|---|----|--|
| 0 | Suelo natural | 6 | Carga del segundo estrato con una espesor de 25 cm |
| 1 | Excavación de la tierra superficial | 7 | Escarificación y homogenización de la primera estrata hacia 30 cm de profundidad |
| 2 | Preparación del terraplén (al nivel previsto para el fondo del relleno) | 8 | Compactación del segundo estrato |
| 3 | Carga del material para el primer estrato | 9 | Carga del tercer estrato con una espesor de 25 cm |
| 4 | Escarificación y homogenización del primer estrato hacia 30 cm de profundidad, si necesario, mezclar el material con el suelo natural | 10 | Escarificación y homogenización del tercer estrato hacia 30 cm de profundidad |
| 5 | Compactación del primer estrato | 11 | Compactación del tercer estrato |

Si un municipio no dispone de la maquinaria necesaria para hacer la preparación de la capa mineral como se ha descrito en los Dibujos 5a y 5b, se recomienda hacer al menos una buena compactación del suelo natural, si es posible una carga en tres estratos.

2.5.1.3. Capa de Plástico

2.5.1.3.1. Capa de Plástico Estándar

Se debería poner una capa de plástico sobre la capa mineral. Se recomienda utilizar laminillas de PEHD¹ con una espesor no menor a 2 mm o un material equivalente. Las características físicas y químicas más importantes que deben tener estas laminillas son /5/:

- No debe contener huecos, roturas, burbujas o cavidades
- No debe tener torsiones diagonales
- Su espesor debe ser homogénea
- Deben ser impermeables para agua, hidrocarburos clorurados y no clorurados, acetona y tricloroetileno
- Deben ser resistentes contra calor y condiciones climáticas adversas.
- Deben ser resistentes contra roedores. Eso se prueba por exposición a ratas.
- Deben ser resistentes contra desgaste mecánico (roturas, pinchazos etc.)

El ancho y largo de las laminillas de PEHD varían según las compañías productoras. Hay unas reglas para extender la vida útil de la capa de plástico y mejorar la impermeabilidad del fondo del relleno sanitario /7/:

1. Transporte de las laminillas al lugar de construcción del relleno

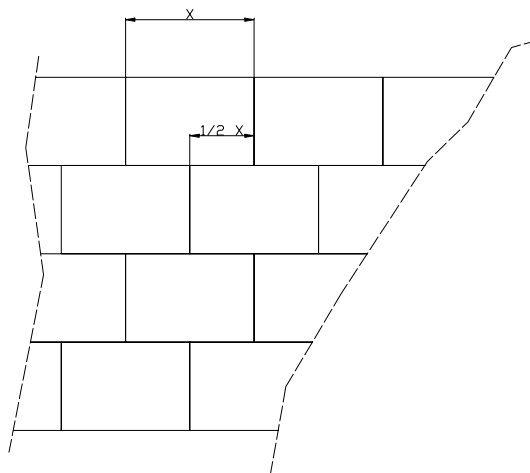
- Se recomienda transportar las laminillas en rollos embalados, como vienen de la fábrica productora.
- Como el embalaje protege las laminillas de los rayos UV, hay que conservar el embalaje hasta el momento de colocación sobre el terreno preparado.

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. El Dibujo 6 muestra como se deben juntar las laminillas.

¹ PEHD: Polietileno de alta densidad. Es un plástico duro y resistente, de alta calidad.

Dibujo 6: Recomendaciones para colocación de las laminillas de plástico



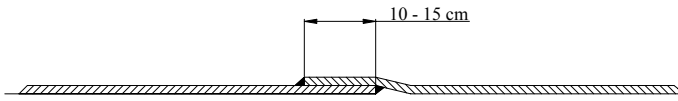
- Se debe considerar los impactos de cambios de temperatura sobre las laminillas (extensión/contracción). Por eso, no se recomienda realizar los trabajos de colocación, soldaduras o carga con grava para el drenaje durante condiciones climáticas extremas.
- Las laminillas de PEHD se colocan directamente 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 permite, se prefiere colocar las laminillas manualmente, sino, con una excavadora liviana o un pequeño rodillo.
- Durante la colocación de las laminillas, hay que protegerlas contra el viento con pesas. Saquillos de arena son ideales para este objetivo.

3. Soldadura

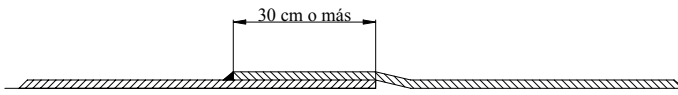
- Se recomienda hacer las soldaduras por un experto en soldadura de plástico. Si la fábrica productora dispone de tal experto, sería lo mejor que el experto de esta compañía realice este trabajo.
- Las laminillas deben ser limpias y secas cuando se hace la soldadura.
- Hay que dejar un borde suficiente 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, como se muestra en el Dibujo 7.

Dibujo 7: Soldadura recomendada para juntar las laminillas de plástico.

a) Conexión de laminillas con dos soldaduras



b) Conexión de laminillas con una soldadura

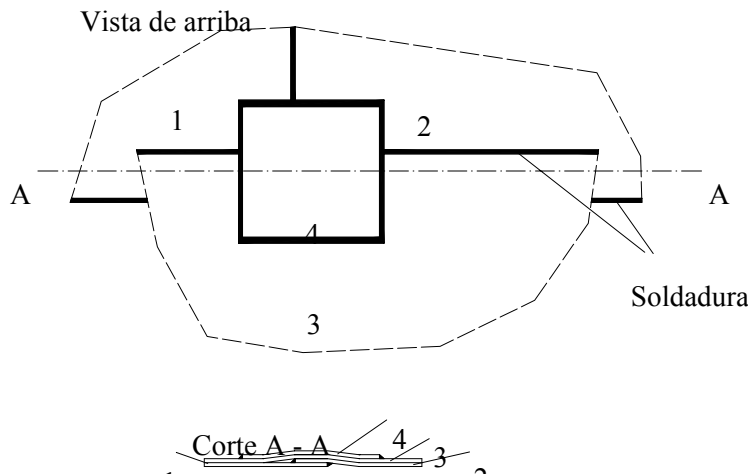


c) Conexión deficiente y poco durable



- Se debe hacer una soldadura tipo T en los puntos donde se juntan tres laminillas, y se debe proteger esta soldadura con un pedazo soldado encima, como lo muestra el Dibujo 8:

Dibujo 8: Soldadura tipo T a la unión de tres laminillas



4. Protección de la capa de plástico

- No se debe poner nada sobre la capa de plástico. Hay que quitar todo tipo de tierra, piedras, basura y otros objetos que puedan ponerse sobre la capa durante el proceso de colocación.
- Cuando esté terminado el proceso de colocación y esté aceptado por el responsable del Municipio, se debe poner geotextil (tela de ingeniería) sobre la capa de plástico. Los bordes se deben soldar con la capa de plástico. Esta capa de geotextil protege la capa de plástico de piedras u objetos agudos.

2.5.1.3.2. Recomendaciones para Rellenos Manuales y Presupuestos Limitados

Existen varios municipios que no tienen el presupuesto necesario para adquirir la capa de plástico adecuada y la tela de ingeniería. Eso es un 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. Además, el relleno manual tiene más aguas lixiviadas por causa de su más grande extensión y la mala compactación.

Se recomiendan las medidas siguientes para municipios planificando rellenos manuales o municipios que no cuentan con el presupuesto necesario para la capa de plástico de un relleno compactado con maquinaria:

1. La recomendación más importante sería la disminución de las aguas lixiviadas y del volumen de basura rellena. 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 basura rellena. 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 capas 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 quiere hacer una capa de plástico, pero no dispone del presupuesto necesario, se puede utilizar plástico PEHD producido de material reciclado (Hay algunas fábricas en Cuenca y Guayaquil que producen este tipo de plástico) o 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, se recomienda superponer dos capas, soldando los huecos.
El geotextil se puede reemplazar con helecho, pasto, yute o tela de saquillo /4/, /6/.
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
 - si el nivel de la más alta capa freática es mucho más bajo que el fondo del relleno
 - si el relleno es bastante lejos de poblaciones, de sitios de agricultura y de captaciones de agua
 - en climas muy secos donde casi no hay lluvia y, por consecuencia, no hay aguas lixiviadas (por ejemplo, partes del Manabí)

En este caso es muy importante que se recojan separadamente los desechos tóxicos, peligrosos y infectos 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 las aguas lixiviadas del relleno para la basura domiciliaria. Las aguas lixiviadas de la celda separada de desechos tóxicos, peligrosos e infecciosos pueden tratarse juntas con las aguas lixiviadas del relleno común, lo importante es el mejor aislamiento de la celda especial de estos desechos.

2.5.2. Capa de Drenaje

2.5.2.1. Sistema Estándar

2.4.2.1.1. Capa de Grava o Piedra Bola

La capa de drenaje se superpone a la capa de plástico. Su función es el drenaje de las aguas lixiviadas a fin de conducir estas a la planta de tratamiento biológico. Como las aguas lixiviadas continúan produciéndose durante muchos años después del cierre del relleno sanitario, es importante que sea muy resistente y bien construida esa capa.

Normalmente se construye la capa de drenaje de grava o piedra bola. Las piedras utilizadas deben ser grandes (con dimensiones más o menos homogéneas) y no contener partículas finas. Con eso se asegura una buena permeabilidad hidráulica. El espesor hidráulicamente eficiente debe ser a menos 30 cm; se recomienda construir una capa con espesor de 50 cm con el fin de proteger la permeabilidad hidráulica durante muchos años. Algunos criterios para la selección de grava o piedra bola se presentan en el Cuadro 8:

Cuadro 8: Criterios de aptitud para piedra bola o grava utilizada en rellenos sanitarios

Criterio	Uso en rellenos para desechos domiciliarios, tóxicos, peligrosos o infecciosos /9/
Espesor de la capa	50 cm /11/
Dimensiones de las piedras	Mezclada homogénea 16 cm < d < 32 cm o 8 cm < d < 16 cm
Proporciones de las piedras	Redondas (largo: ancho < 3 : 1)
Contenido en carbonato de calcio	< % 20
Permeabilidad	$k_f > 1 \cdot 10^{-3}$ m/s /12/
Inclinación en el ancho del relleno (hacia el colector mayor de aguas lixiviadas)	> % 3
Inclinación en el largo del relleno (hacia la planta de tratamiento)	> % 1

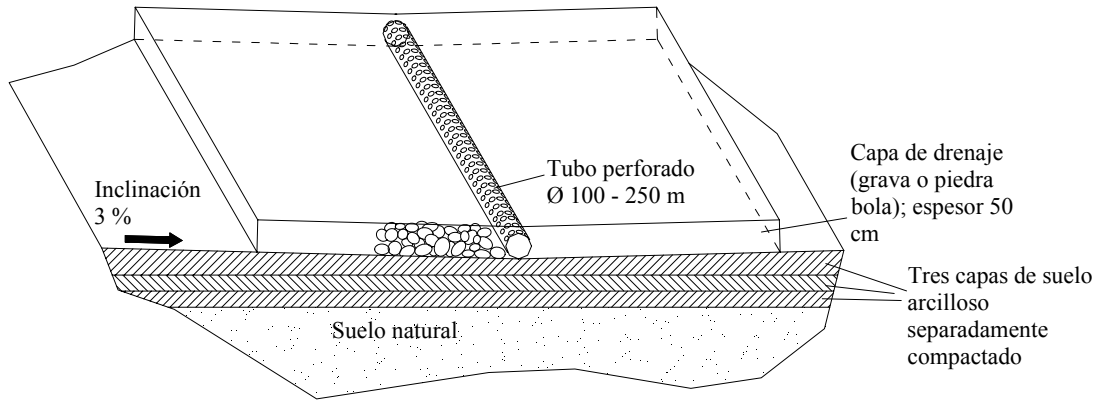
Se extiende una capa de geotextil o de materiales reemplazantes sobre la capa de drenaje, al fin de evitar que se congestione la capa de drenaje con partículas sólidas escurridas en las aguas lixiviadas.

Se recomienda hacer la capa de drenaje como se ha explicado anteriormente para todos los Municipios con propia producción de piedra bola o grava, o municipios muy cercanos a plantas de producción de ese tipo de piedra.

2.5.2.1.2. Tubería de Drenaje

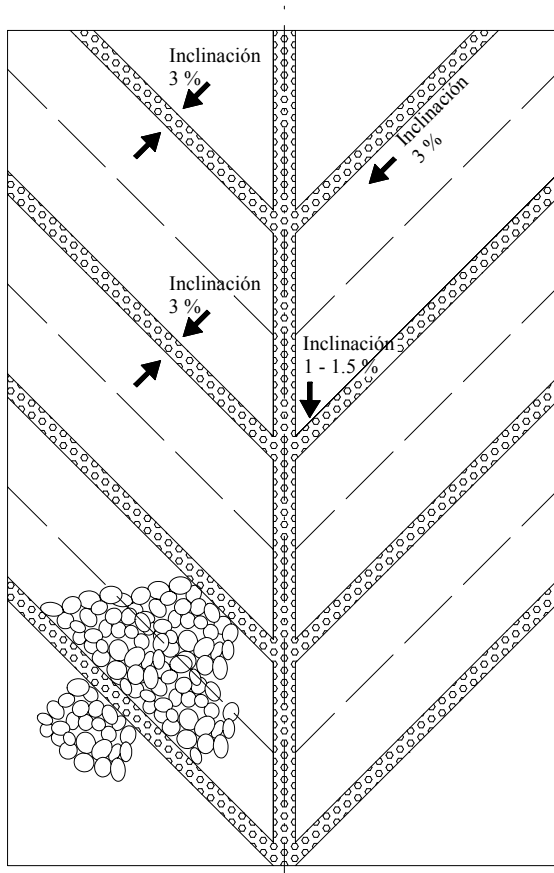
Si es económicamente factible, el sistema ideal de drenaje consiste en tubos perforados que se colocan dentro de la capa de piedra bola o grava. Estos tubos deben ser colocados al fondo de la capa, como lo muestra el Dibujo 9, para permitir que todas las aguas se percolen al interior del tubo. Es importante que exista una capa de filtro (geotextil, helecho, saquillo extendido u otro material equivalente) para evitar que se colmaten los tubos.

Dibujo 9: Posición del tubo dentro de la capa de drenaje



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 triángulos ligeramente inclinados y colocar los tubos al fondo de estos triángulos (sistema espina de pescado). En rellenos grandes, se recomienda dividir el área de relleno en diferentes "cuencas" con un colector mayor en el centro. El Dibujo 10 muestra el sistema de espinas de pescado para grandes y pequeños rellenos sanitarios. En el diseño de las inclinaciones se debe considerar asentamientos del suelo después de la construcción.

Dibujo 10: Colocación de la tubería de drenaje según el sistema "espina de pescado"



El diámetro de los tubos puede variar entre 100 y 250 mm, dependiendo de la cantidad de las aguas lixiviadas. Para los colectores mayores en rellenos grandes, se recomiendan tubos con el diámetro de 250 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 cm²/m de tubo /13/. 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.

Los tubos pueden ser de PVC, PEHD u otro plástico duro. Es recomendable utilizar plástico reciclado con el fin de bajar los costos.

Hay que considerar las siguientes situaciones de carga extrema, a las cuales serán expuestos los tubos de drenaje:

1. Construcción del relleno

La capa de drenaje está a cielo abierto durante la construcción del relleno (o, para grandes rellenos, de un módulo de relleno). La tubería debe poder evacuar todas las aguas lluvias, incluso en casos de aguacero, para que no se dañe la capa impermeable del relleno.

2. Primera fase de operación

En la primera fase de operación, cuando el espesor del cuerpo de basura está todavía muy bajo, las aguas lluvias se escurren completamente y deben ser conducidas a la planta de tratamiento sin dañar al relleno sanitario.

3. Operación regular

Se puede estimar una cantidad de aguas lixiviadas más o menos constante durante la operación del relleno sanitario. Como el cuerpo de basura retiene las aguas de lluvia durante un cierto tiempo, los aguaceros no aumentan considerablemente la cantidad de aguas lixiviadas. La cantidad de ellas se puede calcular como 25 % - 40 % de la precipitación, dependiendo de la compactación.

4. Después del cierre del relleno

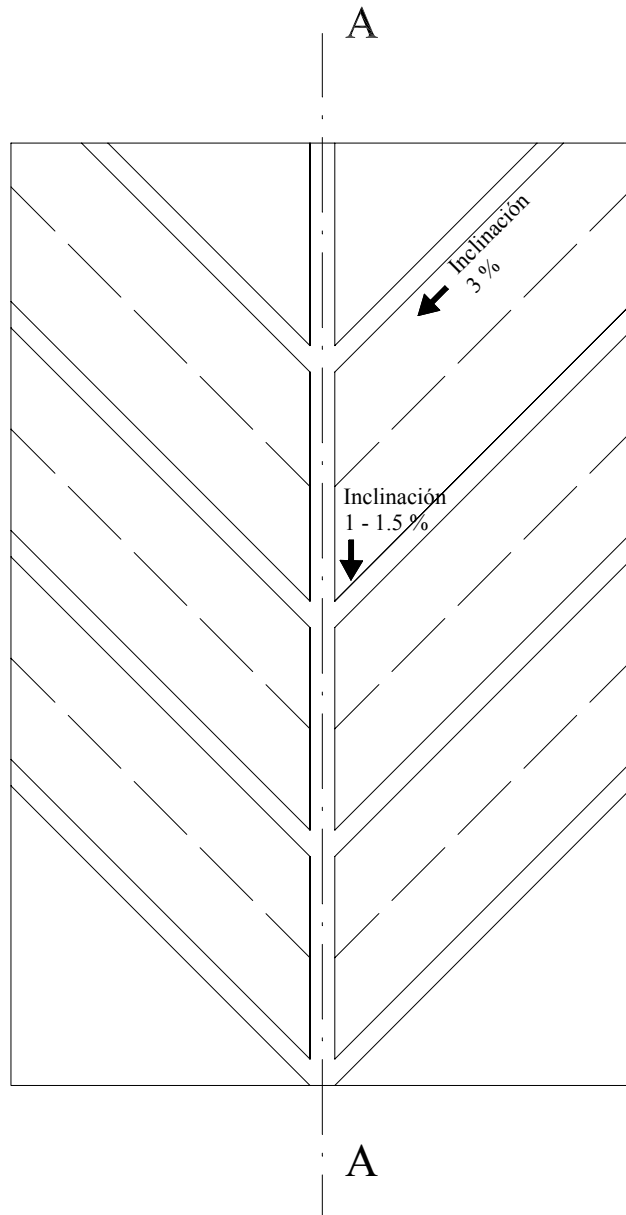
Las aguas lixiviadas continúan produciéndose después del cierre del relleno. Su cantidad baja con el tiempo hacia 0 - 5 % de la precipitación. El periodo de escurrimiento de aguas lixiviadas depende del tipo de desechos dispuestos y de la degradación dentro del cuerpo de basura. La tubería debe funcionar hasta que se sequen las aguas lixiviadas.

2.5.2.2. Alternativas Cuando es Difícil o Caro Conseguir la Grava o Piedra Bola y los Tubos

Existen municipios que no disponen de una planta de producción de grava o piedra bola, que se ubican alejados de ríos que proporcionan estas piedras o que no disponen del presupuesto necesario para conseguirse la cantidad necesaria de grava y piedra bola. En ese caso se puede renunciar a la capa de piedra bola o grava.

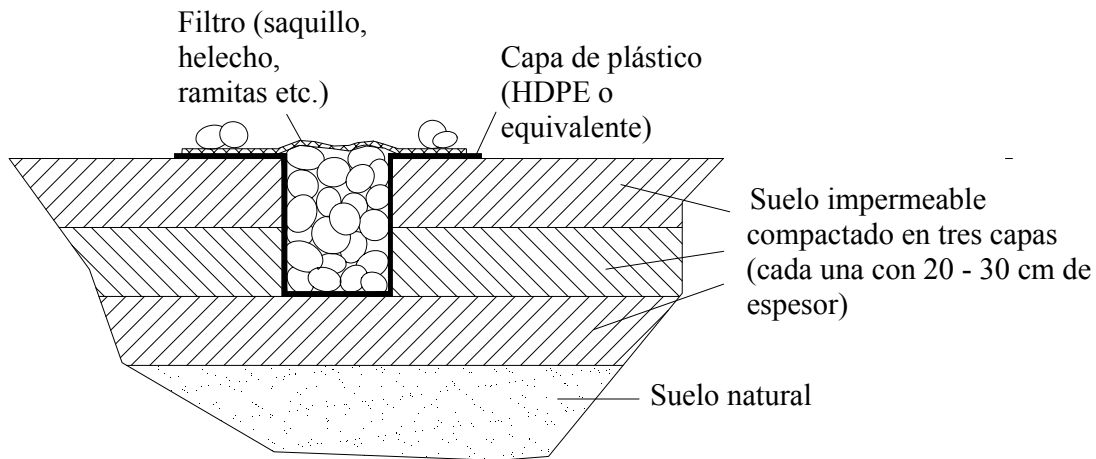
El terreno se prepara como lo descrito en el capítulo 2.5.2.1., es decir, se hace el terraplén del relleno con una inclinación según el sistema espina de pescado. Después, se construyen canales de drenaje en las líneas de más bajo nivel. El Dibujo 11 muestra como se deben colocar los canales de drenaje.

Dibujo 11: Colocación de los canales de drenaje en un relleno sin capa de grava



Se recomienda construir los canales de drenaje con un ancho de por lo menos 0,5 m y llenarlos con grava o piedra bola del mismo tamaño como lo descrito en el Cuadro 8. Los canales se cubren completamente con helecho, saquillos usados (tela de plástico) o geotextil, con el fin de evitar que se llenen con partículas sólidas contenidas en las aguas lixiviadas. El Dibujo 12 muestra como se debe construir la zanja para un canal de drenaje.

Dibujo 12: Canal de drenaje



La Fotografía 4 muestra un ejemplo de un canal llenado con piedra bola y cubierto con saquillo usado.

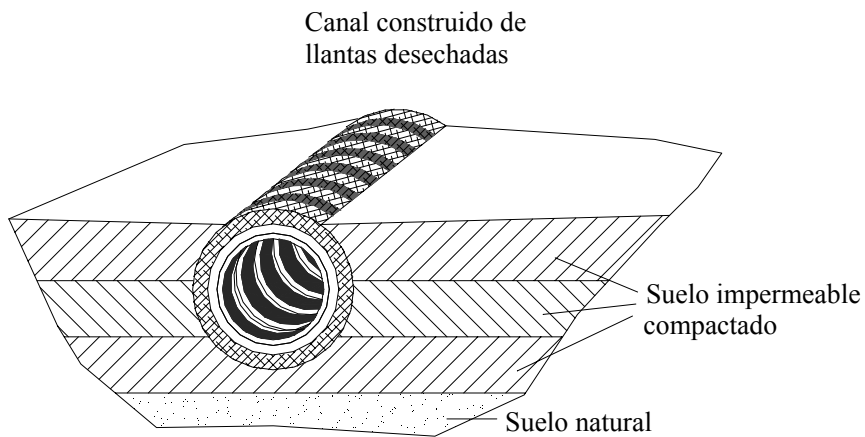
Fotografía 4: Ejemplo de canal de drenaje en un relleno sanitario



Otra alternativa es construir los canales según el mismo sistema, como se muestra en el Dibujo 12, pero rellenarlos con llantas usadas de automóvil. Se recomienda este sistema especialmente en regiones donde no se reciclan las llantas y donde el suministro con piedra bola o grava es difícil y caro /4/. Este sistema permite aprovechar de las llantas desechadas que dan problemas en el manejo

del relleno y ganar volumen de relleno, lo que es especialmente importante en rellenos sanitarios manuales. En ese caso se recomienda una construcción como la presenta el Dibujo 13:

Dibujo 13: Canal de drenaje relleno con llantas usadas.



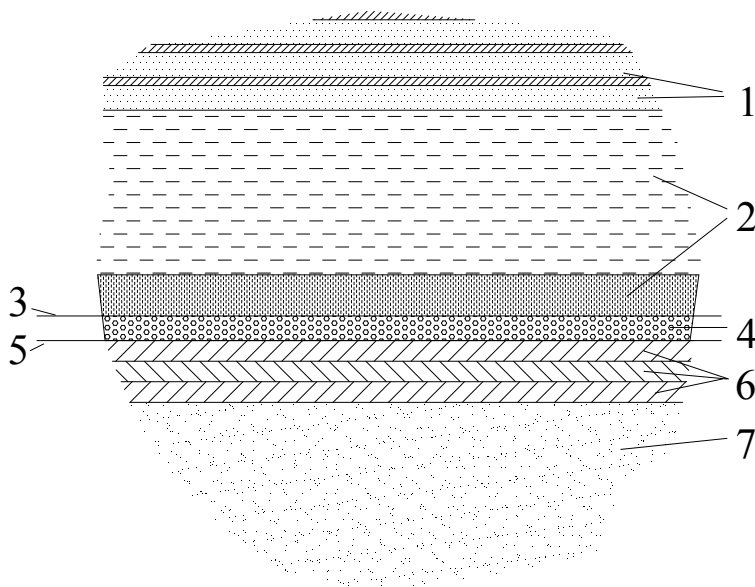
La zanja de drenaje con llantas tiene un corte redondo. La parte de arriba de las llantas se llena con piedra bola o grava, después se cubre con ramas de helecho o pasto, igualmente como se hace con el canal de drenaje llenado con piedra bola o grava.

2.5.3. Estratos de la Base del Relleno Sanitario

2.5.3.1. Relleno Sanitario Cumpliendo con el Estándar Técnico

El Dibujo 14 muestra un corte representativo de la base de un relleno sanitario ideal.

Dibujo 14: Estratos de la base del relleno sanitario



No	Características	Espesor
1	Basura (colocada, compactada y cubierta)	En capas delgadas de aproximadamente 30 cm + 25 - 30 % de tierra
2	Capa de protección (basura biológicamente degradada o compost)	Capa de basura degradada: > 2 m Capa de compost: > 0.5 m
3	Geotextil o capa de ramas de helecho para la protección de la capa de plástico y de la capa de drenaje	Según las circunstancias
4	Capa de drenaje (grava o piedra bola)	0,3 - 0,5 m
5	Capa de plástico (PEHD o equivalente)	> 2 mm
6	Capa mineral (suelo arcilloso)	60 - 75 cm
7	Barrera geológica	> 3 m

2.5.3.2. Criterios Mínimos Para la Base del Relleno

Como es bastante costosa la construcción de la base ideal de un relleno sanitario, y no se encuentra en todas partes una barrera geológica suficiente, hay que establecer unos criterios mínimos para la base de un relleno sanitario.

Cuales son los objetivos mayores que se quiere lograr con la construcción de la base del relleno sanitario?

- Protección de los acuíferos
- Evacuación controlada de las aguas lixiviadas con el fin de tratarlas en una laguna de tratamiento biológico u otra planta equivalente

- Evacuación de las aguas lixiviadas con el fin de asegurar la estabilidad del cuerpo de basura

Si no es posible lograr esos objetivos de manera óptima, hay que intentar hacer lo mejor con las posibilidades existentes. Aquí es importante hacer una distinción entre sitios con alto o mediano nivel de precipitación y sitios con muy baja precipitación. En regiones donde la precipitación anual no exceda los 300 mm y se cuente con un canal apropiado para interceptar y desviar las aguas lluvias, se espera que no se presenten problemas significativos con las aguas lixiviadas /4/. En consecuencia, en un sitio que se encuentra en una región sumamente seca, se puede renunciar a algunos elementos que constituyen la capa de base óptima. En otros sitios donde llueve bastante, o en sitios que se encuentran en una región ecológicamente importante o sensible, no se debería descuidar la base del relleno sanitario, pero se puede optar por soluciones menos costosas y más fáciles.

3. Emisiones del Relleno Sanitario

3.1. Reacciones Químicas y Biológicas en el Cuerpo de Relleno

Los desechos dispuestos en el relleno son sujetos a una degradación orgánica dependiendo del tiempo. Ese proceso de biodegradación tiene cuatro fases:

1. fase: Oxidación
2. fase: Fermentación agria anaeróbica
3. fase: Fermentación anaeróbica desequilibrada con producción de metano
4. fase: Fermentación anaeróbica equilibrada con producción de metano

Se consume el oxígeno contenido en los desechos durante la primera fase, y comienza el proceso de putrefacción cuando se cubren los desechos con otros desechos y con tierra. En esta fase, se desmenuzan los compuestos orgánicos (grasa, proteínas, celulosa) en compuestos fundamentales (aminoácidos, lípidos, azúcares).

Estos compuestos fundamentales sufren otra transformación en la segunda fase. Se transforman en H₂, CO₂, acetato y lípidos. Como la concentración de lípidos aumenta considerablemente durante este proceso, la segunda fase se llama "fermentación ácida". Si los desechos tienen contacto con el aire durante esta transformación, son sumamente elevadas las emisiones olóricas. La concentración de contaminantes en las aguas lixiviadas tiene también un nivel muy alto.

Los productos transitorios de la segunda fase se transforman en CH₄ (metano), CO₂ y H₂O. Estos gases son los productos definitivos de la descomposición orgánica y serán producidos durante un largo tiempo (25 - 40 años). El Cuadro 9 da un resumen de las fases de fermentación.

Cuadro 9: Resumen de las fases de fermentación

Fase	Fermentación		Edad del relleno	Gas producido
1	Aeróbica	Oxidación	0 - 2 semanas	N ₂ , O ₂
2	Anaeróbica	Fermentación ácida	2 semanas - 2 meses	N ₂ , CO ₂ , H ₂
3	Anaeróbica	Fermentación desequilibrada con producción de metano	2 meses - 2 años	CO ₂ , CH ₄ , H ₂
4	Anaeróbica	Fermentación equilibrada con producción de metano	2 años - termino de fermentación (ese varia entre 25 - 40 años)	CO ₂ , CH ₄
5	Termino		> 25 - 40 años	

Los procesos resumidos arriba son sumamente complejos. Como la velocidad de transformación puede variar bastante, es posible observar las cuatro fases paralelamente en el cuerpo de basura de un relleno en operación. Las características de las aguas lixiviadas y del gas del relleno varían con la edad del relleno. Se dan informaciones más detalladas en los siguientes sub-capítulos.

3.2. Generación, Características y Tratamiento de las Aguas Lixiviadas

3.2.1. Cantidad de las Aguas Lixiviadas

La cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de factores diferentes:

- la precipitación
- el área del relleno
- el modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación)
- el tipo de basura

El Cuadro 10 da un resumen de la cantidad de las aguas lixiviadas en situaciones diferentes.

Cuadro 10: Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario /4/, /7/

Tipo de relleno	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas (m ³ /(ha*día))		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno manual	60	11,51	24,66	49,32
Relleno compactado con maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Relleno compactado con maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

El cuadro muestra que la producción de aguas lixiviadas puede ser extremadamente alta en rellenos manuales que se encuentran en regiones con alta pluviosidad. La minimización de las aguas lixiviadas es especialmente importante para rellenos manuales sujetos a precipitaciones elevadas, ya que es difícil el tratamiento de una cantidad muy alta de aguas lixiviadas que se pueden generar. Las medidas más importantes para la minimización de aguas lixiviadas en rellenos manuales son:

- no construir el relleno en áreas completamente planas o en trincheras, pero sí en terrazas o sobre un terreno ligeramente inclinado para que una parte de las aguas de lluvia pueda desaguarse en la superficie, sin percolar al cuerpo de basura
- cubrir las celdas terminadas con tierra y sembrar plantas con alta capacidad de absorción para secar el terreno
- construir drenes de aguas lluvias alrededor de las celdas para evitar que se infiltre agua de afuera al cuerpo de basura

- cubrir las celdas con plástico de invernadero desechado o con helecho (ese método no sirve en trincheras excavadas, solamente en celdas que tienen la forma de terraza o que son construidas sobre terrenos inclinados)

En rellenos compactados con maquinaria se puede minimizar la cantidad de las aguas lixiviadas con las siguientes medidas:

- Buena maquinaria de compactación (compactadora pesada)
- Colocación de la basura en capas delgadas (no más de 30 cm de espesor)
- Compactación adecuada (la máquina debe pasar a menos 20 veces sobre el mismo lado)
- Construcción de una capa de basura con un espesor de 2 m al fondo del cuerpo de basura. Esa basura se deja a la biodegradación aeróbica y se compacta más tarde. Va a servir como filtro para las aguas lixiviadas de más arriba (ver: Capítulo 3.2.3.2.1.1.)

Es verdad que los porcentajes dados en el Cuadro 9 son números muy aproximados. Existen varios modelos más sofisticados que tienen en cuenta el tipo de suelo, el material de cobertura, el tipo de vegetación y la evaporación de las aguas en el sitio. Si se desea utilizar un modelo más detallado, es posible obtener por Internet el modelo HELP (Hydrological Evaluation of Landfill Performance) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (www.epa.gov).

3.2.2. Contaminación de las Aguas Lixiviadas

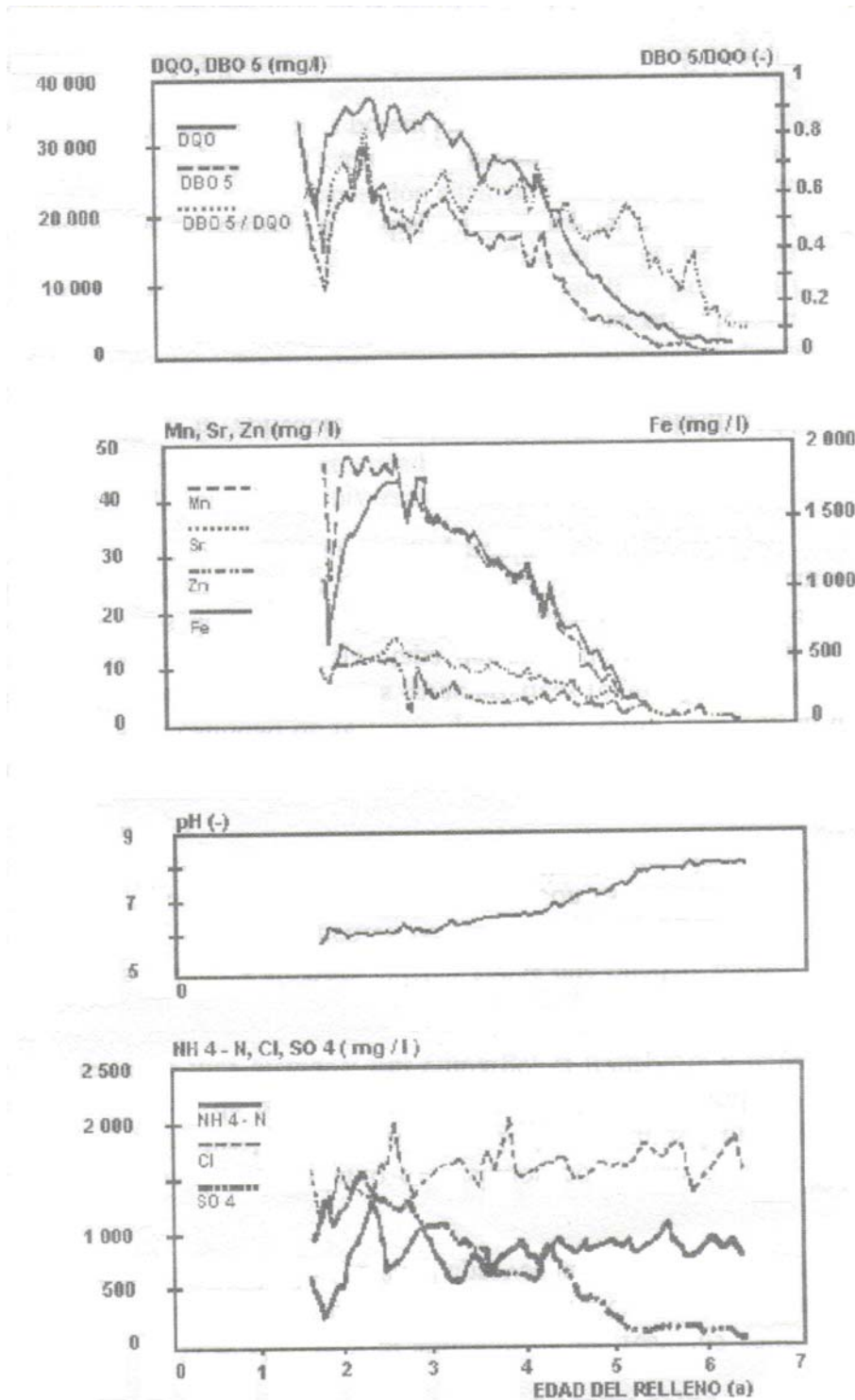
Los parámetros de contaminación de las aguas lixiviadas de un relleno sanitario varían mucho según el periodo de fermentación y el tipo de desechos rellenos. El Cuadro 11 muestra los valores promedios y máximos de contaminación durante la fase de fermentación ácida y metanogénica.

Cuadro 11: Contaminación de las aguas lixiviadas durante la fase de fermentación ácida y metanogénica /7/, /14/, /15/, /16/

Parametro	Unidad	Contaminación de las aguas lixiviadas				
		Periodo de fermentación ácida		Periodo de fermentación metanogénica		Relleno mayor de 10 años
		Margenes	Promedio	Margenes	Promedio	
DBO ₅	mg/l	4000-40000	13 000	20 - 550	180	100 – 200
DQO	mg/l	6000-60000	22 000	500 - 4 500	3000	100 – 500
Proporción DBO ₅ /DQO			0.58		0.06	
(PO ₄ -P)	mg/l	0.1 - 30	6	0.1 - 30	6	4 – 8
Cr total	mg/l	30 - 1 600	300	30 - 1 600	300	
Pb total	mg/l	8 - 1020	90	8 - 1020	90	
Cianura total (CN ⁻)	mg/l	10		10		
Cadmium (Cd)	mg/l	0.5 - 140	6	0.5 - 140	6	
Cobre (Cu)	mg/l	4 - 1400	80	4 - 1400	80	
Zinc (Zn)	mg/l	0.1-1	5	0.03-4	0.6	
Tetraóxido de azufre (SO ₄)	mg/l	70-1750	500	10-884	80	
Calcio (Ca)	mg/l	10-2500	1200	20-600	60	100 – 400
Magnesio (Mg)	mg/l	0.3- 1130	600	0.03-530	250	50 – 200
Manganeso	mg/l	0 - 65.5	24	0 - 1.7	0.65	
Hierro (Fe)	mg/l	20-2100	780	3-280	15	20 – 200
pH		0.5-15	7	0.3-7	1	6.6 – 7.5

El Dibujo 15 muestra el cambio de la concentración de contaminantes en las aguas lixiviadas en función de la edad del cuerpo de basura /14/.

Dibujo 15: Cambio de la concentración de contaminantes en las aguas lixiviadas



3.2.3. Tratamiento de las Aguas Lixiviadas

3.2.3.1. Criterios de Descarga al Medio Recibidor

La legislación ecuatoriana no determina límites de concentración de contaminantes si se realiza una descarga a un medio recibidor que no sea el alcantarillado. Hay que tomar en cuenta que en la mayoría de los casos los rellenos sanitarios no son conectados a cualquier sistema de alcantarillado, debido a su distancia de los centros poblados.

El Cuadro 12 muestra las normas ecuatorianas para la descarga de efluentes industriales a sistemas de alcantarillado /17/. El Cuadro 13 da las normas colombianas para la eficiencia mínima de los diferentes tipos de tratamiento /20/. En el Cuadro 14, se presentan algunas normas europeas para la descarga directa a aguas superficiales que pueden servir como referencia para el diseño del tratamiento de las aguas lixiviadas.

Cuadro 12: Límites para descargas de efluentes industriales a sistemas de alcantarillado

Parámetro	Límite máximo	Parámetro	Límite máximo
Temperatura (°C)	45	Hierro (mg/l)	20
Aceites y grasas (mg/l)	100	Mercurio (mg/l)	0.01
PH	6 - 9	Níquel (mg/l)	2
Sólidos en suspensión (mg/l)	1 200	Plomo (mg/l)	0.5
Sólidos sedimentables (mg/l)	10	Cobre (mg/l)	1
DBO ₅ (mg/l)	1 000	Zinc (mg/l)	5
Substancias solubles en hexano (mg/l)	50	Cloroformo (mg/l)	0.1
		Pentaclorofenol (mg/l)	1
Sulfatos (mg/l)	500	Hidrocarburos (mg/l)	20
Cianuros (mg/l)	1	Cloro activo (mg/l)	0.5
Arsénico (mg/l)	0.1	Pesticidas (mg/l)	1
Cadmio (mg/l)	0.02	Cromo exvalente (mg/l)	5

Cuadro 13: Eficiencia mínima de remoción de contaminantes /20/

Tipo de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción (% de la concentración inicial)						
	DBO ₅	DQO	Sólidos suspendidos	P	N _{org}	NH ₃ -N	Patógenos
Rejilla	-	-	-	-	-	-	-
Desarenadores	0 - 5	0 - 5	0 - 10	-	-	-	-
Sedimentación primaria	30 - 40	30 - 40	50 - 65	10 - 20	10 - 20	-	-
Laguna anaerobia	50 - 70	-	20 - 60	-	-	-	90 - 99
Laguna aireada	80 - 95	-	85 - 95	-	-	-	90 - 99
Laguna facultativa	80 - 90	-	85 - 95	-	30	-	90 - 99
Lagunas de maduración	60 - 80	-	85 - 95	-	-	-	90 - 99
Reactor UASB	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40	-	-	-
Reactor anaerobio	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40	-	-	-
Lodos activados (convencional)	80 - 95	80 - 95	80 - 90	10 - 25	15 - 20	8 - 15	-
Filtro anaerobio	65 - 80	60 - 80	60 - 70	30 - 40	-	-	-
Filtro percolador de roca	65 - 80	60 - 80	60 - 85	8 - 12	15 - 50	8 - 15	-
Filtro percolador de plástico	65 - 85	65 - 85	65 - 85	8 - 12	15 - 50	8 - 15	-

Cuadro 14: Límites de descarga para efluentes de rellenos sanitarios a aguas superficiales

Parámetro	Turquía /18/	Francia /19/
DBO ₅ (mg/l)	50	30 o 95 % de la concentración inicial
DQO (mg/l)	100	125 o 95 % de la concentración inicial
N _{total} (mg/l)	no hay límite	30 o 80 % Regiones protegidas: 10
Sólidos en suspensión (mg/l)	100	35 o 95 % de la concentración inicial
Aceites y grasas (mg/l)	10	no hay límite
Hidrocarburos halogenados (mg/l)	no hay límite	1
Hidrocarburos totales (mg/l)	no hay límite	10
Fósforo total (PO ₄ -P), mg/l	1	10 o 90 % de la concentración inicial Regiones protegidas: 1
Cr _{total} (mg/l)	1	no hay límite
Cr ⁶⁺ (mg/l)	0.5	0.1
Mercurio (mg/l)	no hay límite	no hay límite
Níquel (mg/l)	no hay límite	0.5
Plomo (mg/l)	1	0.5
Cianuros (mg/l)	0.5	0.1
Cadmio (mg/l)	-	no hay límite
Hierro (mg/l)	-	no hay límite
Fluoro (mg/l)	-	15
Cobre (mg/l)	-	0.5
Zinc (mg/l)	-	2
Estaño (mg/l)	no hay límite	2
Arsénico (mg/l)	no hay límite	no hay límite
PH	6-9	no hay límite

3.2.3.2. Tecnología de Tratamiento

Existen diferentes tecnologías para tratar las aguas lixiviadas de un relleno sanitario. La selección del sistema depende del presupuesto disponible, de la cantidad de las aguas lixiviadas y del área disponible. En los sub- capítulos siguientes, se describen los métodos más comunes de tratamiento de las aguas lixiviadas, y se dan recomendaciones en qué situación se puede aplicar qué tecnología.

