

de: Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado



Planta de Tratamiento de Residuos de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Región Cajamarca

RED DE INSTITUCIONES ESPECIALIZADAS EN CAPACITACIÓN
PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

“Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado”

Créditos Institucionales:

Dr. Antonio Brack Egg.
Ministro del Ambiente

Coordinación General

Ing. Karla Paola Bolaños Cárdenas - MINAM
Especialista en Gestión de Residuos Sólidos - MINAM

Revisado por:

Ing. Raúl Roca Pinto
Director General de Calidad Ambiental - MINAM

Ing. Karla Paola Bolaños Cárdenas
Especialista en Gestión de Residuos Sólidos - MINAM

Elaborado por:

Ing. Leandro Sandoval Alvarado
Consultor

Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N° 1440
San Isidro, Lima, Perú
<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>

Presentación

El establecimiento del marco normativo nacional para la gestión y manejo de residuos sólidos, mediante Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos y su modificatoria a través del Decreto Legislativo N° 1065, y su Reglamento, Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, viene promoviendo entre otros aspectos el ordenamiento del sub sector Residuos Sólidos.

El manejo integral de residuos sólidos, debe ser desde la generación hasta su disposición final, sanitaria y ambientalmente adecuada, para prevenir los riesgos a la salud de la población y el deterioro de la calidad ambiental. Sin embargo, el déficit de servicios y la ausencia de infraestructuras sanitarias para la disposición final de los residuos sólidos municipales, ha originado la formación de botaderos de residuos sólidos en las ciudades, donde se disponen los residuos sólidos sin las mínimas medidas sanitarias y de seguridad, propiciando la proliferación de vectores, prácticas insalubres de segregación y alimentación de animales con residuos sólidos.

A nivel nacional, del total de residuos sólidos del ámbito municipal que se genera, sólo 19.3 %* son dispuestos en rellenos sanitarios autorizados, coincidente con la deficiencia de infraestructuras de residuos sólidos en la mayoría de las regiones, sin embargo, para el caso de Lima y Callao, la cobertura de disposición final adecuada alcanza el 92.6%, situación que transparenta la necesidad de oferta de servicios de disposición en las provincias.

Concordante con ello, el estado a través de sus diferentes instituciones viene promoviendo y desarrollando una serie de instrumentos técnicos legales, conducentes a mejorar la gestión y manejo de los residuos sólidos en nuestro país. El Ministerio del Ambiente (MINAM) con la participación de los diferentes sectores que conforman la "Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos", propuso la ejecución de la Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Convencional o Mecanizado para Ciudades Intermedias y Grandes, con la finalidad de facilitar a las municipalidades y empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos (EPS-RS), una herramienta ágil para la implementación de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales en el país.

Siendo la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud miembro activo de la Red, con alcance transectorial en la gestión de residuos sólidos y en los aspectos normativos como parte de la política de salud, a fin de contribuir a reducir significativamente los factores de riesgo asociados al inadecuado manejo de los residuos sólidos, para proteger y promover la salud de la población, revisó y aprobó la Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Convencional o Mecanizado para Ciudades Intermedias y Grandes.

*MINAM: "Primer Informe Nacional de la Situación Actual de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales" -Noviembre 2008.

Índice

GLOSARIO DE TERMINOS.....	8
1 GENERALIDADES.....	11
1.1 Situación del manejo de residuos sólidos en el Perú.....	11
1.1.1 Generación per cápita y composición física de residuos sólidos domésticos en el Perú.....	12
1.2 Rellenos sanitarios manuales en el Perú.....	15
1.2.1 Antecedentes Generales.....	15
1.2.2 Rellenos sanitario convencionales en el Perú.....	15
1.3 Salud pública e inadecuada disposición de los residuos municipales en el Perú.....	16
1.4 Normatividad legal vigente.....	19
1.5 Mecanismos de obligación y sanción.....	21
1.5.1 Competencias.....	21
1.5.2 Mecanismo de sanción.....	22
2 PROCEDIMIENTOS PREVIOS A LA CONSTRUCCION DEL RELLENO SANITARIO MANUAL.....	25
2.1 Estudio de selección de área.....	25
2.2 Informe de opinión técnica favorable de la selección de área.....	25
2.3 Aprobación del estudio de impacto ambiental.....	26
2.4 Opinión técnica favorable del proyecto de infraestructura.....	26
2.5 Procedimientos de aprobación de opinión pública.....	27
3 CRITERIOS PARA EL ESTUDIO DE SELECCION DE AREA, EIA Y PROYECTO.....	29
3.1 Consideraciones técnicas, legales y sociales.....	29
3.1.1 Aspectos técnicos.....	29
3.1.1.1 Ubicación del área para futuro relleno sanitario.....	29
3.1.1.2 Material para cobertura.....	29
3.1.1.3 Vida útil.....	29
3.1.1.4 Vías de Acceso.....	29
3.1.1.5 Topografía.....	30
3.1.1.6 Compatibilización con el uso de suelo y planes de expansión urbana.....	30
3.1.1.7 Compatibilización con el plan de gestión integral de residuos en la provincia.....	30
3.1.1.8 Minimización y prevención de los impactos sociales y ambientales negativos.....	30
3.1.1.9 Condiciones climáticas.....	30
3.1.1.10 Geología.....	30
3.1.1.11 Hidrogeología.....	30
3.1.1.12 Hidrología superficial.....	31
3.1.1.13 Preservación del patrimonio arqueológico.....	31
3.1.1.14 Preservación de áreas naturales protegidas.....	31
3.1.1.15 Vulnerabilidad del área a desastres.....	31
3.1.2 Aspectos Legales.....	31
3.1.2.1 Saneamiento físico legal del terreno.....	31
3.1.3 Aspectos Sociales.....	32
3.1.3.1 Grado de aceptación respecto a una futura construcción del relleno sanitario.....	32
3.2 Restricciones de ubicación.....	32
3.2.1 Seguridad aeroportuaria.....	32
3.2.2 Fallas geológicas, áreas Inestables.....	32
3.2.3 Zonas sísmicas.....	33
3.2.4 Infraestructura existente.....	33
3.2.5 Plan urbano y proyectos de desarrollo regional o nacional.....	33
3.3 Evaluación de áreas alternativas.....	33

4. DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE RELLENO SANITARIO MANUAL.....	37
4.1 Residuos aceptables e inaceptables en un relleno sanitario manual.....	37
4.2 Estudios básicos.....	38
4.2.1 Estudio demográfico.....	38
4.2.2 Estudio de caracterización de residuos.....	39
4.2.3 Estudio topográfico.....	41
4.2.4 Estudio de mecánica de suelos - Geotécnia.....	43
4.2.5 Estudios geohidrológicos.....	50
4.2.6 Estudios geofísicos.....	51
4.2.7 Estudios geológicos.....	55
4.3 Diseño del relleno sanitario manual.....	56
4.3.1 Selección del método.....	56
4.3.2 Calculo de la cantidad de residuos a disponer.....	58
4.3.3 Calculo de la capacidad útil del relleno.....	60
4.3.4 Calculo de la vida útil.....	63
4.3.5 Diseño del sistema de drenaje pluvial.....	67
4.3.6 Diseño del sistema de dren de lixiviados.....	73
4.3.7 Diseño del sistema de monitoreo de lixiviados.....	80
4.3.8 Diseño del sistema de captación de biogas.....	87
4.3.9 Diseño del sistema de extracción de gas.....	89
4.3.10 Diseño del sistema de monitoreo de biogas.....	93
4.3.11 Otras obras auxiliares.....	93
4.3.11.1 Cerco perimetral.....	93
4.3.11.2 Area de amortiguamiento y protección.....	93
4.3.11.3 Caseta de control.....	94
4.3.11.4 Instalaciones sanitarias y electricas.....	94
4.3.11.5 Zona de Básculas.....	94
4.3.11.6 Oficinas administrativas.....	94
4.3.11.7 Instalaciones para el mantenimiento de vehículos.....	94
4.3.11.8 Cartel de identificación.....	95
4.3.11.9 Impermeabilización y control de líquidos.....	95
4.3.11.10 Area de almacén.....	95
5. CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO.....	97
5.1 Secuencia de actividades para la construcción y operación de un relleno sanitario.....	97
5.2 Preparación del sitio seleccionado.....	98
5.3 Limpieza y desmonte.....	98
5.3.1 Tratamiento del suelo soporte.....	99
5.3.2 Cortes y conformación de taludes.....	100
5.4 Proceso constructivo.....	103
5.4.1 Método constructivo.....	103
5.4.2 Construcción de trincheras.....	103
5.4.3 Construcción de drenes de lixiviados en trincheras.....	103
5.4.4 Construcción de drenes de lixiviados en plataformas.....	104
5.4.5 Construcción de celdas.....	104
5.4.6 Construcción de chimeneas.....	105
6.0 OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO.....	107
6.1 Control de acceso.....	107
6.2 Colocación y compactación de residuos.....	108
6.3 Operación durante la conformación de la.....	109
6.4 Operación de cobertura.....	110
6.5 Operación de maquinaria en el relleno sanitario.....	112

6.6 Tipos de equipo.....	114
6.6.1 Tractor sobre orugas conhojas topadora (bulldozer).....	114
6.6.2 Compactadora pata de cabra con hoja topadora.....	115
6.6.3 Cargadores frontales.....	115
6.6.4 Cargadores sobre orugas.....	116
6.6.5 Excavadoras sobre orugas.....	117
6.6.6 Excavadoras con palas frontales.....	118
6.6.7 Motonivelñadores.....	119
6.6.8 Raspadores.....	119
6.6.9 Compactadoras con ruedas neumaticas.....	120
6.6.10 Compactadoras de tambor vibratoria autopulsada.....	121
6.6.11 Otros equipos.....	121
7. CONTROL Y MONITOREO AMBIENTAL.....	123
7.1 Gestión de aguas superficiales.....	123
7.2 Control de fuego.....	123
7.3 Control de plagas.....	124
7.4 Control de materiales ligeros.....	125
7.5 Control y monitoreo de lixiviados.....	126
7.5.1 Control de lixiviados.....	126
7.5.2 Alternativas de manejo y control.....	127
7.5.3 Monitoreo de aguas subterranas.....	129
7.6 Control y monitoreo de gas.....	132
7.7 Manejo de registros.....	133
7.8 Vigilancia y monitoreo ambiental.....	133
7.8.1 Objetivos de monitoreo ambiental.....	134
7.8.2 Ambito de acción.....	134
7.8.3 Marco legal de referencia.....	134
7.8.4 Parámetros de monitoreo.....	134
7.8.5 Frecuencia de muestreo.....	134
7.8.6 Responsable del plan de monitoreo ambiental.....	135
7.8.7 Operación del programa de monitoreo ambiental.....	136
MATERIAL BIBLIOGRAFICO.....	137