3.2.3.2.1. Tratamiento Biológico

3.2.3.2.1.1. Degradación Anaeróbica

El tratamiento anaeróbico es una tecnología muy apropiada para aguas altamente contaminadas, como las aguas lixiviadas del relleno sanitario. No se necesita aireación y hay la posibilidad de utilizar el gas metano producido durante el proceso de degradación anaeróbica. Con el tratamiento anaeróbico, se puede bajar la concentración de contaminantes considerablemente, es decir que se logran concentraciones de DBO₅ entre 1000 - 5000 mg/l y DQO entre 10 000 - 30 000 mg/l, lo que es todavía alto pero ya menos de la mitad de la concentración original.

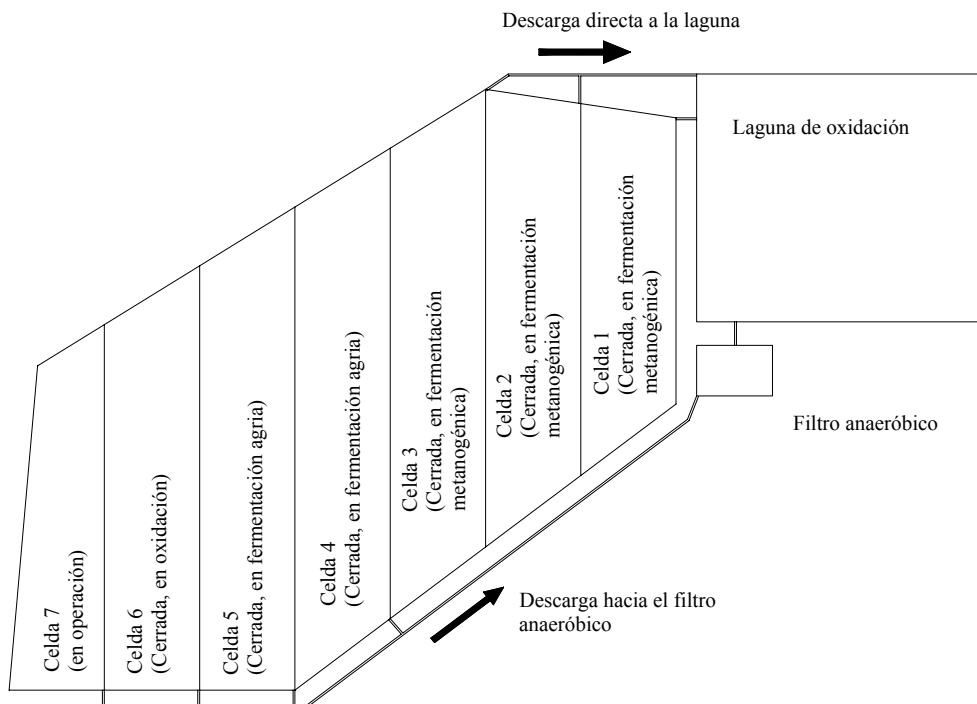
En los rellenos sanitarios, la degradación anaeróbica se puede realizar durante la fase de fermentación agria. En esta fase, las aguas lixiviadas tienen un contenido extremadamente alto de contaminantes. Más tarde, durante la fermentación con producción de metano, ya no tiene impacto

la degradación anaeróbica, ya que todo el proceso se realiza en un ambiente completamente anaeróbico.

Existen tres alternativas comunes para la degradación anaeróbica /21/:

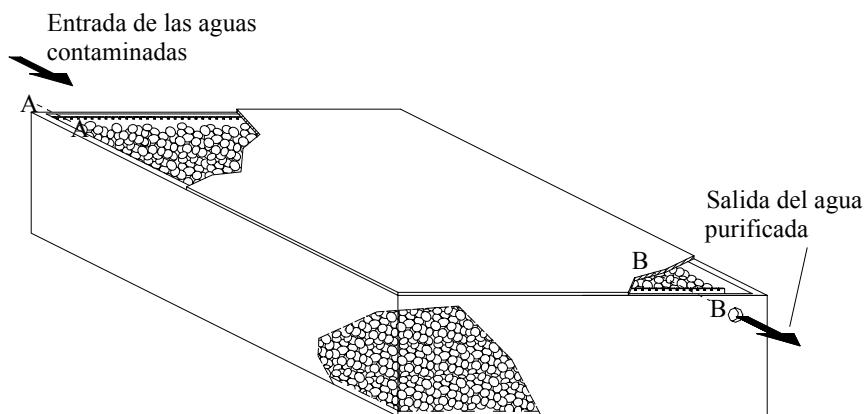
- a. Se construye un reactor anaeróbico que se utiliza para el pre-tratamiento de las aguas lixiviadas. Las aguas lixiviadas de las partes del relleno en operación se mandan a ese reactor; las aguas lixiviadas de los módulos ya cerrados se conducen directamente al tratamiento final. Es necesario cambiar el sistema de drenaje con el avance del relleno. Por eso, no se recomienda este sistema para rellenos pequeños. El Dibujo 16 muestra como se pueden conducir las aguas lixiviadas en un relleno sanitario que tiene un módulo en operación y otros módulos ya cerrados.

Dibujo 16 : Sistema de drenaje para tratamiento con filtro anaeróbico

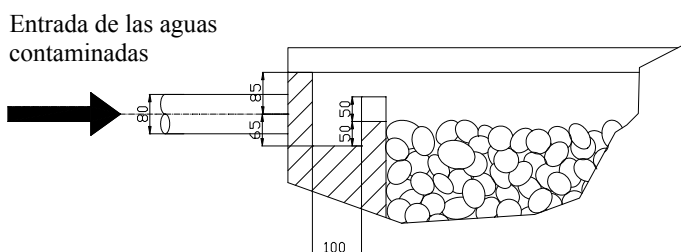


Otra desventaja es que los reactores anaeróbicos que funcionan como filtros (ejemplo: tratamiento de las aguas lixiviadas en el Municipio de Macas) se pueden congestionar rápidamente por causa del alto contenido de materia sólida suspendida. Los reactores anaeróbicos se pueden construir como se muestra en el Dibujo 17:

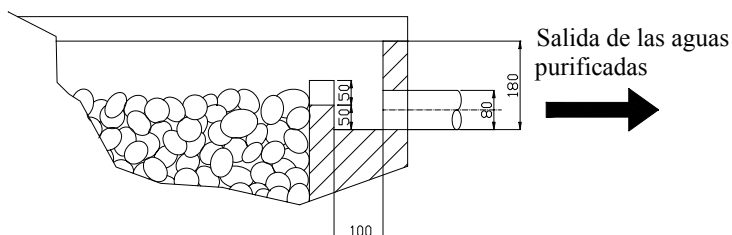
Dibujo 17: Reactor anaeróbico para el tratamiento de las aguas lixiviadas



Corte A - A



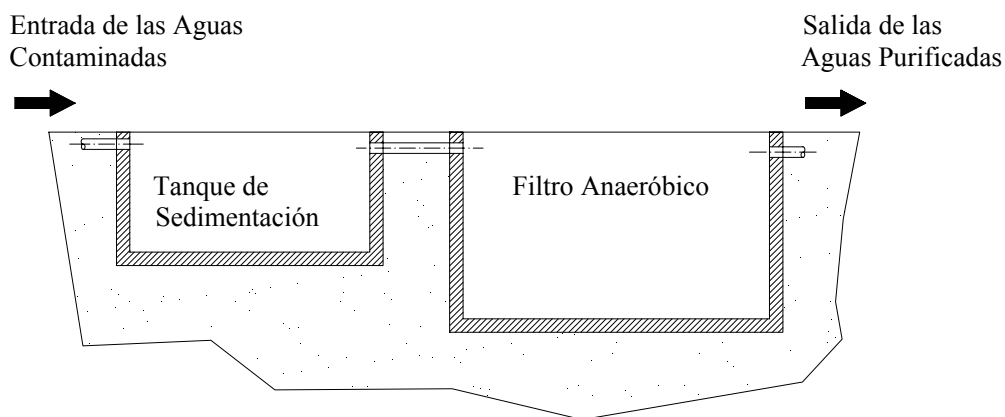
Corte B - B



Se puede utilizar grava o piedra bola para rellenar el reactor anaeróbico. Es también posible utilizar pedazos de plástico (PEHD o PVC duro, como se utiliza para recipientes) desechado. Esos pedazos deberían tener un tamaño de 5 - 7 cm. Con este relleno, se aumenta la superficie de reacción y se acelera el proceso de degradación, lo que permite construir un reactor más pequeño y más barato. Se recomienda construir el reactor para un tiempo de retención de 15 días como mínimo.

Para evitar que se colme el filtro anaeróbico, se recomienda construir una pequeña piscina de sedimentación, donde se van las aguas lixiviadas antes de ser conducidas al filtro anaeróbico. El Dibujo 18 muestra una secuencia posible para el tratamiento con reactor anaeróbico.

Dibujo 18 : Secuencia de tanques para el tratamiento anaeróbico



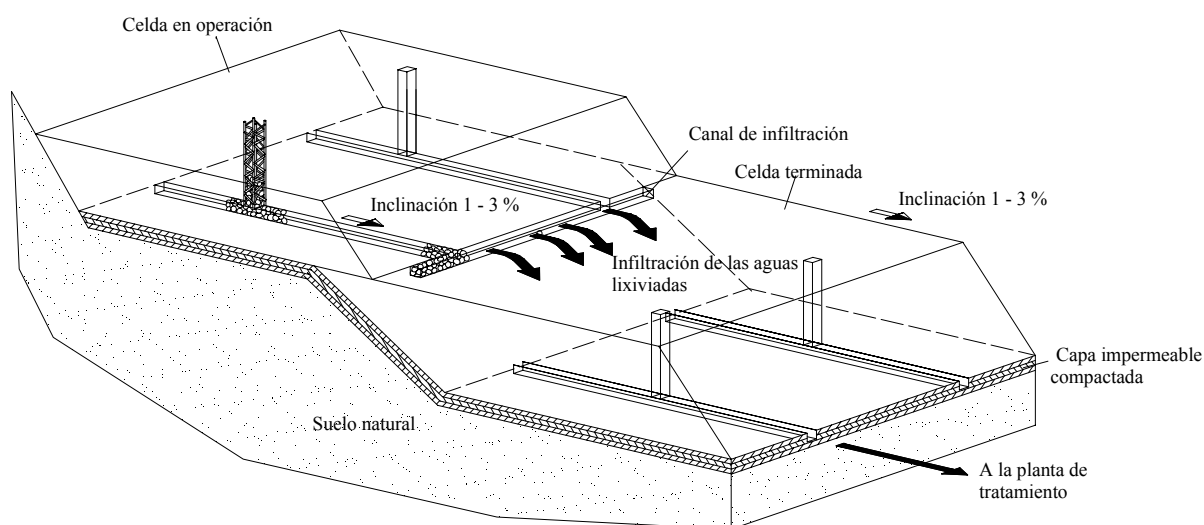
- b. Se integra una capa al fondo del relleno que sirve como filtro anaeróbico. Eso se hace de siguiente manera: Se pone una capa de basura fresca sobre la capa de drenaje y no se compacta esta capa, con el fin de que se realice la biodegradación aeróbica en esta capa de basura. Ese trabajo se hace 2 - 3 meses antes de abrir el módulo en cuestión a la operación. Cuando esté lista la capa de basura (es decir, ya avanzado el proceso de biodegradación), se puede compactar. La capa de basura debería tener un espesor de aproximadamente 2 m. Otra alternativa es poner una capa de compost sobre la capa de drenaje. Si el municipio tiene una planta de compostaje, se puede utilizar el material grueso que sobre cuando se tamiza el compost listo. Sería suficiente un espesor de 0.5 m si se utiliza una capa de compost. El uso del compost para la capa de filtro se recomienda especialmente para rellenos manuales donde no se puede acumular la basura verticalmente.

La capa de basura biodegradada o de compost grueso funciona como filtro anaeróbico para las aguas lixiviadas. Se recomienda construir este tipo de filtro anaeróbico para cada tipo de relleno sanitario, pues reduce considerablemente la contaminación de las aguas lixiviadas. No tiene costo adicional para el municipio.

- c. Se puede bombear el agua lixiviada y dispersar sobre el cuerpo de basura con un aspersor. En este caso, el cuerpo entero de basura cumple el papel de filtro anaeróbico y se reduce considerablemente la contaminación de las aguas lixiviadas. Pero no se recomienda este sistema por causa de la contaminación olfatoria que se produce con los aspersores. Además puede ser demasiado elevado el costo de bombeo. /22/.

Es diferente si se trata de un relleno manual construido en terrazas en un terreno bastante inclinado, como puede ser el caso en la Sierra. Aquí se recomienda comenzar la operación del relleno con la celda más baja, poner una capa de compost al fondo, cuando se cierra esta celda, conducir las aguas lixiviadas de la segunda celda (arriba de la primera) sobre la primera celda para utilizarla como filtro anaeróbico; después, cuando se cierra esta celda, conducir las aguas lixiviadas de la tercera celda sobre la segunda etc. El Dibujo 19 muestra como podría funcionar este tipo de tratamiento anaeróbico.

Dibujo 19: Celdas de relleno ya cerradas funcionan como filtro anaeróbico para la celda actualmente en operación



Es también posible diseñar una laguna anaeróbica como primera etapa de tratamiento. No se recomienda mucho esta alternativa por causa de los gases producidos durante el proceso de biodegradación anaeróbica.

3.2.3.2.2. Tratamiento con Piscinas Aireadas

Es posible también tratar las aguas lixiviadas en piscinas aireadas (método de lodo activado). Los compuestos orgánicos del carbón se transforman en CO_2 y H_2O bajo la influencia del oxígeno. El tratamiento de las aguas lixiviadas en piscinas aireadas es posible tanto durante la fermentación agria como durante la fermentación con producción de metano. Como las aguas lixiviadas contienen generalmente mucho nitrógeno, se recomienda añadir un proceso de nitrificación - denitrificación.

Considerando las características de las aguas lixiviadas, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

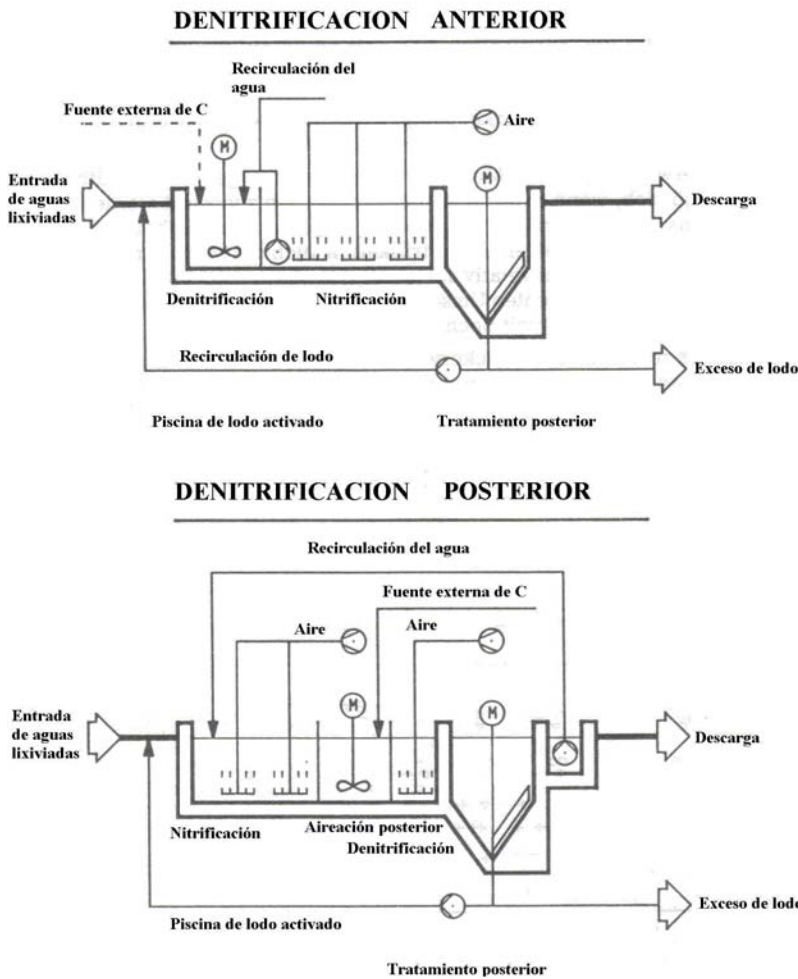
- En lugares muy fríos (en el Páramo) o donde hay un invierno muy frío (por ejemplo en Quito), la eficiencia del tratamiento baja considerablemente y la nitrificación no funciona. Presenta problemas en su funcionamiento la piscina aireada en temperaturas menores de 10°C ; en temperaturas más bajas de 4°C casi es imposible el tratamiento.
- Las piscinas se deben construir en hormigón armado muy resistente debido a que las aguas lixiviadas son bastante agresivas por causa de su alto contenido en sulfato y amoníaco.
- La alta concentración de lodo y materia sólida suspendida impide la circulación del agua en la piscina aireada. El diseño para la colocación del equipo de aireación o de los agitadores se debe hacer al fin de evitar áreas de estancamiento.
- El equipo de aireación debe ser resistente contra la congestión. Se recomiendan difusores con membranas de caucho o aireación superficial.

- La generación de espuma se puede evitar con dispersión superficial de agua o con químicos controladores de espuma.
- El contenido de fósforo en las aguas lixiviadas es sumamente bajo durante la fermentación agria. Se recomienda añadir ácido fosfórico en esta fase. Si el municipio tiene una planta de compostaje, sería recomendable mezclar las aguas lixiviadas del relleno y del compostaje para el tratamiento, ya que el contenido de fósforo es más alto en las aguas lixiviadas del compostaje.

Los siguientes aspectos se deben tomar en consideración para la planificación de la nitrificación:

- La alcalinidad baja durante el proceso de nitrificación. Cuando el contenido de HCO_3 queda debajo de 400 mg/l, se debe añadir bicarbonato de sodio o un químico equivalente.
- El control del pH es muy importante. Si el pH es demasiado alto, se impide la nitrificación del amoníaco.
- Los metales pesados tienen un impacto negativo sobre la nitrificación. Se recomienda un tratamiento químico (precipitación de los metales pesados) antes de la piscina aireada.
- Es muy importante la temperatura del agua para la nitrificación. La nitrificación se realiza idealmente en temperaturas mayores de 15°C
- El contenido de carbón en las aguas lixiviadas de la fermentación con producción de metano puede ser demasiado bajo para la denitrificación. En este caso, se debe añadir metanol o ácido de vinagre. Se recomienda también la mezcla con las aguas lixiviadas de la planta de compostaje, si el municipio dispone de esta infraestructura.

El Dibujo 20 muestra un diseño esquemático de una piscina aireada con nitrificación y denitrificación.



Con esta tecnología se pueden lograr valores muy bajos de contaminación, como lo muestra el Cuadro 15:

Cuadro 15: Concentraciones de contaminantes después del tratamiento de las aguas lixiviadas en una piscina aireada con nitrificación y denitrificación /17, 21/

Parámetro	Concentración (mg/l)	Rendimiento del tratamiento (%)
DBO ₅	20	95 – 98
N	10	> 95
DQO	400 - 1500	90 – 95

Hay que decir que el tratamiento con piscinas aireadas necesita inversiones sumamente altas y tiene también costos altos de operación. No se recomienda este tipo de tratamiento cuando el municipio en cuestión tiene otra alternativa de tratamiento. Se puede considerar el tratamiento de las aguas lixiviadas con piscina aireada en el siguiente caso:

- El relleno produce una gran cantidad de aguas lixiviadas y el municipio no dispone del terreno necesario para construir lagunas de tratamiento biológico.

- El relleno se encuentra en una zona con alta sensibilidad ecológica.
- Después del tratamiento, las aguas lixiviadas se vierten en aguas superficiales que serán utilizadas para consumo humano (agua potable). Este caso se debe evitar al máximo!
- El municipio en cuestión debe tener la capacidad financiera para asumir los costos operativos. Para eso sería recomendable un sistema de recuperación de los costos del manejo de los desechos sólidos de la ciudadanía, es decir que cada hogar paga un impuesto mensual que corresponde a su porcentaje del presupuesto total.

3.2.3.2.3. Lagunas

Las lagunas son la alternativa más económica entre las alternativas consideradas (el tratamiento anaeróbico es un pre-tratamiento, no una alternativa), y además es un proceso muy eficaz. Los costos de inversión son muy bajos, y casi no existen costos operativos. El Cuadro 16 muestra los tipos más comunes de lagunas de tratamiento biológico:

Cuadro 16: Lagunas de tratamiento biológico de aguas usadas /20/

Laguna aerobia	Laguna de poca profundidad que mantiene oxígeno disuelto en todo el tirante de agua
Laguna aireada	Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se supe el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido.
Laguna anaerobia	Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto, con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H ₂ S). La laguna anaerobia es un sistema de pre- tratamiento!
Laguna de estabilización	Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad y periodos de retención considerable. En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural.
Laguna de maduración	Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia – facultativa – aireada – secundaria).
Laguna facultativa	Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Es verdad que se necesita una área muy extendida para asegurar un buen tratamiento de las aguas lixiviadas. La laguna no debe ser más profunda de 5 - 10 cm, y es necesario un tiempo de retención entre 30 y 50 días (menos en un clima caliente, más en un clima frío). El Cuadro 17 muestra algunos ejemplos para el diseño de una laguna biológica.

El Cuadro muestra que el área necesaria para la laguna puede variar entre 50 % y 200 % del área del relleno. Los factores de influencia más importantes son el clima (precipitación y temperatura), el tipo de manejo del relleno (manual o compactado, buena o mala compactación) y la población. En los casos de los Municipios E y F, se muestra que se puede reducir considerablemente el área de relleno, y por consecuencia la cantidad de las aguas lixiviadas, si se construye una planta de compostaje. Eso se recomienda especialmente para pequeñas ciudades donde es más fácil capacitar a los ciudadanos para clasificar los desechos biodegradables y donde existe un buen mercado para abono natural.

Cuadro 17: Diseño de una laguna aerobia para tratamiento biológico de las aguas lixiviadas

Parámetro	Municipio A	Municipio B	Municipio C	Municipio D	Municipio E	Municipio F
Población	2300	15000	67000	200000	800	150000
Producción de basura (kg/(persona*día))	0,4	0,4	0,5	0,55	0,4	0,5
Producción de basura (ton/año)	335,8	2190	12227,5	40150	116,8	27375
Tipo de relleno	Manual	Manual	Compactado	Compactado	Manual	Compactado
Compostaje	No	No	No	No	Si	Si
Porcentaje de la basura compostada (%)	0	0	0	0	40	40
Cantidad de la basura compostada (ton/año)	0	0	0	0	46,72	10950
Cantidad de la basura rellena (ton/año)	335,8	2190	12227,5	40150	70,08	16425
Vida útil del relleno (años)	15	15	18	12	18	16
Densidad de la basura rellena (ton/m ³)	0,45	0,5	0,7	0,7	0,4	0,7
Volúmen relleno por año (m ³)	746,22	4380,00	17467,86	57357,14	175,20	23464,29
Volumen necesario del relleno (m ³)	14551,33	85410,00	408747,86	894771,43	4099,68	488057,14
Area del relleno (ha)	0,97	5,69	4,09	8,95	0,27	4,88
Precipitación anual (mm)	2500	1000	700	1500	2500	1800
Porcentaje de las aguas de lluvia que se escurren (%)	60	60	40	25	60	40
Producción de agua lixiviada (m ³ /(ha*día))	41,10	16,44	7,67	10,27	41,10	19,73
Producción de agua lixiviada (m ³ /día)	39,87	93,60	31,36	91,93	11,23	96,27
Temperatura promedio (°C)	25	14	19	21	22	17
Tiempo de retención de las aguas lixiviadas en la laguna (días)	30	50	45	30	30	45
Profundidad de la laguna (m)	0,10	0,05	0,07	0,09	0,10	0,07
Area necesaria para la laguna de tratamiento (m ²)	11960,00	93600,00	20157,43	30642,86	3369,60	61890,61
Area necesaria para la laguna de tratamiento (ha)	1,20	9,36	2,02	3,06	0,34	6,19

Se puede mejorar el tratamiento en la laguna con tres medidas importantes:

- Se siembran plantas acuáticas dentro de la laguna. Estas plantas utilizan una parte de las aguas lixiviadas para su nutrición y reducen considerablemente su cantidad. Son apropiadas totora, carrizo o aliso adentro de la laguna; además, se recomienda sembrar eucalipto, guadúa o zapallo alrededor de la laguna. Estas plantas absorben las aguas que difunden afuera de la laguna y evitan la contaminación del suelo y de las acuíferas. Además, se puede utilizar el eucalipto o la guadúa para construcciones necesarias sobre el relleno (p.e., palos para chimeneas).

- b) No se construye una sola laguna inmensa pero sí una secuencia de lagunas. Esto permite una mejor aireación de las aguas lixiviadas por causa del proceso secuencial. Las lagunas deben tener niveles diferentes para permitir un corriente por pendiente natural. Además se retienen las partículas sólidas en las primeras lagunas y es más clara el agua en las lagunas siguientes. Este tipo de lagunas sucesivas se recomienda especialmente en la Sierra donde los terrenos generalmente son muy inclinados.
- c) Se construye una piscina de sedimentación antes de la laguna. La mayoría de las partículas sólidas (materia suspendida) se retienen en esta piscina que debería ser vaciada cada mes o cada dos meses. Un tiempo de retención de 1 h es suficiente para esta piscina (se puede construir con una profundidad de 1—2 m). Con un pre-tratamiento físico, se puede también reducir el tiempo de retención necesario para remover los contaminantes.

Las lagunas de tratamiento tienen un costo de inversión y de mantenimiento muy bajo y, si se construyen de manera apropiada, una alta eficiencia. Es verdad que no se recomienda la laguna de tratamiento en climas muy fríos. La nitrificación de las aguas lixiviadas se paraliza en temperaturas más bajas que 5 °C, y el poder de reducción de la DBO₅ se disminuye considerablemente /21/. Eso no constituye un problema en las regiones de la costa, de la Amazonía y en la mayoría de las ciudades de la Sierra pero puede impedir la implementación de las lagunas durante algunos meses del año en el Páramo.

Las lagunas aerobias con plantas acuáticas se pueden considerar como humedales artificiales. Se pueden conseguir más detalles sobre el dimensionamiento y la construcción de éstas en la publicación “Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales” de Jaime Andrés Lara Borrero, en el sitio www.cepis.ops-oms.org (portal de tratamiento de las aguas).

3.2.3.3. Precipitación Química

Se puede bajar considerablemente la concentración de metales pesados, del amoníaco y de compuestos orgánicos incluyendo los AOX con el método de precipitación química. Los compuestos orgánicos con un peso molecular arriba de 1000 g/mol se pueden eliminar con precipitación química. En las aguas lixiviadas, la mayoría de los productos de biodegradación entra en esta categoría.

Para una descontaminación eficiente mediante precipitación química, la tasa DBO₅/DQO debe ser menos de 0.1, lo que se puede lograr solamente con un tratamiento biológico antes de la precipitación química /21/.

Se utilizan generalmente sales de hierro o aluminio para la precipitación química. Los mejores resultados se logran con el uso de FeClSO₄ o FeCl₃. Se recomienda cumplir con las siguientes reglas para obtener una buena eficiencia:

- La cantidad mínima de químicos depende de la concentración de contaminates y del tiempo de retención. Si se utilizan sales de Fe³⁺, la dosis mínima varía entre 0.25 - 0.5 kg/m³.
- Si se utilizan sales de hierro, el pH necesario para la precipitación cambia entre 4.5 - 4.8; si se utilizan sales de aluminio, se necesita un pH entre 5.0 - 5.5. El ajuste del pH se puede hacer añadiendo químicos (2.5 - 2.7 g Fe³⁺ por 1 g CaCO₃) o combinando la aplicación de químicos y ácidos. Con este último método, se puede reducir considerablemente la cantidad de lodo de la precipitación.
- Se puede eliminar el amoníaco en una segunda fase utilizando óxidos de magnesio y ácidos de fósforo. Este método se recomienda solamente si se vierte el agua tratada en un medio

recibidor que es muy sensitivo a la eutroficación. La dosis necesaria de los químicos para la eliminación del amoníaco sería:

4.4 - 5.2 kg de MgO : 8.9 - 10.0 kg de H₃PO₄ : 1 kgNH₄-N

El tratamiento se realizaría con un pH óptimo de 9.0.

Generalmente se puede decir que la precipitación química no se recomienda por causa de sus altos costos de operación (compra de químicos, electricidad para la agitación permanente de las aguas) e inversión. Se puede considerar como una tecnología adicional al tratamiento biológico con piscinas aireadas en regiones donde se cuenta con un medio recibidor muy sensitivo y donde no está disponible el área necesaria para el tratamiento biológico en lagunas.

Antes de decidirse por un tratamiento con piscinas aireadas + precipitación química, se debe hacer un estudio financiero muy meticoloso, con el fin de asegurar que el municipio en cuestión podrá asumir los costos de operación y mantenimiento a largo plazo.

3.3. Emisiones Atmosféricas del Relleno Sanitario

3.3.1. Fuente de las Emisiones Olfatorias

Las emisiones olfatorias en el relleno tienen los siguientes orígenes:

- Emisiones gaseosas de la basura cruda que se descarga y coloca en el relleno.
- Olores generados por contacto de las aguas lixiviadas con el aire.
- Olores de los gases del relleno
- Olores generados durante tratamiento previo de los desechos en el mismo lugar del relleno (compostaje, reciclaje)

Las emisiones olfatorias se producen especialmente si los desechos o las aguas lixiviadas son removidos, mezclados y tienen por consecuencia más contacto con la atmósfera. El Cuadro 18 resume los compuestos más importantes de los gases del relleno y su concentración /23/. Los compuestos que producen los olores típicos del relleno son resaltados con negrillas.

Cuadro 18: Componentes de los gases del relleno

Compuesto	Concentración mínima para poder sentir el olor (mg/m ³)	Concentración del gas en el relleno sanitario (mg/m ³)
Metanton (metilmercaptan)	40 000	5 - 2000
Dimetilsulfit	0.01	0.02 - 0.4
H₂S metilester	0.05	0.02 - 0.8
Etilester de ácido de propión	0.1	0.01 - 0.06
H₂S etilester	0.003	0.03 - 5.0
Xilol y compuestos	0.4	0.09 - 0.1
Etilbenzol	0.2	0.06 - 0.1
Propilbenzol	0.04	1.7 - 3.0
Butilbenzol	0.1	0.3 - 1.4

3.3.1.1. Perceptibilidad y Medición de Emisiones Olfatorias

La medición cuantitativa de las emisiones olfatorias es posible únicamente cuando se sabe de qué compuestos se compone. Como los gases producidos por procesos de biodegradación se componen de elementos muy variables, se prefiere medir el impacto sobre el olfato humano.

Se ha definido la concentración percibida por 50 % de las personas expuestas a un cierto gas como "límite de percepción". Esta concentración se definió como "1 unidad olfatoria" y se mide en (UO/m³). La concentración con la cual el 50 % de las personas saben identificar de qué gas, se trata se llama "límite de identificación". Las experiencias muestran que los olores comienzan a ser molestos desde una concentración de 10 - 30 UO/m³ /23/.

El Cuadro 19 muestra los niveles típicos de las emisiones olfatorias en un relleno sanitario.

Cuadro 19: Niveles de concentración de emisiones olfatorias en el relleno sanitario

Fuente del olor	Unidad	Flujo específico de las emisiones olfatorias
Descarga de la basura	UO/(s*tonelada de basura)	0.7 - 4.0
Relleno cubierto con tierra	UO/(s*ha)	90 - 500
Relleno sin cubierta	UO/(s*ha)	800 - 1 500
Gas del relleno	UO/m ³	< 1*10 ⁶

3.3.1.2. Modelos de Dispersión de las Emisiones Olfatorias

La molestia causada por las emisiones olfatorias de un relleno sanitario depende de las concentraciones de gases olfatorios a las cuales está expuesto un sitio (imisión).

Las imisiones se pueden determinar con la ayuda de un modelo de dispersión de las emisiones olfatorias. La dispersión de las emisiones olfatorias se calcula con la siguiente fórmula:

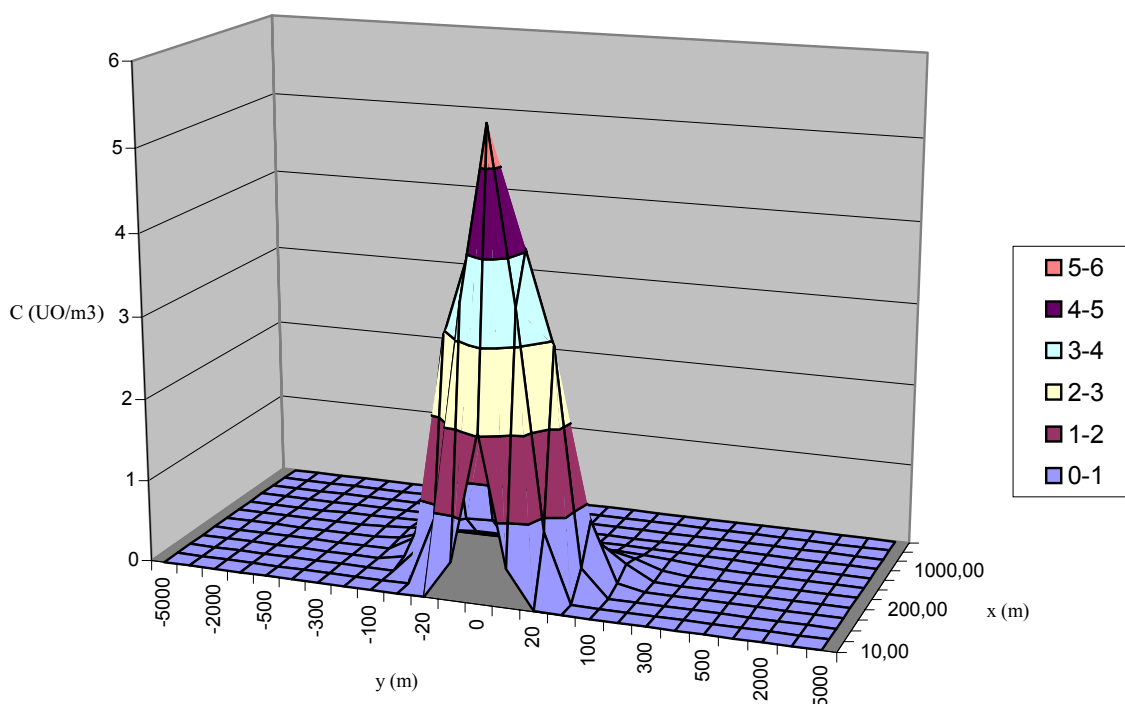
$$C(x,y,z) = \frac{10^6}{3600 * 2 * p} * \frac{Q}{u_h * \sigma_y * \sigma_z} * \exp(-y^2/2 \sigma_y^2) * (\exp(-(z-h)^2/2 \sigma_z^2) + \exp(-(z+h)^2/2 \sigma_z^2))$$

Se pueden utilizar los valores del Cuadro 19 para el modelo. El Dibujo 21 muestra un ejemplo de un modelo de dispersión de las emisiones olfatorias /22/. La aplicación del modelo se explica en el Apéndice 4.

Este modelo es un modelo sencillo con muchas simplificaciones que se puede aplicar si el terreno en cuestión no es muy complejo y si resultados aproximados son suficientes. En el caso que se requieren modelos más detallados, se pueden bajar gratuitamente en el Internet:

1. www.grs.de/austal ; es un modelo alemán muy avanzado considerando un máximo de parámetros
2. www.epa.gov/scram001/tt22.htm#rec. Aquí se encuentran dos modelos de dispersión de emisiones, uno para terreno simple, otro para terreno complejo, cada uno con un guía de usuario).

Dibujo 21: Ejemplo de un modelo de dispersión de las emisiones olfatorias



Se recomienda la preparación de un modelo de dispersión de las emisiones olfatorias durante el proceso de selección del sitio para un relleno sanitario. Generalmente el modelo se prepara para las 2 direcciones prioritarias del viento, utilizando una base de datos meteorológicas para la región (en el caso ideal: del sitio). El sitio con la menor imisión en las poblaciones más cercanas sería preferible.

Cuando los sitios de relleno en cuestión son alejados de poblaciones (1 km y más), son pequeños y tienen una buena barrera natural (talud o bosque), la molestia causada por imisiones olfatorias es generalmente muy baja. En estos casos no es indispensable la preparación de un modelo de dispersión de las emisiones olfatorias.

3.3.1.3. Medidas Contra la Dispersión de Malos Olores

Las medidas más importantes, tanto técnicas como organizativas para bajar las emisiones olfatorias son las siguientes:

- Manejo técnico del relleno

La medida más importante para evitar molestias causadas por la dispersión de emisiones olfatorias es la cubierta diaria de los desechos. La cubierta con tierra impide considerablemente el contacto de los gases productos de la biodegradación con el aire. Se vé en el Cuadro 19 que las concentraciones de los malos olores son hasta 3 veces más elevadas en un botadero abierto. Se debe cubrir la basura, tanto en los más pequeños rellenos manuales como en los grandes rellenos operados con compactadoras.

Otra medida importante es el drenaje y la incineración de los gases de relleno. El capítulo 3.3.3.2.3. da informaciones detalladas sobre las tecnologías que se pueden utilizar para eso. Si se comienza a incinerar el gas de relleno 6 meses después del comienzo de la operación del relleno, se bajan considerablemente las emisiones olfatorias. El sistema de drenaje de los gases debe incluir las celdas actualmente en operación y las celdas terminadas.

No se recomiendan sistemas donde se dispersen las aguas lixiviadas sobre el cuerpo de basura (ver capítulo 3.2.3.2.1.1.), ya que esta tecnología aumenta considerablemente las emisiones olfatorias y crea un ambiente poco saludable para los obreros del relleno.

- Planificación del paisaje

Un cerco vivo alrededor del relleno y el ajardinamiento de las celdas terminadas con plantas apropiadas, disminuye también el problema de los malos olores. Se debe considerar que siempre sigue difundiendo afuera una cierta cantidad de gases del relleno, incluso si existe un sistema de drenaje e incineración. Esos gases se pueden absorber parcialmente por plantas, lo que mejora la atmósfera de trabajo para los obreros del relleno.

- Organización del Sistema de Manejo de los Desechos Sólidos

Es muy importante y poco costoso reducir la cantidad de los desechos orgánicos que van al relleno sanitario. Eso se puede realizar con la clasificación domiciliaria y el compostaje de los desechos biodegradables. Como las emisiones se producen exclusivamente por biodegradación de la materia orgánica, se baja considerablemente la cantidad de gases de relleno y de emisiones inmediatas (como durante la descarga de los desechos) cuando estos desechos ya se separan en la fuente.

3.3.2. Los Gases de Relleno

Como una parte importante de los desechos sólidos que se disponen en el relleno sanitario es orgánica, se producen emisiones gaseosas debidas a la descomposición de la materia orgánica. Estas emisiones son compuestas de varios gases orgánicos y se llaman "gas de relleno". La cantidad de gases producidos en un relleno sanitario se puede calcular con la siguiente fórmula /7/, /25/:

$$G_{\max} = 1.868 * C_{\text{org}} * (0.014 T + 0.28) * (1 - 10^{-kt})$$

C_{org} : Contenido de carbón orgánico en la basura (eso es entre 17 - 22 % en la basura no separada y entre 2 - 10 % en la basura no biodegradable clasificada)

T: Temperatura (°C); la temperatura dentro del cuerpo de basura se puede estimar con un promedio de 30°C, debido a los procesos exotérmicos de biodegradación.

k: Constante de biodegradación (entre 0.025 - 0.05; en general se encuentra entre 0.035 - 0.04).