Índice de imágenes

Imagen N° 1 Ubicación de rellenos sanitarios convencionales o mecanizados.....	17
Imagen N° 2 Importancia porcentual del puntaje máximo según parámetros de evaluación.....	34
Imagen N° 3 Mapa topográfico.....	42
Imagen N° 4 Diagrama triangular para la clasificación de suelos por texturas.....	50
Imagen N° 5 Dispositivo tetraelectrónico Schlumber.....	51
Imagen N° 6 Valores de resistividad de las rocas comunes.....	52
Imagen N° 7 Mapa de resistividades.....	52
Imagen N° 8 Ciclo hidrológico del agua.....	54
Imagen N° 9 Método tipo trinchera.....	56
Imagen N° 10 Método tipo área.....	57
Imagen N° 11 Método mixto o combinado o tipo rampa.....	58
Imagen N° 12 Cálculo de volúmenes.....	58
Imagen N° 13 Volúmenes de disposición de residuos sólidos.....	60
Imagen N° 14 Corte de un relleno sanitario.....	64
Imagen N° 15 Elementos de una celda.....	65
Imagen N° 16 Elementos de una celda.....	65
Imagen N° 17 Cálculo del frente de trabajo.....	66

Imagen N° 18 Cálculo del avance diario.....	66
Imagen N° 19 Mapa topográfico (sin escala).....	68
Imagen N° 20 Sección transversal de la zanja.....	71
Imagen N° 21 Diversos componentes de un balance hidráulico para un relleno sanitario.....	75
Imagen N° 22 Diagrama del diseño con tuberías en la base del relleno sanitario.....	82
Imagen N° 23 Detalle de una tubería para colección de lixiviado.....	82
Imagen N° 24 Diagrama del diseño de terrazas en pendiente.....	83
Imagen N° 25 Detalle de una tubería para colección de lixiviado.....	84
Imagen N° 26 Disipación del gas a través de una ruta porosa dentro del relleno sanitario.....	90
Imagen N° 27 Disipación del gas mediante una zanja interceptora.....	90
Imagen N° 28 Pozo para colección de gas.....	92
Imagen N° 29 Esquema de un sistema de deshidratación del gas del relleno sanitario por medio de glicol trietilo (TEG).....	92
Imagen N° 30 Esquema de un proceso de oxidación de hierro para remover sulfuro de hidrógeno del gas del relleno sanitario.....	93
Imagen N° 31 Limpieza, desmonte y despalme.....	98
Imagen N° 32 Cortes y terraplenes.....	100
Imagen N° 33 Préstamos.....	102
Imagen N° 34 Vista de distribución de celdas de un relleno sanitario.....	104
Imagen N° 35 Distribución de celdas utilizando el método de área.....	105
Imagen N° 36 Distribución de celdas utilizando el método de trinchera.....	105
Imagen N° 37 Construcción de chimenea - Instalación de quemador.....	106
Imagen N° 38 Conformación de celda de disposición final.....	109
Imagen N° 39 Alternancia de capas de residuos sólidos y cobertura diaria.....	111
Imagen N° 40 Colocación de la cobertura diaria.....	111
Imagen N° 41 Diagrama de la construcción de las paredes laterales de las celdas de disposición final....	111
Imagen N° 42 Cambio en la densidad de los residuos sólidos respecto al número de pasadas de los vehículos.....	113
Imagen N° 43 Secuencia de operación para extinguir el fuego.....	124
Imagen N° 44 Pantalla Portátil, 2.5 m x 3 m., cubierta con malla de 20 a 40 mm.....	125
Imagen N° 45 Ubicación de pantallas respecto al viento y al frente de trabajo.....	126
Imagen N° 46 Distribución de tuberías para colección de lixiviado.....	127
Imagen N° 47 Localización de pozos de monitoreo de aguas subterráneas y lixiviado en un relleno sanitario.....	130
Imagen N° 48 Depósito para coleccionar muestras del lixiviado.....	130
Imagen N° 49 Distancia influenciada desde el centro de la chimenea.....	133

Índice de cuadros

Cuadro N° 1 GPC de Residuos Sólidos Domésticos en las principales ciudades del Perú.....	13
Cuadro N° 2 Rellenos Sanitarios Convencionales en el Perú.....	16
Cuadro N° 3 Volumen (ton/año) dispuesto en el Relleno sanitario.....	16
Cuadro N° 4 Clasificación de infracciones y escala de sanciones.....	23
Cuadro N° 5 Puntaje máximo ponderado por parámetro de evaluación.....	35
Cuadro N° 6 Escala de Calificación para el puntaje ponderado fina.....	36
Cuadro N° 7 Tipo de residuos que representan riesgos y peligros potenciales a un relleno sanitario convencional.....	37
Cuadro N° 8 Cuadro de datos técnicos.....	43
Cuadro N° 9 Porosidad en algunos suelos.....	45
Cuadro N° 10 Coeficiente de permeabilidad k (cm./s).....	46
Cuadro N° 11 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	48
Cuadro N° 12 Distribución de los pozos de investigación.....	53
Cuadro N° 13 Número de sondeos por hectárea.....	54

Cuadro N° 14 Taludes recomendados en corte.....	59
Cuadro N° 15 Cálculo del volumen y área requerida por año en el relleno sanitario.....	61
Cuadro N° 16 Generación per cápita de residuos sólidos domésticos en los países de América Latina y el Caribe por tamaño de núcleo poblacional (OPS).....	62
Cuadro N° 17 Características del equipo requerido.....	63
Cuadro N° 18 Velocidades máximas permisibles en zanjas.....	68
Cuadro N° 19 Valores empíricos para obtener el coeficiente de escurrimiento (k).....	69
Cuadro N° 20 Valores de coeficiente de retraso.....	70
Cuadro N° 21 Taludes típicos para zanjas no revestidas.....	71
Cuadro N° 22 Valores del coeficiente de rugosidad (n).....	72
Cuadro N° 23 Coeficientes de escorrentía para diferentes materiales de cobertura y diferentes tipos de vegetación.....	76
Cuadro N° 24 Composición del gas del relleno sanitario.....	88
Cuadro N° 25 Secuencia de actividades para construcción y operación de relleno Sanitario.....	97
Cuadro N° 26 Densidad de desmonte.....	99
Cuadro N° 27 Comparación de Maquinaria y su Eficiencia en las Tareas del relleno Sanitario.....	113
Cuadro N° 28 Valores típicos del tractor sobre orugas con hoja topadora.....	114
Cuadro N° 29 Valores típicos de la compactadora pata de cabra con hoja topadora.....	115
Cuadro N° 30 Valores típicos del cargador frontal.....	116
Cuadro N° 31 Valores típicos de cargador sobre oruga.....	117
Cuadro N° 32 Valores típicos de la excavadora sobre oruga.....	118
Cuadro N° 33 Valores típicos de motoniveladoras.....	119
Cuadro N° 34 Capacidad aproximada de movimiento de tierra.....	120
Cuadro N° 35 Necesidades de Equipo para Rellenos Sanitarios.....	122
Cuadro N° 36 referencia para el análisis de aguas subsuperficiales próximas a un relleno sanitario.....	131
Cuadro N° 37 Referencia de resultados de análisis para Lixiviado de un relleno sanitario.....	131
Cuadro N° 38 Parámetros de monitoreo Ambiental.....	135
Cuadro N° 39 Frecuencia de Muestreo.....	135

Glosario de terminos

Para los fines de un correcto entendimiento del presente documento se precisan los siguientes términos de acuerdo a lo establecido en las normas legales vigentes:

1. **Aguas de escorrentía.-** Aguas que no penetran en el suelo o que lo hacen lentamente y que corren sobre la superficie del terreno después de la lluvia.
2. **Ambiente.-** Conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.
3. **Aerobio.-** Relativo a la vida o a procesos que puedan ocurrir únicamente en presencia de oxígeno.
4. **Anaerobio.-** Relativo a la ausencia de oxígeno libre. Requerimiento de ausencia de aire o de oxígeno para la degradación de la materia orgánica.
5. **Biodegradable.-** Dicho de la materia orgánica que tiene la cualidad de ser metabolizada por medios biológicos.
6. **Biogás.-** Mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.) producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.
7. **Bióxido de carbono.-** Gas incoloro y más pesado que el aire. Altamente soluble en el agua, donde forma soluciones de ácidos débiles corrosivos. No inflamable por causa de su metabolismo anaerobio. Su fórmula química es CO_2 .
8. **Botadero.-** Acumulación de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria.
9. **Compactación.-** Acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en el relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparan los residuos sólidos municipales a fin de lograr una mayor estabilidad y vida útil.

10. **Disposición final.**- Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.
11. **Infraestructura de disposición final.**- Instalación debidamente equipada y operada que permite disponer sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos, son los rellenos sanitarios y rellenos de seguridad.
12. **Lixiviado o Percolado.**- Líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura que atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviado son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas.
13. **Relleno sanitario.**- Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.
14. **Residuo orgánico.**- Se refiere a los residuos biodegradables o sujetos a descomposición.
15. **Residuos comerciales.**- Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas. Estos residuos están constituidos mayormente por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.
16. **Residuos de limpieza de espacios públicos.**- Son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas.
17. **Residuos del ámbito de gestión municipal.**- Son los residuos de origen domiciliario, comercial, de limpieza de espacios públicos y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos.
18. **Residuos domiciliarios.**- Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.
19. **Tratamiento.**- Cualquier proceso, método técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.
20. **Vectores.**- Seres vivos que intervienen en la transmisión de enfermedades al llevarlas de un enfermo o de un reservorio a una persona sana.
21. **Vida útil.**- Periodo durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir residuos de manera continua.