Esta fórmula describe la producción máxima teórica de gas de relleno; es decir que no se consideran las pérdidas de carbón orgánico debido a la biodegradación aeróbica y la producción de aguas lixiviadas. Además, existe siempre un cierto porcentaje de carbón orgánico que no se convierte en gas de relleno. Estas pérdidas se calculan según los siguientes factores /26/:

$$G = G_{\max} * f_{a0} * f_a * f_o$$

- f_{a0} : Factor de pérdidas iniciales (Porcentaje de carbón orgánico que no se pierde durante la primera fase de fermentación aeróbica)
- f_a : Porcentaje de carbón orgánico que se transforma en gas de relleno (CO_2 o CH_4)
- f_o : Factor de optimización; considera la tecnología del manejo del relleno (especialmente compactación y cobertura diaria)

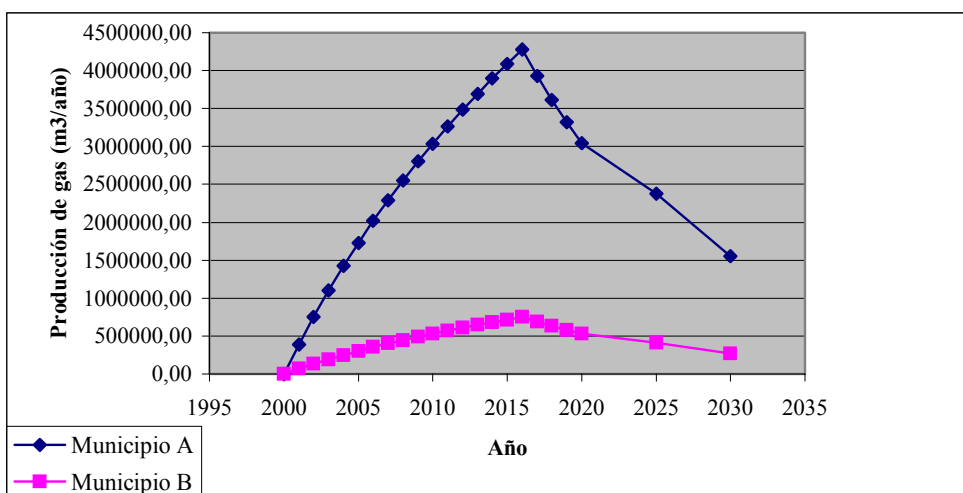
El Cuadro 20 muestra los valores que pueden tener estos factores bajo diferentes condiciones:

Cuadro 20: Valores de los factores de pérdida de gas de relleno /26/

Factor	Valor mínimo	Condición	Valor máximo	Condición
f_{a0}	0,80	- Construcción del relleno en capas delgadas - Exposición de los desechos al aire - Crecimiento lento del cuerpo de relleno	0,95	- Construcción del relleno en capas espesas - Cubierta inmediata de la basura - Elevación rápida del cuerpo de relleno
f_a	0,70	Valor promedio	0,70	Valor promedio
f_o	0,65	- Mala compactación - Falta de cubierta diaria - Alta precipitación	0,80	- Construcción del relleno en capas delgadas - Cobertura inmediata de la basura - Buena compactación - Baja precipitación - Recirculación de las aguas lixiviadas o uso de celdas llenas como filtro anaeróbico

Cuando se utiliza esta fórmula hay que tomar en consideración que resulta en una curva de suma, como se añade cada año el gas producido por la basura nuevamente cargada mientras que la basura anteriormente colocada sigue produciendo gas de relleno. El Dibujo 22 y el Cuadro 21 muestran dos ejemplos para el cálculo de la producción del gas de relleno.

Dibujo 22: Producción de gas en un relleno sanitario

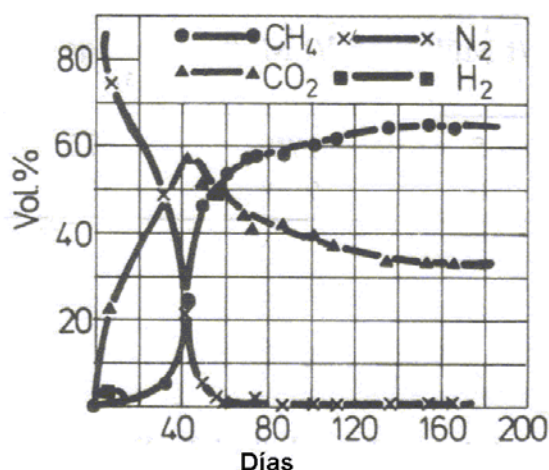


Cuadro 21: Producción del gas de relleno

	Municipio A			Municipio B		
Sistema de manejo de los desechos sólidos	Recolección de basura mezclada; toda la basura se va al relleno sanitario			Clasificación domiciliar de los desechos biodegradables; reciclaje de los materiales valorables; solamente la basura no valorable (50 %) se va al relleno		
C _{org} (%)	20			7		
Año	Producción de basura (t/año)	Basura en el relleno (t)	Producción de gas (m ³ /a)	Producción de basura (t/año)	Basura en el relleno (t)	Producción de gas (m ³ /a)
2000	18250	18250	0	18250	9125	0
2001	18615	36865	389777,28	18615	18433	68211,02
2002	18987	55852	755518,01	18987	27926	132215,65
2003	19367	75219	1099334,70	19367	37610	192383,57
2004	19754	94974	1423188,68	19754	47487	249058,02
2005	20149	115123	1728859,76	20149	57562	302550,46
2006	20552	135676	2018003,75	20552	67838	353150,66
2007	20964	156639	2292141,24	20964	78320	401124,72
2008	21383	178022	2552689,98	21383	89011	446720,75
2009	21810	199832	2800909,25	21810	99916	490159,12
2010	22247	222079	3037976,82	22247	111040	531645,94
2011	22692	244771	3265016,99	22692	122385	571377,97
2012	23145	267916	3483019,53	23145	133958	609528,42
2013	23608	291524	3692893,40	23608	145762	646256,34
2014	24080	315605	3895516,00	24080	157802	681715,30
2015	24562	340167	4091671,76	24562	170083	716042,56
2016	cierre del	340167	4282102,38	cierre del	170083	749367,92
2017	relleno	340167	3932394,20	relleno	170083	688168,99
2018	0	340167	3611245,78	0	170083	631968,01
2019	0	340167	3316324,71	0	170083	580356,82
2020	0	340167	3045489,08	0	170083	532960,59
2025	0	340167	2375769,72	0	170083	415759,70
2030	0	340167	1551687,79	0	170083	271545,36

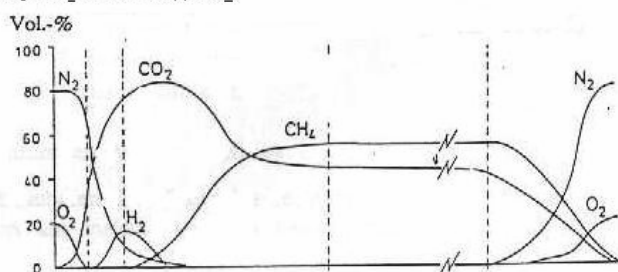
El gas de relleno tiene una composición variable. Especialmente la segunda fase de descomposición (fermentación ácida) produce una alta variedad de gases diferentes. En la última fase, el gas de relleno se compone de aproximadamente 55 % de metano y 45 % de dióxido de carbón. Los otros gases se encuentran como elementos trazas. El Dibujo 23 a y b muestra la variación en la composición del gas de relleno durante el tiempo.

Dibujo 23a: Variación de la composición del gas de relleno en los primeros 4 meses /25/



Dibujo 23b: Variación de la composición del gas de relleno durante las 4 fases de fermentación /26/

Composición del gas



Durante la fermentación metánica se estabiliza la composición del gas de relleno. El gas de relleno tiene la siguiente composición durante esta fase:

Cuadro 22: Composición típica del gas de relleno durante la fermentación metánica /7/

Componente	Concentración típica	Comentarios
<i>Componentes con concentración elevada</i>		
Metano (CH ₄)	40 - 65 % (Volumen %)	Se encuentra generalmente entre 50 - 60 %
Dioxido de carbón (CO ₂)	20 - 55 % (Volumen %)	Se encuentra generalmente entre 35 - 45 %
Aire	0 - 40 % (Volumen %)	
Vapor de agua	Depende de la temperatura	Se trata en general de vapor saturado
<i>Gases con baja concentración</i>		
Hidrocarburos	0 - 100 mg/m ³	La concentración de los hidrocarburos baja con el tiempo
Hidrocarburos halogenados	20 - 1000 mg/m ³	
H ₂ S	0 - 800 mg/m ³	
NH ₃	0 - 50 mg/m ³	
Cl _{total}	5 - 600 mg/m ³	generalmente < 100 mg/m ³
F _{total}	1 - 100 mg/m ³	generalmente < 50 mg/m ³

El gas de relleno es explosivo e inflamable. Si no se evacua de manera adecuada, se dispersa sin control dentro del relleno e invade también terrenos adyacentes. Puede causar incendios o explosiones. Ya se observaron casos en los cuales el gas de relleno se infiltró dentro del sótano de edificios o dentro del alcantarillado y causó explosiones allá.

Si el CH₄ (metano) es explosivo en concentraciones entre 5 - 15 %; en concentraciones más elevadas de 15 %, es inflamable.

Otros impactos nefastos del gas de relleno consisten en la dispersión en el suelo, donde el metano puede dañar a las raíces de las plantas, impidiendo el suministro de la planta con oxígeno y aire. El metano también tiene un impacto venenoso en los seres humanos expuestos durante largo tiempo (por ejemplo, los obreros del relleno, recicladores trabajando en el relleno). Además, el metano tiene alto impacto como gas de invernadero y daña a la atmósfera y al clima.

3.3.3. Drenaje, Incineración y Uso del Gas de Relleno

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 evacuarlos solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos.

El Cuadro 23 muestra el porcentaje de gas de relleno captado con el drenaje, dependiendo de la tecnología de relleno. El resto del gas se difunde por la superficie del relleno o por el suelo adyacente.

Cuadro 23: Porcentaje de gas de relleno captado /26/

Porcentaje de gas de relleno que se puede captar (%)	Tipo de relleno
0	Relleno sin ningún sistema de drenaje de gas
10 - 20	Relleno con drenaje puntual pasivo (chimeneas u orificios), mal compactado y sin cobertura suficiente
25 - 50	Relleno con drenaje activo (soplador), mal compactado y sin cobertura suficiente
30 - 60	Relleno con drenaje pasivo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente
40 - 70	Relleno con drenaje activo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente
70 - 100	Relleno cerrado con taludes y capa final impermeable y bien compactada, drenaje pasivo o activo

3.3.3.1. Drenaje Pasivo

3.3.3.1.1. Drenaje Pasivo Sin Chimeneas

En un relleno compactado, el gas de relleno se mueve con preferencia horizontalmente en las capas de basura. Se difunde por la capa superficial del cuerpo de basura o por los taludes laterales, se mezclan con el aire y se diluyen. La cubierta con tierra tiene un impacto como filtro biológico, es decir que ya existe un cierto tratamiento de los gases de relleno antes de que se mezclen con la atmósfera.

Es verdad que en la práctica el drenaje pasivo sin chimeneas provoca algunos problemas, los más importantes son los siguientes /25/:

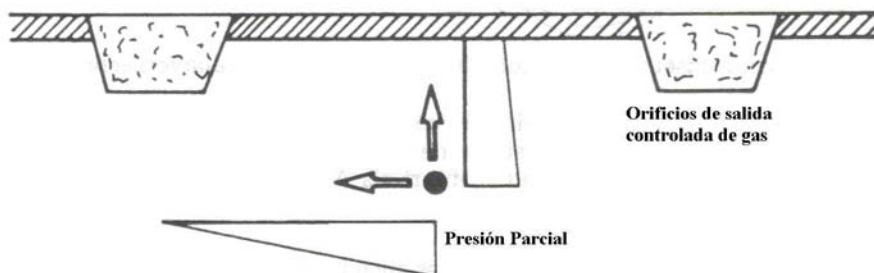
- En las celdas ya terminadas, cubiertas y planteadas, se puede impedir el suministro de aire de las raíces por causa de la concentración alta de metano en la capa de tierra.
- Cuando existen fisuras en los taludes o la superficie del relleno, los gases se difunden por las fisuras sin pasar por el filtro biológico que constituye la capa de tierra.
- Si se descarga lodo o basura muy húmeda en el relleno, o si el relleno está expuesto a demasiada lluvia, se pierde el impacto de filtro biológico.
- Si se produce una cantidad muy alta de gas de relleno o si el gas se difunde solamente en algunos puntos definidos y no por la superficie entera, hay demasiada carga al filtro biológico y el filtro pierde su eficiencia.
- En el Páramo o en la estación fría en la Sierra no accede suficiente oxígeno a los microorganismos en la capa de tierra y el filtro biológico no funciona adecuadamente.

El drenaje pasivo se puede aplicar en rellenos cerrados o en rellenos operados. En un relleno todavía en operación, la capa actual de superficie sirve como filtro biológico. Para eso es muy importante que se cubra diariamente la basura con una capa suficiente de tierra. Si se implementa en una celda que ya terminó su vida útil, se pueden recomendar 2 tipos de procedimiento:

1. Orificios sirviendo como filtros biológicos

La celda se cierra y se cubre con tierra bien compactada. Se dejan orificios en esta cubierta de tierra y se llenan con compost. No se compacta el compost en estos orificios! Debe ser suelto para tener la eficiencia óptima como filtro biológico. El Dibujo 24 muestra la aplicación del drenaje pasivo en un relleno cerrado:

Dibujo 24: Modelo del drenaje pasivo /25/

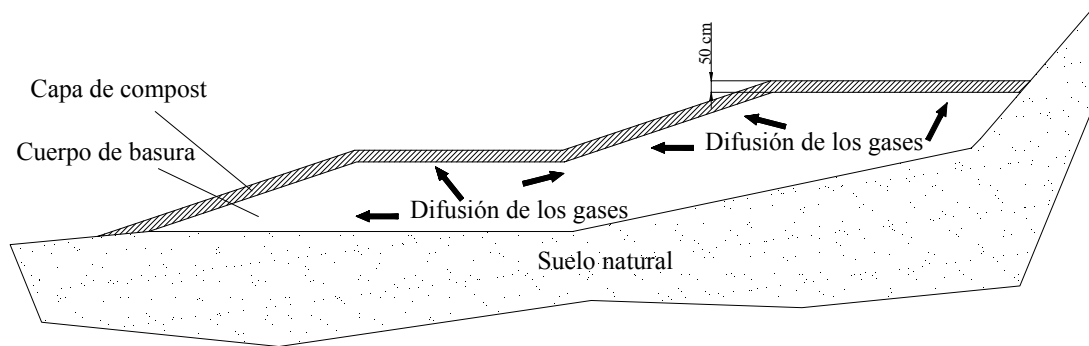


2. Celdas cubiertas con compost

Si el municipio en cuestión dispone de una planta de compostaje, y las celdas del relleno son relativamente pequeñas, se puede también recomendar la alternativa de no compactar la capa superficial del cuerpo de basura. En este caso, se coloca una capa de compost con el espesor de 50 cm sobre la celda cerrada. Esta capa serviría como filtro biológico. Como la superficie de este filtro es muy extendida, la carga de contaminantes por área es sumamente baja, lo que asegura una eficiencia óptima. Esta alternativa se recomienda especialmente para rellenos sanitarios manuales con una adyacente planta de compostaje.

El Dibujo 25 muestra un relleno sanitario manual cubierto con una capa de compost que sirve como filtro biológico para los gases de relleno.

Dibujo 25: Capa de compost sirviendo como filtro biológico



Generalmente no se recomienda el drenaje pasivo sin chimeneas. Solamente se puede preferir este método en los siguientes casos:

- Municipalidad pequeña que no tiene los recursos personales para construir chimeneas durante la operación del relleno sanitario
- Evacuación de gases de relleno en un botadero cerrado que no tiene ningún dispositivo para el drenaje
- Relleno pequeño manual con mala compactación. Aquí hay un mayor porcentaje de gas que se difunde por la superficie del cuerpo de basura, ya que la difusión vertical no se impide por la compactación.

3.3.3.1.2. Drenaje Pasivo Con Chimeneas

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas hay que construir las chimeneas de drenaje durante la operación del relleno sanitario. Aquí se aprovecha de la difusión horizontal del gas de relleno. El gas se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y por consecuencia queda muy baja la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero por la superficie del cuerpo de basura sí.

Las chimeneas de drenaje se pueden construir de dos maneras:

1. Jaula de malla con 4 puntales de madera, llenada con piedra bola o grava
2. Tubo perforado llenado con piedra bola o grava.

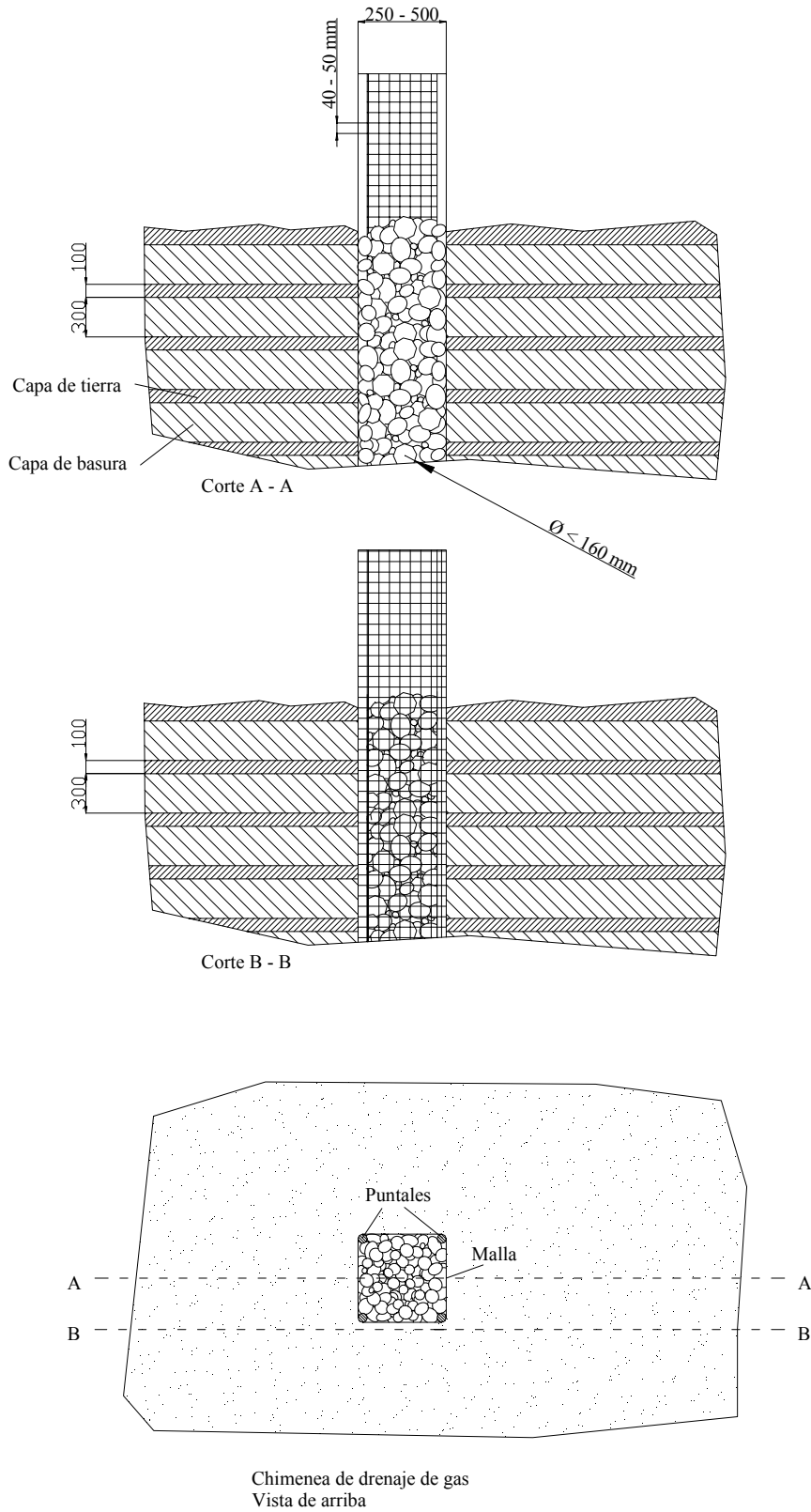
El Cuadro 24 muestra las características necesarias para los dos tipos de chimenea.

Cuadro 24: Requerimientos para la construcción de chimeneas

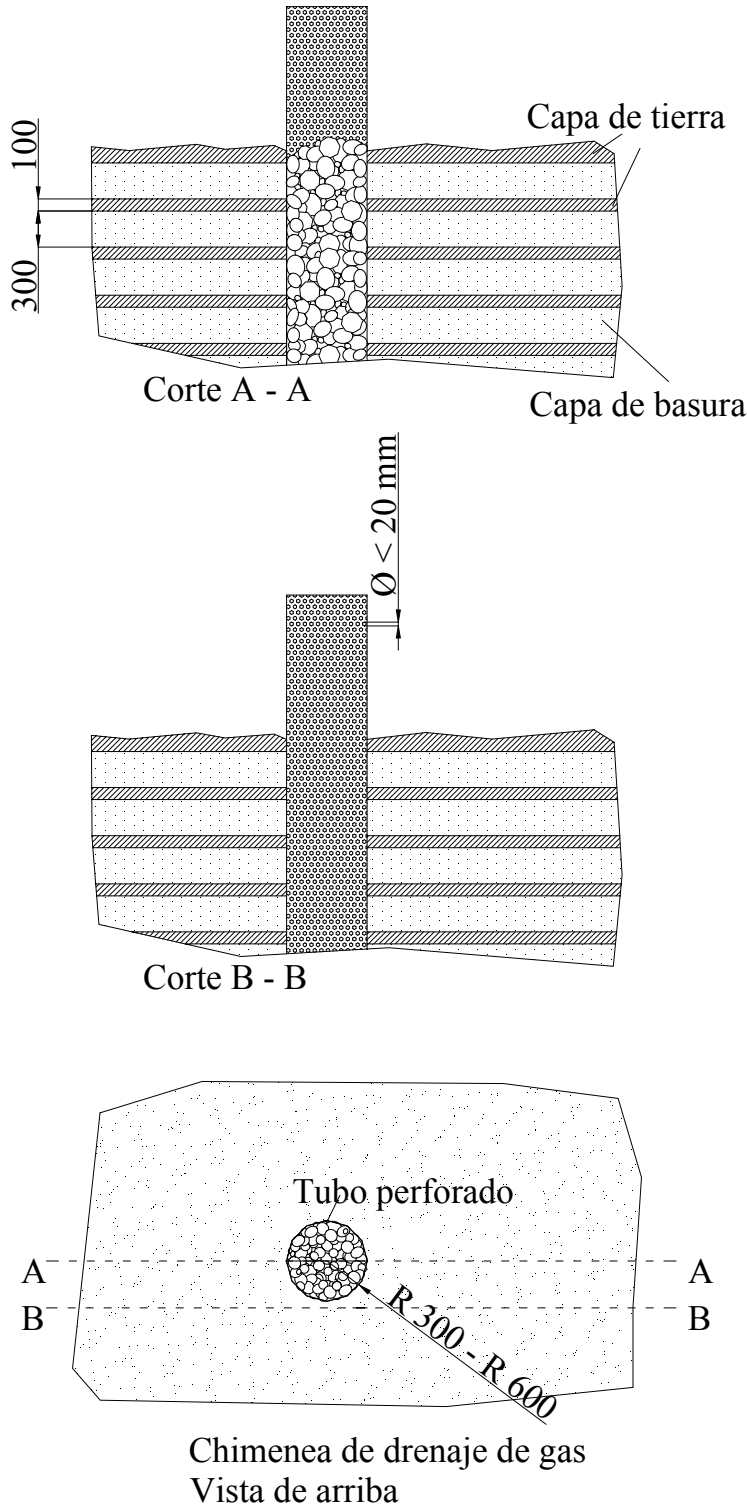
Parámetro	Chimenea construida de malla con puntales de madera	Chimenea con tubo perforado
Ancho de la chimenea	0.5 - 1 m	Ø 0.6 - 1.2 m
Material de construcción	Puntales: Madera (preferiblemente eucalipto o guadúa que se cultiva alrededor del relleno y que tiene la función de retener una parte de las aguas lixiviadas) Malla: Malla de acero; distancia entre los alambres < 2 cm	Plástico perforado La superficie total de los orificios debe ser 10 % de la superficie del tubo. Diámetro de los orificios: < 2 cm Material: Preferiblemente PEHD (puede ser fabricado de PEHD reciclado)
Material para llenar la chimenea	Piedra bola o grava. Es importante que no contenga cal, porque se descompone fácilmente la piedra con alto contenido de cal en la atmósfera agresiva de los gases de relleno	
Dimensiones de las piedras	Se utiliza preferiblemente piedra con un diámetro < 16 cm, lo que impide una rápida congestión por causa de material espeso o sólido ingresando a la chimenea. También es importante que sean pequeñas las piedras porque las piedras grandes se rompen bajo la influencia del calor extremo de la incineración de los gases de relleno.	
Distancia entre las chimeneas	25 - 30 m en rellenos manuales que tienen celdas con una altura de menos de 8 m 20 - 25 m en rellenos compactados donde el cuerpo de basura tiene una altura < 15 m 15 - 20 m en rellenos compactados donde el cuerpo de basura tiene una altura > 15 m	

El Dibujo 26 muestra los dos tipos de chimenea /4/, /27/, /28/:

Dibujo 26a: Chimenea con malla y puntales para drenaje pasivo



Dibujo 26b: Chimenea con tubo perforado para drenaje pasivo

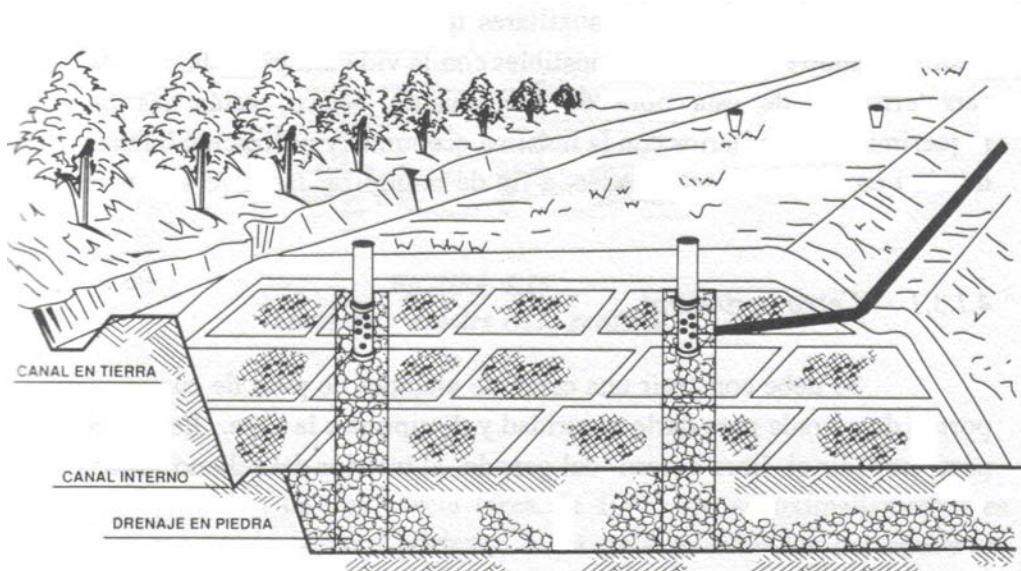


Si se construye un relleno con un sistema de drenaje de las aguas lixiviadas como se presenta en el Dibujo 10, es decir, canales colocados en forma de espina de pescado, se recomienda ubicar las

chimeneas sobre los canales. Con eso, las aguas se infiltran por las chimeneas y se escurren en dirección de los canales. Paralelamente, las aguas lixiviadas sirven como lavadora para los gases de relleno, y una cierta cantidad de contaminantes del gas ya se absorbe en el agua.

El Dibujo 27 muestra un esquema de colocación de las chimeneas de gas sobre los canales de drenaje /6/.

Dibujo 27: Colocación de chimeneas



3.3.3.1.3. Incineración del Gas de Relleno en la Chimenea

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas, es muy importante que se quemé el gas de relleno 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. Los impactos más importantes serían:

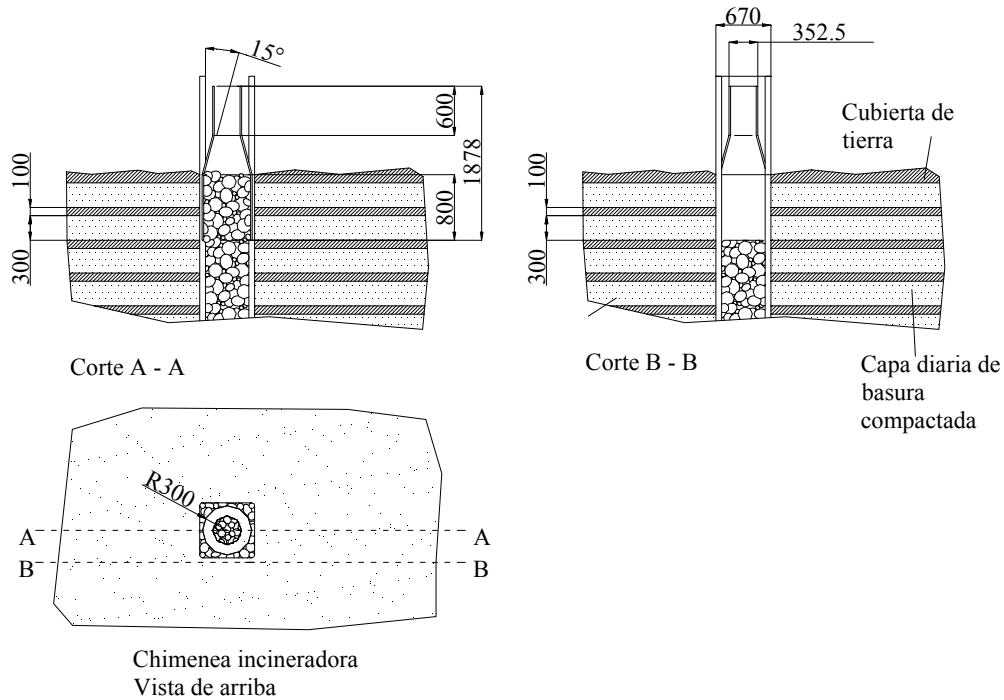
- Dolores de cabeza y náusea (exposición corta, impacto a corto plazo)
- Asfixia (casos extremos)
- Daños al cerebro y al sistema nervioso (exposición durante largo tiempo)

Además, el gas de relleno puro que sale de las chimeneas causa graves daños al medio ambiente.

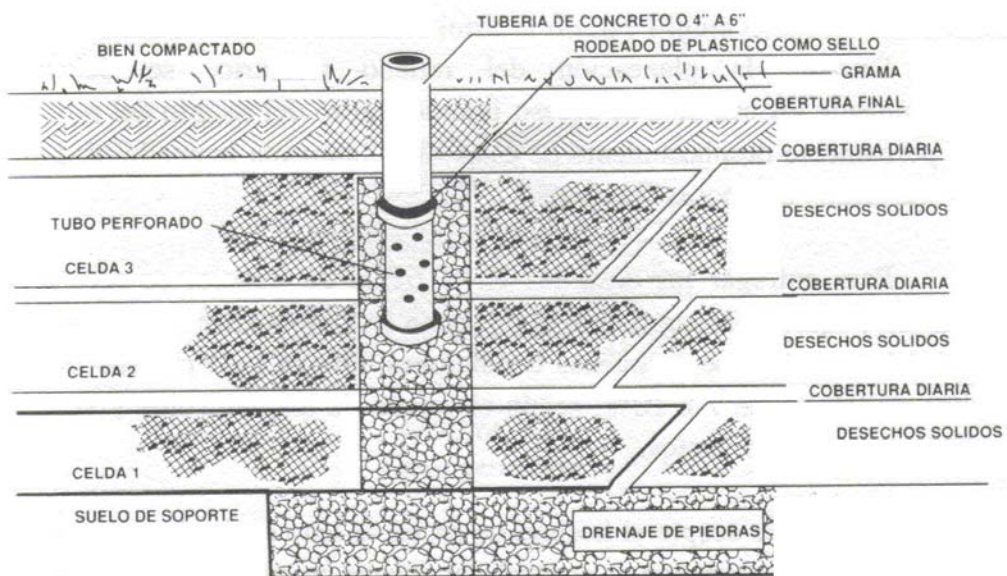
Se puede quemar el gas de relleno dentro de la chimenea, protegiendo los puntales y la malla con un tubo de hormigón o un capuchón metálico. Este capuchón se puede fabricar de barriles o latas abandonadas. La chimenea donde se incinera el gas no debe ser más elevada que la celda para evitar que se mezcle el aire ambiental con el gas combustible. Con la incineración controlada del gas puro de relleno se evita también el peligro de explosión que siempre existe cuando se mezcla el metano con la atmósfera.

Es más fácil incinerar los gases en una chimenea que se encuentra en una celda ya cerrada, pues se queda igual el nivel de la celda, pero es también posible incinerar los gases en una celda en operación. Aquí hay que apagar el fuego en la chimenea y elevarla paralelamente con el crecimiento de la celda. Este trabajo se debería hacer cada 2 semanas o cada mes, dependiendo del tamaño del relleno. El Dibujo 28 muestra un corte de una chimenea con capuchón de incineración.

Dibujo 28a : Capuchón metálico para la incineración del gas de relleno en una celda en operación /29/



Dibujo 28b: Capuchón de hormigón para la incineración del gas de relleno en una celda terminada /4/



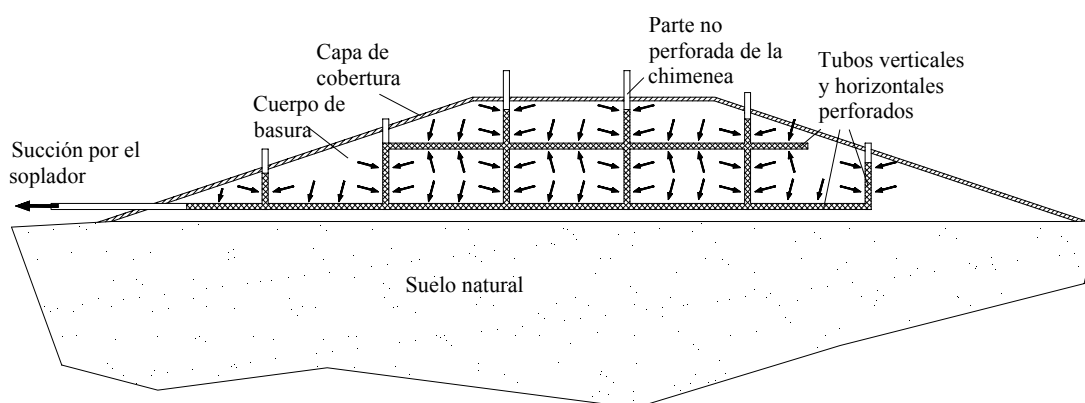
Para evitar los daños a los seres humanos y al medio ambiente, se recomienda quemar el gas de relleno durante la operación del relleno y 15 - 20 años después de su cierre.

3.3.3.2. Drenaje Activo

3.3.3.2.1. Principios y Unidades de Sistemas para el Drenaje Activo

En los sistemas de drenaje activo, se succiona el gas con un soplador que se conecta con las chimeneas. Se conducen los gases hacia el incinerador por un sistema de tubería bajo el cuerpo de basura, como se muestra en el Dibujo 29.

Dibujo 29: Sistema de drenaje activo /25/



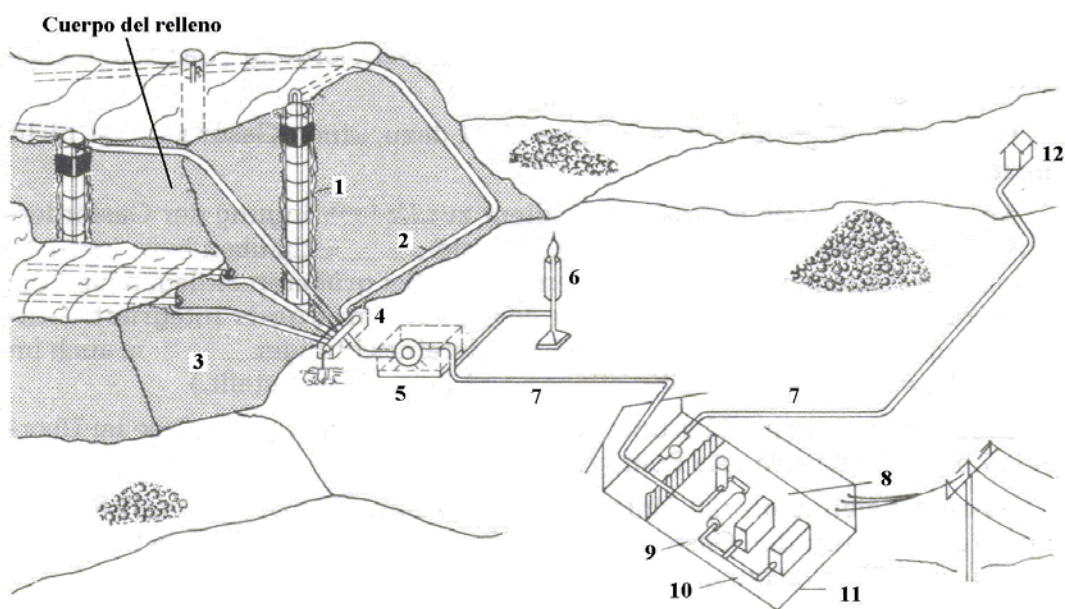
El sistema de drenaje activo consiste de los siguientes elementos /25/:

- Colectores de gas: Estos son las chimeneas verticales y la tubería horizontal que se colocan en el cuerpo de basura.
- Punto de recolección: El gas aspirado en diferentes chimeneas se conduce a ellas y se junta. El punto de recolección puede ser un tanque o un tubo. Se recomienda ubicar el punto de recolección en un nivel abajo de la tubería y de las chimeneas, con el fin de poder condensar en este lugar las aguas contenidas en el gas de relleno. Se debe colocar equipo de medición y ajuste en el punto de recolección.
- Separador de agua: Las aguas condensadas se separan del flujo de gas mediante un sifón o equipo refrigerador; después se manda con una bomba hacia la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas.
- Tubo de aspiración de gas: Este es el tubo que conecta el punto de colección con el soplador.
- Ajuste de presión y soplador: El soplador produce depresión para succionar los gases del cuerpo de relleno, y sobrepresión para mandar los gases al incinerador. El ajuste de presión mantiene la depresión y la sobrepresión en el nivel óptimo. La presión necesaria para la succión es entre 200 - 300 mbar.

- Casa del soplador: En rellenos medianos o pequeños, el soplador se puede colocar en un galpón semi abierto con techo o en un contenedor. Para rellenos grandes, se recomienda colocar el soplador en el mismo edificio que el incinerador.
- Tubo de transporte: Este es el tubo que conduce los gases con sobrepresión hacia el incinerador.
- Antorcha: Unidad donde se quema el gas bajo control.
- Incinerador: Unidad compuesta de la antorcha, del equipo para aprovechar la energía de incineración y de los equipos auxiliares (tratamiento del gas, separación de gases, ajustes etc.)

El Dibujo 30 muestra un sistema de drenaje activo con todas las unidades:

Dibujo 30: Unidades del sistema de drenaje activo /25/



1	Chimenea	7	Tubería de transporte
2	Colector de gas	8	Consumidor 1
3	Drenaje de gas	9	Tratamiento del gas
4	Punto de colección	10	Conversión del gas en energía eléctrica
5	Punto de transporte de gas	11	Casa de turbinas
6	Antorcha	12	Consumidor 2

3.3.3.2.2. Chimeneas y Tubería Para el Drenaje Activo

Se deben considerar los siguientes puntos durante el diseño de un sistema de drenaje activo para los gases de relleno:

- La depresión debe ser eficiente en todo el cuerpo de basura
- Se debe minimizar la cantidad de aire succionado por el soplador
- El sistema debe tener una larga vida útil
- La capacidad de succión debe ser apropiada a la cantidad de gas

- Los tubos de succión deben ser lo más corto posible, para no tener demasiadas pérdidas de presión.

Cuando se diseña el sistema de drenaje activo junto con el relleno, generalmente se utiliza tubería horizontal colocada en diferentes niveles del cuerpo de basura para aspirar los gases. Si se debe añadir el sistema de drenaje activo a un relleno ya cerrado, es posible perforar el cuerpo de basura para poder colocar chimeneas verticales.

Se resumen las informaciones más pertinentes para el dimensionamiento de las chimeneas y la tubería en el Cuadro 25 /22/:

Cuadro 25: Dimensionamiento de los tubos y las chimeneas para el drenaje activo del gas de relleno

Criterio	Chimenea	Tubería
Diámetro exterior	0.6 - 1.2 m	Canal horizontal de 1 m de largo y 0.8 m de ancho
Material de relleno	Piedra bola o grava sin cal	Piedra bola o grava sin cal
Diámetro interior	150 mm	110 mm
Resistencia a la presión	Hasta 10 bar	Hasta 10 bar
Area perforada/ superficie total	10 %	5 %
Capacidad de absorción de gas	2 m ³ /m tubo	0.2 m ³ /m tubo
Conexiones	Todas las conexiones deben ser soldadas	Se debe soldar en lugares no perforados
Distancias	Profundidad máxima: 15 m (en rellenos más profundos, se recomienda succionar el gas separadamente de diferentes niveles) Largo mínimo de tubo no perforado (capa superficial del cuerpo de basura): 3 m El fondo de la chimenea debe ser colocado a menos 2 m arriba de la capa de fondo del relleno.	Mínimo 6 - 8 m encima de la capa de fondo del relleno y 4 m abajo de la capa superficial (se considera el nivel de cierre del relleno). Los tubos perforados deben ser colocados en una distancia mínima de 25 m de los taludes.
Inclinación	-	A menos % 3
Otros	Se debe poder medir la presión, la temperatura y la concentración del metano en cada chimenea.	La tubería debe atravesar el cuerpo de basura horizontalmente; eventuales conexiones verticales se deben construir afuera del cuerpo de basura.

Con sistemas activos de drenaje, se puede evacuar un 40 - 45 % del gas de relleno. Es importante que la concentración del metano sobre la superficie del relleno no exceda 80 ppm.