Llamados

Ley
Reglamento
RSM
DIA
EIA
OTF
IDF

Ley N° 27314
Reglamento de la Ley N° 27314
Relleno Sanitario Manual
Declaración de Impacto Ambiental
Estudio de Impacto Ambiental
Opinión Técnica Favorable
Infraestructura de Disposición Final

Siglas

DIRESA
DIGESA
INRENA
INC
INDECI
INEI
SENAMHI
TUPA
SEIA

Dirección Regional de Salud
Dirección General de Salud Ambiental
Instituto Nacional de Recursos Naturales
Instituto Nacional de Cultura
Instituto Nacional de Defensa Civil
Instituto Nacional de Estadística e Informática
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Texto Único de Procedimientos Administrativos
Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Generalidades

El manejo inadecuado de los residuos sólidos representa un peligro para la salud de las personas, el riesgo es mayor si los residuos son dispuestos en botaderos o cuando se efectúan otras prácticas inapropiadas que lo único que hacen es ocasionar la contaminación del aire, agua y suelo.

La proliferación de vectores está asociado a la mala práctica del manejo del residuo, causando enfermedades de manera directa o indirecta en los trabajadores del servicio de limpieza pública, las personas que se dedican a la recuperación de residuos para su supervivencia y poblaciones cercanas o adyacentes.

En los tiempos actuales, se conoce que la descarga indiscriminada de residuos en el medio ambiente cuando sobrepasa determinados límites ecológicos, afectan su notable capacidad de regeneración, sabemos que el medio se satura y que se causan daños que pueden ser de carácter irreversible.

En general el volumen de residuos generados aumenta a un ritmo muy superior a la capacidad de tratamiento y eliminación adecuada de los mismos, esto representa un gran desafío para el medio profesional que tiene la responsabilidad de encontrar soluciones oportunas a este problema.

El manejo de los residuos plantea problemas específicos en cada país, región y localidad. La densidad demográfica, la modalidad cultural propia, el grado de desarrollo y la estructura de la economía, así como las condiciones ambientales como clima, topografía y disponibilidad de recursos naturales, entre otros, son factores que caracterizan el problema en cada caso y que si se aprovechan racionalmente pueden facilitar soluciones en materia de disposición de residuos sólidos.

El manejo y la administración de los residuos sólidos no es una labor puramente técnica, su interdependencia con la ecología, los recursos naturales, la energía, la legislación y la administración, hacen que este manejo deba ser de carácter multidisciplinario, integral y complejo, que precisa la colaboración intersectorial de técnicos y especialistas en diversos campos.

También es necesario tener presente que las medidas adoptadas para la solución de los problemas del manejo de los residuos sólidos solo podrían llegar a ser eficaces si toda la población es capaz de entenderlas y participar en esas soluciones, lo que demanda educación y sensibilización ambiental adecuada que sean liderados por los gobiernos locales.

1.1 Situación del manejo de residuos sólidos en el Perú

El manejo de los residuos sólidos en el Perú cuando es realizado por una persona natural o jurídica debe ser sanitaria o ambientalmente adecuado, con sujeción a los principios de prevención de impactos negativos y protección de la salud, conforme lo establece La Ley¹ y los lineamientos de la política nacional del ambiente del estado peruano².

¹ Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos.

² D.S. N° 012-2009-MINAM, Publicado en el diario oficial El Peruano el 23/05/09.

El Perú al igual que muchos países del mundo enfrenta retos en el manejo de sus residuos sólidos municipales, debido al cambio en el estado ambiental por el crecimiento de las poblaciones concentradas hacia grandes ciudades como en los casos de Ica, Trujillo, Chiclayo, Iquitos, Huancayo, entre otros, teniendo como causa principal la migración de las zonas rurales a las ciudades.

Asimismo la ineficiente gestión de los residuos sólidos determina una situación de alerta en relación al manejo de los residuos sólidos en nuestro país.

En la actualidad se estima que la producción total de esos desperdicios supera las 22 mil 475 toneladas diarias en el país, y sólo el 17 % de la generación diaria es dispuesta en rellenos sanitarios³. En consecuencia es previsible determinar que el 83% es destinado a lugares inadecuados, causando daño al ambiente y la salud humana.

Es por ello que a fin de prevenir los impactos originados por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, el Estado dentro de sus estrategias nacionales ha incluido el marco normativo institucional de los Residuos Sólidos en el Perú, el desarrollo de políticas para reducir la generación de los residuos, la promoción para la implementación de plantas de aprovechamiento y el fortalecimiento de las capacidades municipales en la gestión y manejo de los residuos sólidos.

1.1.1 Generación per cápita y composición física de residuos sólidos domésticos en el Perú.

Generación per cápita

La Generación per cápita de residuos sólidos municipales en la región de América Latina varía de 0.3 a 0.8 Kg./hab./día.⁴

En nuestro país la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios promedio es de 0.53 Kg./hab./día según análisis sectorial de residuos sólidos del Perú del año 1998.

En consecuencia podemos observar que la generación per cápita en las principales ciudades de nuestro país está entre los rangos de 0.40 Kg./hab./día hasta los 0.85 Kg./hab./día, tal es el caso de la ciudad de Lima (cercado), esto quiere decir que un ciudadano de la urbe metropolitana genera 0.85 Kg. de residuos sólidos domésticos diariamente, en comparación a un habitante de la ciudad de Ica que genera 0.434 Kg./hab/día, este representa la mitad de la generación de Lima cercado.

Otras ciudades como, Cajamarca, Piura, Ayacucho y Chiclayo la generación de residuos sólidos domiciliarios varía entre 0.51 Kg./hab./día y 0.56 Kg./hab./día respectivamente. Otras de las ciudades importantes tanto por su actividad económica y nivel de vida de la población es la ciudad de Huancayo cuya generación per cápita es de 0.63 kilogramos de residuos diariamente generado por habitante. Es importante destacar que una de las ciudades mas destacadas por el manejo de residuos sólidos es la ciudad de Caraz, cuya actividad turística influye en la generación per cápita por habitante que es de 0.70 Kg./hab/día.

³ Ministerio del Ambiente Informe de la Situación Actual de la Gestión de Residuos Sólidos Municipales 2008.

⁴ Diagnostico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe 2da ed.1998.

Cuadro N° 1: GPC de Residuos sólidos domésticos en las principales ciudades del Perú

Ciudades	GPC Kg./hab./día
Lima (Cercado)	0.85 (1)
Ica	0.434 (2)
Ayacucho	0.56 (3)
Cajamarca	0.51 (4)
Piura	0.51 (5)
Chiclayo	0.56 (6)
Huancayo	0.63 (7)
Moquegua	0.40 (8)
Caraz	0.70 (9)

Fuente:

- (1) Informe de Estudio de Composición Física de RRSS - Junio 2005.
- (2) PIGARS de Ica.
- (3) PIGARS de Ayacucho.
- (4) PIGARS Cajamarca.
- (5) Municipalidad Provincial de Piura.
- (6) Gobierno Regional de Lambayeque.
- (7) PIGARS de Huancayo.
- (8) PIGARS de la Provincia de Mariscal Nieto 2004.
- (9) Estudio de Producción y Composición de Residuos Sólidos CARE-PERU Municipio Prov. Huaylas.

Composición física de los residuos sólidos domésticos

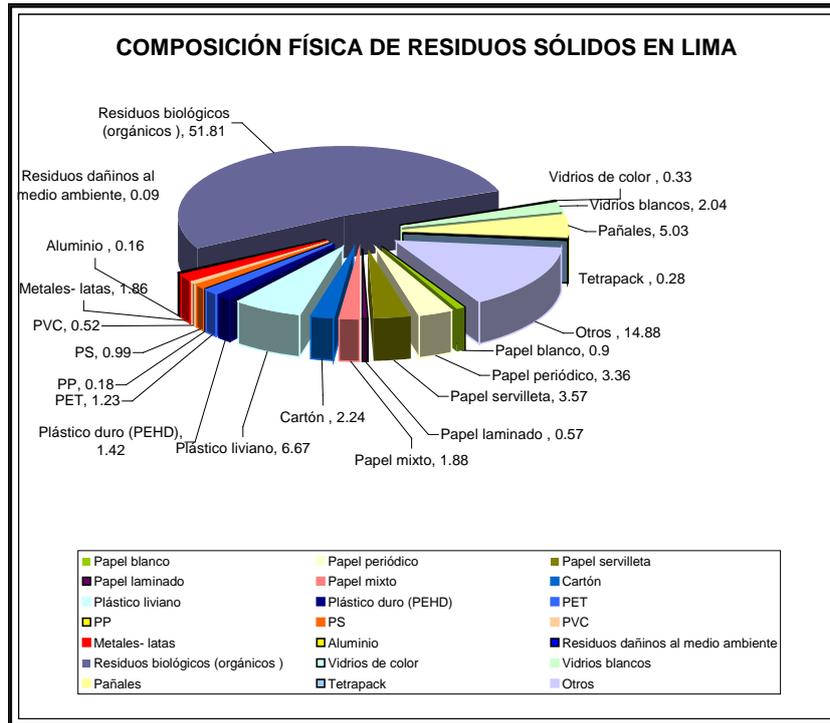
La composición física de los residuos sólidos en el transcurso de los años ha variado, esto se debe a los patrones de consumo cambiantes tanto por el incremento de los servicios y expansión de supermercados en las importantes ciudades como Lima, Cajamarca, Trujillo, Piura. En tal situación las costumbres orientadas al consumismo así como la migración de las zonas rurales a las ciudades, son factores determinantes de la generación y de la composición de los residuos sólidos, cuyos cambios van de materiales de origen orgánico hasta materiales como plásticos que se caracterizan por descomponerse en períodos muy largos.

La composición física de los residuos sólidos municipales en nuestro país está dada por un 54.5% del total es residuos es de residuos orgánicos, un solo 20.3% del total corresponde a material reciclable, y un 25.2 % del total es entre otros residuos⁵.

A continuación se presenta las gráficas de Composición de Residuos Sólidos en la Provincia de Lima, Provincia de Cajamarca y Provincia de Ica.