3.3.3.2.3. Incineración del Gas Después del Drenaje Activo

3.3.3.2.3.1. Incineración con Antorcha

Si no se aprovecha el gas de relleno produciendo energía eléctrica, se puede incinerar el gas de relleno con antorchas. La incineración con antorcha es un método similar a la incineración controlada en la

chimenea, que no aprovecha de la energía de la incineración para producir electricidad. Se comparan los dos métodos brevemente en el Cuadro 26:

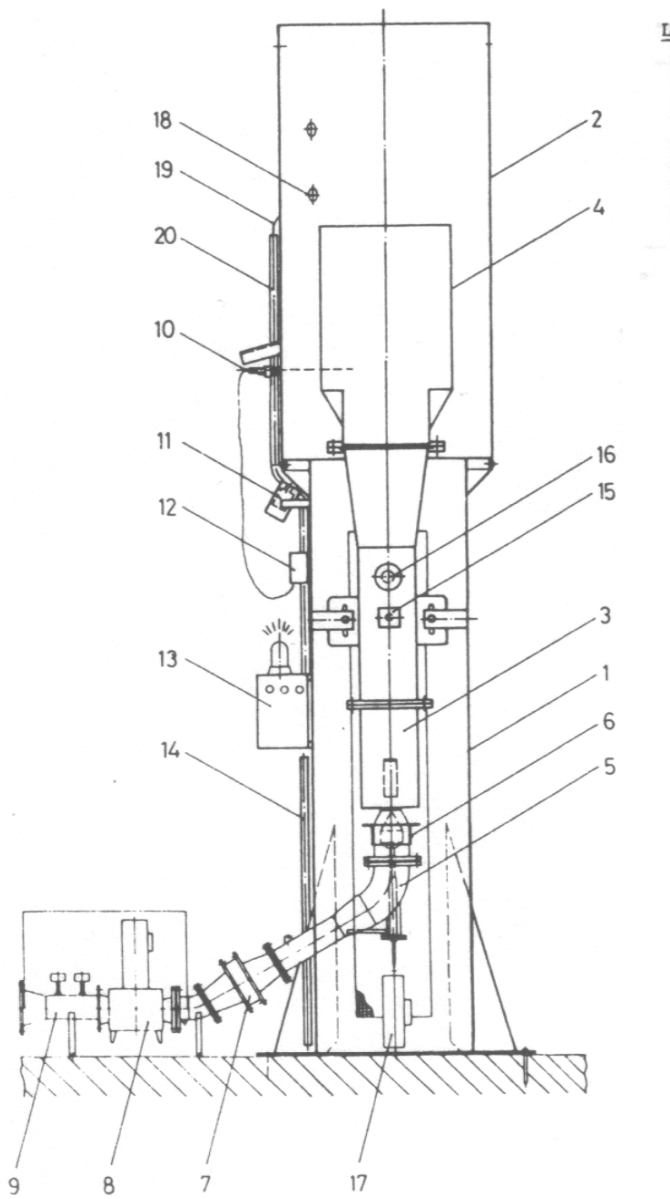
Cuadro 26: Comparación de la incineración en la chimenea y con antorcha

Criterio	Incineración en la chimenea	Incineración con antorcha
Objetivo	Eliminación del gas metano y de los compuestos oloríficos	Eliminación del gas metano y de los compuestos oloríficos, controlando emisiones de contaminantes como NO _x , SO _x e hidrocarburos halogenados.
Punto de incineración	En cada chimenea	En una antorcha fuera del cuerpo de basura, a la cual se conduce todo el gas succionado del cuerpo de basura
Método de drenaje	Se puede realizar solamente con drenaje pasivo	Se puede realizar solamente con drenaje activo
Equipo necesario	Capuchones metálicos para cada chimenea	Soplador, tubería de conducción, separadores de gas, antorcha especial, equipo de medición y ajuste
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de inversión y operación - No necesita personal calificado para la operación - Se puede utilizar en rellenos de cualquier tamaño - Se puede fabricar con materiales disponibles en cada relleno 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejor protección del medio ambiente - Eliminación de contaminantes como dioxinos
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - No se eliminan dioxinos y otros productos laterales de la incineración - No hay la posibilidad de ajustar los parámetros de incineración - No hay la posibilidad de aprovechar la energía del gas metano 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo alto de inversión y operación - Se necesita personal calificado para operación y mantenimiento - Económicamente y técnicamente inadecuado en rellenos pequeños y medianos - Tecnología extranjera (problema con reparaciones y repuestos) - No hay la posibilidad de aprovechar la energía del gas metano

Se ha desarrollado antorchas especiales donde se queman los gases de relleno con adición controlada de aire. Las antorchas para la incineración del gas de relleno disponen de encendedores automáticos, un sistema de control de la llama y de la temperatura, una válvula automática para apagar y un ajuste del flujo de aire. En las antorchas convencionales, el gas de relleno se quema con una temperatura de aproximadamente 1000 °C. Existen también antorchas para incineración con alta temperatura, que queman los gases con 1200 °C y con las cuales se logra un mejor control de la generación de dioxinos durante el proceso de incineración. Los costos de inversión y de operación son más altos para las antorchas de alta temperatura.

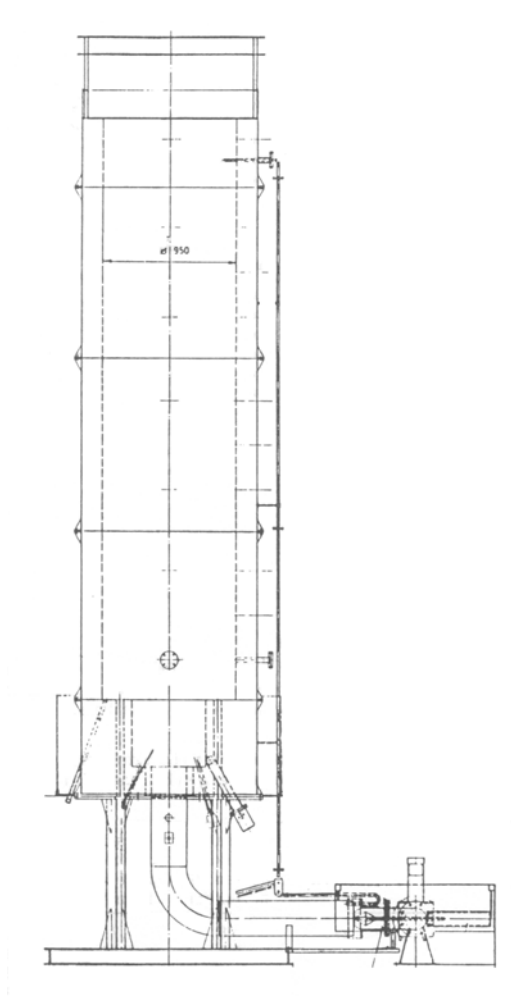
El Dibujo 31 presenta una antorcha convencional; el Dibujo 32 una antorcha de alta temperatura /25/.

Dibujo 31: Antorcha convencional



- | | | | |
|----|-------------------------------|----|------------------------------|
| 1 | Chasis | 11 | Protección contra rayos UV |
| 2 | Tapa para protección de llama | 12 | Transformador del encendedor |
| 3 | Tubo para mezclar | 13 | Pupitre de control |
| 4 | Tubo de incineración | 14 | Cables eléctricos |
| 5 | Tubo de inyección | 15 | Termóstato |
| 6 | Orificio de ajuste | 16 | Protección contra heladas |
| 7 | Seguridad contra llama | 17 | Arbol motor |
| 8 | Válvula de gas | 18 | Protección de calor |
| 9 | Tubo de gas | 19 | Línea de equilibrio |
| 10 | Electrodos del encendedor | 20 | Tubo protector |

Dibujo 32: Antorcha de alta temperatura



Las emisiones producidas con la incineración en antorchas se resumen en el Cuadro 27:

Cuadro 27: Emisiones generadas durante la incineración de los gases de relleno en antorchas /7/

Parametro	Antorcha convencional	Antorcha de alta temperatura
Temperatura de la llama sobre el encendedor (°C)	1030 - 1140	1000 - 1100
Temperatura en la celda de incineración (°C)	1030 - 1140	1295 - 1455
Concentración de O ₂ en el gas emitido (%)	12.2 - 17.0	7.2 - 14.2
Emisiones de CO (mg/Nm ³)	0 - 122	no se puede registrar
Emisiones de TOC (mg/Nm ³)	0 - 74	no se puede registrar
Emisiones de NO (mg/Nm ³)	0 - 76	52 - 92
Emisiones de dioxinas (ng/Nm ³)	0.011 - 0.045	0.011 - 0.033
2,3,7,8 TCDD (ng/Nm ³)	0.011 - 0.045	0.011 - 0.033
Total furan (ng/Nm ³)	0.011 - 0.972	0.011 - 0.033
2,3,7,8 TCDF (ng/Nm ³)	0.011 - 0.090	0.011 - 0.033

3.3.3.2.3.2. Aprovechamiento de los Gases de Relleno

Hay que recalcar que el aprovechamiento de los gases de relleno solamente tiene sentido ecológico. Económicamente no es rentable. Los precios de venta de la energía eléctrica que se obtiene de la incineración de los gases de relleno no son iguales a los costos del tratamiento previo que debe sufrir el gas de relleno.

Las siguientes tecnologías están disponibles para el aprovechamiento del gas de relleno:

- Producción de energía mediante incineración en un motor
- Hornos incineradores
- Turbinas de gas
- Enriquecer el metano e ingresarlo a un ducto de gas natural
- Uso como combustible

La más sencilla entre estas tecnologías es la incineración mediante un motor, para la cual no se necesita una infraestructura especial. La energía eléctrica se produce independientemente del consumidor y el motor se puede adaptar a la cantidad de gas que es variable. Tiene sentido utilizar esta tecnología en lugares donde existe una planta con alto consumo de energía cerca del relleno (por ejemplo: planta de reciclaje mecanizada que está integrada en el relleno sanitario). Se utilizan motores Otto para este trabajo, y se pueden lograr un rendimiento entre 28 y 30 %. Si se aprovecha también de la energía calorífica, el rendimiento aumenta hacia 50 %.

Si se incinera el gas de relleno en hornos industriales se puede lograr un rendimiento bastante alto de 80 - 90 % y se baja el consumo de otros combustibles. Se puede incinerar el gas de relleno en los hornos de fabricas de cemento o de ladrillos o para calentamiento en otras industrias. La incineración del gas de relleno tiene sentido si el relleno sanitario está ubicado muy cerca de la fabrica en cuestión.

Existen en Inglaterra y los EEUU algunas plantas donde se quema el gas de relleno en turbinas de gas. Esta aplicación puede tener sentido si se trata de una gran cantidad de gas de relleno (central con una capacidad > 1 MW) /7/. El uso del gas de relleno en redes de gas natural está todavía en un estado experimental. Como no existe un sistema de red de gas natural en el Ecuador, esta alternativa se queda teórica. También es técnicamente posible incinerar el gas de relleno como combustible de vehículo, pero no es económico /7/.

3.3.4. Polvo

Para evitar molestias por dispersión de polvo en el camino de acceso al relleno sanitario, se recomienda asfaltar o al menos lastrar bien los caminos donde pasan los recolectores, lo que es también ventajoso considerando la extensión de la vida útil de estos. El polvo que se produce en el relleno sanitario se puede dispersar hasta una distancia de 250 m. Esta es también una razón para prohibir la construcción de habitaciones cerca del relleno. Se recomienda una distancia de al menos 300, y según las condiciones del terreno, hasta 1000 m.

Además de la producción de polvo, existe el problema de la dispersión de papel y plástico. Esta se impide parcialmente mediante la buena compactación y la cubierta diaria de la parte operativa del relleno sanitario. Se recomienda también la arborización alrededor del relleno, lo que sirve también

para reducir la contaminación de polvo. Si no es posible arborizar el relleno, se puede también construir un cerramiento de malla alrededor del terreno.

4. Planta de Reciclaje, Compostaje y Otras Plantas Auxiliares

4.1. Aprovechamiento de los Materiales Recuperables

Todavía no es muy frecuente en el Ecuador la clasificación domiciliaria de la basura. En muchas ciudades viven recicladores separando los materiales reciclables del resto de la basura, tanto antes de la recolección en el área urbana como sobre los rellenos o botaderos. Con la construcción de los rellenos sanitarios, muchos municipios quieren prohibir el trabajo de los recicladores que realizan generalmente esta actividad en un ambiente poco saludable y muchas veces impiden la operación eficiente y apropiada del relleno sanitario.

Con la finalidad de integrar a los recicladores en el manejo de los desechos sólidos sin perder la eficiencia y salubridad la solución ideal sería la clasificación domiciliaria y después el tratamiento de los desechos reciclable en una planta de reciclaje. Se recomienda construir una planta de reciclaje para desechos mixtos para ciudades que no tienen la posibilidad de introducir la clasificación domiciliaria a corto plazo, lo que puede ser el caso para ciudades muy grandes, con presupuesto muy limitado o con insuficientes recursos personales para la capacitación y el monitoreo.

Esta planta de reciclaje tendría las siguientes ventajas ecológicas, económicas y sociales:

- Se disminuye el consumo de materia prima gracias al reciclaje de materia secundaria.
- Se puede producir compost con los desechos biológicos, lo que disminuye otra vez la cantidad de los desechos que se van a la disposición final, reduce las emisiones del relleno y asegura el suministro continuo con un abono orgánico de alta calidad.
- Es posible obtener utilidades tanto con la planta de reciclaje como con el compostaje. Este trabajo crea empleo para personas indigentes, o en el caso de los recicladores, mejora las condiciones higiénicas laborales y aumenta sus ingresos.
- A largo plazo, el municipio en cuestión logra una economía importante porque se duplica o incluso triplica la vida útil del relleno y el municipio no tiene que invertir a corto plazo en un nuevo terreno, nueva infraestructura y necesita menos personal y maquinaria para la operación del relleno.

Las inversiones necesarias para una planta de reciclaje dependen de las dimensiones y del grado de mecanización de la planta. El Cuadro 28 da costos aproximados para la inversión.

La construcción de una planta de reciclaje, manual o mecanizada según las posibilidades del municipio en cuestión, y combinada con una planta muy simple de compostaje, debería ser integrada al presupuesto del relleno sanitario. Eso se justifica con la economía que se espera gracias a la extensión de la vida útil. También es posible contratar la explotación de la planta de reciclaje a compañías recicladoras y obtener un cierto ingreso anual para el municipio (lo que se realiza en Turquía exitosamente desde hace años). El Dibujo 33 muestra el diagrama de flujo de una planta de reciclaje mecanizada; el Dibujo 34, el de una planta de reciclaje completamente manual.

Cuadro 28: Costos aproximados para la construcción de una planta de reciclaje en el Ecuador (precios del verano 2001)

Caso	Descripción de la planta de reciclaje	Costo aproximado (US\$)
Municipio pequeño Relleno manual Producción diaria de 5 t de basura, 0.5 t de los cuales materiales reciclables.	Reciclaje manual, almacenaje de los materiales en un galpón simple. Equipo: Prensa manual con tornillo sin fin, piscinas para lavado manual de plástico y vidrio Infraestructura: Galpón y plataforma de descarga, agua	5000 - 8000
Municipio mediano Relleno con compactación mecanizada Producción diaria de 80 t de basura, 8 t de los cuales materiales reciclables	Reciclaje manual, almacenaje de los materiales en un galpón simple. Equipo: Prensa hidráulica, lavadora de plástico, piscina para lavado manual del vidrio, grúa manual, balanza manual Infraestructura: Galpón, vía de acceso, plataforma de descarga, luz trifásica, agua	80000 - 100 000
Municipio mediano Relleno con compactación mecanizada Producción diaria de 100 t de basura, 10 t de las cuales materiales reciclables	Reciclaje mecanizado, almacenaje de los materiales en un galpón simple. Equipo: Prensa hidráulica, lavadora de plástico, lavadora-trituradora de vidrio, banda transportadora con criba tambor y canastas con ruedas para transporte interno, mini-cargadora y camión para la entrega de los materiales a las fabricas compradoras Infraestructura: Galpón, vía de acceso, plataforma y tolvas de descarga, luz trifásica, agua, tratamiento de las aguas usadas	200 000 - 300 000
Municipio grande Relleno con compactación mecanizada Producción diaria de 2500 t de basura, 300 t de las cuales materiales reciclables	Reciclaje mecanizado, almacenaje de los materiales en un galpón simple. Equipo: Prensa hidráulica, lavadora de plástico, lavadora-trituradora de vidrio, banda transportadora con criba tambor y canastas con ruedas para transporte interno, mini-cargadora y camión para la entrega de los materiales a las fabricas compradoras Infraestructura: Galpón, vía de acceso, plataforma y tolvas de descarga, luz trifásica, agua, tratamiento de las aguas usadas	1 000 000 - 2 000 000

Se puede imaginar cualquiera forma intermedia entre estos dos tipos de planta de reciclaje. Por ejemplo, si el presupuesto no alcanza, siempre es posible renunciar a la banda transportadora y a las cribas y hacer la clasificación completamente a mano.

Se recomienda poner como equipamiento mínimo una prensa y la infraestructura para el lavaje, como este equipo es indispensable para lograr buenos precios de venta. Si el municipio en cuestión no tiene el presupuesto para este equipo, siempre hay la posibilidad de cooperar con una compañía o un individuo (reciclador local) ya que en las ciudades medianas ellos disponen frecuentemente del equipo básico. El Cuadro 29 muestra el terreno que se necesita para montar una planta de reciclaje y de compostaje manual en un relleno sanitario.

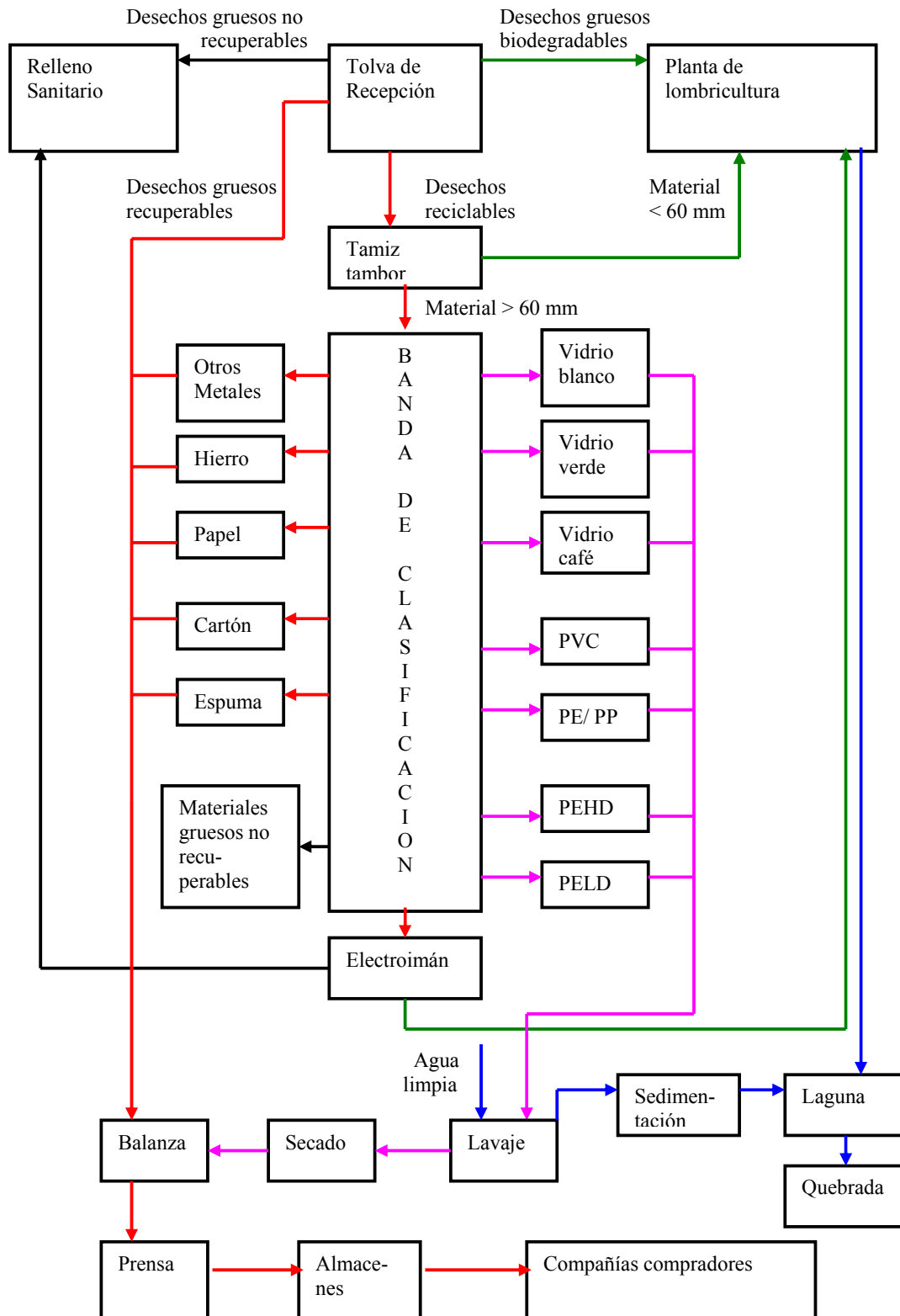
Cuadro 29: Terreno necesario para el reciclaje y compostaje

Caso	Terreno necesario para la planta de reciclaje	Terreno necesario para el compostaje
Municipalidad pequeña, planta de reciclaje manual, relleno sanitario manual	10 - 25 % del área del relleno	10 - 20 % del área del relleno
Municipalidad mediana, relleno sanitario con compactación mecanizada, planta de reciclaje manual	5 - 15 % del área del relleno	10 - 20 % del área del relleno
Municipalidad mediana o grande, relleno sanitario con compactación mecanizada, planta de reciclaje mecanizada	5 - 10 % del área del relleno	10 - 20 % del área del relleno

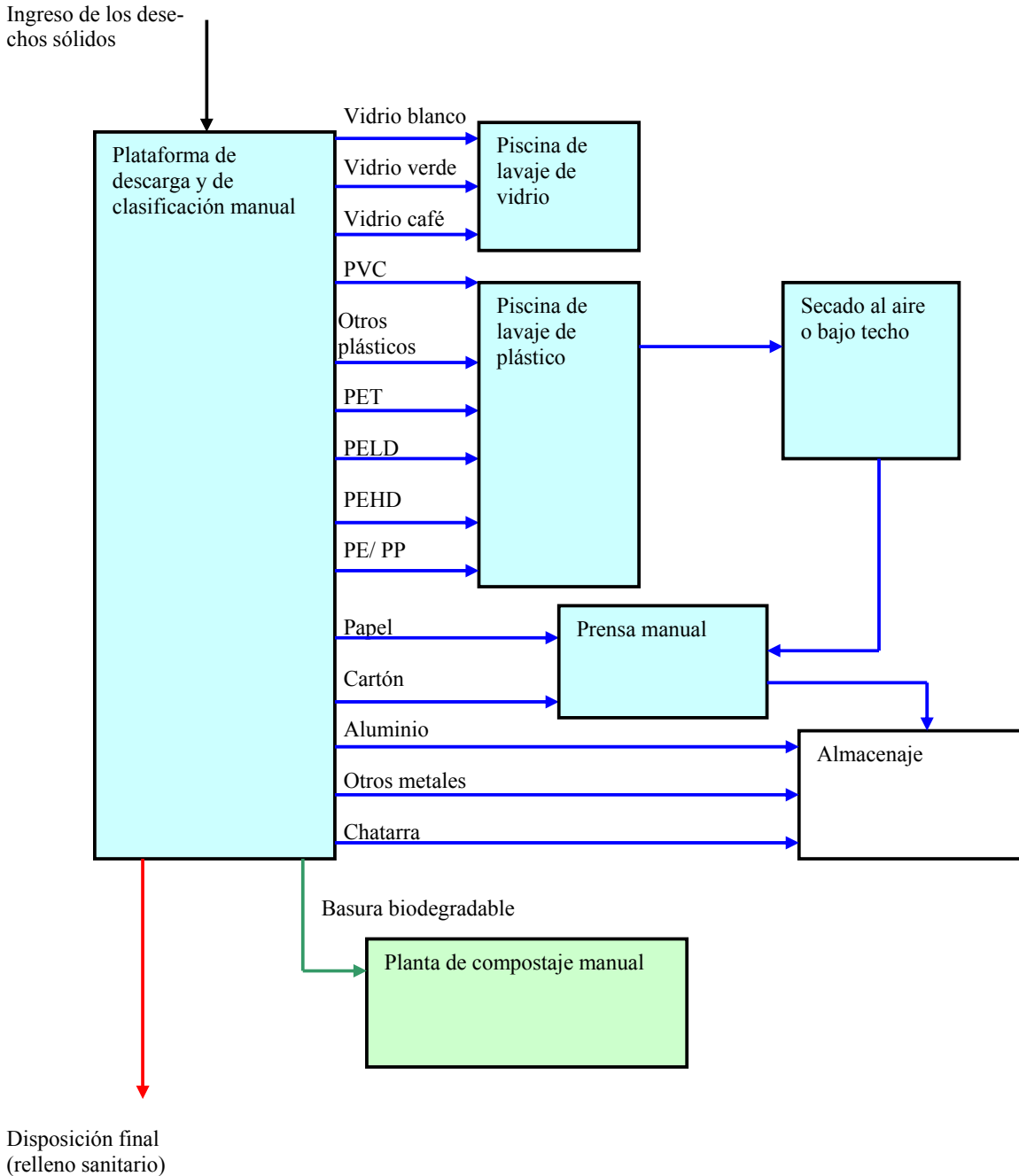
Nota: 1. Se calculó el terreno necesario para un relleno con una vida útil entre 10 y 20 años
2. El termino "área del relleno" se refiere al área ocupada por el cuerpo de basura.

Dibujo 33: **Diagrama de Flujo
Planta de reciclaje
mecanizada**

Entrada de desechos no biodegradables
de la clasificación domiciliaria



Dibujo 34: Diagrama de flujo de una planta de reciclaje manual



Es obvio que el porcentaje del terreno necesario para la instalación de una planta de reciclaje o de lombricultura es inversamente proporcional a la vida útil del relleno, lo que significa que es más económico construir esta infraestructura en un terreno bastante extenso.

Si no se dispone de un terreno muy grande, se puede reducir el área necesaria construyendo la planta de compostaje o la planta de reciclaje sobre los módulos ya cerrados del relleno (solamente si es un relleno bien compactado!).

4.2. Disposición Final de los Desechos Peligrosos

Se recomienda siempre prever la disposición final de los desechos peligrosos de manera separada. El Cuadro 30 enumera los principales desechos peligrosos.

Cuadro 30: Tipos y fuentes de desechos peligrosos

Categoría	Fuente	Tipos de desechos
Desechos peligrosos domiciliarios	Domicilios Oficinas e instituciones Comercio	Pilas, restos de medicamentos, partes de equipo electrodoméstico y de oficina, restos de pintura, solventes o químicos domésticos
Desechos biopeligrosos	Hospitales, clínicas y policlínicas, consultorios, clínicas veterinarias, laboratorios y farmacias	Medicamentos, jeringuillas, fundas de sangre, desechos contagiosos, químicos, desechos con contaminación radioactiva
Desechos peligrosos industriales	Fabricas Talleres	Toda clase de residuos peligrosos producidos por las actividades industriales, sobrantes de químicos y materia prima, residuos del tratamiento de las aguas usadas y gases contaminados

En la mayoría de las ciudades es difícil recoger separadamente los desechos peligrosos de procedencia doméstica, ya que esto necesita una capacitación intensiva y una organización detallada. Por su complejidad se puede tomar a esta actividad como un paso ulterior del programa de clasificación domiciliaria.

Para la recolección y disposición final diferenciada de los desechos industriales se debe realizar inicialmente un buen levantamiento de las diferentes industrias que son activas en la ciudad en cuestión. Este levantamiento debe comprender las actividades industriales, las materias primas y los tipos y cantidades de desechos producidos. En muchos casos, especialmente en las ciudades pequeñas y en las áreas rurales, no existe una mayor actividad industrial, y no se produce una cantidad significativa de desechos peligrosos. El tipo de tratamiento y de disposición final es dependiente de las características de los desechos. En muchos casos es preferible exigir que la fábrica generadora del desecho organice su disposición final en su propio terreno. También existe muchas veces la posibilidad de valorar económicamente un desecho peligroso industrial vendiéndole a otra industria que puede utilizarlo como materia prima o auxiliar en su actividad. Existen varios mercados internacionales de desechos industriales donde se puede comercializar casi toda clase de material (ver: www.recycle.net).

El Cuadro 31 presenta una lista detallada de los desechos peligrosos de procedencia doméstica /15/.

Cuadro 31: Desechos domésticos peligrosos comunes /15/

Tipo de producto		Inquietud
Productos domésticos de limpieza	Polvos abrasivos	Corrosivos
	Aerosoles	Inflamables
	Limpiadores con amoníaco y basados en amoníaco	Corrosivos ²
	Lejía de cloro	Corrosiva
	Desatascadores	Corrosivos
	Abrillantadores para muebles (salvo cera)	Inflamables
	Limpiacristales	Irritante
	Limpiahornos	Corrosivo
	Betún para calzado	Inflamable
	Abrillantador para plata	Inflamable
	Quitamanchas	Inflamable
	Limpiaodoros	Corrosivo
	Limpia moquetas y tapizados	Inflamable y corrosivo
Productos de cuidado personal	Productos para ondular el pelo	Venenosos
	Champús médicos	Venenosos
	Quitaesmaltes de uñas	Venoso, inflamable
	Alcohol para frotaciones	Venoso
Productos de automóvil	Anticongelante	Venoso
	Líquido de frenos y de transmisión	Inflamable
	Baterías de carro	Corrosivas
	Fuel diesel	Inflamable
	Queroseno	Inflamable
	Gasolina	Inflamable y venosa
	Aceite residual	Inflamable
Productos de pintura	Pinturas de esmalte, óleo, látex o de agua	Inflamable
	Disolventes de pinturas	Inflamables
Pesticidas, herbicidas y fertilizantes	Insecticidas de jardín, matahormigas y cucarachas, herbicidas domésticos etc.	Venenosos y inflamables
	Fertilizadores químicos	Venenosos
	Insecticidas para plantas domésticas	Venenosos
Productos misceláneos	Pilas	Corrosivas
	Productos químicos para fotografía	Corrosivos y venenosos
	Ácidos y cloro de piscina	Corrosivo
	Medicinas caducadas	Peligrosas y venenosas

Los desechos biopeligrosos son aquellos que se generan en cada ciudad y que son más fáciles a recoger y tratar separadamente. Para una recolección diferenciada de los desechos biopeligrosos hay que coordinar con los centros de salud. Esta tarea es más fácil en las ciudades pequeñas donde existen pocos establecimientos médicos. La disposición final de los desechos biopeligrosos se puede realizar con una celda de seguridad separada del relleno sanitario para los desechos domiciliarios. Existe también la alternativa de exigir de los hospitales que instalen un incinerador para esta clase de desechos. Es verdad que en muchos casos se construyen y manejan mal los incineradores, también sale más costosa esta alternativa y necesita un control minucioso por parte del municipio u otra autoridad responsable.

El presente manual no trata las tecnologías para la disposición final de los desechos peligrosos. Se puede encontrar información pertinente al tema en la página www.cepis.ops-oms.org y en las publicaciones de la Fundación Natura (natura@fnatura.org.ec).

² El amoníaco nunca debe mezclarse con productos de base clorada. Se puede producir un gas mortal.

5. La Operación del Relleno Sanitario

5.1. Recursos Técnicos y Humanos

5.1.1. Personal Necesario

Los siguientes criterios determinan la cantidad y las características del personal necesario para la operación de un relleno sanitario /4/, /5/:

- Area 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

El número aproximado del personal necesario para el manejo de un relleno sanitario se presenta en el Cuadro 32 /4/, /5/ y experiencias propias:

Cuadro 32: Necesidad de personal en un relleno sanitario

Calificación y tareas del personal	Relleno con compactación mecanizada		Relleno manual
	Personal necesario para relleno pequeño o mediano	Personal necesario para relleno grande	Personal necesario para relleno pequeño o mediano
Jefe del relleno (ingeniero civil, ingeniero mecánico o tecnólogo ambiental)	0.5 - 1 ³	1	0.5 - 1 ⁴
Ayudante del jefe del relleno (tecnólogo)	0	1	0
Técnico de laboratorio o químico	0	1	0
Responsable de la balanza	1	2	0
Chofer de tractor compactador	1 - 2	3	0
Chofer de camión u otra maquinaria necesaria dentro del relleno	1 - 2	2 - 3	0
Maestro o técnico para reparaciones de vehículos	0	1	0
Obrero para reparaciones de vehículos	1	1	0
Obreros de relleno con las tareas siguientes: - construcción de chimeneas - limpieza de canales de drenaje y cunetas - Mantenimiento de la planta de tratamiento de las aguas lixiviadas	2 - 3	3 - 6	2 - 8 (ver Cuadro 32)
Guardia con tareas siguientes: - Presencia continua sobre el relleno - Prohibir el ingreso de personas no autorizadas - Prohibir y controlar que no ingresen animales sobre el relleno - Registro en la balanza - Avisar el lugar de descarga a los recolectores	1	2	1

³ Según las necesidades puede trabajar a tiempo medio

⁴ Según las necesidades puede trabajar a tiempo medio

El cálculo del rendimiento de los obreros en un relleno sanitario manual se hace como se presenta en el Cuadro 33 /4/:

Cuadro 33: Factores de rendimiento de la mano de obra

Operación	Fórmula de rendimiento
Movimiento de los desechos	$\frac{\text{Desechos sólidos (t/día)}}{0.95^* \text{ (ton/(hora-hombre))}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$
Compactación de los desechos	$\frac{\text{Area superficial (m}^2\text{)}}{20 \text{ m}^2\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$
Movimiento de tierra	$\frac{\text{Tierra (m}^3\text{)}}{(0.35 \text{ a } 0.70) \text{ m}^3\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$
Compactación de la celda	$\frac{\text{Area superficial (m}^2\text{)}}{20 \text{ m}^2\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$

El siguiente ejemplo muestra como se calcula la necesidad de mano de obra para un pequeño relleno sanitario manual.

Municipalidad A	21 000 habitantes
Producción de basura:	10 t/día
Volumen de la basura no compactada:	30 m ³ /día
Volumen de la basura compactada:	20 m ³ /día
Area rellenada diariamente:	20 m ² /día
Volumen de tierra para cobertura:	5 m ³ /día
Duración de una jornada:	8 h/día
Tiempo de trabajo efectivo:	6 h/día
Días laborables por semana:	6 días/ semana

Hay que considerar que los trabajos pesados como movimiento de basura y tierra con palas no se pueden hacer ininterrumpidos durante 8 horas. Es más realista considerar un tiempo efectivo de 75 % de la jornada y dedicar el resto del tiempo a trabajos de mantenimiento más ligeros.

a) *Mano de obra necesaria para el movimiento de los desechos:*

$$\frac{\text{Desechos sólidos (t/día)}}{0.95^* \text{ (ton/(hora-hombre))}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$$

$$= \frac{10 \text{ t/día}}{0.95^* \text{ (ton/(hora-hombre))}} \times \frac{1}{6 \text{ h/día}} \times \frac{7}{6 \text{ días/ semana}} = 2.04 \text{ hombre/día}$$

b) *Mano de obra necesaria para la compactación de los desechos*

$$\frac{\text{Area superficial (m}^2\text{)}}{20 \text{ m}^2\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$$

$$= \frac{20 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{6 \text{ h/día}} \times \frac{7}{6 \text{ días/ semana}} = 0.19 \text{ hombre/día}$$

c) Movimiento de la tierra

$$\frac{\text{Tierra (m}^3\text{)}}{(0.35 \text{ a } 0.70) \text{ m}^3\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$$
$$= \frac{5 \text{ m}^3}{0.50 \text{ m}^3\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{6 \text{ h/día}} \times \frac{7}{6 \text{ días/ semana}} = 1.95 \text{ hombre/día}$$

El coeficiente de rendimiento para el movimiento de tierra varía entre 0.35 - 0.70 según el tipo de tierra (pesada, ligera, dura, suelta, suelo natural o tierra anteriormente colocada para servir como cobertura) y se debería verificar bajo condiciones locales. En el presente ejemplo, se estimó el coeficiente de rendimiento como 0.50.

d) Mano de obra necesaria para la compactación de la celda cubierta

$$\frac{\text{Area superficial (m}^2\text{)}}{20 \text{ m}^2\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{\text{horas laborables por jornada}} \times \frac{7}{\text{días laborables por semana}}$$
$$= \frac{20 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2\text{/(hora-hombre)}} \times \frac{1}{6 \text{ h/día}} \times \frac{7}{6 \text{ días/ semana}} = 0.19 \text{ hombre/día}$$

Necesidad total de mano de obra:

Movimiento de los desechos	2.04	hombre/día
Compactación de los desechos	0.19	hombre/día
Movimiento de la tierra	1.95	hombre/día
<u>Compactación de la tierra</u>	<u>0.19</u>	<u>hombre/día</u>
Total	4.37	hombres/día

El cálculo muestra en este ejemplo, que se necesitan 4.37 hombres/ día. Pero hay que considerar si es más económico hacer trabajar una persona a medio tiempo y emplearlo el resto del tiempo para otras tareas, si el guardián puede asumir el trabajo de la quinta persona o si se emplean 5 obreros para el relleno sanitario. La operación del relleno mostrará las verdaderas necesidades y el rendimiento de los obreros.

5.1.2. Vehículos, Equipo y Herramientas

5.1.2.1. Vehículos Necesarios en un Relleno con Compactación Mecanizada

El Cuadro 34 muestra los vehículos necesarios en un relleno sanitario y explica sus funciones /5/, /29, /30/:

Cuadro 34: Vehículos necesarios en un relleno sanitario

Tipo de vehículo	Descripción	Función
Tractor compactador	Tractor pesado con pala larga y orugas o ruedas especiales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mover y colocar la basura descargada por los recolectores, compactar y cubrirla. 2. Si el material de cobertura se encuentra en el sitio del relleno mismo (caso ideal), el tractor compactador puede también excavar y traer el material de cobertura. 3. Hacer trabajos de preparación del suelo (excavación, colocación de la capa mineral etc.) para abrir un nuevo módulo del relleno.
Tractor pequeño	Tractor común de construcción	En rellenos muy grandes, donde se utilizan compactadores muy pesados, el segundo tractor sirve para excavar y traer el material de cobertura y hacer los otros trabajos de construcción (preparación del suelo etc.) necesarios.
Camión	Camión viejo con volqueta o recolector fuera de servicio regular	Llevar materiales de un lado del relleno a otro, traer material de cobertura; si existe una planta de lombricultura o de reciclaje sobre el relleno, trasladar materiales entre estas plantas y el sitio de disposición final.
Vehículos auxiliares	Rodillo para la compactación del suelo impermeable. Se necesita el rodillo cuando se prepara un nuevo módulo del relleno.	
	Vehículo para traer y llevar el personal (en rellenos muy alejados, donde no hay transporte público)	
	Vehículo para traer combustible y lubricantes al tractor compactador y, si hay, al camión.	

El más importante entre estos vehículos es el tractor compactador.

Los tractores compactadores son tractores con orugas como los que se utilizan en la construcción civil, adaptados a las condiciones del relleno sanitario. Existen también compactadores con ruedas especiales que se construyen especialmente para la compactación de basura. Esos compactadores tienen la ventaja de trabajar muy eficientemente en la colocación y compactación de la basura. Por otra parte, no se pueden utilizar flexiblemente para otros trabajos necesarios en el relleno, ya que las ruedas especiales no son adecuadas para trabajos en suelos normales. Por esta razón, se recomienda la compra de un compactador especial solamente para rellenos muy grandes donde sería razonable y económicamente posible trabajar con un compactador, más un tractor común.

Se recomienda cumplir con los siguientes requerimientos para asegurar un trabajo confiable en el relleno, evitar que se dañe frecuentemente el compactador y ofrecer un ambiente de trabajo aceptable al operador de la máquina:

- Cabina de chofer cerrada (con ventanas que se pueden abrir y, si es posible, con aire acondicionado), con suelo impermeable al agua, protegida contra vibraciones y ruido
- Chasis resistente contra basura gruesa, químicos agresivos o inflamables
- Protección del radiador con plancha de metal perforada
- Protección del radiador contra polvo en el aire de refrigeración (con filtro fino, ciclón separador y chimenea)
- Protección de los lados laterales del motor
- Pala grande (ancho hasta 4.40 m; alto hasta 2.20 m)

Los tractores compactadores compactan la basura con su peso que en el caso ideal cambia entre 16 - 36 toneladas. Los más grandes tienen motores con una potencia hasta 200kW, lo que les permite mover y compactar 80 - 100 toneladas de basura. Con un compactador de este tamaño se puede operar un relleno en el cual entran 800 toneladas diarias de basura.

Los compactadores muy grandes tienen un consumo bastante elevado de combustible (30 - 32 l/hora) y son sometidos a trabajos de mantenimiento y reparaciones frecuentes. En un relleno muy grande donde se necesita uno de estos compactadores de alta capacidad, se recomienda realizar los otros trabajos (sacar material de cobertura, preparar celdas, abrir vías etc.) con un segundo tractor más pequeño que tiene menor consumo de combustible y lubricantes y sería más económico en su operación.

Para los rellenos sanitarios más pequeños se recomiendan tractores compactadores más pequeños con una capacidad y un consumo adecuados a las necesidades del relleno. Se pueden utilizar tractores comunes de construcción, adecuándolos a las condiciones del relleno como lo descrito anteriormente.

5.1.2.2. Balanza Registradora

En los rellenos medianos y grandes, se necesita instalar una balanza grande como las que se utilizan para pesar camiones. Esta balanza muestra el peso de cada vehículo a la entrada y a la salida, la diferencia, dando el peso de los desechos ingresados. Se puede realizar el registro manualmente o con ayuda de una computadora. La Fotografía 5 muestra la vista de una balanza de relleno con una caseta para registro (el guardián del relleno).

Fotografía 5: Casa de registro del ingreso y egreso de vehículos al relleno sanitario municipal de Loja



En rellenos donde se ingresan desechos de diferentes tipos, la balanza ayuda a determinar la cantidad de cada categoría de desechos. Eso es importante si se cubre una tarifa para la descarga de un cierto tipo de desechos, si se intenta diseñar cualquier implemento nuevo y también para verificar los datos de base para el manejo de los desechos sólidos.