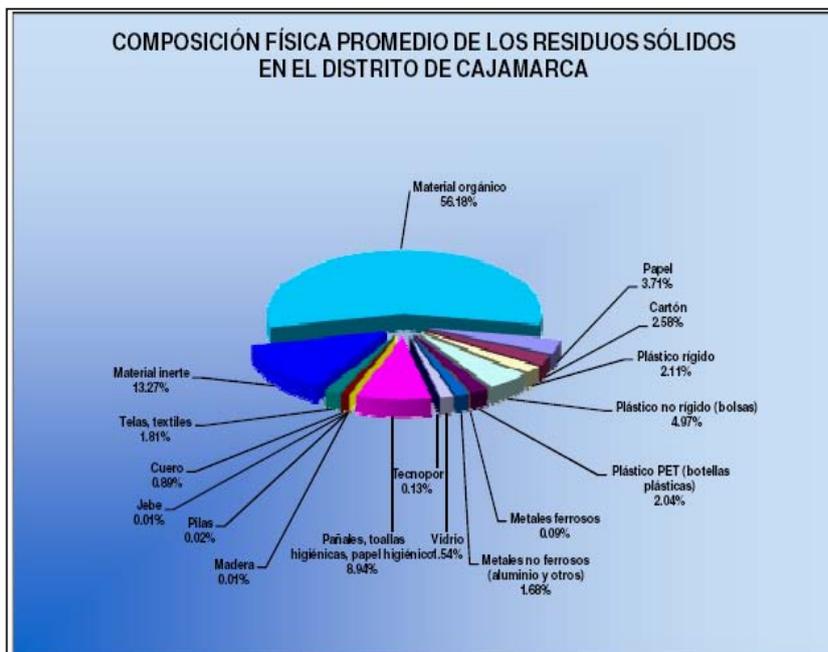
⁵ Fuente: Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales, EVAL 2002. Informe Analítico Perú.

Gráfico N° 1: Composición física de residuos sólidos de residuos sólidos en Lima



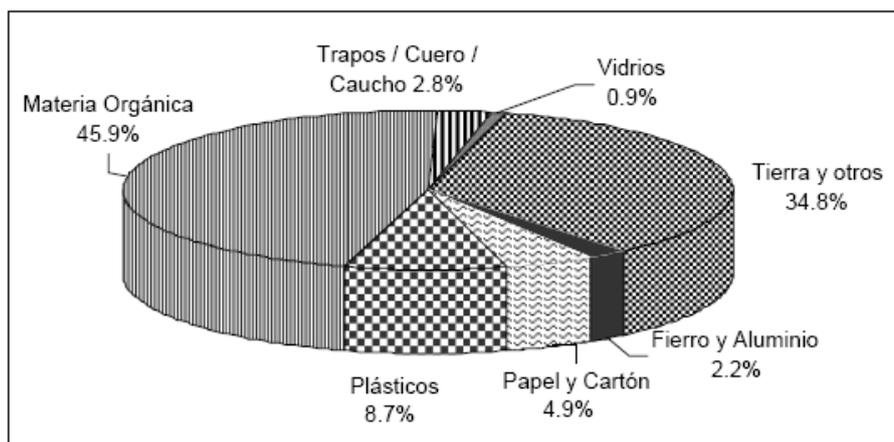
Fuente: Informe de Estudio de Composición Física de RRSS - Junio 2005.

Gráfico N° 2: Composición física de residuos sólidos de en el distrito de Cajamarca



Fuente: Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Cajamarca.

Gráfico N° 3: Composición física de residuos sólidos en la provincia de Ica



Fuente: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos - ONG DAR - 2004.
Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Ica.

1.2 Rellenos sanitarios convencionales en el Perú

1.2.1 Antecedentes generales

En la década de los 90 no existían rellenos sanitarios en nuestro país.⁶ La Disposición final adecuada de los residuos sólidos en nuestro país en la actualidad alcanza una cobertura del 19.7% que equivale a 12,986 ton/día según el Informe Analítico - Perú de la Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales - EVAL 2002, asimismo este informe considera que el 65.6% del total de los residuos tienen una disposición final inadecuada, esto quiere decir que la mayoría del total de residuos recolectados van a los botaderos provocando un riesgo a la salud de la población. Solo el 14.7% del total se reaprovecha.

Pese a enfrentar esta problemática, nuestro país comienza una experiencia positiva en la construcción de rellenos sanitarios manuales como es el caso de las ciudades de Carhuaz, Huaylas, Huarmey, además de otros proyectos que se encuentran en proceso de construcción como es el caso del relleno de la Provincia de Pisco.

1.2.2 Rellenos sanitarios convencionales en el Perú

Actualmente existen cuatro (04) rellenos sanitarios convencionales o mecanizados determinados por la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, de los cuales tres (03) se encuentran en distritos de Lima, Provincia de Lima y uno (01) en el distrito de San Antonio, Provincia de Huarochiri.

A continuación, en el cuadro siguiente se presenta los rellenos sanitarios convencionales en el Perú:

⁶ OPS, BID. Informes de expertos locales para el presente diagnóstico, 1996.
OPS: Estudios sectoriales de residuos sólidos en cuatro países - 1995-1996.

Cuadro N° 2: Rellenos sanitarios convencionales en el Perú

Departamento	Provincia	Distrito	Relleno Sanitario	Empresa
Lima	Lima	Ancón	Casren	Casren E.I.R.L
		Carabayllo	El Zapallal	Consortio Vega Upaca -Relima
		Lurín	Portillo Grande	Consortio Vega Upaca -Relima
	Huarochari	San Antonio de Chaclla	Huaycoloro	Petramas

Fuente: Catastro DIGESA - Actualizado al año 2006.