En los rellenos pequeños generalmente no ingresan desechos muy variados, ya que hay poca o ninguna industria en las ciudades pequeñas o comunidades. Tampoco se pone muy pesado el problema de la planificación de la vida útil del relleno, como las ciudades pequeñas tienen mejor disponibilidad del terreno. Por estas razones, no es tan indispensable establecer un control minucioso

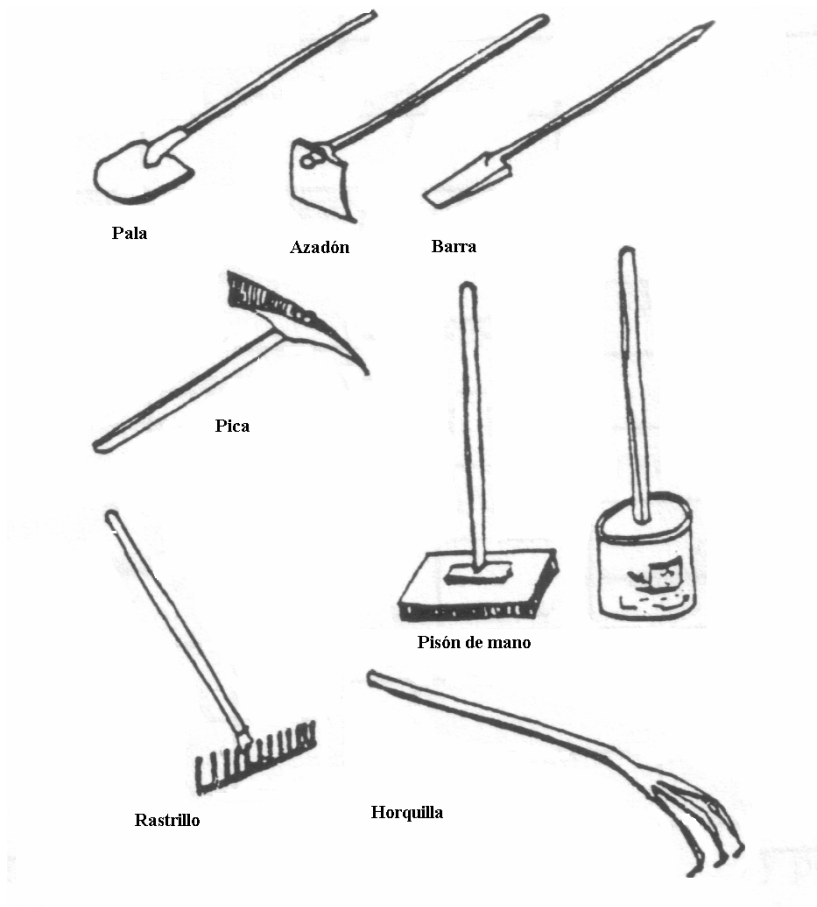
de las cantidades de basura que se producen y recogen, y es suficiente tener un registro manual de la cantidad y del tipo de vehículo que ingresa.

5.1.2.3. Herramientas

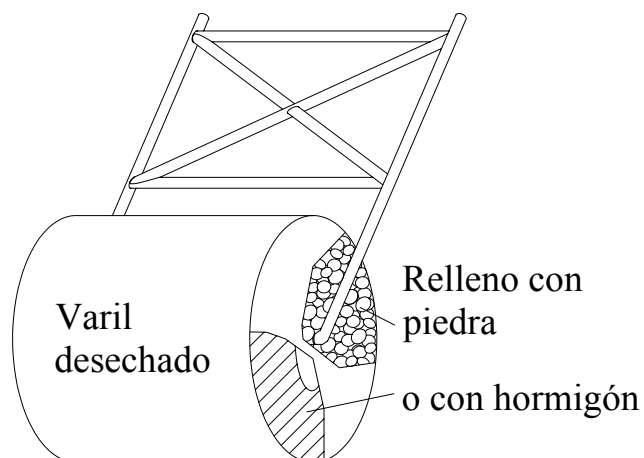
5.1.2.3.1. Herramientas Necesarias en un Relleno Manual

En el relleno manual, el equipo necesario son utensilios de albañilería, más un rodillo compactador manual. El Dibujo 35 muestra los utensilios elementales; el Dibujo 36 muestra un ejemplo de rodillo manual.

Dibujo 35: Utensilios elementales /4/



Dibujo 36: Rodillo manual /4/, /27/



Para la construcción del rodillo, se recomienda llenar el barril con piedra, arena u hormigón, con el fin de evitar que los golpes en el terreno le abollen. El área de uso de las herramientas se describe brevemente en el Cuadro 35:

Cuadro 35: Uso de las herramientas en el relleno sanitario

Nombre	Uso
Pala	<ul style="list-style-type: none"> - Cargar, descargar y colocar basura suelta - Cargar, descargar y colocar material de cobertura - Excavar - Mantenimiento de la fosa séptica y laguna de tratamiento biológico (excavación de sedimento) - Mantenimiento y construcción de cunetas
Azadón	<ul style="list-style-type: none"> - Aflojar el terreno - Trabajos de arborización - Mantenimiento de cunetas y canales de drenaje
Barra	<ul style="list-style-type: none"> - Aflojar el terreno para excavaciones - Trabajos de arborización - Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje
Pico	<ul style="list-style-type: none"> - Mullir el terreno para excavaciones - Trabajos de arborización - Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje
Pisón de mano	Compactación manual de la basura colocada en las superficies laterales (taludes)
Horquilla o diablo	Carga y descarga de basura en fundas
Machete	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar palos para la construcción de chimeneas u otros trabajos de mantenimiento - Afiliar palos y estacos - Cortar árboles pequeños para la preparación del terreno
Martillo	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción y mantenimiento de chimeneas - Mantenimiento de herramientas
Sierra	Cortar palos y otra madera
Rastrillo	Colocación homogénea del material de cobertura; homogeneización de la basura colocada
Carretilla	Transporte interno de basura y del material de cobertura
Rodillo manual	Compactación de la basura y de la cubierta con tierra

5.1.2.3.2. Herramientas Necesarias en un Relleno con Compactación Mecanizada

Las herramientas necesarias en el relleno mecanizado son todas las que se utilizan para la construcción y el mantenimiento de cunetas, canales de drenaje, chimeneas, la arborización y el tratamiento de las aguas lixiviadas. Son todas las herramientas enumeradas en el Cuadro 35, salvo el pisón manual y el rodillo manual.

5.1.2.4. Materiales Necesarios para el Mantenimiento y la Operación

Se necesitan los siguientes materiales para la operación del relleno sanitario:

Construcción de chimeneas:

- Malla metálica
- Piedra bola
- Palos
- Clavos

Las características de los materiales se describen en el Capítulo 3.3.3.1.2. Se puede utilizar cualquier árbol que crece en el área para hacer los palos con un diámetro de 5 - 7 cm. Se recomienda plantar eucalipto alrededor del terreno de relleno, como éste sirve para absorber una cierta cantidad de aguas lixiviadas, crece rápidamente y produce una madera apropiada para hacer los palos.

Preparación de celdas nuevas y cubierta diaria:

- Material de cubierta arcilloso

Tanto para la preparación de celdas nuevas como para la cobertura de la capa o celda diaria se necesita tierra arcillosa que asegura una suficiente impermeabilización contra la infiltración de aguas lixiviadas en el fondo y contra la infiltración de aguas de lluvia en la cobertura diaria. En el caso ideal este material se encuentra en el sitio mismo del relleno sanitario (ver Fotografía No. 1, capítulo 2.2). Se necesita una cantidad aproximada de 25 - 30 % de la cantidad de basura enterrada diariamente (ver capítulo 2.1., 5.2.3.).

Protección de los trabajadores y seguridad de trabajo:

Los materiales elementales para la protección de los trabajadores en el relleno, incluido el chofer del tractor si se trata de un relleno con compactación mecanizada, son:

- Uniforme (2 overoles por año)
- Guantes (se deben renovar 2 o 3 veces por año o más, dependiente del uso)
- Botas

La mejor solución serían botas de seguridad con puntera y suela reforzada de acero, como se utilizan en la industria pesada y algunos sitios de construcción. Estas botas son bastante costosas, pero aguantan durante muchos años. Protegen al trabajador contra desechos cortopunzantes como vidrio roto, metales o jeringuillas.

Si no se puede conseguir este tipo de botas, al menos hay que proporcionar botas de caucho a los trabajadores.

- Mascarillas para proteger contra el polvo (estas NO protegen contra el gas de relleno!)
- Dependiendo del clima: ponchos, abrigos de caucho, gorras o sombreros.

5.1.2.5. Materiales y Herramientas para Análisis Químico, Físico y Bacteriológico

Dependiendo de la ubicación y las dimensiones del relleno sanitario, se debe realizar algunos tipos de análisis. El Cuadro 36 resume los análisis elementales, dando alternativas para rellenos pequeños y rellenos grandes /32/. Considerando las posibilidades económicas sumamente limitadas de muchos municipios, se ha elaborado el Cuadro 37 que indica en qué situación se puede omitir el análisis de un parámetro y en qué caso sería indispensable.

En rellenos grandes, el control del peligro de explosión es muy importante. Se recomienda hacer este control con rutina diaria en las chimeneas, y también en los taludes para controlar si existen fugas de gas. Además se recomienda medir una vez por mes si hay gas de relleno alrededor de los edificios que se encuentran en el relleno (casa de guardián, balanza, bodegas, plantas auxiliares etc.) para garantizar la seguridad de los trabajadores en el relleno sanitario. Si existen habitaciones cerca del relleno, se debe también controlar la existencia de gas de relleno dentro de los sótanos de estas casas.

En rellenos sanitarios muy grandes y también en rellenos de seguridad para desechos peligrosos industriales se debería contar con un laboratorio para realizar mediciones de aguas lixiviadas, capas freáticas, el medio recibidor, los contaminantes contenidos en los desechos y el gas de relleno. Como este tipo de análisis se debe hacer frecuentemente, es más económico realizar este análisis en un laboratorio propio en el sitio que en un laboratorio independiente (universidad, laboratorio privado etc.). Para rellenos pequeños y medianos sería suficiente realizar este tipo de análisis en un laboratorio externo algunas veces por año. El capítulo 5.2.4. describe con más detalle los análisis que se deberían hacer.

5.2. Operación

5.2.1. 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. El plan de operación es especialmente importante para municipios que se comparten un relleno sanitario, para municipios que quieren privatizar el manejo del relleno o la recolección de los desechos sólidos y para rellenos donde se descargan varios tipos de desechos sólidos.

El plan de operación debería contener los siguientes temas /7/:

1. Definición de responsabilidades y competencias
2. Establecimiento de las fronteras físicas del relleno sanitario y de las áreas de servicio
3. Horas de apertura del relleno sanitario (horario de descarga de los desechos sólidos, horario de consulta o visita, apertura del laboratorio o de las plantas adyacentes, si hay)
4. Definición de las instituciones y personas jurídicas que pueden disfrutar de los servicios del relleno sanitario (Municipios cercanos, parroquias, comunidades, industrias, hospitales, personas etc.)

Cuadro 36: Medidas y análisis a hacer en el sitio del relleno

Tema	Análisis	Equipo necesario		Objetivo
		Para rellenos pequeños	Para rellenos grandes	
Meteo- rología	Medición de la precipitación	Método sencillo: 2 medidores de lluvia según el método Hellman	Método sofisticado: Ombrómetro	Prognóstico de la cantidad de aguas lixiviadas producidas mediante cálculo de precipitación y evaporación
	Medición de la temperatura	Método sencillo: Termómetro con indicadores mínimo- máximo	Método sofisticado: Psicrómetro de normales	
	Medición de la humedad	Método sencillo: Polímetro	Método sofisticado: Hidrógrafo térmico	
	Medición de la dirección y fuerza del viento	Método sencillo: Anemómetro con registro manual	Método sofisticado: Anemómetro con registro continuo automático	Estimación de la molestia causada por la dispersión de olores y polvo
Aguas lixivi- adas	Medición de la cantidad de las aguas lixiviadas acumuladas	Método sencillo: con un metro sumergido en el tanque de sedimentación	Medidor mecánico o neumático de niveles de agua; si hay bombeo, con medición y registro del volumen bombeado	Verificación de la cantidad de aguas lixiviadas producidas
	Medición del pH	Con un pH-metro que se mete dentro del tanque de sedimentación		Comprobar la contamina-ción de las aguas lixiviadas con metales pesados o químicos
	Medición de la conductividad	Con un electrodo que se mete dentro del tanque de sedimentación		
Aguas subter.	Con pruebas de las aguas subterráneas	Se prepara un pozo con barrena (diámetro > 150 mm) y se toma la prueba con una bomba sumergible		Conocimiento del impacto de las aguas lixiviadas a las capas freáticas
Dese- chos	Peso de los desechos ingresantes	Registro de los camiones o tractores llegados	Balanza con registro electrónico	Conocimiento de la cantidad exacta de los desechos producidos
	Toma de pruebas en el sitio de descarga	Análisis manual (tamizado, clasificación manual y peso): Presencia de desechos peligrosos (jeringuillas, otros desechos hospitalarios, desechos industriales); si hay clasificación domiciliaria, presencia de fracciones no deseadas (desechos biodegradables en la fracción no biodegradable o vice-versa)		Verificar si funciona bien el sistema de recolección y (si hay) de clasificación domiciliaria
Gases de relleno	Concentración de metano (Vol% 0 - 5)	Con un medidor que funciona con incineración catalítica y que puede detectar las concentraciones muy bajas		Prevención de explosiones; seguridad del trabajo
	Concentración de metano (Vol% 0 - 100)	Con un medidor que funciona mediante conductividad térmica		Conocimiento de la cantidad de gas combustible para aprovechar la energía térmica
	CO ₂	Con un medidor sencillo que cambia el color según la concentración		
	Oxígeno	Con un oxigenómetro		

Cuadro 37: Evaluación de la necesidad y frecuencia de hacer los análisis

Tema	Análisis	Frecuencia		Necesidad e importancia del análisis	
		Relleno pequeño	Relleno grande	Es muy importante	Se puede omitir
Meteo- rología	Medición de la precipitación	1 vez por día	1 vez por día	- en regiones con mucha precipitación o precipitación muy variable	- en regiones extremadamente áridas
	Medición de la temperatura	Cada día a las 14 h	Cada día a las 14 h	- cuando el medio receptor son aguas superficiales protegidas, susceptibles o que sirven para suministro de agua potable o agua de riego	- para rellenos muy pequeños (comunidades, parroquias o ciudades con menos de 2000 habitantes)
	Medición de la humedad	Cada día a las 14 h	Cada día a las 14 h	- para rellenos de desechos peligrosos	- si se descargan las aguas lixiviadas en el alcantarillado público que cuenta con planta de tratamiento
	Medición de la dirección y fuerza del viento	Cada día a las 7, 14 y 21 h	Cada día a las 7, 14 y 21 h	- para grandes rellenos - para rellenos grandes y medianos donde se entierra también basura biodegradable - para rellenos ubicados cerca a áreas pobladas (< 1 km)	- en rellenos muy pequeños - en rellenos pequeños y medianos que son bastante alejados del área habitada (más de 3 km) - en rellenos pequeños o medianos que cuentan con una buena barrera natural (bosque, talud en dirección de la más cercana área poblada (> 1 km)) - en rellenos donde no se entierra basura biodegradable
Aguas lixiviadas	Medición de la cantidad de las aguas lixiviadas acumuladas	1 vez por semana	1 vez por día	- en regiones con mucha precipitación o precipitación muy variable - cuando el medio receptor son aguas superficiales protegidas, susceptibles o que sirven para suministro de agua potable o agua de riego	- en regiones extremadamente áridas - para rellenos muy pequeños (comunidades, parroquias o ciudades con menos de 2000 habitantes)
	Medición del pH	1 vez por mes	1 vez por semana	- para rellenos de desechos peligrosos - si se sospecha que hay fugas de aguas lixiviadas	- si se descargan las aguas lixiviadas en el alcantarillado público que cuenta con planta de tratamiento
	Medición de la conductividad	1 vez por mes	1 vez por semana	- si se cambia el sistema de operación (compactación, celdas etc.), para conocer el impacto	
Aguas subter.	Con pruebas de las aguas subterráneas	1 vez por año	1 vez por mes	- en rellenos muy grandes - en sitios donde no existe un buen material para construir el suelo impermeable - en rellenos que han sido construidos sin impermeabilizar el suelo - en terrenos con un nivel alto de aguas subterráneas - si se aprovechan las capas freáticas para suministro de agua potable o agua de riego	- en regiones extremadamente áridas - para rellenos muy pequeños (comunidades, parroquias o ciudades con menos de 2000 habitantes) - en terrenos con un nivel muy bajo de aguas subterráneas - en rellenos pequeños y medianos con una buena barrera natural (ver: capítulo 2.2.) y una capa de fondo impermeable construida adecuadamente

Desechos	Peso de los desechos ingresantes	Para cada carro que ingresa		<ul style="list-style-type: none"> - en ciudades donde se separa la basura en varias fracciones (ejemplo: desechos peligrosos industriales se disponen separadamente) - en ciudades donde está limitado el terreno disponible para la construcción de rellenos - para rellenos medianos y grandes 	<ul style="list-style-type: none"> - en rellenos pequeños y muy pequeños
	Toma de pruebas en el sitio de descarga	1 vez por año	4 veces por año	<ul style="list-style-type: none"> - si existe o se quiere introducir la recolección separada de los desechos peligrosos (hospitalarios o industriales) - si se intenta diseñar un proyecto para aprovechar la basura biodegradable o reciclable 	<ul style="list-style-type: none"> - en rellenos muy pequeños - si ya existe una planta mecanizada de clasificación con registro
Gases de relleno	Concentración de metano (Vol% 0 - 5)	-	diario	<ul style="list-style-type: none"> - en rellenos medianos y grandes - si se quema el gas de relleno en el sitio - si existe una compactación inhomogénea y se sospecha de fugas de gas - si se quieren hacer trabajos de mantenimiento, análisis o control dentro del cuerpo de basura 	<ul style="list-style-type: none"> - en rellenos pequeños y muy pequeños - en rellenos donde no se entierra basura biodegradable
	Concentración de metano (Vol% 0 - 100)	-	diario	<ul style="list-style-type: none"> - si se quiere aprovechar la energía del gas de relleno 	<ul style="list-style-type: none"> - si no se quiere aprovechar la energía del gas de relleno
	CO ₂		diario		
	Oxígeno		diario		

5. Definición del tipo de desechos que se acepta y de la unidad donde deben ser descargados: Desechos domiciliarios, desechos gruesos, desechos de barrido, desechos de mercado, desechos de parques y jardines, desechos de construcción, lodos de tratamiento de las aguas servidas, desechos peligrosos industriales o biopeligrosos
6. Información del registro de los carros que ingresan
7. Tarifa de descarga de los desechos sólidos (para desechos industriales, para municipios o parroquias externos etc.)
8. Reglas para la descarga de los desechos en el sitio
9. Reglas de comportamiento en el relleno sanitario (por ejemplo, no fumar, prohibido el ingreso de menores de 16 años, no entrar descalzo etc.)
10. Lista y definición de las personas e instituciones que pueden descargar individualmente sus desechos.
11. Derechos de propiedad sobre los materiales descargados (esto es especialmente importante cuando hay recicladores en el sitio, cuando el relleno se maneja por una empresa privada, si se realiza la clasificación domiciliaria y la valoración de los materiales biodegradables y reciclables).
12. Responsabilidades concernientes a riesgos y accidentes causados por los desechos y su manejo.
13. Multas y sanciones para personas e instituciones que no cumplen con las reglas.

5.2.2. Ingreso de los Desechos y Registro

Se deben registrar los desechos que entran en el relleno sanitario. Eso es importante para poder identificar quien trae qué tipo y cantidad de desechos (para determinar la responsabilidad en caso de incumplimiento o accidente) y para poder controlar la cantidad de desechos que ingresan. En el registro, se debe poner especial cuidado en los siguientes aspectos:

- Información sobre la identidad del que trae la basura (nombre de compañía, municipio o persona, fecha y hora de entrada, número de placa del vehículo)
- Peso de los desechos (en rellenos pequeños sin balanza se puede ingresar una información sobre el volumen aproximado como "ingresó un tractor con remolque" o "descarga del recolector marca X")
- Tipo de los desechos (desechos domiciliarios, hospitalarios, industriales, peligrosos etc.)

Especialmente en rellenos donde se descargan varios tipos de desechos separadamente es importante verificar si la naturaleza de los desechos traídos corresponde verdaderamente con la información anotada en el registro. Para eso, es suficiente observar la descarga y abrir algunas fundas. Si hay una sospecha que se descargan desechos no deseados (por ejemplo, desechos peligrosos industriales en un relleno donde eso no se acepta), se puede mandar una prueba de los desechos a un laboratorio. En rellenos donde trabajan recicladores se puede también coordinar con ellos para que comuniquen sus observaciones (por ejemplo: "hemos encontrado jeringuillas usadas y fundas de sangre en la basura del recolector que vino a las 11").

Se debe cumplir con las siguientes reglas para asegurar un manejo óptimo del relleno y proteger las máquinas y los trabajadores contra riesgos /7/:

- Se debe indicar el lugar de descarga a los vehículos que ingresan.

- Aparte de la persona que indica el lugar de descarga, se debe encontrar solamente personal responsable de la descarga en el lugar. Los recicladores (si los hay) o los otros trabajadores del relleno se deben alejar del entorno inmediato de la descarga durante este procedimiento.
- Las personas que trabajan en el relleno deben vestirse con ropa de seguridad (colores vivos, botas y guantes).
- Hay que observar una distancia lateral mínima de 1.5 m entre los vehículos, y una distancia mínima entre la parte posterior y delantera de dos vehículos.

5.2.3. La Descarga, Colocación, Compactación y Cubierta de los Desechos Sólidos

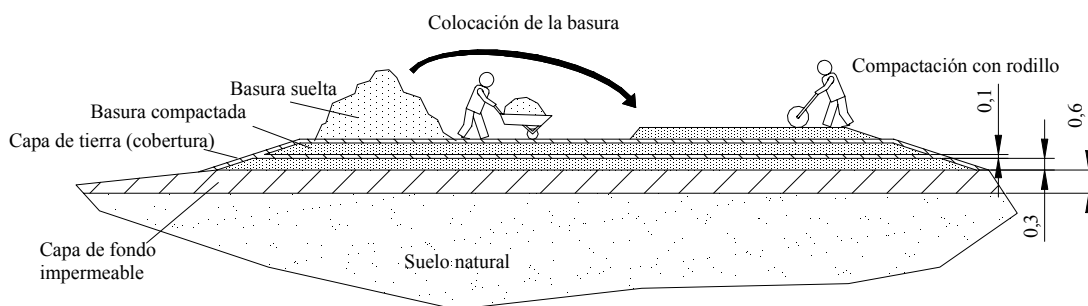
Se pueden aplicar diferentes estilos de descarga y de colocación de los desechos sólidos. Depende mucho si se trata de un relleno sanitario manual o un relleno con compactación mecanizada. Los siguientes sub-capítulos explican como se debe realizar estos trabajos para obtener un relleno seguro y una prolongada vida útil no teniendo mayores impactos ambientales.

5.2.3.1. Relleno Sanitario Manual

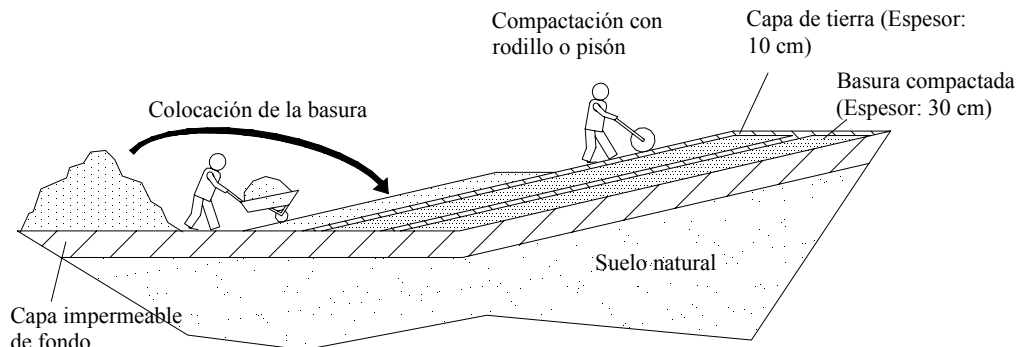
La basura se descarga lo más cerca posible al sitio donde se rellenará; para eso es importante que se indique al chofer del vehículo recolector. Los trabajadores colocan la basura en capas delgadas, de un espesor máximo de 30 cm. Se pueden construir capas horizontales o capas inclinadas que se apoyen 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. El sistema de colocación se muestra en el Dibujo 37:

Dibujo 37: Colocación manual y compactación de la basura

a) Capas horizontales



b) Capas inclinadas



Las capas se deben construir diariamente, compactar después de la terminación de la jornada 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.

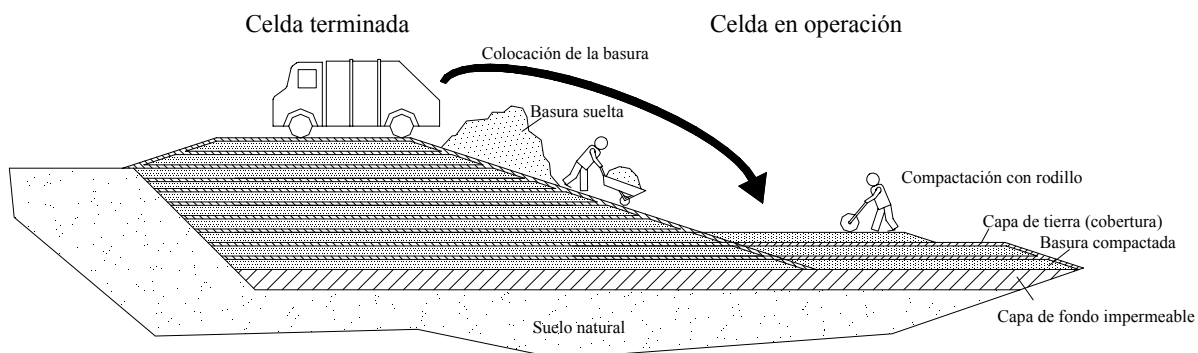
El material de cobertura se puede conseguir del sitio mismo del relleno. Si se hace el relleno manual en forma de trinchera, el material excavado sirve como cobertura diaria y también se puede utilizar como cobertura final. En caso de que se construya el relleno sanitario en el área, hay diferentes posibilidades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

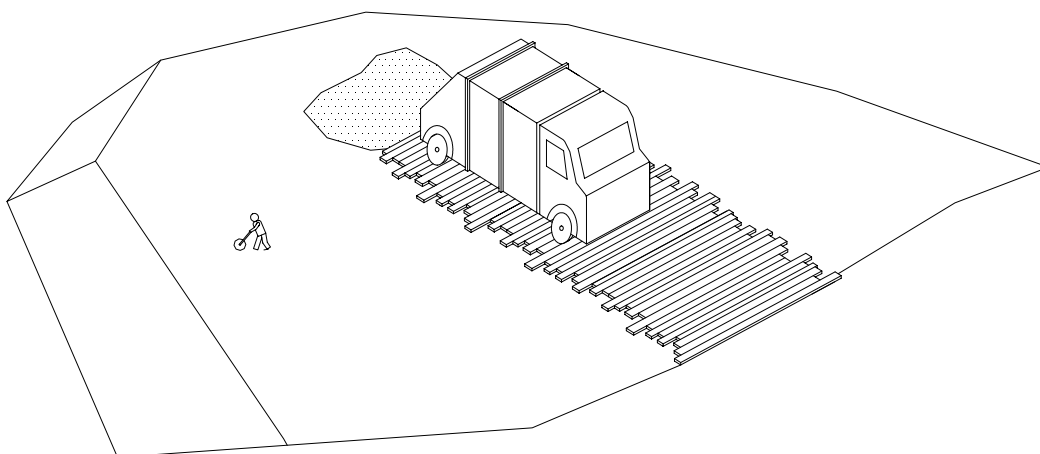
En regiones con mucha precipitación, la excavación o el transporte diario del material de cobertura puede ser problemático, como la tierra se satura de humedad, pesa más y es más pegajosa que en la época seca. Aquí se recomienda almacenar una cantidad suficiente de material de cobertura en el mismo relleno. 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. El Dibujo 38 muestra como se debe hacer la compactación manual de la capa diaria. Para mejorar la compactación de las celdas, se puede también organizar que pasen los vehículos de recolección sobre las celdas. Para eso, ya se debe haber hecho una buena compactación manual anteriormente, y no se debe realizar este trabajo en el periodo lluvioso, puesto que hay peligro que se hundan los vehículos si el terreno es demasiado flojo. El transitar de los vehículos sobre los desechos se puede facilitar poniendo planchas y palos sobre la celda de basura, como se muestra en el Dibujo 39:

Dibujo 38: Transitar de vehículos sobre una celda terminada /27/



Dibujo 39: Colocación de planchas para estabilizar el pasaje del vehículo



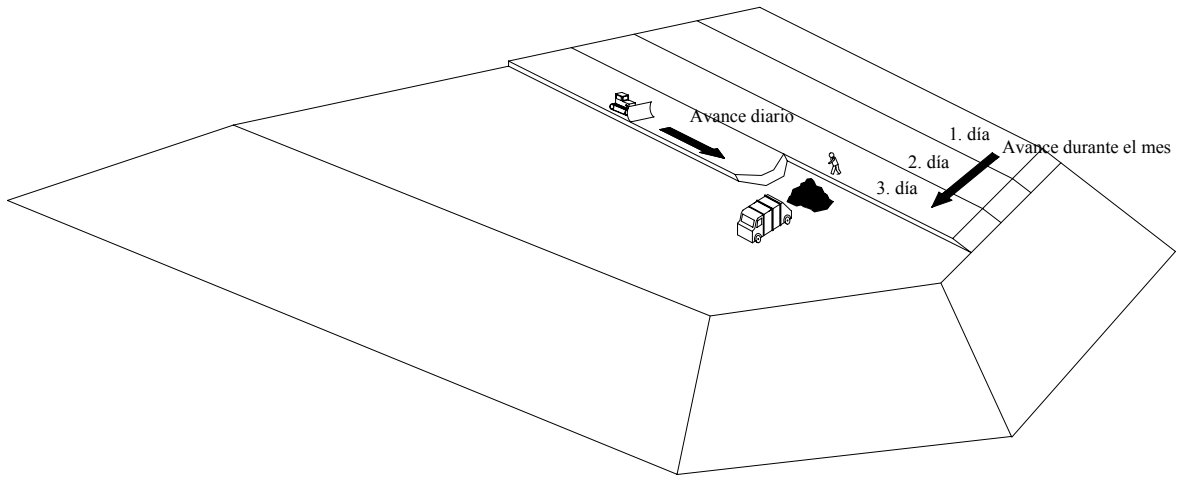
Si el vehículo recolector pasa cada día sobre las celdas terminadas, contribuye con su peso a aumentar considerablemente la densidad de la celda y, por consecuencia, minimizar la cantidad de las aguas lixiviadas.

5.2.3.2. Relleno Sanitario con Compactación Mecanizada

Se pueden aplicar diferentes métodos de descarga y colocación de los desechos sólidos en el relleno sanitario, 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 la franja diaria. Esta precaución minimiza también el trabajo y consecuentemente los costos del tractor compactador (Ver: Dibujo 40)

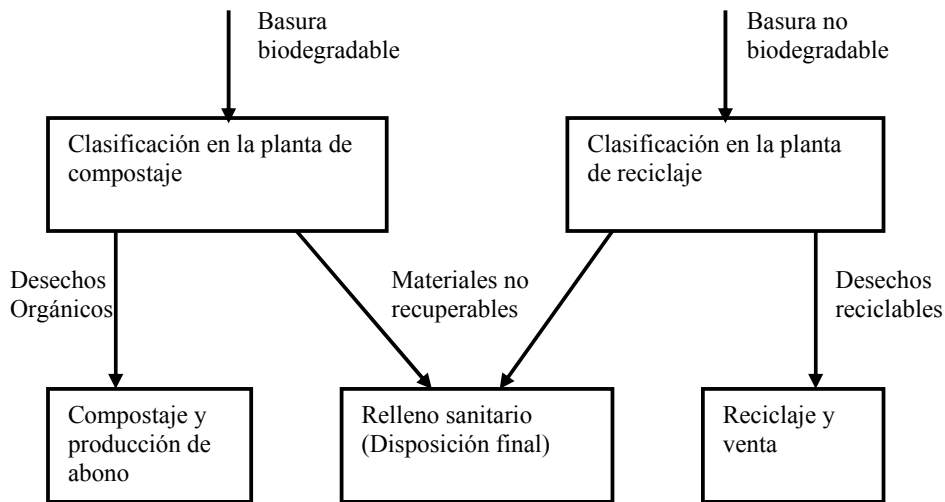
Dibujo 40: Colocación de los desechos de acuerdo a la franja diaria



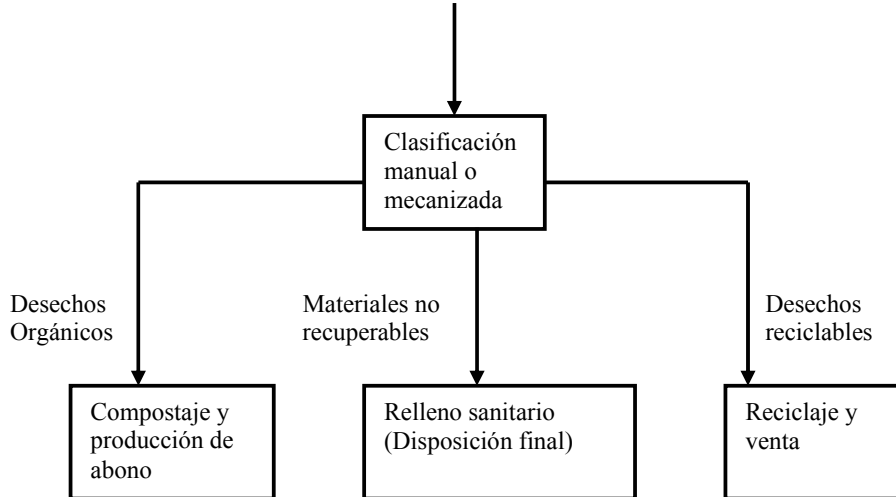
- En rellenos con planta de lombricultura o planta de reciclaje, es importante que los recolectores vayan directamente a estas plantas. Solamente los desechos que no se pueden valorar se mandan al relleno sanitario, además los residuos que sobran del procesamiento de los desechos recuperables (Ver Dibujo 41).

Dibujo 41: Flujo de desechos en una planta integral de manejo de los desechos sólidos

a) Con clasificación domiciliaria

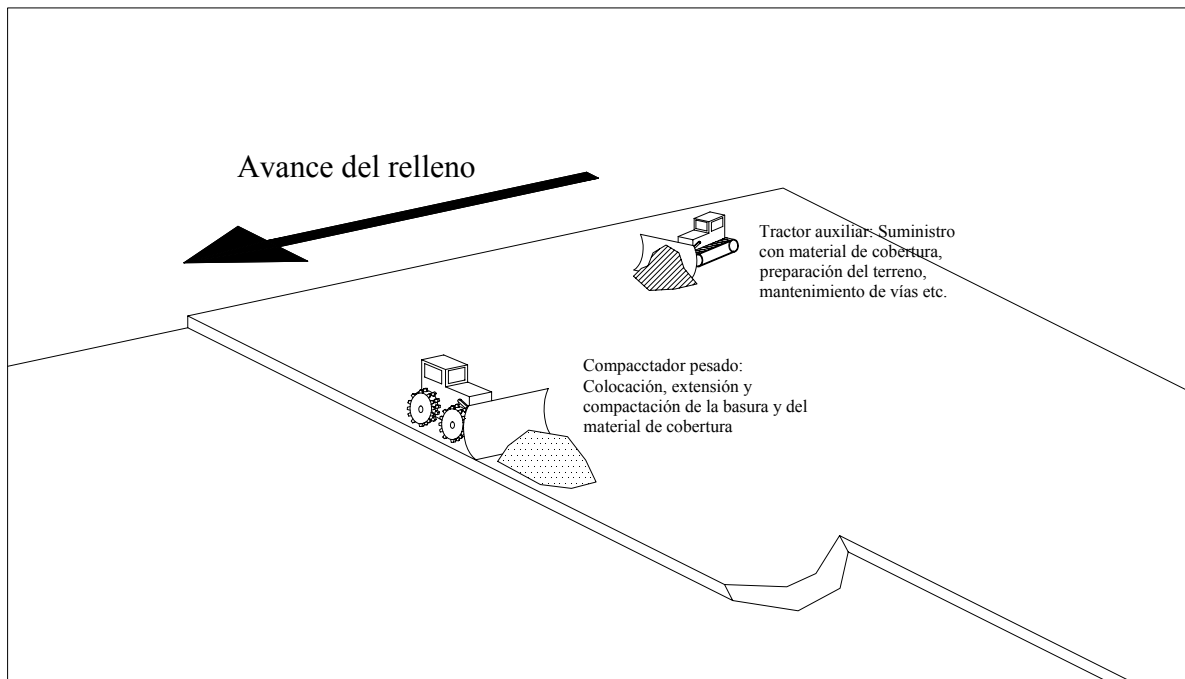


b) Sin clasificación domiciliaria



- Se recomienda utilizar compactadores pesados especiales (31 - 36 t) en rellenos muy grandes y utilizar un segundo tractor liviano para trabajos auxiliares (Ver Dibujo 42).

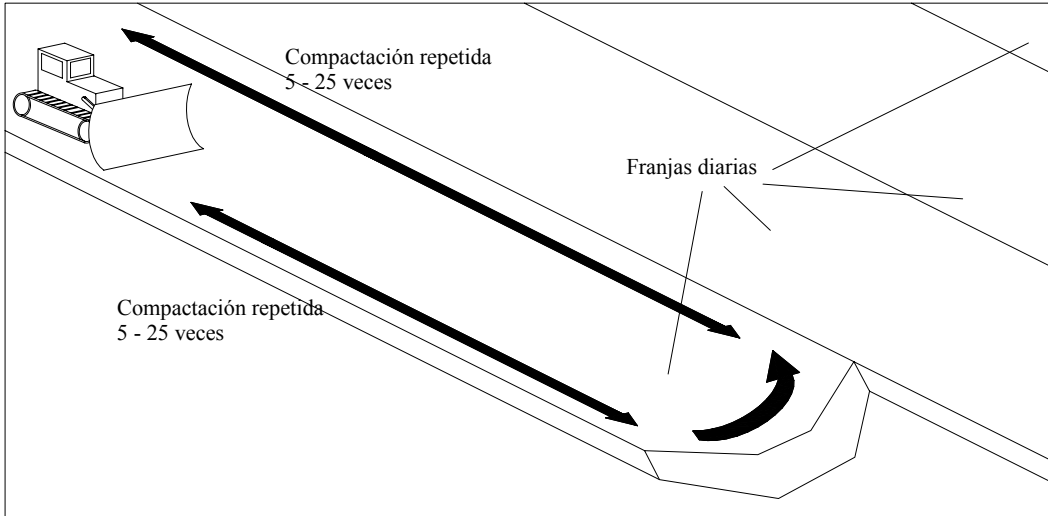
Dibujo 42: Uso de tractores en un relleno muy grande



- 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. Si se pasa 25 veces, la compactación logra una densidad 20 % -30 % mayor a la lograda con 5 pasadas (ver Dibujo 43). Se recomienda pasar 20 veces sobre los desechos. Las experiencias del Municipio de Loja han mostrado que se necesitan 2 - 3 horas para realizar la compactación de 54

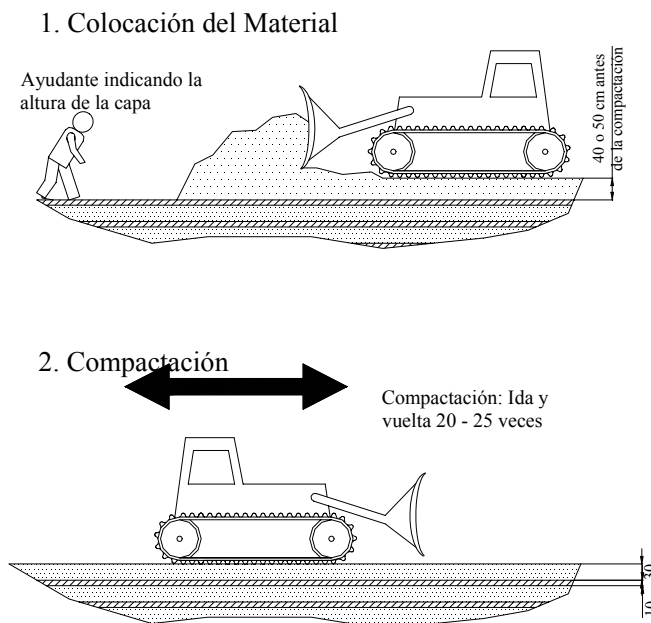
toneladas de basura con 20 pasadas (con un tractor marca Caterpillar D6D). En rellenos más grandes que disponen de mejor equipo, se podrían compactar más desechos en el mismo tiempo.

Dibujo 43: Pasada reiterativa sobre los desechos para compactar



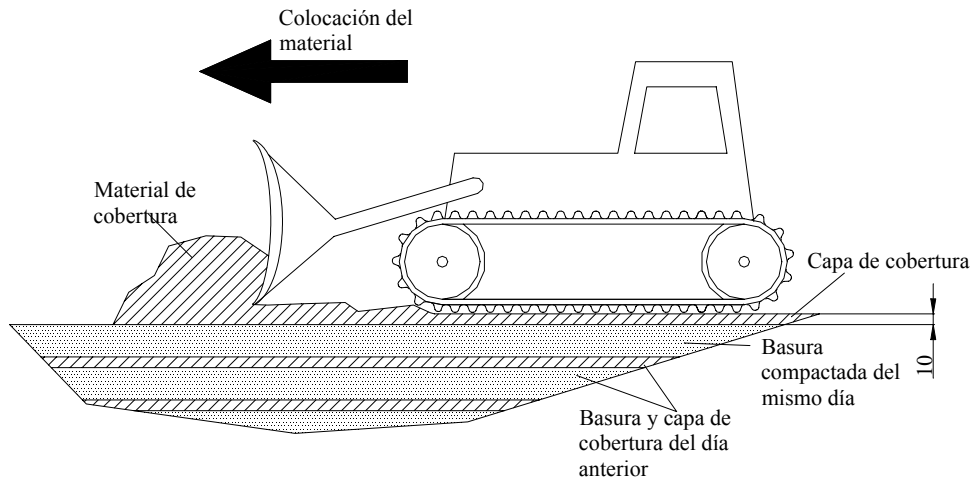
- La mejor compactación (hacia 0.81 t/m^3) se logra si los desechos se colocan en capas delgadas de un espesor de menos de 30 cm (Ver Dibujo 44). El operador del tractor puede determinar el espesor de la capa bajándose para hacer un control visual, o su ayudante puede colocar una estaca con medidas ("blue tock") para visualizar las medidas actuales.

Dibujo 44: Compactación en capas delgadas



- 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 entre 1/4 y 1/3 de la basura enterrada. Si se entierran 50 m³/d de basura, se debe utilizar 13 - 15 m³ de tierra para la cobertura (Ver Dibujo 45)

Dibujo 45: Cubierta diaria con tierra



- Si la capacidad del tractor y la jornada da la posibilidad, es mejor colocar y compactar separadamente los desechos y la capa de cobertura. Sin embargo, muchos municipios disponen de tractores viejos e inadecuados a la tarea de compactación y no pueden hacer todos los trabajos de manera ideal en una o dos jornadas que tienen. En este caso, es también posible entremear los desechos colocados con el material de cobertura y compactarlos en una sola vez. Este método no da tan buenos resultados como la compactación separada pero economiza el tiempo del tractor y, por consecuencia, le permite más pasadas para compactar los desechos.
- Se recomienda dividir el relleno en franjas diarias (Ver Dibujo 40). El área de una franja se calcula considerando la cantidad de basura que se entierra y el espesor de la capa (ejemplo: 30 t/d = 60 m³/d; con un espesor de 0.3 m se debe construir una franja diaria de 200 m²). Es preferible hacer franjas estrechas y largas para minimizar el número de idas y vueltas del tractor (en el ejemplo: 5 m x 40 m o 6 x 33 m).

5.3.2.3. Terminación de una Celda o un Módulo

Cuando se cierra el relleno sanitario o un módulo del relleno, hay que construir una capa final para poder restaurar el terreno. Esta capa final se debe construir como lo descrito en el Cuadro 38:

Cuadro 38: Construcción de la Capa Final /4/, /9/

Estratos necesarios	Material	Necesidad		
		Rellenos medianos o grandes con disposición de desechos biodegradables	Rellenos sin disposición de desechos biodegradables	Rellenos manuales, pequeños o muy pequeños
Capa de drenaje de gas, espesor > 0.5 m	Arena, compost grueso, piedra bola, grava, desechos de madera	Si	No	Si el material está disponible y si es económicamente posible
Capa impermeable espesor 0.4 - 0.6 m	Ver Cuadro 39	Si	Si	Si
Capa de drenaje de aguas de lluvia espesor: 0.5 m	Suelo arenoso, arena, suelo entreverado con piedra o grava	Si	No	No
Capa de humus espesor > 1 m	Suelo natural enriquecido con humus o compost	Si	Si	Si

Cuando se cierra una celda, se debe construir una cubierta final más elaborada que las cubiertas diarias. Se recomienda construir una capa final de 0.40 - 0.60 cm 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 /4/.

El material más apropiado para la construcción de la cubierta final es una tierra arcillosa o limosa (ver Cuadro 39), con el fin de asegurar una impermeabilidad máxima y minimizar la generación de aguas lixiviadas.

Cuadro 39: Suelos ideales para la construcción de la cubierta final de una celda o un módulo del relleno sanitario /33/

Tipo de suelo	Contenido de limo (% peso)	Contenido de arcilla (% peso)
Arena limosa	10 – 40	8 - 17
Arena limosa	10 – 50	0 - 15
Arena arcillosa	0 – 15	5 - 25
Limo arenoso	15 – 80	15 - 45
Limo arenoso	50 – 80	0 - 17

Sin embargo, si no se encuentra este tipo de tierra en el sitio mismo o en un lugar cercano y fácilmente accesible, se recomienda utilizar el material de cobertura que se encuentre en el sitio en vez de hacer gastos demasiado onerosos para encontrar el material ideal.

Si la celda terminada será utilizada posteriormente para otros fines (almacenaje de material de cobertura, compostaje etc.), es muy importante que se compacte bien la capa impermeable de cobertura. En los rellenos manuales se recomienda compactar separadamente con pisón y rodillo las dos capas aplicadas sucesivamente. En los rellenos con compactación mecanizada, se puede compactar con un rodillo, si se dispone, sino, es suficiente la compactación con el tractor que se utiliza para la operación diaria.

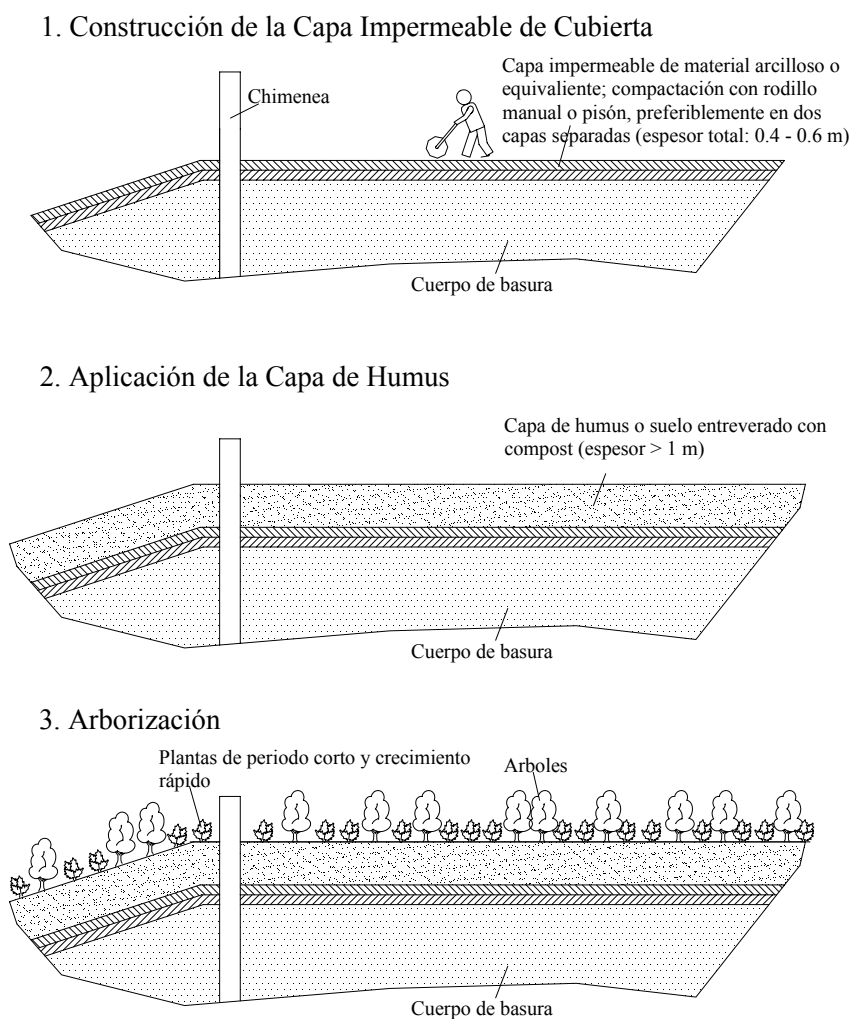
Si no se va a construir otra celda superpuesta a la celda recientemente terminada o no se utilizará esta área para otros fines, es muy importante que se arborice y restaure el terreno. Especialmente en terrenos arcillosos la compactación impide que las plantas echen raíces. No se debe compactar la

capa de humus, y tampoco deben entrar vehículos pesados sobre la celda cerrada (recolectores, tractores, rodillos etc.).

Para la arborización de la celda o del módulo terminado hay que colocar una capa de tierra humus sobre la celda terminada y cubierta con la cobertura final. Si está disponible, se recomienda hacer esta capa con un espesor de al menos 1 m. Sería ideal utilizar el compost producido en una planta de compostaje adyacente, mezclado con el suelo natural del terreno.

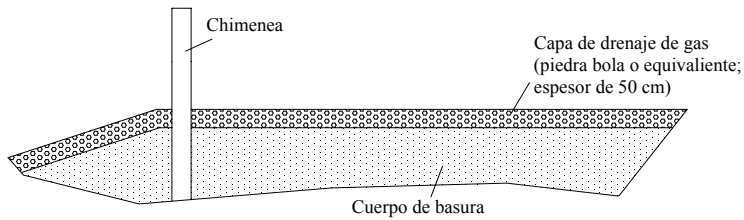
El Dibujo 46 muestra la construcción de la capa final de una celda de un relleno manual; el Dibujo 47 la muestra para un relleno mecanizado.

Dibujo 46: Construcción de la capa final en un relleno manual

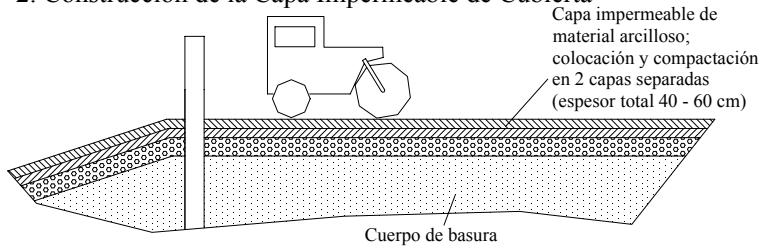


Dibujo 47: Construcción de la capa final en un relleno mecanizado

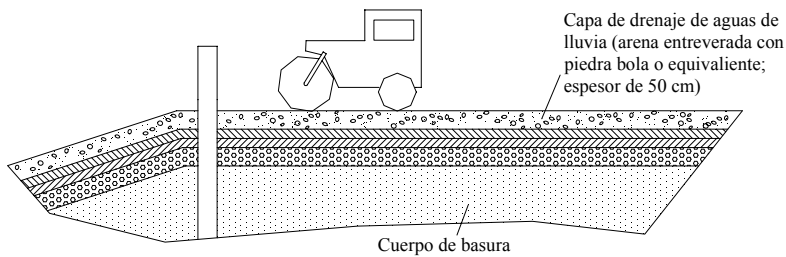
1. Construcción de la Capa de Drenaje de Gas



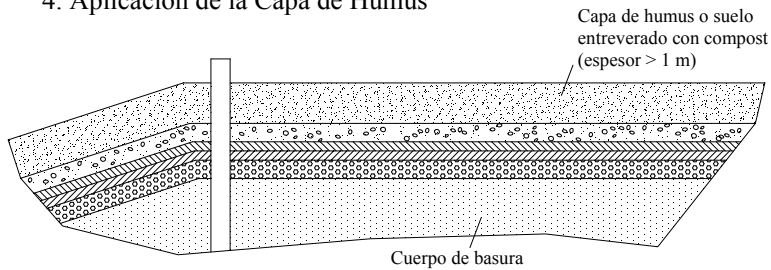
2. Construcción de la Capa Impermeable de Cubierta



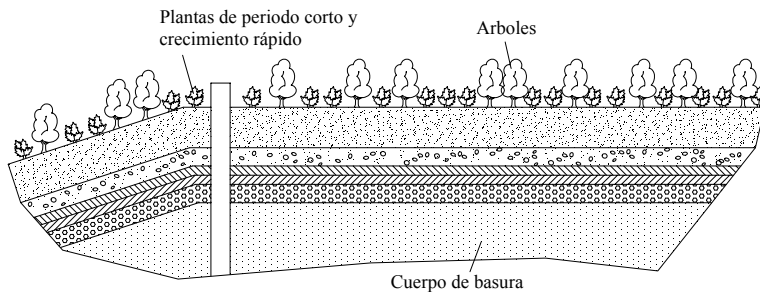
3. Construcción de la Capa de Drenaje de Lluvia



4. Aplicación de la Capa de Humus



5. Arborización



5.2.4. Monitoreo y Control

5.2.4.1. Descarga y Colocación de los Desechos

Durante la descarga de los desechos, hay que hacer un control visual si la naturaleza de los desechos descargados concuerda con la declaración en el registro. Esto es especialmente importante en rellenos donde se reciben diferentes clases de desechos. Prácticas fraudulentas ocurren por ejemplo, si los derechos para la disposición final de los desechos peligrosos son mucho más elevados que los de la descarga de desechos domiciliarios. Se sienten tentados los productores de desechos peligrosos para declararlos como desechos domiciliarios.

Si se descubren desechos dudosos en el área de descarga de los desechos domiciliarios, en la planta de compostaje o de reciclaje, y no es posible determinar con examen visual la naturaleza de estos desechos, es posible mandarles a un laboratorio para hacer el análisis de eluatos. Para este análisis, se utilizan soluciones químicas o agua para extraer los contaminantes contenidos en una prueba de desechos; después se hace el análisis químico del líquido disolvente.

En pequeños rellenos sanitarios donde se descargan solamente desechos domiciliarios, estas precauciones no son necesarias.

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
- 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.

5.2.4.2. Aguas Lixiviadas

En cada relleno es necesario controlar la contaminación de las aguas lixiviadas y el impacto sobre la calidad de las aguas subterráneas y superficiales. El Cuadro 40 da referencias concernientes a los parámetros que se deben supervisar y la frecuencia de los análisis. Es verdad que existen regiones tan áridas que no se producen aguas lixiviadas, y, por consecuencia, no es necesario monitorear la calidad. Se puede considerar como árida una región con menos de 300 mm/año de precipitación.

El control visual no tiene costo alguno. Se puede adquirir un termómetro sencillo; el resto de los análisis se puede realizar visualmente por el guardia del relleno, al que se debería dar una capacitación básica concerniente al tratamiento y monitoreo de las aguas lixiviadas.

El precio del análisis de las aguas lixiviadas antes y después del tratamiento es entre 40 y 60 US\$ por prueba si el análisis se realiza afuera (laboratorio de universidad o laboratorio privado). En rellenos

Cuadro 40: Programa de análisis para las aguas lixiviadas durante la operación y después del cierre del relleno

Frecuencia del análisis	Parámetros para analizar		
Control visual regulario (1 x por semana en rellenos grandes; 1 x por mes en rellenos pequeños)	<ul style="list-style-type: none"> • Aspecto • Olor • Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel del agua en el tanque séptico • Estado de tubería y tanques 	
Control del tratamiento de las aguas lixiviadas (análisis del agua antes y después del tratamiento): Cantidad de aguas lixiviadas (m ³ /día) /27/ < 50: 1 x/año 50 - 200 Todos los 3 meses	<ul style="list-style-type: none"> • DBO₅ • DQO • pH • PO₄-P • Cr_{total} 	<ul style="list-style-type: none"> • Cr⁶⁺ • Pb • Conductividad • Cd 	<ul style="list-style-type: none"> • Fe • F- • Cu • Zn
Rellenos sanitarios muy grandes y rellenos donde se disponen también desechos peligrosos industriales Análisis detallado /7/ Durante la operación y después del cierre: Cada estación lluviosa	<ul style="list-style-type: none"> • Aspecto • Olor • Temperatura • pH • Conductividad • Residuo de evaporación • Pérdida de ignición • Impacto a peces • Hidrocarburos • AOX • TOC • DQO • DBO₅ 	<ul style="list-style-type: none"> • Ammonia • Nitrito • Total N • Sulfato • Sulfito • Clorito • Fósforo • Cianuro • Na • K • Ca • Mn 	<ul style="list-style-type: none"> • Zn • Fe • Mn • Cr total • Ni • Cu • Cd • Hg • Pb • As • B • Hidrocarburos volátiles halogenados (diclorometano, cloroformo, tricloroetano, tricloroetileno)

grandes, podría ser menos costosos hacer el análisis con equipo propio. El análisis detallado cuesta aproximadamente 150 - 250 US\$ (precios del Ecuador, año 2002). Es verdad que esta inversión puede ser demasiado elevada para municipios pequeños y medianos. Se recomienda hacer los análisis no obstante el costo, en los siguientes casos:

- El relleno se encuentra en una zona protegida (Parque Nacional, zona de protección de aguas etc.)
- Las aguas tratadas se vierten en un medio receptor muy susceptible (río con caudal muy bajo, río habitado por especies acuáticas endémicas, ecosistemas acuáticos susceptibles etc.)
- El medio receptor sirve para suministro de agua potable o para riego
- El relleno recibe también desechos peligrosos de procedencia industrial.

5.2.4.3. Aguas Subterráneas

Se recomienda realizar el análisis en tres sitios diferentes, perforando con barreno hasta el nivel de la primera capa freática. Es también posible abrir pozos de supervisión durante la construcción del relleno /7/. Dependiendo del carácter del relleno, se debería realizar este tipo de análisis entre 1 y 4 veces por año durante la operación del relleno y 1 vez por año durante los primeros 5 años después del cierre del relleno.

Existen algunos casos donde no es necesario el análisis de las aguas subterráneas:

- Sitios donde la primera capa freática es muy baja (más de 40 m bajo la capa de fondo del relleno)
- Sitios con una barrera geológica impermeable (ver capítulo 2.4.1.1.)
- Regiones áridas con menos de 300 mm de lluvia anuales
- Rellenos pequeños y muy pequeños donde no se disponen desechos peligrosos de procedencia industrial

Se recomienda hacer el análisis de las aguas subterráneas minuciosamente en las siguientes situaciones:

- Rellenos con un nivel freático muy alto (3 m o menos bajo la capa de fondo del relleno).
- Si existe una captación de agua (para riego o suministro de agua potable) en la misma cuenca del relleno y a nivel más bajo del relleno.
- Rellenos grandes y muy grandes
- Rellenos cerca de barrios donde se suministra el agua por pozos (aquí se pueden tomar las pruebas de los pozos más cercanos, con el fin de bajar los costos)
- Rellenos medianos y grandes con la capa impermeable de fondo mal construida.
- Rellenos construidos en terreno arenoso u otro terreno muy permeable

Normalmente, los parámetros enumerados en el Cuadro 40 para el control del tratamiento del agua serían suficientes. Si se sospecha de una contaminación química seria, se recomienda también hacer el análisis detallado.

5.2.4.4. Aguas Superficiales

Se recomienda realizar un análisis regular de las aguas superficiales (el medio receptor) en los casos enumerados en el Capítulo 5.2.4.2. El Cuadro 41 muestra los parámetros de análisis necesarios.

Cuadro 41: Control de contaminación de las aguas superficiales /7/

Frecuencia del análisis	Parámetros a analizar
1 vez por mes	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal • Aspecto • Olor • pH • Conductividad
1 vez por 6 meses	<ul style="list-style-type: none"> • DQO • DBO₅ • Amonia
Si se observa una contaminación extrema, si hay un accidente en el relleno y otras situaciones extraordinarias	Relleno sin desechos peligrosos industriales: Todo el análisis de control del tratamiento del agua (Cuadro 40) Relleno con disposición de desechos peligrosos industriales: Todo el análisis detallado (Cuadro 40)

5.2.4.5. Gas de Relleno

En rellenos grandes y muy grandes, además en todos los rellenos sanitarios donde se aprovecha la energía del gas de relleno, es muy importante controlar la composición del gas de relleno, con el fin de evitar explosiones.

Se debe interrumpir la succión e incineración del gas de relleno si supera el contenido de oxígeno el 6 % y baja el contenido de metano a menos del 25 %.

5.3. Trabajos y Controles Posteriores al Cierre del Relleno

5.3.1. Equipamiento e Infraestructura

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. En rellenos sanitarios grandes, donde existe un laboratorio para realizar mediciones de las aguas lixiviadas, se recomienda mantenerlo durante los años que se generan aguas lixiviadas.

Existen rellenos sanitarios donde casi no se producen aguas lixiviadas o gases de relleno, ya que se valora todo el material biodegradable. En este tipo de relleno, no se debe mantener ninguna infraestructura por no necesitar cuidados especiales.

5.3.2. Controles Después del Cierre del Relleno Sanitario

Además de los controles y análisis explicados en el Capítulo 5.2.4., se debe realizar los siguientes controles después del cierre del relleno:

- 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 3 primeros años después del cierre del relleno).
- Estado de las plantas 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 asfíxico sobre muchas plantas, tanto en la atmósfera como en el suelo, un sitio con considerable menor densidad de vegetación indica una fuga de gas.

5.3.3. Uso Posterior del Terreno de Relleno Sanitario

Las emisiones del relleno sanitario siguen produciéndose hasta 25 años después de su cierre, dependiendo de la cantidad de material orgánico relleno, de la compactación y de las condiciones climáticas. Generalmente, se puede decir que se terminan las emisiones más rápidamente en regiones calientes y en rellenos pequeños. En este periodo, existe también el peligro de asentamientos, derrumbes y explosiones causadas por el gas metano.

Por esta razón, el área de relleno no se debe utilizar para urbanizaciones o para agricultura durante este periodo. El mejor uso para el terreno de un relleno cerrado es:

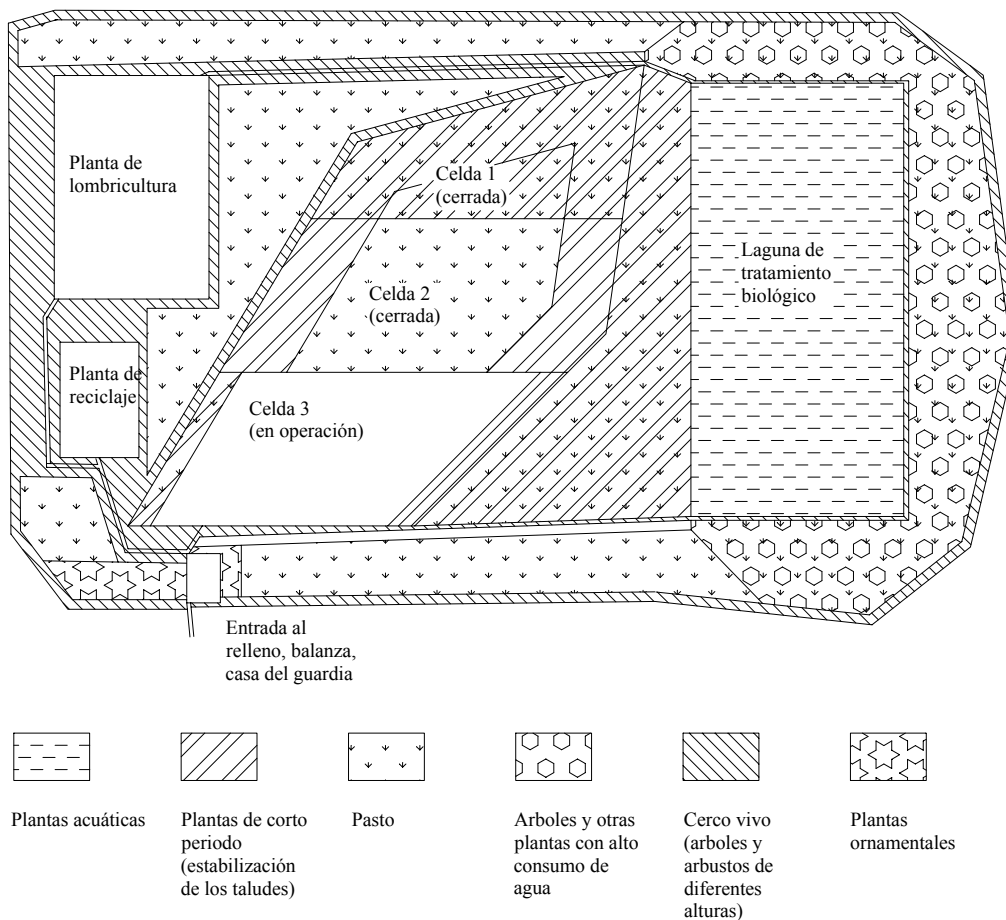
- Área de protección natural (bosque protector, vivero, o área verde sin interferencia humana)
- Uso del terreno para otras actividades de manejo de los desechos sólidos, que no implican la construcción de grandes edificios o máquinas pesadas, como por ejemplo la lombricultura
- Parque, área de deportes (con prohibición de fumar o de hacer parilladas)

6. Arborización

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 Dibujo 48 muestra un ejemplo para un plan de arborización.

Dibujo 48: Ejemplo para un plan de arborización



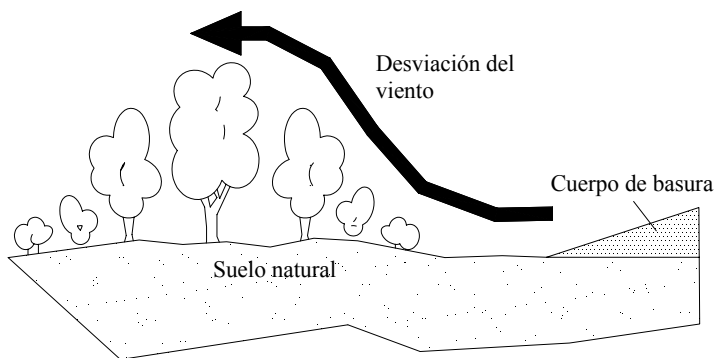
El Cuadro 42 da unas indicaciones del tipo de plantas que se necesitarían sembrar en un relleno sanitario.

Cuadro 42: Arborización del relleno (sierra)

Lugar	Tipo de planta	Objetivos
Alrededor del galpón de reciclaje (Bosquecito entre dicho galpón y la entrada)	Eucalipto, Cedro, pino	- Aliviar la carga de viento al galpón - Producción de olores agradables - Mejoramiento del aspecto visual o paisajístico
Alrededor de la casa del guardia	Eucalipto, cedro, pino, Flor de Panamá, floripondio	- Cerco vivo que separa la vivienda del guardia y su jardín del relleno y que ya será grande cuando la construcción del cuerpo de basura avanza - Protección de malos olores, moscos, polvo y objetos livianos traídos por el viento - Mejoramiento del aspecto visual
Alrededor de la celda de basura biopeli-grosa	Eucalipto, cedro, pino	- Absorción de aguas lixiviadas escurridas por los taludes - Separación del camino de acceso de la celda - Producción de olores agradables - Mejoramiento del aspecto visual
Alrededor del cuerpo de basura del relleno	Eucalipto, cedro, pino	- Drenaje de aguas lixiviadas escurridas por los taludes - Estabilización de los taludes - Protección de malos olores, moscos, polvo y objetos livianos traídos por el viento - Mejoramiento del aspecto visual
Alrededor de la planta de lombricul-tura	Eucalipto, cedro, pino	- Drenaje de aguas lixiviadas escurridas por los taludes - Protección de malos olores, moscos, polvo y objetos livianos traídos por el viento - Mejoramiento del aspecto visual
En los taludes del relleno	Zambo, Eucalipto, Bugambilla	- Drenaje de aguas lixiviadas del talud - Depuración biológica de emisiones gaseosas - Estabilización de los taludes - Mejoramiento del aspecto visual
Dentro de la laguna de tratamiento de las aguas lixiviadas	Aliso, totora, carrizo	- Depuración de las aguas lixiviadas (adelantar el proceso de oxidación aeróbica) - Absorción de las aguas lixiviadas - Estabilización del fondo de la laguna - Protección del suelo
Alrededor de la laguna de tratamiento	Eucalipto, zambo	- Drenaje de aguas lixiviadas infiltradas al suelo - Estabilización del suelo - Protección de malos olores y moscas - Mejoramiento del aspecto visual

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. El Dibujo 49 muestra las ventajas de un cerco vivo.

Dibujo 49: Desviación del viento por un cerco vivo



En muchos casos, crecen plantas naturalmente en los taludes que se han producido de los mismos desechos o que han proliferado en los alrededores. Es recomendable no intervenir con esta arborización natural, pues se trata generalmente de plantas locales, adaptadas y que ya muestran una buena resistencia a las emisiones del relleno sanitario. El Cuadro 43 da ejemplos de las plantas que crecen naturalmente en los rellenos sanitarios de Loja (Sierra) y Macas (Oriente).

Cuadro 43: Arborización natural en los rellenos sanitarios de Loja y Macas

Relleno sanitario de Loja		Relleno sanitario de Macas ⁵	
Tipo de planta	Lugar de observación	Tipo de planta	Lugar de observación
Palitaria (<i>Chenopodium album</i>)	Cuerpo de basura, taludes del mismo	Sangurache	Cuerpo de basura
Higuerilla (<i>Ricinus communis</i>)		Verbena	
Chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)		Zapallo	
Zambo (<i>Cucurbita ficifolia</i>)		Frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	
Sangorache (<i>Amaranthus cruentus</i>)		Maíz (<i>Zea Mais</i>)	
Pullaco (<i>Heliopsis canescens</i>)		Papa china (<i>Colacosia esculenta</i>)	
Guanoco blanco (<i>Brugmansia candida</i>)		Camote (<i>Axonopus scoparius</i>)	
Tábaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)		Arveja (<i>Pisum sativum</i>)	
Chilco (<i>Baccharis latifolia</i>)		Gramma	
Monte de gallinazo (<i>Cycopersicon hirsutum</i>)		Papaya (<i>Curico papaya</i>)	
Chilco (<i>Baccharis latifolia</i>)		Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	
Zambo (<i>Cucurbita ficifolia</i>)		Tomate silvestre	
Camortillo (<i>Ipomoea tricolor</i>)		Guarumo (<i>Garcias standi</i>)	
Sangorache (<i>Amaranthus cruentus</i>)	Romerillos (<i>Cornutia nigra cortycina</i>)		
Tarapo (<i>Austrocupatorium inulaefolium</i>)	Balza (<i>Oeroma pyramidale</i>)		
Zig-zig (<i>Loitaderia jubata</i>)	Hortiga		
Zambo (<i>Cucurbita ficifolia</i>)	Cunetas de drenaje	Chilca (<i>Veronica baccharoides</i>)	Cunetas de drenaje
Chilco (<i>Baccharis latifolia</i>)		Romerillos (<i>Cornutia nigra cortycina</i>)	
Chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)		Hortiga	
	Chimeneas	Naranjilla silvestre	Alrededores del cuerpo de basura
		Guarumo (<i>Garcias standi</i>)	
		Chilca (<i>Veronica baccharoides</i>)	
	Alrededores del cuerpo de basura	Boya	

⁵ Elaborado por: Jaime Garces, German Vargas (CREA Macas)

7. Factores de Costo Concerniente al Relleno Sanitario

No podemos dar informaciones exactas de los costos que tiene la construcción, la operación, el cierre y el mantenimiento posterior del relleno sanitario, por ser diferentes las condiciones locales que determinan estos costos y los estándares de cada municipio. Sin embargo, cada municipio debe considerar muy bien sus condiciones económicas y sus aspiraciones de protección ambiental, para poder decidir qué tipo de relleno sanitario puede, quiere y debe construir. Para eso, se debe realizar un estudio de factibilidad, evaluando diferentes tipos de relleno sanitario, de tratamiento de gas o de aguas lixiviadas, para de decidir qué tecnología sería la más apropiada para el municipio en cuestión.

El Cuadro 44 da un resumen de los factores de costo que se deben considerar en la planificación y el diseño de un relleno sanitario.

Cuadro 44: Costos de un relleno sanitario

Tema	Inversiones Iniciales	Operación	Cierre del Relleno
Diseño e Ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de infraestructura • Diseño del relleno • Análisis del suelo, perforaciones • Estudio del impacto ambiental • Estudios geológicos e hidrogeológicos 	Control topográfico En caso de necesidad: <ul style="list-style-type: none"> • Revisión y adaptación del proyecto según nuevos estándares o necesidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto de arborización y de paisaje • Control topográfico
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición del terreno • Conexión vial, luz, electricidad • Construcción de edificios 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento y reparación de vías • Mantenimiento y reparación de edificios 	<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de edificios y vías dentro del área de arborización
Preparación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Excavaciones • Construcción del suelo impermeable 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción del suelo impermeable para nuevos módulos • Control de asentamientos y caídas 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de asentamientos y derrumbes
Equipamiento y vehículos	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza • Tractor compactador, tractores auxiliares • Herramientas 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento y reparación de los vehículos • Gasolina y lubricantes • Repuestos • Si necesario, repotenciación o compra de nuevo vehículo 	-
Mediciones y análisis	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de laboratorio • Compra de equipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales químicos (reactivos) • Agua, electricidad etc. • Mantenimiento, reparación y repuestos • Análisis en laboratorios externos 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales químicos (reactivos) • Agua, electricidad etc. • Mantenimiento, reparación y repuestos • Análisis en laboratorios externos
Drenaje de las aguas superficiales y aguas lixiviadas	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de canales de drenaje • Construcción de cunetas 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de canales y cunetas de drenaje • Control del drenaje • Mantenimiento y limpieza de las cunetas 	<ul style="list-style-type: none"> • Control del drenaje • Mantenimiento y limpieza de las cunetas
Tratamiento de las aguas lixiviadas	Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Arborización • Mantenimiento • Análisis de las aguas tratadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento • Análisis de las aguas tratadas

Cuadro 44: Costos de un relleno sanitario - continuación

Tema	Inversiones Iniciales	Operación	Cierre del Relleno
Drenaje de los gases de relleno		<ul style="list-style-type: none"> • Construcción consecutiva de chimeneas • Construcción de capuchos para incineración en sitio • Control de fugas de gas • Análisis del gas de relleno (contenido de metano y oxígeno) 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de fugas de gas • Análisis del gas de relleno (contenido de metano y oxígeno)
Incineración de los gases con valoración de la energía térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Tubería • Construcción e infraestructura • Conexión a la red eléctrica • Compra de antorcha • Compra de la unidad de transformación 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales de uso • Repuestos, reparaciones, mantenimiento • Análisis del gas 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales de uso • Repuestos, reparaciones, mantenimiento • Análisis del gas
Monitoreo ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Perforación de pozos para monitoreo de las aguas subterráneas 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de las aguas subterráneas y superficiales • Monitoreo del medio ambiente alrededor (vegetación, fauna) 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de las aguas subterráneas y superficiales • Monitoreo del medio ambiente alrededor (vegetación, fauna)
Cobertura de los desechos	-	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura diaria • Preparación de la capa final para los celdas o módulos cerrados 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la capa final para los últimos módulos/celdas • Control de fisuras, asentamientos, caídas o erosión en la capa final
Arborización	<ul style="list-style-type: none"> • Arborización alrededor del terreno, al lado de las vías, alrededor de la casa del guardia y de sub-unidades (lombricultura etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de las plantaciones • Arborización de celdas o módulos terminados • Siembra de plantas acuáticas en la laguna de tratamiento • Siembra de plantas en los taludes del cuerpo de basura 	<ul style="list-style-type: none"> • Arborización final • Mantenimiento y control del estado de las plantas
Costos de personal	<ul style="list-style-type: none"> • Control y supervisión de la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • Personal técnico (ingeniero del relleno; en rellenos grandes también técnicos para unidades auxiliares) • Guardia • Trabajadores • Operador de maquinaria pesada • Personal auxiliar para apoyo puntual • Costos de oficina • Luz, agua etc. para personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Personal técnico para monitoreo y control • Trabajadores para mantenimiento de la planta de tratamiento de agua, cunetas, chimeneas etc.

8. Literatura

- /1/ Análisis de los desechos sólidos
Municipio de Loja, Municipio de Quito, AME
Loja, 1995
- /2/ Ilustre Municipio de Cotacachi
Banco del Estado
Proyecto de Fortalecimiento Municipal
BdE - GTZ
Estudios y Diseños del Sistema de Disposición Final del Proyecto de Manejo de los Desechos Sólidos Para la Ciudad de Cotacachi - Provincia de Imbabura
Ing. Francisco Cevallos Oral
Quito, 1996

- /3/ Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz von Fahrzeugen zur Abfuhr von festen Abfällen (Aspectos económicos del uso de vehículos para el transporte de desechos sólidos)
 □ial.-Ing. Wolfgang Würz
 Erich Schmidt- Verlag
 Berlin, 1998
- /4/ Residuos Sólidos Municipales
 Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales
 Jorge Jaramillo/ Francisco Zepeda
 Organización Panamericana de Salud – Organización Mundial de Salud
 Washington D.C., 1991
- /5/ Düşük ve Yüksek Bütçeli Belediyeler için Katı Atık Depolama □ial□ □ial□ard Olarak Planlanması ve Tasarımı (Diseño y Planificación de un Relleno Sanitario Estándar para Municipios con Presupuestos Bajos o Elevados)
 Dipl.-Ing. Eva Röben
 Programa de Fortalecimiento Institucional para Aplicación de una Estrategia de Gerencia de los Desechos Sólidos
 Banco Mundial – Ministerio del Medio Ambiente de la República de Turquía
 Istanbul, 1999
- /6/ Manual para el Manejo de los Residuos Sólidos en Medianos y Pequeños Municipios
 Boroshilov Castro
 USAID – Corporación OIKOS
 Quito, 2000
- /7/ Oktay Tabasaran
 Abfallwirtschaft – Abfalltechnik
 Siedlungsabfälle
 Ernst & Sohn Verlag
 Berlin 1994
- /8/ Geologisch- geotechnische und hydrogeologische Voraussetzungen für die Standortfindung von Abfalldeponien (Condiciones geológicas, geotécnicas y hidrogeológicas para determinar el sitio de un relleno sanitario)
 Prof. Dr. Hansjörg Oelzschner
 Erich Schmidt- Verlag
 Berlin, 1991
- /9/ Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz
 Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Guía técnica para la valoración, el tratamiento y la disposición final de los desechos domésticos)
 TA Siedlungsabfall
 1993
 (Banz. S. 4967 und Beilage)
- /10/ Ordenanza 7597
 Procesamiento y Disposición Final de Residuos
 Argentina, 1998
- /11/ Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien (Ordenanza de la Unión Europea sobre Rellenos Sanitarios)
 (Abl. Nr. L 182 vom 16.7. 1999 S. 1)
- /12/ LAGA-Merkblatt M3
 Die geordnete Lagerung von Abfällen
 (La Disposición Final Ordenada de Desechos Sólidos)
 Alemania, 1989

- /13/ DIN 19667
Dränung von Deponien
Technische Regeln für Bemessungen, Bauausführungen und Betrieb
(Drenaje de Rellenos Sanitarios; Reglas Técnicas para Dimensionamiento, Construcción y Operación)
Deutsches Institut für Normung
Beuth Verlag
Berlin 1988
- /14/ Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos
Dr.-Ing. Hans-Jürgen Ehrig
Proyecto CEPIS/ GTZ
Costa Rica, 1992
- /15/ George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel A. Vigil
Gestión Integral de Residuos Sólidos
McGraw-Hill/ Interamericana de España
México, 1998
- /16/ Liliana Borzacconi, Iván López, Estebán Arcia, Luis Cardelino, Alvaro Castagno, María Viñas
Comparación de Tratamientos Aerobios y Anaerobios Aplicados a Lixiviado de Relleno Sanitario
Universidad de la República, Facultad de Ingeniería
Montevideo, Uruguay, 2001
- /17/ República del Ecuador
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Subsecretaría de Saneamiento Ambiental
IEOS (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias)
Normas Para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes
Agosto 1993
- /18/ Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Ordenanza sobre la Contaminación del Agua)
4 Eylül 1988 tarihli ve 19919 nolu Resmî Gazete
Ankara, 1988
- /19/ Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (Ordenanza relacionada al uso y consumo de las aguas y a toda clase de emisiones de plantas clasificadas y sometidas a la autorización)
Journal Officiel. Numéro 52 du 3 Mars 1998, Francia
- /20/ República de Colombia
Ministerio de Desarrollo Económico
Resolución –no. 1096 de 17 de Noviembre de 2000
Por la Cual se Adopta el Reglamiento Técnico Para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
- /21/ Sickerwasserreinigung (Tratamiento de las Aguas Lixiviadas)
Dipl.-Ing. H. Albers, Dr.-Ing. H.-J. Ehrig, Dr.-Ing. A. Mennerich
Müllhandbuch
Erich-Schmidt Verlag
Berlin, 1991
- /22/ Kemer
Düzenli Depolama Sahası
ÇED Raporu (Estudio del Impacto Ambiental del Relleno Sanitario Planificado en el Sitio de Çeşi Tepesi, Kemer)
Rust-R&R
İstanbul, 1995

- /23/ Geruchsstoffemissionen bei der Ablagerung von Abfällen (Emisiones Olfatorias Debidos a la Disposición Final de los Desechos Sólidos)
Prof. ial.-Ing. G. Rettenberger, ial.-Ing. C. Raschke
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1992
- /24/ Beispiel für die UVP bei der Deponieplanung (Ejemplo del Estudio de Impacto Ambiental Durante la Planificación del Relleno Sanitario)
Prof. Dr. G. Rettenberger, ial.-Ing. S. Urban-Kiss
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 2000
- /25/ Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen (Fundamentos Para la Planificación del Equipamiento de Drenaje de Gases de Relleno)
Prof. Dr. Ing. Oktay Tabasaran, ial.-Ing. Gerhard Rettenberger
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1987
- /26/ Entwicklung eines Gasnutzungskonzepts unter Einbeziehung des Sickerwasserpades für die Zentraldeponie des Kreises Helmstedt (Diseño de un Concepto para el Uso del Gas Producido en el Relleno Sanitario del Cantón Helmstedt, Alemania)
Diplomarbeit
ial.-Ing. ialr Tallner
1993
- /27/ Informe Concerniente a la Gestión de Desechos Sólidos en Cotacachi
DED – Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica
Loja, 2000
- /28/ Manejo de Desechos Sólidos en Gualaquiza
Informaciones y Recomendaciones
DED – Servicio Alemán de Cooperación Social- Técnica
Loja, 2000
- /29/ Ilustre Municipalidad de Loja
Proyecto del Relleno Sanitario (Planes)
Loja, 2000
- /30/ Personelle und maschinelle Ausstattung einer Großdeponie (Equipo y Personal en un Relleno Sanitario Grande)
Hans Nolte, Franz-W. Dohle, Günter Kleine
Müllhandbuch
Erich Schmidt Verlag
Berlin, 1981
- /31/ Proyecto de Gerencia Integral de los Desechos Sólidos
Ilustre Municipalidad de Loja
Loja, 2000
- /32/ Meßtechnik, Meßgeräte und Laborausstattung (Tecnología de Medición, Equipamiento y Laboratorio)
ial.-Chem. Dr. Rer. Nat. Rolf-Armin Laber
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin 1982

- /33/ Rekultivierungsanleitung (Guía de Renaturación)
Dr.-Ing. Uwe Neumann
Müllhandbuch
Erich Schmidt- Verlag
Berlin, 1981
- /34/ Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz
Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)
(Primera Ordenanza Administrativa Relacionada a la Ley Federal Para la Protección Contra las Imisiones; Guía Técnico Para Mantener Limpia el Aire)
Bonn, Alemania, 1986

Apéndice 1

DEFINICIONES /5/, /20/

Basura	Todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico o inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud
Compactación	Proceso por unidad normalmente utilizado para incrementar el peso específico (densidad en unidades métricas) de materiales residuales para que puedan ser almacenados y transportados más eficazmente
Concentración	Denomínase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene
Cuerpo de basura	Volumen constituido por la basura rellena (celdas, módulos o colina artificial, dependiendo del tipo de relleno)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificadas (generalmente 5 días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua usada
Desechos	Ver basura
Desechos domésticos o domiciliarios	Desechos que se producen en domicilios
Difusión	Movimientos de gases o líquidos causados por diferencias de presión o concentración (presión parcial)
Dirección de extrusión	Dirección de salida de la laminilla de la máquina durante el proceso de producción
Disposición final	Proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, disponiéndolos en lugares especialmente diseñados para recibirlos y eliminarlos, obviando su contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales biodegradables, de modo que no presenten daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.
Drenaje	Estructura destinada a la evacuación de aguas o gases subterráneos o superficiales para evitar daños a las estructuras, los terrenos o las excavaciones.
Drenaje activo	Drenaje de los gases de relleno con presión negativa (succión)
Drenaje pasivo	Difusión controlada de los gases de relleno afuera del cuerpo de basura (mediante chimeneas)
Eluat	Líquido producido por extracción de los contaminantes de la basura. Ese proceso se realiza para analizar el contenido de contaminantes de una prueba de basura.
Emisión	Aquí: Emisión de un contaminante al medio receptor
Extracción	Traslado de algunos compuestos de la fase sólida a la fase líquida, mediante absorción
Filtro biológico	Un filtro constituido de compost, tierra u otros materiales orgánicos. En ese filtro, los contaminantes contenidos en gas o líquido se descomponen con ayuda de micro-organismos.
Franja diaria	Area definida donde se esparcen y compactan los residuos durante el día para cubrirlos al final del mismo
Gas de relleno	El gas que se produce en un relleno sanitario (o botadero) como producto de la degradación biológica de los desechos orgánicos.
Imisión	Contaminación recibida por el medio receptor
Laguna aerobia	Laguna de poca profundidad que mantiene oxígeno disuelto en todo el tirante de agua
Laguna aireada	Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suplente el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido.
Laguna anaerobia	Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto, con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)

Laguna de estabilización	Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad y periodos de retención considerable. En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural.
Laguna facultativa	Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.
Lixiviado	Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas y como resultado de la percolación de aguas a través de los residuos en proceso de degradación.
Mantenimiento	Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.
Materia lipófila	Materia soluble en aceite o grasa
Medio receptor	Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final
Monitoreo	Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas en un sitio y periodo determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control
Nivel freático	Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno
Permeabilidad	Propiedad que tiene un cuerpo de permitir el paso de un fluido a través de él
Reciclaje	Procesos mediante los cuales se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia secundaria para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje consta de varias etapas: Procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación acopio, reutilización, transformación y comercialización
Recolección	Acción y efecto de retirar y recoger las basuras y residuos sólidos de uno o varios generadores, efectuada por su generador o por la entidad prestadora del servicio público
Relleno sanitario	Lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, cobertura final.
Residuo sólido	Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido, que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en recuperables y no recuperables.
Sufusión	Escurrimiento de las partículas finas del suelo, causado por solución en un líquido
Tratamiento biológico	Procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Apéndice 2: Guía para utilizar el Cuadro 4 (Selección del sitio para un relleno sanitario)

A) Explicaciones Necesarias Para la Aplicación del Esquema de Selección de un Relleno Sanitario

1. Puede parecer fastidiosa y costosa la aplicación de esta metodología en el proceso de selección de un sitio para un relleno sanitario. Pero no se debe olvidar que sería mucho más costoso adecuar un sitio poco apto a las normas de seguridad y de protección del medio ambiente, tener altos costos operativos por causa de no haber considerado todos los factores decisivos o tener que remediar a daños y accidentes producidos en un lugar poco apropiado. Por eso, se recomienda en todo caso realizar una selección meticulosa y cuidadosa del sitio, incluyendo los exámenes necesarios del suelo.
2. Durante la selección del sitio, se debe evaluar la cantidad máxima de alternativas, para poder seleccionar la mayor alternativa posible.
3. Se recomienda aplicar los criterios de evaluación con 3 o 4 personas con diferente formación, porque existe un cierto margen de subjetividad para la mayoría de los criterios. Después se podría tomar el promedio aritmético de los valores obtenidos para cada criterio.
4. No existen valores fijos para cada situación. En muchos casos intermedios, hay que extrapolar según la situación actual y acordar un valor aproximado (por ejemplo, criterio 1.1.1., en el caso de un municipio con 75 000 habitantes y un posible sitio que tiene 7 hectáreas de superficie)
5. Cuando se acuerda el valor 0 para un criterio, significa que el sitio en cuestión no tiene ninguna aptitud para la construcción del relleno considerando este criterio. En muchos casos, eso se puede remediar invirtiendo más dinero, o se trata de un criterio de menor importancia. Sin embargo, hay algunos criterios excluyentes. Si el sitio tiene esta característica, no se debe utilizar en ningún caso como relleno sanitario. Este siempre es el caso si se trata de riesgos altos y inevitables, sea para la salud o vida de personas o para el medio ambiente. Para resaltar los criterios excluyentes, son escritos en *caracteres negrillos y cursivos*.
6. En muchos casos, los valores acordados son diferentes para rellenos manuales y rellenos equipados con maquinaria compactadora. La razón de eso es que algunos criterios no son aplicables para los rellenos manuales, o tienen más o menos importancia que para los rellenos grandes mecanizados. Ese peso diferente influye también los valores acordados para otros criterios, ya que la suma de todos valores debe ser 100 al fin de obtener una mejor comparabilidad.
7. Si hay varios criterios posibles enumerados para acordar el valor 0. Bastará únicamente uno de ellos para adoptar el valor 0 al sitio en cuestión (ejemplo criterio 2.1.3.: Se acuerda el valor 0 al sitio en cuestión si se encuentra en una cuenca de agua utilizada para fines recreacionales, no importa si la próxima zona recreacional está a más o menos de 500 m).
8. El sitio con la suma de valores más alta es el más apropiado para la construcción de un relleno sanitario. Independientemente de la comparación entre los diferentes sitios de relleno, se puede hacer una evaluación general de la aptitud del sitio:

Suma de valores acordado a un sitio en cuestión	Aptitud como relleno sanitario
70 - 100	Excelente
50 - 70	Buena
30 - 50	Mala
20 - 30	Muy mala
< 20	No se debe considerar como sitio de relleno
Aplica uno o más de los criterios excluyentes	

B) Aplicación de los Criterios de Evaluación del Sitio de Relleno

1. Generales

Dimensión del Terreno

1.1.1. Superficie Disponible Para Rellenar

La superficie disponible para rellenar determina la vida útil del relleno sanitario. En los rellenos compactados, la superficie es solamente uno de los factores determinantes; además son decisivos la morfología del terreno y el volumen disponible que depende de la topografía. Para eso, el criterio de superficie tiene más peso para los rellenos manuales.

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.

Superficie disponible para rellenar	Relleno grande o mediano con equipo mecánico		Relleno manual	
	Superficie (ha)	Valor acordado	Superficie (ha)	Valor acordado
Situación óptima	Población > 200 000: 20 ha y más Población > 50 000: 10 ha y más Población < 50 000: 5 ha y más	2,4	Población > 20 000: 8 ha y más Población 5000 - 20000: 5 ha y más Población < 5000: 3 ha y más	4,3
Situación mediana	Población > 200 000: 8 - 20 ha Población > 50 000: 4 - 10 ha Población < 50 000: 2 - 5 ha	0,5 - 2,0	Población > 20 000: 4 - 8 ha Población 5000 - 20000: 2 - 5 ha Población < 5000: 1 - 3 ha	1 - 4,0
Situación mala	Población > 200 000: < 8 ha Población > 50 000: < 4 ha Población < 50 000: < 2 ha	0	Población > 20 000: < 4 ha Población 5000 - 20000: < 2 ha Población < 5000: < 1 ha	0

1.1.2. Superficie Disponible Para la Construcción de Plantas Auxiliares

Este criterio es sumamente importante para la protección del medio ambiente, la extensión de la vida útil del relleno y la creación de fuentes de empleo para personas indigentes de la comunidad.

Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares (lombricultura, reciclaje)	Relleno grande o mediano con equipo mecánico		Relleno manual	
	Valor acordado		Valor acordado	
> 40 % del área para rellenar	2,2		2,4	
20 - 40 % del área para rellenar	0,3 - 2,0		0,4 - 2,0	
< 20 % del área para rellenar	0		0	

1.1.3. Superficie Disponible Para Laguna de Tratamiento

La pluviosidad y el clima son los factores determinantes para la superficie necesaria de una laguna de tratamiento. Salvo en los climas áridos, la construcción de una laguna u otro tratamiento equivalente serán imprescindibles para la protección del medio ambiente. Como la laguna necesita incluso más espacio que el relleno mismo, si se intenta tratar bien el agua, ese criterio es uno de los más importantes.

Superficie disponible para construcción de una laguna de tratamiento biológico de las aguas lixiviadas		Relleno grande o mediano con equipo mecánico		Relleno manual	
		Superficie (% del terreno utilizado para rellenar)	Valor acordado	Superficie (% del terreno utilizado para rellenar)	Valor acordado
Situación óptima	Alta pluviosidad (> 1800 mm/año)	150 o más	2,9	200 o más	3,2
	Mediana pluviosidad (1000 - 1800 mm/año)	100 o más		150 o más	
	Baja pluviosidad (< 1000 mm/año)	50 o más		100 o más	
Situación mediana	Alta pluviosidad (> 1800 mm/año)	100 - 150	0,5 - 2,5	150 - 200	0,7 - 3,0
	Mediana pluviosidad (1000 - 1800 mm/año)	75 - 100		100 - 150	
	Baja pluviosidad (< 1000 mm/año)	30 - 50		75 - 100	
Situación mala	Alta pluviosidad (> 1800 mm/año)	< 100	0	< 150	0
	Mediana pluviosidad (1000 - 1800 mm/año)	< 75		< 100	
	Baja pluviosidad (< 1000 mm/año)	< 30		< 75	
Arido (< 300 mm/año)		0	3,0	0	3,2

1.1.4. Volumen Disponible Para Rellenar

Este criterio es muy importante para los rellenos sanitarios con compactación mecanizada, como la compactación permite elevar el nivel del cuerpo de basura en forma de una colina artificial. El volumen disponible depende de la topografía del terreno, además de factores como el tipo (estabilidad) del suelo, situación sísmica, el tipo de basura a rellenar y el material de cobertura.

Volumen disponible para rellenar	Relleno grande o mediano con equipo mecánico
	Valor acordado
Para 15 años y más	2,0
Para 5 - 15 años	0,2 - 1,8
Para 5 años	0

1.2. Morfología del Terreno

1.2.1. Topografía del Terreno

La topografía del terreno decide sobre la extensión vertical del cuerpo de basura, la estabilidad del cuerpo de basura y la evacuación de las aguas lixiviadas con pendiente natural. Es también un factor económico, como determina la cantidad de excavación y nivelación del terreno que se debe hacer.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Topografía del terreno		
Terreno plano con poca inclinación (1 - 3 %)	2,2	2,4
Terreno casi plano, ligeramente inclinado (3 - 12 %)	0 - 2,0	0 - 2,2
<i>Terreno con inclinación > 12 %, en forma de hueco o fosa, quebrada o talud</i>	0	0

1.2.2. Barreras Naturales (Taludes, Bosques etc.)

Las barreras naturales son muy importante para prevenir la dispersión de las emisiones del relleno sanitario (malos olores, gases de relleno, partículas volátiles etc.).

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Relleno se encuentra dentro de un bosque denso (cintura de árboles con a menos 100 m de extensión)	1,8	2,0
Existe una loma alta (20 m y más) que separa el relleno de los alrededores en dirección de la población más cercana		
Relleno se encuentra en un lugar más alto que los alrededores		
Existe barrera natural de dimensiones menores	0,2 - 1,6	0,2- 1,8
No existe barrera natural	0	0

1.3. Posibilidad de Extensión

Aquí se trata de la posibilidad de añadir en el futuro al sitio de relleno elegido otro terreno que permita un uso a más largo plazo. Son preferibles los terrenos que dejan la opción de extensión futura para evitar la búsqueda de nuevos sitios y las inversiones que se deben hacer en este caso (carreteras, conexión a infraestructura etc.). La posibilidad de extensión puede existir si

- un terreno adyacente pertenece también al municipio o podría ser adquirido fácilmente
- si los terrenos adyacentes no son previstos para urbanización en el futuro
- si el terreno adquirido para el municipio es tan grande que permitiría la construcción de un segundo relleno después del cierre del primer sitio.

1.3.1. Extensión Superficial

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Existe la posibilidad de extender el relleno en el futuro sobre un área equivalente al presente sitio	0,8	0,9
Existe la posibilidad de extender el relleno en el futuro sobre un área más pequeño que el presente sitio	0,1 - 0,7	0,1 - 0,8
No hay posibilidad de extender el sitio de relleno	0	0

1.3.2. Extensión en Volumen

Parecido al criterio 1.1.4., la extensión en volumen tiene importancia solamente para rellenos sanitarios con compactación mecanizada.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico
Volumen disponible para rellenar en el sitio de extensión	Valor acordado
Para 15 años y más	0,8
Para 5 - 15 años	0,1 - 0,7
Para 5 años	0

1.4. Propiedad

Este criterio se refiere a la facilidad de adquirir el terreno que se intenta utilizar para el relleno sanitario. Es tan importante la propiedad jurídica como las condiciones de venta del terreno. Si se presentan dificultades jurídicas con la venta del terreno (resistencia de los propietarios, propiedad contestada, incertidumbre concerniente a los títulos de propietario etc.), la construcción del relleno sanitario se puede postergar para un lapso importante. Por otra parte, los precios que exigen los propietarios del terreno influyen considerablemente en la inversión que se debe hacer.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
El sitio pertenece al municipio o a otra institución estatal	0,6
El sitio pertenece a un solo propietario privado	0,4
El sitio pertenece a varios propietarios privados bien definidos y con actitud positiva	0,3
Existe hostilidad al proyecto de parte de los propietarios, no se pueden determinar o contactar todos los propietarios, hay licitaciones concerniente a los títulos de propiedad, se exigen precios exorbitantes o condiciones similarmente desfavorables	0

2. Estructuras Existentes, Infraestructura y Condiciones Técnicas

2.1. Distancia a Estructuras Existentes

2.1.1. Distancia a Barrios Poblados

Este criterio es muy importante considerando la molestia causada por las emisiones del relleno sanitario y el tráfico de los vehículos recolectores.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 1 km o más	2,8	3,1
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 500 m o más; existe una barrera natural suficiente que le separa del relleno sanitario (ver criterio 1.2.2.)		
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 1 km (o equivalente con barrera natural); existen algunas casas singulares más cerca del relleno	2,0	2,0
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 1 km o más pero con vista directa sobre el relleno	1,0	1,5
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 500 m - 1 km del relleno sanitario (sin barrera natural)	1,0	1,0
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 300 - 500 m del relleno sanitario (con barrera natural)		
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de 500 m - 1 km pero con vista directa sobre el relleno	0	0,5
El barrio más cercano se encuentra en una distancia de menos de 500 m al relleno sanitario (sin barrera natural)	0	0
<i>El barrio más cercano se encuentra en una distancia de menos de 300 m al relleno sanitario (con o sin barrera natural)</i>		

2.1.2. Distancia a Zonas Protegidas

Aquí se refiere a zonas de protección ambiental, como los parques nacionales, reservas ecológicas, bosques protectores etc.

Es preferible no construir un relleno sanitario dentro o adyacente a una zona protegida, para no dañar al equilibrio ecológico con las emisiones del relleno y el tráfico de los vehículos recolectores. Hay que hacer una excepción para todas las ciudades y comunidades que se encuentran dentro de una zona protegida y que no tienen la posibilidad de transferir sus desechos sólidos fuera de esta zona (ejemplo de las comunidades en Galápagos).

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
El sitio se encuentra afuera de una zona protegida; la más cercana zona protegida está en una distancia de 1 km o más	0,7
El sitio se encuentra afuera de una zona protegida; la más cercana zona protegida está en una distancia de menos de 1 km	0,3
El sitio se encuentra adyacente de una zona protegida	0,1
El sitio se encuentra adentro de una zona protegida	0

2.1.3. Distancia a Sitios de Recreación

Los sitios de recreación son parques municipales o áreas verdes frecuentados por los ciudadanos, complejos deportivos y toda clase de sitio donde la población se concentra por fines recreacionales. Es importante que el relleno sanitario se construya a considerable distancia de estos lugares, para no molestar con emisiones y tráfico.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	
El sitio se encuentra a una distancia > 1 km del más próximo sitio de recreación.	0,9	
El sitio se encuentra a una distancia de 500 m a 1 km de la más próxima zona de recreación.	0,4 - 0,8	
El sitio se encuentra a una distancia < 500 m de la más próxima zona de recreación.	0	
El sitio se encuentra en la cuenca de un agua superficial usado para fines deportivos, baños o recreación		

2.1.4. Distancia a Zonas Sensibles de Agricultura

Las zonas sensibles de agricultura son lugares donde se cultivan plantas que necesitan un ambiente especialmente limpio, plantas sensibles etc. (por ejemplo, plantas medicinales). Además tiene importancia si se utiliza el medio de descarga (el río o la quebrada donde se dejan las aguas lixiviadas después del tratamiento) para riego abajo del punto de descarga.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
El relleno se encuentra a una distancia > 1 km a zonas sensibles de agricultura, y no se utilizan para riego las aguas del medio de descarga hasta una distancia de 2 km o más (si se trata de quebradas con un caudal muy bajo, sería más seguro de calcular con una distancia de 5 km; si se trata de ríos grandes navegables, sería suficiente una distancia de 1 km)	0,7
El relleno se encuentra a una distancia entre 500 m y 1 km a zonas sensibles de agricultura se utilizan para riego las aguas del medio de descarga hasta una distancia de 1 km o más	0,3 - 0,6
Se utilizan para riego las aguas del medio de descarga a una distancia de 1 - 2 km abajo del punto de descarga (quebrada pequeña: 2 - 5 km; río grande: 500 m - 1 km).	
El relleno se encuentra a una distancia de menos de 500 m de una zona sensible de agricultura.	0
Se hace riego con las aguas del medio de descarga a una distancia < 500 m abajo del punto de descarga (quebrada pequeña: < 2 km; río grande: < 500 m)	

2.2. Distancia a la Infraestructura

Los criterios de infraestructura se refieren a las instalaciones y la infraestructura necesarias para el funcionamiento del relleno sanitario. En general, se puede decir que el sitio es mejor a menor distancia de la infraestructura existente, porque en ese caso se reducen las inversiones que se deben hacer para la preparación del sitio.

2.2.1. Distancia al Centro de Gravedad de la Procedencia de los Desechos

El centro de gravedad de la procedencia de los desechos es el centro geográfico de todas las rutas de recolección. Se calcula multiplicando las distancias con la producción de basura en un sector de recolección, como se muestra en el ejemplo:

Ciudad X tiene 3 sectores de recolección, los sectores 1, 2 y 3. El cuadro muestra la producción de basura en cada centro de recolección y la distancia al sitio elegido para el nuevo relleno sanitario.

Sector de recolección	Distancia al sitio de relleno (km)		Producción de basura diaria (toneladas)
	Sitio A	Sitio B	
1	$d_{1A} = 2,5$ km	$d_{1B} = 10$ km	$p_1 = 6$ t/d
2	$d_{2A} = 7$ km	$d_{2B} = 3,5$ km	$p_2 = 4$ t/d
3	$d_{3A} = 8$ km	$d_{3B} = 6$ km	$p_3 = 8$ t/d

La distancia del centro de gravedad se calcula:

$$d = (d_1 * p_1 + d_2 * p_2 + d_3 * p_3) / (p_1 + p_2 + p_3)$$

Para el sitio A, la distancia del centro de gravedad es $d = 5.9$ km; para el sitio B, la distancia del centro de gravedad es $d = 6.8$ km. Por consecuencia, el sitio A sería más apropiado según este criterio. El siguiente cuadro da unas indicaciones para aplicar el esquema de valores sobre el criterio de distancia al centro de gravedad.

Distancia al centro de gravedad de la procedencia de los desechos	Relleno grande o mediano con equipo mecánico		Relleno manual	
	Distancia (km)	Valor acordado	Distancia (km)	Valor acordado
Situación óptima	Población > 200 000: < 7 km Población > 50 000: < 5 km Población < 50 000: < 3 km	2,9	< 3 km	3.2
Situación mediana	Población > 200 000: 7- 15 km Población > 50 000: 5 - 10 km Población < 50 000: 3 - 6 km	0,4 - 2,5	3 - 5 km	0,5 - 2,7
Situación mala	Población > 200 000: > 15 km Población > 50 000: > 10 km Población < 50 000: > 6 km	0	> 5 km	0

2.2.2. Distancia a Otra Infraestructura Relacionada al Manejo de los Desechos Sólidos

Este criterio se refiere a otras instalaciones ya existentes, como una planta de lombricultura o de reciclaje. Sería preferible tener el relleno sanitario cerca de estas instalaciones, sino en el mismo sitio, para no aumentar los costos de transporte debido a distancias muy largas.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Planta de compostaje/ reciclaje/ otra adyacente	1,5	1,6
Planta de compostaje/ reciclaje/ otra en una distancia de menos de 3 km	0,2 - 1,3	0,3 - 1,4
Planta de compostaje/ reciclaje/ otra en una distancia de más de 3 km	0	0

2.2.3. Distancia a Zonas Industriales

La idea aquí es que es mejor si el relleno sanitario se encuentra cerca de o dentro de un área industrial. Por una parte, no existe el peligro de eliminar paisajes o biotopos valiosos; por otra parte ya existe un nivel de contaminación considerable debido a la actividad y el tráfico causados por las industrias. Además, la proximidad de la zona industrial elimina la probabilidad que los barrios poblados se extiendan hacia el relleno sanitario.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Zona industrial adyacente	0,7
Zona industrial en una distancia de menos de 1 km	0,1 - 0,6
Zona industrial en una distancia de más de 1 km	0

2.2.4. Distancia a Vías de Acceso

Las vías de acceso son muy importantes para la selección del sitio. Si no existen vías de acceso y se deben construir específicamente para el relleno sanitario, eso aumenta considerablemente los costos de inversión. Es frecuente que pase una vía a una cierta distancia del relleno, y se debe construir solamente el tramo de conexión.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Vía existente accede hasta el sitio; no se necesita construcción adicional	1,8	2,0
Vía pasa en una distancia < 500 m; se debe construir este tramo	0,8 - 1,7	1,0 - 2,9
Vía pasa en una distancia entre 500 y 1000 m; se debe construir este tramo	0 - 0,7	0 - 0,9
Vía pasa en una distancia > 1 km	0	0

2.3. Existencia de Infraestructura Necesaria Para el Relleno Sanitario

Es obvio que sería preferible que ya exista una cierta infraestructura en el sitio previsto para el relleno sanitario, pues eso bajaría los costos de inversión. La infraestructura existente es más importante para rellenos sanitarios grandes mecanizados que para rellenos manuales, por la necesidad de hacer trabajos auxiliares en los rellenos grandes.

2.3.1. Acceso a Agua Potable o Entubada

Este criterio tiene importancia si se intenta construir una casa de guardia o baños y duchas para los trabajadores del relleno.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Existe una conexión con agua potable o entubada en el sitio	0,1	0,2
No existe una conexión con agua potable o entubada, pero se puede obtener agua fácilmente (con pozo, tubería existente en poca distancia, de aguas superficiales no contaminadas etc.)		0,1
Habría que traer el agua de lejos (> 1 km)	0	0

2.3.2. Estado de las Vías de Acceso

Las vías de acceso son muy importante para el futuro relleno sanitario. Si están en mal estado, hay que lastrar o incluso asfaltarlas para no deteriorar los recolectores demasiado. En algunos casos también es necesario construir vías más amplias o hacerlas más seguras, si las vías existentes no están previstas para el tráfico de vehículos pesados.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Vía en buen estado (amplia, asfaltada o lastrada, apta para el tráfico de vehículos pesados)	1,5	1,6
Se necesita lastrar o asfaltar una parte de la vía de acceso	1,0	1,0
Se necesita ampliar o parcialmente reconstruir una parte de la vía de acceso	0,5	0,5
Se necesita lastrar o asfaltar la vía completa	0,3	0,3
Se necesita ampliar o reconstruir la vía entera	0	0

2.3.3. Alcantarillado para Aguas Lixiviadas o Aguas Servidas

Sería conveniente si hay en el sitio una conexión al alcantarillado existente para poder descargar las aguas lixiviadas y/o las aguas servidas que se producen en el relleno sanitario. Eso reduciría los costos de inversión para fosas sépticas y también la carga al medio ambiente causada por la descarga de las aguas lixiviadas. Es verdad que la existencia de alcantarillado municipal no limita la necesidad de construir una laguna de tratamiento para las aguas lixiviadas, porque son altamente contaminadas y no se pueden descargar sin tratamiento en el alcantarillado para aguas servidas. Pero se evitaría la descarga directa en el medio receptor, que es, en muchos casos, una agua superficial de bajo caudal.

Generalmente no es muy probable que haya una conexión de alcantarillado existente en un sitio previsto para la construcción de un relleno sanitario. Puede ser el caso si el sitio se encuentra adyacente o dentro de un área industrial.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico
	Valor acordado
Existe conexión al alcantarillado	0,1
No existe conexión al alcantarillado	0

2.3.4. Drenaje Para las Aguas de Lluvia

Si el sitio ya tiene un drenaje de las aguas de lluvia, debido a cualquier uso anterior, se bajan los costos de inversión para la preparación del terreno.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Existe drenaje de aguas de lluvia	0,1
No existe drenaje de aguas de lluvia	0

2.3.5. Electricidad y Teléfono

Este criterio no tiene importancia en los rellenos manuales, donde generalmente no se necesita electricidad ni teléfono. Sería más importante para rellenos grandes que son también equipados con una balanza computarizada y que tienen vivienda de guardián.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico
	Valor acordado
Existe conexión a electricidad y teléfono	0,1
No existe conexión a electricidad y teléfono	0

2.3.6. Conexión Existente del Sitio a las Vías de Acceso

En muchos casos la vía de acceso va hasta la frontera del terreno o pasa cerca pero falta un tramo de carretera que hay que construir. Ese es generalmente el caso si el sitio en cuestión no estaba usado para otros fines anteriormente.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
La vía de acceso pasa por el terreno	0,4	0,5
Existe una conexión con una vía pequeña que se debería mejorar	0,3	0,4
La vía de acceso viene hacia la frontera del terreno	0,2	0,3
Se debe construir un tramo corto (< 1 km) para conectar el sitio con la vía de acceso	0,1	0,1
Se debe construir un tramo largo (> 1 km) para conectar el sitio con la vía de acceso	0	0

3. Naturaleza y Ambiente Cultural

Este criterio cubre los aspectos de paisaje, flora y fauna y también el entorno cultural, pues existe la posibilidad que haya monumentos históricos u otros sitios de importancia cultural dentro o alrededor del lugar previsto para la construcción del relleno sanitario.

3.1. Impacto de la Operación del Relleno Sanitario

3.1.1. Impacto Estético al Paisaje

Aquí se mide el impacto que la construcción del relleno sanitario tiene sobre el paisaje, comparando el paisaje con relleno con el paisaje sin relleno.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
El sitio se encuentra en un paisaje previamente alterado (uso industrial, excavación de yacimientos, área militar abandonado etc.)	0,4
El sitio se encuentra en un paisaje natural pero que no es diferente de los alrededores.	0,2
El sitio se encuentra en un lugar de interés especial (formaciones geológicas interesantes, vista panorámica, paisaje extremadamente hermoso etc.)	0

3.1.2. Destrucción de la Capa Vegetal Existente

Este criterio se refiere a la capa vegetal existente que se debe remover para poder construir el relleno sanitario.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
No existe capa vegetal; el sitio se encuentra en un terreno árido o la capa vegetal ha sido removido por uso anterior	0,9
Existe una capa vegetal de menor importancia (pasto, montos), no hay especies endémicas en el sitio	0,7
La capa vegetal consiste de bosque secundario, pero no es endémica en el sitio	0,3
Existen plantas endémicas de la región en el sitio	0
La capa vegetal consiste de bosque primario	

3.1.3. Destrucción de Biotopos Existentes

Aquí, se refiere a la flora y fauna local que serán afectados por la construcción y operación del relleno sanitario.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
No existe fauna importante en el sitio (puede ser habitado por aves e insectos comunes, mamíferos pequeños comunes)	0,4	0,5
El sitio da abrigo a algunas especies raras o endémicas de la región pero solamente es uno de muchos habitats parecidos.	0,2	0,2
El sitio es uno de los últimos biotopos locales o regionales que abrigan ciertas especies endémicas.	0	0

3.1.4. Destrucción de Valores Históricos o Culturales

Con este criterio se evalúa si existen sitios históricos o culturales dentro o alrededor del área de relleno sanitario, y en qué grado éstos serán afectados. Estos sitios pueden ser monumentos o ruinas de culturas anteriores, capillas, estatuas o cualquier edificio de valor cultural.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
No se encuentran sitios históricos o culturales dentro o alrededor del relleno sanitario (distancia > 300 m).	1,2	1,3
Existen sitios históricos o culturales de menor importancia en los alrededores del relleno (distancia < 300 m).	1,0	1,0
Existen sitios históricos o culturales de mayor importancia en los alrededores del relleno (distancia < 300 m)	0,4	0,4
Existen sitios históricos o culturales dentro del relleno sanitario que pueden ser trasladados	0,2	0,2
Existen sitios históricos o culturales dentro del relleno sanitario que no pueden ser trasladados	0	0

3.1.5. Otros Impactos Visuales o Estéticos

Si existe otro impacto visual o estético, que no ha sido mencionado en los criterios anteriores, se debe evaluar aquí.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
No existe otro impacto visual o estético del relleno sanitario	0,7
Existen impactos menores (cuales?)	0,3 - 0,5
Existen impactos mayores (cuales?)	0

3.2. Impactos Después del Cierre del Relleno

3.2.1. Impacto Estético al Paisaje

El impacto estético después del cierre del relleno es mucho más importante que el impacto durante la operación, ya que se trata aquí de un impacto permanente. Se evalúa si el relleno se inserta armónicamente en el paisaje, o si constituye un elemento extraño.

Este criterio solamente es válido para rellenos compactados con equipo mecánico. Los rellenos manuales no causan una alteración importante del paisaje, porque no tienen una gran altura y generalmente se construyen en celdas conforme con la topografía del terreno.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico
	Valor acordado
La forma del relleno armoniza con el paisaje existente o incluso no se puede distinguir el área relleno de sus alrededores (colina artificial dentro de un paisaje de colinas, uso de terreno anteriormente deteriorado etc.)	1,3
El sitio se puede arborizar y reestructurar para mejorar el aspecto óptico, pero sí se discierne como cuerpo foráneo al paisaje.	0,5 - 1,0
No obstante los trabajos de paisaje y la arborización el cuerpo de basura se queda de forma bien visible e irritante (por ejemplo, colina artificial visible desde lejos en un paisaje plano)	0

3.2.2. Destrucción de la Capa Vegetal Existente

Aquí se evalúan las posibilidades de reconstituir la capa vegetal anterior.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El paisaje arborizado queda mejor que antes (por ejemplo, si el sitio ha sido desforestado por causa del uso anterior)	0,7	0,8
Con la arborización, se puede restituir la flora precedente	0,4	0,5
El área de relleno se puede transformar en un parque		
La capa vegetal consiste de bosque primario	0	0

3.2.3. Destrucción de Biotopos Existentes

Con este criterio se evalúa si la flora y fauna original del sitio podrán establecerse otra vez en el lugar después de su cierre y arborización.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Después del recultivo del área, la flora y fauna anterior se pueden establecer de nuevo.	0,7	0,8
Se puede restablecer una parte de los biotopos anteriores	0,4	0,5
No es posible restaurar el habitat de tal manera que la flora y fauna original del sitio puedan volver	0	0

3.2.4. Destrucción de Valores Históricos o Culturales

Aquí se refiere a los valores históricos o culturales que sufren un daño permanente después del cierre del relleno.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
No hay valores culturales o históricos dentro del sitio	1,3	1,4
Se pueden recuperar todos los valores culturales o históricos que existen dentro del sitio	1,0	1,1
Existen valores históricos o culturales de menor importancia que sufren daños irreparables por causa del relleno sanitario (quedarse bajo el cuerpo de basura, daños inevitables durante la construcción etc.)	0,4	0,4
Existen valores históricos o culturales de mayor importancia que sufren daños irreparables por causa del relleno sanitario (quedarse bajo el cuerpo de basura, daños inevitables e irremediables durante la construcción etc.)	0	0

4. Agua

En los criterios concernientes al agua, se trata de percibir en qué medida el relleno sanitario va a contaminar las aguas superficiales y subterráneas, o si existe una situación hidrológica especial que perjudica a la construcción y operación del relleno sanitario.

4.1. Propiedades Hidrológicas

4.1.1. Permeabilidad del Suelo

Este criterio es el más importante de todos, ya que la permeabilidad del suelo determina el grado de contaminación del medio ambiente que causa el relleno sanitario, o el costo de las medidas constructivas que se deben tomar para minimizar esta contaminación.

Se prefiere el sitio con la menor permeabilidad del suelo, para ya tener una barrera natural contra la infiltración de las aguas lixiviadas.

Característicos del suelo hasta 4 m de profundidad	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Capa superior del suelo (0 - 1 m): $k < 10^{-9}$ m/s Barrera geológica (1 - 4 m) $k < 10^{-8}$ m/s	12,1	13,1
Capa superior del suelo (0 - 1 m): 10^{-8} m/s $< k < 10^{-9}$ m/s Barrera geológica (1 - 4 m) 10^{-6} m/s $< k < 10^{-8}$ m/s	4 - 12	5 - 12,5
Capa superior del suelo (0 - 1 m): 10^{-7} m/s $< k < 10^{-8}$ m/s Barrera geológica (1 - 4 m) 10^{-4} m/s $< k < 10^{-6}$ m/s	2 - 4	2 - 5
Capa superior del suelo (0 - 1 m): $k > 10^{-7}$ m/s Barrera geológica (1 - 4 m) $k > 10^{-4}$ m/s	0	0

Si no se conoce la permeabilidad del suelo, se puede utilizar el siguiente esquema:

Características del suelo hasta 4 m de profundidad		Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
		Valor acordado	Valor acordado
Capa superior del suelo (0 - 1 m): arcilla	Barrera geológica (1 - 4 m): roca sin fallas, roca arcillosa, roca de basalto, morrena, roca margosa, roca de sal, de yeso, de cal o de piedra arenisca	12,1	13,1
Capa superior del suelo (0 - 1 m): tierra arcillosa- limosa, arcilla con loess, arcilla arenosa	Barrera geológica (1 - 4 m) arcilla arenosa, arcilla limosa, roca con pocas fallas, limo o loess arenoso	4 - 12	5 - 12,5
Capa superior del suelo (0 - 1 m): limo, loess, arena arcillosa o limosa	Barrera geológica (1 - 4 m) limo, loess, roca o morrena desagregada	2 - 4	2 - 5
Capa superior del suelo (0 - 1 m): arena gruesa, mediana o fina, grava	Barrera geológica (1 - 4 m) grava, tierras aluviales, karst, arena	0	0

4.1.2. Cuencas de Agua Alrededor del Sitio de Relleno

Cada sitio se encuentra dentro de una cuenca de agua, si no está ubicado exactamente en una línea divisoria de aguas. Por eso es importante identificar los impactos que las aguas arriba tienen sobre el área de relleno, porque pueden influenciar seriamente la operación diaria, la estabilidad del cuerpo de basura y también la cantidad de aguas lixiviadas. Respecto a las aguas superficiales dentro del área de relleno, se deberían desviar, lo que constituye un costo importante y además una alteración del paisaje.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
No pasan aguas superficiales por el sitio de relleno, tampoco hay una captación de aguas de lluvia	3,7	4,0
Hay una captación menor da aguas de lluvia (de un área del mismo tamaño o más pequeño que el del relleno)	1 - 3	1 - 2,5
Pasan aguas superficiales por el sitio de relleno	0	0
Hay una captación importante de aguas de lluvia (de un área más grande que el previsto para el relleno)		

4.1.3. Fuentes de Agua o Aguas Superficiales Dentro del Sitio

Las fuentes de agua dentro del sitio son un problema muy importante. Si existen fuentes de agua dentro del área de relleno, pueden causar deslizamientos del terreno (en 1993, en Estambul murieron 37 personas bajo un cuerpo de relleno que había caído por causa de fuentes interiores que no se habían observado anteriormente); 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.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
No hay fuentes de agua dentro del área de relleno, tampoco en el área arriba del relleno.	4,0	4,3
Existen algunas fuentes de agua arriba del sitio de relleno, cuyo corriente de los cuales se puede fácilmente captar con un drenaje circunvalente	2	2
Hay fuentes de agua dentro del área de relleno	0	0
<i>El sitio se encuentra en la orilla del mar, un lago o de un río, en la cama de un río o en la cama de una quebrada, no importa si hay caudal durante todo el año o solamente por estaciones</i>		
<i>El sitio se encuentra dentro de un área pantanosa o área cenagal</i>		

4.1.4. Nivel de las Capas Freáticas Dentro del Sitio

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 capas. Por eso, se desea un nivel freático lo más bajo posible.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
La primera capa freática se encuentra en una profundidad > 10 m	3,3	3,5
La primera capa freática se encuentra entre 3 y 10 m de profundidad	1 - 3	1 - 3
<i>La primera capa freática se encuentra en una profundidad < 3 m</i>	0	0

4.1.5. Drenaje de las Aguas Superficiales

Este criterio se refiere a los trabajos de drenaje que se deben hacer para evitar que las aguas superficiales o las aguas de lluvia entren en el área de relleno.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Simple circunvalación del relleno es suficiente	2,3	2,5
Se deben hacer trabajos adicionales al drenaje de circunvalación (drenaje en otros niveles arriba del relleno)	1	1
Todas las medidas de drenaje se quedan insuficientes en la estación lluviosa	0	0

4.1.6. Medio Recibidor

Como en América Latina es muy raro que las aguas lixiviadas de un relleno sanitario se puedan verter dentro de un sistema de alcantarillado público que cuente además con una estación de tratamiento, el caso común es la descarga en el agua superficial más cercana. En muchos casos, las plantas de tratamiento de los rellenos sanitarios no son suficientes, debido a la escasez de fondos, al área restringida o a un mal diseño, y el caudal y las características del medio receptor ganan importancia. Lo ideal es la descarga en un río con gran caudal y corriente fuerte, para que se pueda realizar una autopurificación de las aguas vertidas. Pero en realidad el medio receptor es en muchos casos una quebrada pequeña, o incluso un campo de infiltración en regiones áridas.

Este criterio es mucho más importante para rellenos grandes que para rellenos pequeños, tanto por causa de la cantidad más elevada de aguas lixiviadas, como por el hecho de que las aguas superficiales que cruzan las regiones densamente pobladas tienen mucho más carga contaminada que en áreas rurales.

Tamaño del río	Corriente	Otras fuentes de contaminación	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
			Valor acordado	Valor acordado
Grande (navegable)	Mucha	No	2,9	1,6
	Poca	No	1,5	0,8
	Mucha	Si	1,5	0,8
	Poca	Si	1,0	0,5
Mediano o pequeño	Mucha	No	2,5	1,3
	Poca	No	1,3	0,6
	Mucha	Si	1,3	0,6
	Poca	Si	0,5	0,3
Quebrada pequeña	Mucha	No	1,2	0,6
	Poca	No	0,6	0,3
	Mucha	Si	0,6	0,3
	Poca	Si	0	0
Quebrada temporalmente seca				
Area árida sin medio receptor				
<i>El medio receptor es un lago o una represa de agua utilizado para producción de agua potable</i>				

4.1.7. Protección Contra Inundaciones

Es importante si el sitio es protegido contra inundaciones o si hay la posibilidad que un río adyacente puede desbordarse y tener contacto con el cuerpo de basura, lo que resultaría en una contaminación importante.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El sitio de relleno se encuentra en distancia suficiente de las aguas superficiales cercanas para no ser afectado por agujajes y desbordes.	0,9	0,8
Hay una baja probabilidad de inundación	0,2	0,2
<i>El sitio se encuentra en un área de inundación frecuente</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

4.2. Drenaje de Aguas Lixiviadas y Otras Aguas de Proceso

4.2.1. Cantidad de Aguas Lixiviadas Esperadas

Para poder aplicar este criterio, se debe conocer las cantidades de precipitación anual en los sitios respectivos y después compararse entre ellos. Muchas veces hay una variedad climática en la misma región, y puede existir una diferencia de 100 % entre las cantidades de lluvia de 2 sitios.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Cantidad de aguas lixiviadas < 50 % del promedio de los valores de todos los sitios investigados	1,4	1,5
Cantidad de aguas lixiviadas < 75 % del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0,7	0,9
Cantidad de aguas lixiviadas entre 10 % más o menos del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0,4	0,5
Cantidad de aguas lixiviadas > 150 % del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0,2	0,2
Cantidad de aguas lixiviadas > 200 % del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0	0

Si no se conocen los valores exactos de precipitación en los sitios, se puede recurrir a la observación de los lugares en cuestión, ya que es generalmente conocido por la gente de la región si un sitio es más lluvioso o más árido que otro.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Sitio más árido	1,4	1,5
Los otros sitios	0,5	0,6
Sitio con mayor precipitación	0	0

4.2.2. Posibilidad de Conectar el Sitio con una Planta de Tratamiento

Es sumamente baja la probabilidad que se pueda conectar el sitio de relleno con una planta de tratamiento de aguas servidas domiciliarias o industriales, porque en la mayoría de los casos los rellenos sanitarios se encuentran fuera de los sitios poblados. Es verdad que se bajan los costos de inversión si hay la posibilidad de realizar esta conexión, por ejemplo, si hay un área industrial adyacente que dispone de esta infraestructura.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Hay la posibilidad de conexión con una planta existente de tratamiento de aguas usadas a costo razonable	0,8	0,4
Hay la posibilidad de conexión con una planta existente de tratamiento de aguas usadas pero se necesitan inversiones demasiado altas	0	0
No hay la posibilidad de conexión con una planta de tratamiento de aguas usadas		

4.2.3. Valores de Límite de Descarga al Medio Recibidor

En la mayoría de los países existe una legislación que prevé límites de concentración de contaminantes para la descarga de aguas usadas y tratadas al medio ambiente. Para la selección del sitio de relleno sanitario es favorable encontrarse en un lugar donde estos límites no son demasiado estrictos, para no tener costos altos de tratamiento.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El medio de descarga es el alcantarillado común	1,0	1,1
Se hace la descarga en un agua superficial sometida a límites comparativamente poco estrictos (al mar, a un río grande)	0,5	0,6
Se hace la descarga en un medio sometido a una legislación muy estricta (área de protección natural, reservorio de aguas potables, aguas de riego etc.)	0	0

5. Clima y Emisiones

Con los criterios en esta parte, se mide el impacto que el relleno sanitario tendrá sobre la calidad del aire y qué influencia tiene el microclima local en la dispersión de las emisiones.

5.1. Dispersión de las Emisiones a Gran Escala

5.1.1. Viento (Distribución Espacial de las Emisiones)

Se desea la mayor dilución posible de las emisiones gaseosas del relleno sanitario, con el fin de minimizar malos olores en los alrededores del sitio. Eso se puede medir con un modelo de distribución espacial de las emisiones olfatorias, como se ha descrito en el Capítulo 3.3.1.2.

El flujo de aire frío tiene una importancia especial. Bajo condiciones meteorológicas normales, las emisiones gaseosas que son más calientes que el aire alrededor, suben en la atmósfera y se diluyen. Cuando hay una situación de flujo de aire frío (de la capa de aire adyacente al suelo), este flujo lleva las emisiones en dirección horizontal, lo que significa una dispersión mucho más amplia de los malos olores.

Niveles de contaminación				Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
Dentro del relleno	En la dirección principal de viento	En el barrio más cercano		Valor acordado	Valor acordado
		Bajo condiciones meteorológicas normales	En el caso de flujo de aire frío		
Imisiones > 30 UO/m ³ limitadas al sitio de relleno	Imisiones < 3 UO/m ³ en una distancia de 200 m	No hay imisiones olfatorias	No hay imisiones de 1 UO/m ³ o más	6,0	6,5
Imisiones > 30 UO/m ³ hasta una distancia de 50 m	Imisiones < 3 UO/m ³ en una distancia de 500 m	Se observan imisiones de 1 UO/m ³ en 3 - 5 % de los días	Se observan imisiones de 1 UO/m ³	4,4	4,8
Imisiones > 30 UO/m ³ hasta una distancia de 200 m	Imisiones < 3 UO/m ³ en una distancia de 1000 m	Se observan imisiones de 1 UO/m ³ en 10 % de los días	Se observan imisiones de 3 UO/m ³	2,4	2,8
Imisiones > 30 UO/m ³ hasta una distancia de 500 m	Imisiones 3 - 10 UO/m ³ en una distancia de 1000 m	Se observan imisiones de 1 UO/m ³ en más de 10 % de los días	Se observan imisiones de 3 - 10 UO/m ³	0,8	1,0
Imisiones > 30 UO/m ³ en una distancia > 500 m	Imisiones > 10 UO/m ³ en una distancia > 1000 m	Se observan imisiones > 3 UO/m ³	Se observan imisiones > 10 UO/m ³	0	0

5.1.2. Frecuencia de Neblina

La neblina también es un factor que evita la dilución de las emisiones atmosféricas y puede causar concentraciones altas de gases con mal olor en ciertos lugares. Para eso, se prefieren sitios donde es rara la neblina.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Casi nunca (< 5 días/año) se observa neblina en el sitio en cuestión	0,4
La neblina es rara (5 - 10 días/año)	0,3
A veces se observa neblina en el sitio (10 - 30 días/año)	0,1
La neblina es frecuente (> 30 días/año)	0

5.1.3. Frecuencia de Inversiones Atmosféricas

Durante una inversión atmosférica, una capa de aire fría se superpone a una capa de aire más caliente adyacente al suelo e impide que este aire más caliente suba a niveles más altos. En un relleno sanitario esta situación significa que las emisiones no tiene salida y se quedan en el sitio mismo con concentraciones muy elevadas.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Casi nunca (< 2 días/año) se observan inversiones en el sitio en cuestión	0,9	1,0
La inversión atmosférica es rara (2 - 5 días/año)	0,7	0,8
A veces se observan inversiones en el sitio (5 - 20 días/año)	0,4	0,4
La inversión es frecuente (> 20 días/año)	0	0

5.2. Contaminación Actual del Aire Alrededor del Sitio

La construcción de un relleno sanitario en un sitio que ya sufre de una cierta contaminación del aire causa menos molestia que cuando se construye en un sitio virgen. Eso no significa que disminuya la responsabilidad para minimizar las emisiones y sus impactos! Tampoco sería deseable construir el relleno sanitario en una región que ya sufre una contaminación exagerada, para no contribuir a daños permanentes en el sistema ecológico o causar riesgos exagerados de salud para el personal empleado.

Los criterios enumerados en este capítulo no se refieren a la contaminación en el mismo sitio, pero sí al estado ambiental en los alrededores, es decir a una distancia < 3 km.

5.2.1. Polvo y Aerosoles

Aquí se trata de la contaminación existente en el aire por polvo y aerosoles. Esta contaminación puede ser causada por actividad industrial, minería, tráfico, o en ciudades donde se conoce una estación de invierno fuerte, también por calefacción con base de carbón. En algunos sitios cercanos de volcanes, se puede también observar un cierto nivel de contaminación de polvo y aerosoles causada por la actividad volcánica.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay una alta concentración (cerca a los límites dados en la legislación) de polvo y aerosoles en los alrededores	0,2
Hay una baja concentración de polvo y aerosoles, causada por actividades en los alrededores	0,1
La región no tiene ninguna fuente de polvo o aerosoles.	0
Existe una alta contaminación con polvo y aerosoles (supera los límites dados en la legislación)	

5.2.2. Dióxido de Azufre (SO₂)

Las fuentes de contaminación con SO₂ son casi las mismas como las de polvo y aerosoles.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay una alta concentración (cerca a los límites dados en la legislación) de SO ₂	0,2
Hay una baja concentración de SO ₂ , causada por actividades en los alrededores	0,1
La región no tiene ninguna fuente de SO ₂ .	0
Existe una alta contaminación con SO ₂ (supera los límites dados en la legislación)	

5.2.3. Olor

Existen algunas actividades industriales y de agricultura que pueden causar emisiones fuertes de olores.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Existe contaminación olfatoria en la región	0,4
No existe contaminación olfatoria en la región	0

5.2.4. Ruido Constante

El asunto del ruido es importante, pues el tráfico de vehículos recolectores va a causar molestia en los alrededores, especialmente cuando se trata de rellenos grandes. El ruido constante que existe en los alrededores puede ser causado por tráfico, industria, otras actividades humanas; en sitios alejados de la civilización también puede existir ruido causado por cascadas de agua, el mar u otras influencias naturales.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Ya existe un nivel alto de ruido en los alrededores del sitio	0,9	0,5
Existe un nivel mediano de ruido en el área	0,5	0,3
No se observa ruido cualquier en los alrededores del sitio	0	0

5.3. Dispersión de las Emisiones a Microescala (Dentro del Sitio)

La dispersión de las emisiones dentro del sitio es importante para poder estimar la contaminación a la cual serán expuestos los obreros y eventualmente recicladores que trabajan en el sitio. Además, si hay problemas graves con la dispersión de las emisiones dentro del sitio, esto afecta también la dispersión de las emisiones a gran escala.

5.3.1. Viento

Se prefiere un sitio expuesto al viento para facilitar la dilución temprana de los gases de relleno. Además, es importante que no haya flujos de aire frío, lo que significa una mayor concentración de los contaminantes cerca al suelo.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El sitio de relleno se encuentra en un lugar bien expuesto al viento	1,2	1,3
El sitio de relleno no es muy expuesto al viento, pero tampoco se trata de un lugar muy abrigado	0,4 - 0,9	0,5 - 1,0
Se observan frecuentemente flujos de aire frío en dirección horizontal	0	0
No hay muchas turbulencias de aire; no hay mucho intercambio vertical de aire		
El sitio de relleno se encuentra en el punto más bajo de una cuenca		

5.3.2. Frecuencia de Neblina

Las razones para no desear la neblina son las mismas que las enumeradas bajo 5.1.2., además se pueden formar aerosoles y otros compuestos nocivos con los gases de relleno y el agua de la neblina.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Casi nunca (< 5 días/año) se observa neblina en el sitio en cuestión	0,8	0,9
La neblina es rara (5 - 10 días/año)	0,5	0,6
A veces se observa neblina en el sitio (10 - 30 días/año)	0,2	0,3
La neblina es frecuente (> 30 días/año)	0	0

5.3.3. Frecuencia de Inversiones Atmosféricas

Ver 5.1.3.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Casi nunca (< 2 días/año) se observan inversiones en el sitio en cuestión	1,0	1,1
La inversión atmosférica es rara (2 - 5 días/año)	0,7	0,7
A veces se observan inversiones en el sitio (5 - 20 días/año)	0,3	0,3
La inversión es frecuente (> 20 días/año)	0	0

5.4. Contaminación Actual del Sitio

Aquí se trata de la contaminación a microescala dentro del sitio, para poder evaluar en qué grado el establecimiento de un relleno sanitario cambiaría la situación actual.

5.4.1. Polvo y Aerosoles

Ver 5.2.1.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay una alta concentración (cerca a los límites dados en la legislación) de polvo y aerosoles en el sitio	0,4
Hay una baja concentración de polvo y aerosoles, causada por actividades en los alrededores	0,2
No hay ninguna fuente de polvo o aerosoles.	0
Existe una alta contaminación con polvo y aerosoles (supera los límites dados en la legislación)	

5.4.2. SO₂

Las fuentes de contaminación con SO₂ son casi las mismas como las de polvo y aerosoles.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay una alta concentración (cerca a los límites dados en la legislación) de SO ₂	0,3
Hay una baja concentración de SO ₂ , causada por actividades en los alrededores	0,1
La región no tiene ninguna fuente de SO ₂ .	0
Existe una alta contaminación con SO ₂ (supera los límites dados en la legislación)	

5.4.3. Gas de Escape

Aquí se trata de evaluar si ya existe una cierta contaminación por gas de escape en el sitio, o si la operación del relleno sanitario será una carga nueva a la atmósfera.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Actualmente hay tráfico y operación de máquinas pesadas en el sitio	0,1
No hay ninguna actividad de vehículos pesados en el sitio	0

5.4.4. Olor

Existen algunas actividades industriales y de agricultura que pueden causar emisiones fuertes de olores.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Existe alta contaminación olfatoria en el sitio	0,5	0,6
Existe baja contaminación olfatoria en el sitio	0,2	0,3
No existe contaminación olfatoria en el sitio	0	0

5.4.5. Ruido Constante

Ver 5.2.4.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Ya existe un nivel alto de ruido en los alrededores del sitio	2,3	0,8
Existe un nivel mediano de ruido en el área	0,4 - 2,0	0,2 - 0,6
No se observa cualquier ruido en los alrededores del sitio	0	0

5.5. Aptitud Natural para Minimización de las Emisiones

Los criterios en este sub-capítulo tratan las características naturales del sitio bajo el aspecto de minimizar las emisiones. Por ejemplo, es importante si es un terreno que ya genera polvo por si mismo, si se dispersan o contienen los ruidos etc.

5.5.1. Producción de Polvo Durante la Operación

Aquí se analiza la aptitud del sitio para minimización natural de las emisiones de polvo. Factores positivos pueden ser un suelo de arcilla, marga etc., una buena cobertura vegetal, un bosque alrededor del sitio y característicos similares.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
El sitio tiene buenas características para contener el polvo (suelo y material de cobertura arcilloso, limoso o margoso, buena cobertura vegetal, bosques alrededor del sitio, vías de acceso asfaltadas o bien lastradas etc.)	0,7
El sitio tiene algunas características favorables para la minimización de las emisiones	0,2 - 0,7
El sitio está en condiciones muy desfavorables (clima muy árido, alta erosión de viento, suelo seco consistente de materia fina, capa vegetal destruida o no existente etc.)	0

5.5.2. Producción de Polvo en Caso de Accidentes

No se trata de aquí de la producción de polvo generada por la operación habitual, pero de casos extremos, como sería una sequía extrema, una caída de tierra, una tempestad, un daño de tractor que impediría la cobertura diaria de la basura o situaciones parecidas.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Es probable que el relleno puede soportar unos días bajo condiciones extraordinarias y sin operación habitual sin generar una contaminación demasiada de polvo y materiales volátiles	0,4
Situación intermedia	0,2
Es probable que aumentará considerablemente el nivel de contaminación en caso de accidentes, sean incidentes climáticos o accidentes que impidan el trabajo diario	0

5.5.3. Ruido Generado por la Operación

Los factores que influyen la dispersión del ruido generado por la operación son generalmente la fuerza y dirección del viento, la topografía del terreno (expuesto o en una cuenca), la cobertura vegetal y los bosques alrededor. Además, hay factores particulares como podría ser una formación montañosa produciendo ecos. La dispersión de los ruidos generados por la operación del relleno es más importante en rellenos sanitarios grandes y equipados con maquinaria compactadora, como se produce un ruido constante y de alto nivel.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El sitio es apto para contener los ruidos (Barrera natural topográfica, bosques alrededor, dirección prioritaria del viento no coincide con la dirección en la cual se encuentra el barrio más cercano, buena cobertura vegetal etc.)	0,8	0,4
Situación intermedia	0,2 - 0,6	0,1 - 0,3
Habrà mucha dispersión de ruido (ecos naturales, no hay cobertura vegetal, no hay bosques alrededor, no hay barrera topográfica, viento en dirección del barrio más cercano)	0	0

5.5.4. Ruido de Tráfico en la Vía de Acceso

Es importante si la ruta que van a tomar los vehículos recolectores al sitio de relleno sanitario pasa por muchos barrios poblados o si circunvala el área habitada, además, si es una carretera protegida con árboles o si no hay ninguna barrera contra el ruido de tráfico. Naturalmente, este criterio tiene más importancia para rellenos grandes que tienen una alta afluencia de vehículos recolectores que para rellenos manuales a los cuales llegan un o dos recolectores diarios o incluso un carro traído por burro o caballo.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
La vía de acceso es una vía de circunvalación con suficiente distancia a barrios poblados	0,6	0,2
La vía de acceso pasa por un barrio poblado (< de 500 personas). Hay suficiente distancia entre las casas y la carretera.	0,4	0,1
La vía de acceso pasa por un barrio poblado (< de 500 personas afectadas). Las casas se encuentran directamente al lado de la carretera	0,2	
La vía de acceso pasa directamente por más de un barrio poblado (> 500 personas afectadas). Las casas se encuentran directamente al lado de la carretera.	0	0

5.5.5. Dispersión de Materiales Volátiles

Aparte de la cobertura diaria completa e inmediata, los factores prioritarios que influyen la dispersión de los materiales volátiles son el viento y las barreras naturales, topográficas o vegetales.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay una buena barrera topográfica y bosques alrededor del sitio; no hay vientos tempestosos.	0,4
Situación intermedia	0,1 - 0,3
El sitio es completamente expuesto al viento, hay frecuentemente vientos fuertes y tempestades.	0

6. Aptitud del Sitio para la Construcción

Los criterios enumerados en este capítulo no son criterios ecológicos, son puramente económicos. La aptitud del sitio para la construcción, la existencia de material de cobertura en el relleno mismo son muy importantes para minimizar los costos de inversión y de operación.

6.1. Existencia de Material de 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 recultivación del sitio.

6.1.1. Material de Capa Impermeable de Fondo y de Cobertura Final

La situación óptima sería si el sitio tiene suficiente tierra arcillosa con las características enumeradas en el capítulo 2.4.1.2. del presente manual para poder construir tanto la capa impermeable de fondo como la capa de cobertura final (incluyendo los taludes!). La cantidad necesaria se calcula según la superficie deseada del relleno x 0,6 - 0,75 m de espesor para la capa de fondo. Si se trata de un relleno manual, sería suficiente la doble cantidad volumétrica de la capa del fondo para construir la capa de cobertura de los taludes y la cobertura final. Si se trata de un relleno compactado con equipo mecánico y construido en forma de colina artificial, habrá que calcular el volumen necesario para cubrir los taludes y la superficie del cuerpo de basura según la forma deseada, considerando los criterios estipulados en los capítulos 2.4.2. y 5.3.2.3. del presente manual.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Existe material en cantidad y calidad suficiente para construir las capas impermeable de fondo y de cobertura tanto de los taludes como de los módulos/ celdas cerrados	0,7	0,8
Existe una parte del material; se debe traer el resto de afuera	0,1 - 0,6	0,1 - 0,7
Se debe traer todo el material para la capa impermeable de fondo y la cobertura final de afuera	0	0

6.1.2. Material para Cobertura Diaria

Este criterio es muy importante porque sería muy costoso traer el material de cobertura diaria de afuera. Se trata de grandes cantidades (aproximadamente un cuarto a un tercio del volumen de basura). Muchos municipios no tienen el presupuesto para asumir este costo y prefieren hacer una cobertura deficiente, en detrimento de las condiciones sanitarias, la estabilidad del cuerpo de basura y la protección del medio ambiente. Para evitar esta situación, es muy importante seleccionar desde el inicio un sitio donde se encuentra una suficiente cantidad de material de cobertura para cubrir todo el periodo de operación del relleno sanitario.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Existe material en cantidad y calidad suficiente para hacer la cobertura diaria de la basura con el espesor requerido	4,7	5,1
Existe bastante material para la cobertura diaria, pero la calidad es deficiente	3,0 - 4,0	3,3 - 4,5
Existe una parte del material; se debe traer el resto de afuera	0,5 - 2,0	0,5 - 2,5
Se debe traer una gran cantidad (> 50 %) del material para las coberturas diarias de afuera	0	0

6.1.3. Material para Recultivar Después del Cierre

El material necesario para la recultivar después del cierre del relleno sanitario es tierra humus (ver especificaciones en el capítulo 5.3.2.3.).

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Existe tierra humus en cantidad suficiente en el sitio	0,6
Se puede conservar la capa de humus durante la preparación del sitio	
Se puede aprovechar del compost grueso y mediano producido en una planta de compostaje adyacente	
Existe una parte del material; se debe traer el resto de afuera	0,2 - 0,5
Se debe traer una gran cantidad (> 50 %) del material para la capa de humus de afuera	0

6.2. Aptitud del Suelo para Excavación

Aquí se trata de la aptitud del suelo para la excavación, lo que incluye tanto las excavaciones necesarias para preparar la capa de fondo del relleno sanitario como para obtener los materiales de cobertura diaria.

6.2.1. Tipo del Suelo

Hay algunos tipos de suelo (terreno muy duro, roca etc.) que ponen demasiada dificultad en la excavación y aumentan los costos considerablemente.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Terreno blando y fácil a excavar; material deseado se encuentra en la superficie	0,5	0,6
Situación intermedia	0,1 - 0,4	0,1 - 0,5
Terreno demasiado duro y difícil a excavar	0	0

6.2.2. Formación del Suelo

Para la operación diaria, es bastante importante la topografía, pues sería más fácil traer el material de cobertura de un terreno plano que de una loma. Importa también la superficie disponible para excavar el material, ya que es más fácil ir desmontando el suelo superficialmente en un área grande que excavar hacia la profundidad.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Acceso fácil, superficie bastante grande, terreno plano o casi plano	0,4	0,5
Situación intermedia	0,1 - 0,3	0,1 - 0,4
Se debe hacer una excavación sumamente profunda para acceder al material necesario	0	0
El material necesario se encuentra en un terreno hondo o una loma con bastante pendiente		

7. Seguridad General

Se debe también considerar la condición y aptitud del sitio en caso de catástrofe para eliminar riesgos tanto para los trabajadores como para los barrios cercanos y el medio ambiente.

7.1. Incendio

Si se opera debidamente el relleno sanitario, los incendios no deben ocurrir. Pero no se puede excluir el caso de incendio por causa de mal manejo del relleno sanitario. Es también posible que un incendio en los alrededores (industria peligrosa adyacente, incendio de los bosques alrededor, fuga de un oleoducto etc.) afecte al relleno sanitario. Estos casos no son muy probables pero más vale ya considerarles durante la elección del sitio.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay suficiente distancia entre el área de relleno y posibles fuentes de incendio o no se identificaron fuentes externas de incendio. En caso de incendio causado en el relleno mismo, es fácil evacuar los trabajadores y el equipo. El incendio no afectaría el medio ambiente (agua, suelo, vegetación cercana) o los barrios cercanos.	0,2
Situación intermedia	0 - 0,2
Hay una posible fuente de incendio cerca (< 1000 m) del relleno; no hay barrera (quebrada, terreno vacío sin vegetación) entre este lugar y el relleno	0
Sería sumamente difícil evacuar los trabajadores y el equipo en caso de incendio	
El incendio podría tener graves impactos sobre los barrios cercanos y el medio ambiente	

7.2. Explosiones

ver 7.1.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Hay suficiente distancia entre el área de relleno y posibles fuentes de explosiones o no se identificaron fuentes externas de explosiones. En caso de explosiones causado en el relleno mismo, es fácil evacuar los trabajadores y el equipo. Una posible explosión no afectaría el medio ambiente (agua, suelo, vegetación cercana) o los barrios cercanos.	0,2
Situación intermedia	0 - 0,2
Hay una posible fuente de explosiones cerca (< 1000 m) del relleno; no hay barrera (quebrada, terreno vacío sin vegetación) entre este lugar y el relleno	0
Sería sumamente difícil evacuar los trabajadores y el equipo en caso de explosiones	
Una explosión podría tener graves impactos sobre los barrios cercanos y el medio ambiente	

7.3. Caída de Tierra

Especialmente en las regiones montañosas son bastante frecuentes las caídas de tierra que, a veces, pueden bajar terrenos sumamente grandes y causar daños importantes. Para la selección del sitio de un relleno sanitario, es sumamente importante que el cuerpo de basura no puede ser movilizado por una avalancha de tierra, lo que puede causar graves daños al medio ambiente y constituye un peligro para los sitios abajo del relleno sanitario. También tiene importancia que el relleno sanitario no puede ser enterrado bajo un alud de tierra, esto tiene por consecuencia costos importantes de rehabilitación o incluso puede terminar completamente con la operación del relleno sanitario.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El sitio en cuestión no está expuesto a caídas de tierra desde arriba, tampoco puede ser movido hacia abajo. Se encuentra en un terreno suficientemente plano, y hay bastante distancia entre el sitio de relleno y eventuales lomas o precipicios en los alrededores	0,7	0,8
En caso de caída de tierra, el sitio de relleno se podrá quedar bajo una masa de tierra	0	0
<i>Sería posible que el terreno de relleno se caiga abajo.</i>		

7.4. Terremoto

Los terremotos también son bastante peligrosos para los rellenos sanitarios. En caso de terremoto, pueden ocurrir explosiones y caídas de tierra a gran o pequeña escala, lo que constituye un riesgo para los trabajadores del relleno, las poblaciones cercanas y el medio ambiente. También sería posible que un terremoto destruya el acceso al relleno sanitario, una situación grave para la higiene en la ciudad.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El sitio en cuestión, sus alrededores y las vías de acceso no se encuentran en una zona de terremoto (zona sísmica 0 o 1)	0,7	0,8
El sitio se encuentra en una zona de terremoto de riesgo moderado (zona sísmica 2) pero tiene un suelo sumamente estable. No hay peligro de caída de tierra.	0,6	0,7
El sitio de relleno se encuentra en una zona de terremoto de riesgo moderado (zona sísmica 2) y no tiene un suelo estable.	0	0
El sitio de relleno se encuentra en una zona con alto riesgo de terremoto (zona sísmica 3 o 4) pero tiene un suelo sumamente estable. No hay peligro de caída de tierra.	0,3	0,4
<i>El sitio de relleno se encuentra en una zona con alto riesgo de terremoto (zona sísmica 3 o 4) y no tiene un suelo estable. Hay riesgo de caída de tierra o de caída del cuerpo de basura.</i>	0	0
<i>La vía de acceso al relleno se encuentra en una zona de terremoto y sobre una falla geológica</i>		
<i>El sitio de relleno sanitario se encuentra en una zona de terremoto y sobre una falla geológica</i>		

Las zonas sísmicas son clasificadas de la siguiente manera:

Clasificación	Riesgo de terremoto
0	Muy reducido
1	Reducido
2	Moderado
3	Elevado
4	Muy elevado

Se pueden obtener informaciones sobre la situación sísmica de una región en las facultades de geología de las universidades o también del Internet.

7.5. Accidentes de Transporte

Aquí se evalúa la probabilidad de accidentes de transporte. Especialmente en las regiones montañosas donde las vías son frecuentemente malas, estrechas y tienen muchas curvas y pendiente, este riesgo puede ser bastante alto. Se debe tomar en cuenta la posibilidad de mejorar las vías y si es posible asumir estos costos de ser necesario.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
La vía de acceso no constituye ningún peligro	0,2
La vía de acceso tiene unos puntos peligrosos (abismos, puentes insuficientes, estrecha, curvas, pendientes extremas etc.) pero se puede mejorar	0,1
La vía de acceso tiene unos puntos peligrosos y no hay el presupuesto necesario para remediarla	0
<i>La vía de acceso es muy peligrosa, no se la puede mejorar y en el pasado se han observado accidentes graves con vehículos pesados (caída en un río, caída en un precipicio etc.)</i>	

7.6. Actividad Volcánica

Si el sitio previsto para el relleno sanitario se encuentra en una región con actividad volcánica, hay también que considerar los daños eventuales que puede causar una erupción.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
El sitio en cuestión no se encuentra en una región con actividad volcánica.	0,7	0,8
El sitio en cuestión se encuentra en una región con actividad volcánica pero está fuera del alcance del impacto de las erupciones (sea por topografía o por distancia)		
El sitio en cuestión se encuentra en una región con actividad volcánica. Hay la posibilidad que se quedaría bajo ceniza pero no bajo lava. No hay problema de evacuar los trabajadores o el equipo en caso de erupción.	0,3	0,4
El sitio en cuestión se encuentra en una región con actividad volcánica. Hay la posibilidad que se quedaría bajo ceniza y no bajo lava. No hay problema de evacuar los trabajadores o el equipo en caso de erupción.	0	0
<i>El sitio se encuentra en una región con actividad volcánica y será afectado por una erupción. Sería sumamente difícil la evacuación de los trabajadores y del equipo del sitio</i>		
<i>El sitio en cuestión se encuentra en la cuenca directa de un volcán. Se puede quedar bajo lava y la lava puede llevar el cuerpo de basur0a</i>		

7.7. Guerra o Guerra Civil

En caso de guerra o guerra civil, el relleno sanitario seguramente no tiene una prioridad muy alta, pero todavía es importante asegurar su funcionamiento normal tanto como se puede.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
No es probable que el relleno sanitario sería afectado por guerra o guerra civil	0,1	0,2
El relleno sanitario o las vías de acceso se encuentran en lugares de importancia estratégica (proximidad a infraestructura militar, a vías o puentes importantes etc.), y por causa de esto se podría impedir la operación normal en caso de guerra o guerra civil.	0	0

8. Aptitud del Sitio Concerniente a los Trabajos a Realizarse Después del Cierre del Relleno

Los criterios enumerados aquí se refieren a la facilidad de recultivar y cuidar el terreno del relleno después de su cierre para poder utilizar otra vez el terreno recultivado sin tener contaminación ambiental o riesgos de seguridad.

8.1. Caídas y Asentamientos de Tierra

Mientras continúen los asentamientos de tierra, no se puede utilizar el terreno para cualquier tipo de construcción y no es seguro abrirle como parque u otro espacio público. La mayor influencia sobre la probabilidad de caídas y asentamientos de tierra tiene sin duda el tipo de basura (basura suelta y basura con alto contenido de biodegradable: más asentamientos y más largo periodo de asentamientos) y la compactación (mala compactación => más asentamientos sobre un periodo más largo), pero el tipo de terreno, de suelo, el clima y la vegetación natural tienen también un importante impacto.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Terreno firme y seco, clima no demasiado húmedo, buena vegetación natural y aptitud del suelo para recultivación	0,6
Situación intermedia	0,1 - 0,5
Suelo flojo	0
Alta humedad del suelo	
Clima demasiado húmedo o tan árido que no es posible plantar una buena cobertura vegetal después del cierre del relleno	

8.2. Drenaje y Tratamiento de las Aguas Lixiviadas

Hay que supervisar y mantener los canales de drenaje de las aguas lixiviadas y la planta de tratamiento durante un periodo de 25 - 40 años después del cierre del relleno. Para eso es muy importante que exija lo menos posible mantenimiento y cuidados y que no sea susceptible a daños.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Región muy árida, no se requiere drenaje o tratamiento de las aguas lixiviadas	0,5	0,6
Planta de tratamiento muy simple (laguna), canales de drenaje fácilmente accesibles, no hay lluvias excesivas o inundaciones		
Planta de tratamiento muy simple (laguna), canales de drenaje fácilmente accesibles, pero hay situaciones de lluvia excesiva	0,4	0,4
Planta de tratamiento necesita cuidado regular, canales de drenaje se deben renovar a menudo	0,2	0,2
Sitio sujeto a inundaciones	0	0
Planta de tratamiento con tecnología avanzada, requiere atención permanente		

8.3 Drenaje de las Aguas Superficiales

Ver 8.2, con la diferencia que se trata aquí solamente del drenaje de las aguas lluvias y eventuales otras aguas superficiales.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico o relleno manual
	Valor acordado
Región muy árida, no se requiere drenaje	0,3
Canales de drenaje fácilmente accesibles, no hay lluvias excesivas o inundaciones	0,2
Canales de drenaje fácilmente accesibles, pero hay situaciones de lluvia excesiva	0,1
Canales de drenaje se deben renovar a menudo	
Sitio sujeto a inundaciones	0

8.4. Drenaje e Incineración del Gas

Igual como las aguas, se debe drenar y controlar el gas de relleno durante un largo periodo después del cierre del relleno sanitario. Es importante que este control sea fácil y poco costoso.

	Relleno grande o mediano con equipo mecánico	Relleno manual
	Valor acordado	Valor acordado
Hay una planta de compostaje donde se aprovechan los desechos biodegradables y casi no se produce gas de relleno	0,3	0,3
Control y mantenimiento del drenaje de los gases de relleno son fácil y no se debe hacer con mucha frecuencia		
Se deben controlar y renovar las chimeneas a menudo	0	0
Hay una planta de tratamiento con tecnología avanzada que requiere presencia permanente		
La topografía del sitio provoca problemas de acceso		

Apéndice 3

Cuadro de Evaluación de los Sitios para la Construcción de un Relleno Sanitario

Criterio		Sitio A	Sitio B	Sitio C	Sitio D	Sitio E	Sitio F	Sitio G
Generales	Dimensión del terreno (superficie)	Superficie disponible para rellenar						
		Superficie disponible para construcción de una laguna de tratamiento biológico de las aguas lixiviadas						
		Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares (lombricultura, reciclaje)						
		Volumen disponible para rellenar						
	Morfología del terreno	Topografía del terreno						
		Barreras naturales (taludes, bosques etc.)						
	Posibilidad de extensión	Extensión superficial						
		Extensión en volumen						
	Propiedad (municipal/privada)	Propiedad actual						
		Posibilidad de venta o de expropiación						
Estructuras existentes, infraestructura y condiciones técnicas	Distancia a estructuras existentes	Distancia a barrios poblados						
		Distancia a zonas protegidas						
		Distancia a sitios de recreación						
		Distancia a zonas sensibles de agricultura						
		Distancia a zonas sensibles industriales						
	Distancia a la infraestructura	Distancia al centro de gravedad de la procedencia de los desechos						
		Distancia a otra infraestructura existente relacionada al manejo de los desechos sólidos						
		Distancia a zonas industriales						
		Distancia a vías de acceso						
		Distancia al ferrocarril						
		Distancia a infraestructura militar						
	Existencia de la infraestructura necesaria	Acceso a agua potable o entubada						
		Estado de las vías de acceso						

	para el relleno sanitario	Alcantarillado para aguas lixiviadas y aguas servidas									
		Drenaje para aguas de lluvia									
		Electricidad y teléfono									
		Necesidad de infraestructura para la preparación del terreno									
		Cambios a hacer con las vías de acceso									
		Conexión existente del sitio a las vías de acceso									
		Conexión existente del sitio al ferrocarril									
Naturaleza y ambiente cultural	Impacto de la operación del relleno sanitario	Impacto estético al paisaje									
		Destrucción de la capa vegetal existente									
		Destrucción de biótopos existentes (flora/fauna)									
		Destrucción de valores históricos o tradicionales									
	Impactos después del cierre del relleno	Impacto estético al paisaje									
		Destrucción de la capa vegetal existente									
		Destrucción de biótopos existentes (flora/fauna)									
		Destrucción de valores históricos o tradicionales									
Agua	Propiedades hidrológicas	Permeabilidad del suelo									
		Cuencas de agua alrededor del sitio del relleno									
		Fuentes de agua dentro y cerca del sitio									
		Nivel de las capas freáticas dentro del sitio									
		Drenaje de las aguas superficiales									
		Medio receptor									
	Drenaje de las aguas lixiviadas y otras aguas de proceso	Protección contra inundaciones									
		Cantidad de aguas lixiviadas esperadas									
		Posibilidad de conectar el sitio con una planta de tratamiento									
		Valores límites de descarga al medio receptor									

Clima y emisiones	Dispersión de las emisiones a gran escala	Viento (distribución espacial de las emisiones)								
		Frecuencia de neblina								
		Frecuencia de inversiones atmosféricas								
	Contaminación actual del medio ambiente alrededor del sitio	Polvo y aerosoles								
		SO ₂								
		Olor								
		Ruido								
	Dispersión de las emisiones a microescala (dentro del sitio)	Ruidos agudos								
		Viento								
		Frecuencia de neblina								
	Contaminación actual del sitio	Frecuencia de inversiones atmosféricas								
		Polvo y aerosoles								
		SO ₂								
		Gas de escape								
		Olor								
Aptitud natural para minimización de las emisiones	Ruido									
	Ruidos agudos									
	Producción de polvo durante la operación									
	Producción de polvo en caso de accidentes									
	Ruido generado por la operación									
Aptitud del sitio para la construcción	Ruido de tráfico en la vía de acceso									
	Ruido de tráfico en las otras vías cercanas									
	Dispersión de materiales volátiles									
Existencia de material de cobertura	Material para capa impermeable de fondo y de cobertura final									
	Material para cobertura diaria									
Aptitud del suelo para excavación	Material para reactivación después del cierre									
	Tipo del suelo									
Seguridad general	Formación del suelo									
	Condición y aptitud del sitio en caso de catástrofe	Incendio								
	Explosiones									
	Caída de tierra									
	Terremoto									
Accidentes de transporte										
Nieve extrema										

		Actividad volcánica							
		Guerra o guerra civil							
Aptitud del sitio concerniente los trabajos a hacer después del cierre del relleno		Caídas y asentamientos del terreno							
		Drenaje y tratamiento de las aguas lixiviadas							
		Drenaje de las aguas superficiales							
		Drenaje del gas							
TOTAL									

Apéndice 4

Modelo de Dispersión de Emisiones /34/

La fórmula básica para establecer un modelo de dispersión de las emisiones es la siguiente:

$$C(x,y,z) = \frac{10^6}{3600 * 2 * p} * \frac{Q}{u_h * \sigma_y * \sigma_z} * \exp(-y^2/2 \sigma_y^2) * (\exp(-(z-h)^2/2 \sigma_z^2) + \exp(-(z+h)^2/2 \sigma_z^2))$$

Con:

x,y,z (m):	Coordenadas cartesianas del punto de imisión en la dirección prioritaria de dispersión (x), en un ángulo de 90° a la dirección prioritaria (y) y vertical (z).
C(x,y,z), (mg/m ³):	Concentración de la contaminación (imisión) en el punto de imisión (aquí: UO/m ³)
z (m):	Elevación del punto de imisión sobre el suelo natural
Q (kg/h):	Caudal emitido en el lugar de emisión (aquí: Flujo del gas de relleno, en 10 ⁶ UO/m ³ , ver: Capítulo 3.3.2. Cuadro 19 del manual)
h (m):	Elevación efectiva del punto de emisión (ver: Sub-capítulo 1)
σ _y , σ _z (m):	Parámetros de dispersión (ver: Sub-capítulo 3)

Esta fórmula establece una dispersión gaussiana y se puede aplicar en los siguientes casos:

- Para gases químicamente estables
- Para gases cuyo transformación física o química no es considerable
- Para polvo con un diámetro aerodinámico < 5 μm.

1. Elevación efectiva del Punto de Emisión

La elevación efectiva del punto de emisión se calcula con la siguiente fórmula:

$$h = H + p$$

con:

H (m):	Elevación del punto de emisión (boca de la chimenea) sobre el suelo natural
p (m):	Peralte del caudal de gas

El peralte del caudal de gas es un parámetro para la aptitud natural del gas de subir a estratos más altos de la atmósfera. Se calcula como presentado en el Cuadro 1:

Cuadro 1: Cálculo del peralte del caudal de gas

	el caudal de gas
Estratificación lábil de temperatura (Clase IV o V de dispersión)	$p_{la}(x) = 3.34 * M^{(1/3)} * x^{(2/3)} * u_H^{-1}$ con $p_{max,la} + H < 1100$ m
Estratificación neutra de la temperatura (Clase III/1 o III/2 de dispersión)	$p_{la}(x) = 2.84 * M^{(1/3)} * x^{(2/3)} * u_H^{-1}$ con $p_{max,la} + H < 800$ m
Estratificación estable de la temperatura (Clase I o II de dispersión)	$p_{la}(x) = 3.34 * M^{(1/3)} * x^{(2/3)} * u_H^{-1}$

Con

M (MW):	Caudal calorífico
x (m):	Distancia del punto de emisión en la dirección de dispersión
u _H :	Velocidad del viento en el punto de emisión (boca de la chimenea)

M se calcula:

$$M = 1.36 * 10^{-3} * R * (T - 283)$$

R (m³/s): Caudal volumétrico del gas emitido
 T (K): Temperatura del gas en el punto de emisión

2. Clases de Dispersión

Las clases de dispersión se determinan según el esquema dado en el Cuadro 2:

Velocidad del viento		Cubierta de nubes en múltiplos de 1/8				
kn	m/s	Horas nocturnas		Horas diarias		
		0/8 – 6/8	7/8 – 8/8	0/8 – 2/8	3/8 – 5/8	6/8 – 8/8
< 2	< 1.03	I	II	IV	IV	IV
3 – 4	< 2.06	I	II	IV	IV	III/2
5 – 6	< 3.09	II	III/1	IV	IV	III/2
7 – 8	< 4.12	III/1	III/1	IV	III/2	III/2
> 9	> 4.63	III/1	III/1	III/2	III/1	III/1

Se recomienda hacer este cálculo para cada mes del año, cada vez para el día y la noche.

Si no se dispone de datos para la cubierta de nubes, se pueden determinar las clases de dispersión como se muestra en el Cuadro 3:

Velocidad del viento		Clase de dispersión
kn	m/s	
< 2	< 1.03	I
3 – 4	< 2.06	II
5 – 6	< 3.09	II
7 – 8	< 4.12	III
> 9	> 4.63	III

3. Parámetros de Dispersión

Los parámetros de dispersión σ_y y σ_z se calculan:

$$\sigma_y = F * x^f$$

$$\sigma_z = G * x^g$$

Los coeficientes F, G y los exponentes f, g se determinan considerando el Cuadro 4:

Cuadro 4: Coeficientes y exponentes necesario para el cálculo de los parámetros de dispersión

Elevación efectiva del punto de emisión (h)	Clase de dispersión	F	f	G	g
h > 150 m	V (muy lábil)	0.4	0.91	0.41	0.91
	IV (lábil)	0.4	0.91	0.41	0.91
	III/2 (neutro)	0.36	0.86	0.33	0.86
	III/1 (neutro)	0.32	0.78	0.22	0.78
	II (estable)	0.31	0.71	0.06	0.71
	I (muy estable)	0.31	0.71	0.06	0.71
h = 100 m	V (muy lábil)	0.170	1.296	0.051	1.317
	IV (lábil)	0.324	1.025	0.070	1.151
	III/2 (neutro)	0.466	0.866	0.137	0.985
	III/1 (neutro)	0.504	0.818	0.265	0.818
	II (estable)	0.411	0.882	0.487	0.652
	I (muy estable)	0.235	1.057	0.717	0.486
h < 50 m	V (muy lábil)				
	IV (lábil)	0.876	0.823	0.127	1.108
	III/2 (neutro)	0.659	0.807	0.165	0.996
	III/1 (neutro)	0.640	0.784	0.215	0.885
	II (estable)	0.801	0.754	0.264	0.774
	I (muy estable)	1.294	0.718	0.241	0.662

Se hace una interpolación logarítmica para los valores de F y G si la elevación efectiva del punto de emisión se encuentra entre 50 y 100 m o entre 100 y 150 m. Para los exponentes f y g se hace en este caso una interpolación lineal.

4. Velocidad del Viento

Para calcular la velocidad del viento en el punto de emisión (H) y en la elevación efectiva del punto de emisión (h), se utilizan las siguientes fórmulas:

$$u_h = u_a (h/z_a)^m$$

$$u_H = u_a (H/z_a)^m$$

z_a es la altura de medición (elevación del anemómetro sobre el suelo natural)

El exponente m se determina según el Cuadro 5:

Clase de dispersión	m
V (muy lábil)	0.09
IV (lábil)	0.20
III/2 (neutro)	0.22
III/1 (neutro)	0.28
II (estable)	0.37
I (muy estable)	0.42