Cuadro N° 3: Volumen (ton/año) dispuesto en el relleno sanitario

Relleno Sanitario	Volumen Dispuesto (Ton/año)
Casren	533,880
El Zapallal	56,747
Portillo Grande	483,683
Huaycoloro	783,189
Total	1857,499

Fuentes: Municipalidad de Lima 2004b; Relima, 2004.

1.3 Salud pública e inadecuada disposición de residuos municipales en el Perú

La inadecuada disposición de los residuos sólidos en el Perú produce daños ambientales y daños a la salud pública; en nuestro país es considerado el segundo problema ambiental seguido de la contaminación de aguas residuales a los cursos de agua.

En la región de la costa los daños ambientales son marcados. Uno de los factores es determinado por la migración a las ciudades, la convivencia de los residuos sólidos con las urbanizaciones o asentamientos humanos debido a los ineficientes servicios locales. En consecuencia se encuentran en constante afectación a su salud. Se evidencia los daños causados a los segregadores en el caso de hombres, mujeres y niños que participan en este proceso; quienes suelen tener mayores problemas de origen parasitario que el resto de la población, asimismo, aparece las enfermedades a la piel, enfermedades al ojo, infecciones respiratorias, etc.

En la región andina los daños ambientales son de menor grado y si bien es cierto no son de magnitud como en la región de la costa, se puede evidenciar los daños a cursos de agua y al suelo, elementos de vital importancia para la manutención de los pobladores; los índices de infecciones parasitarias y EDAS son las mas

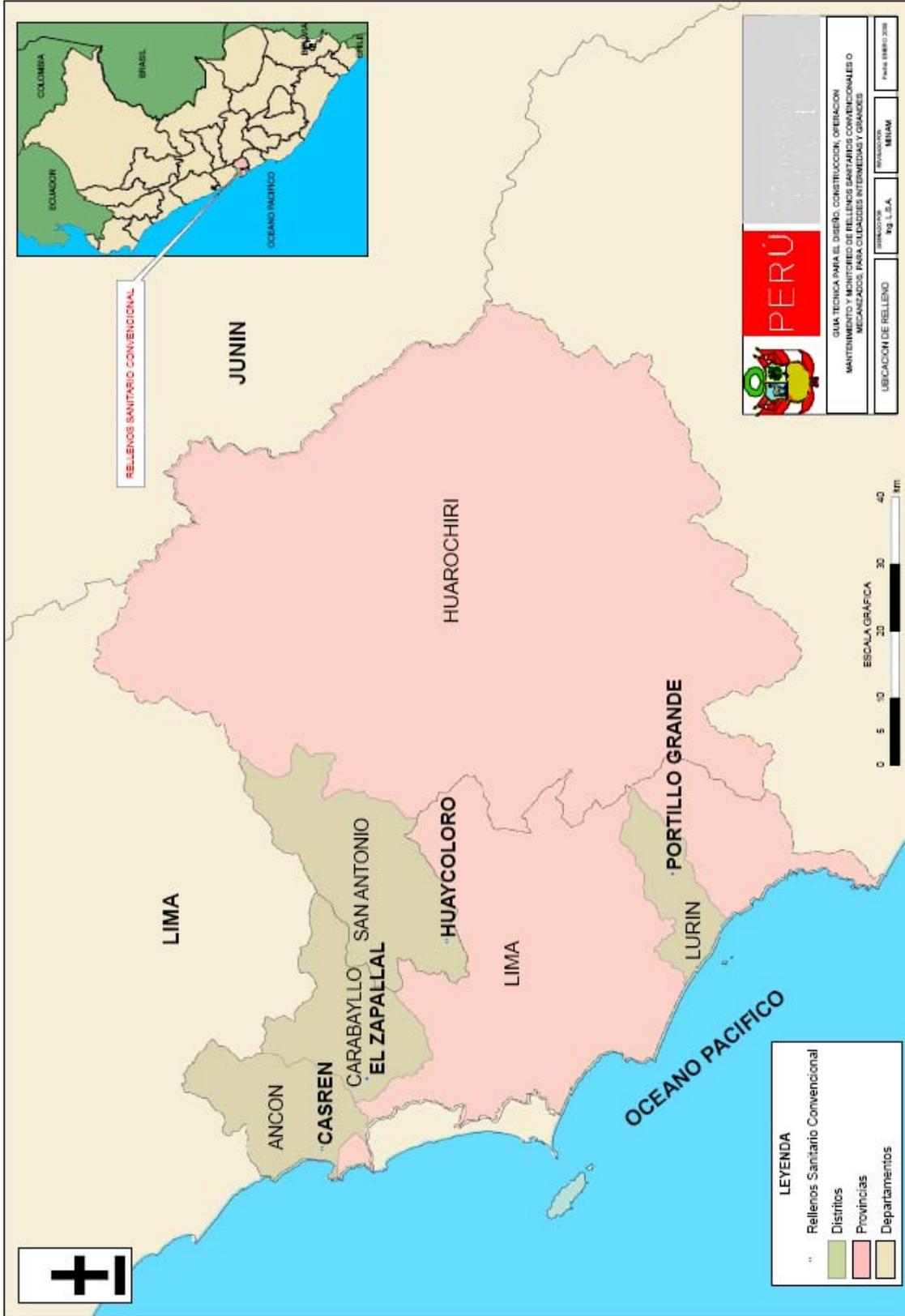
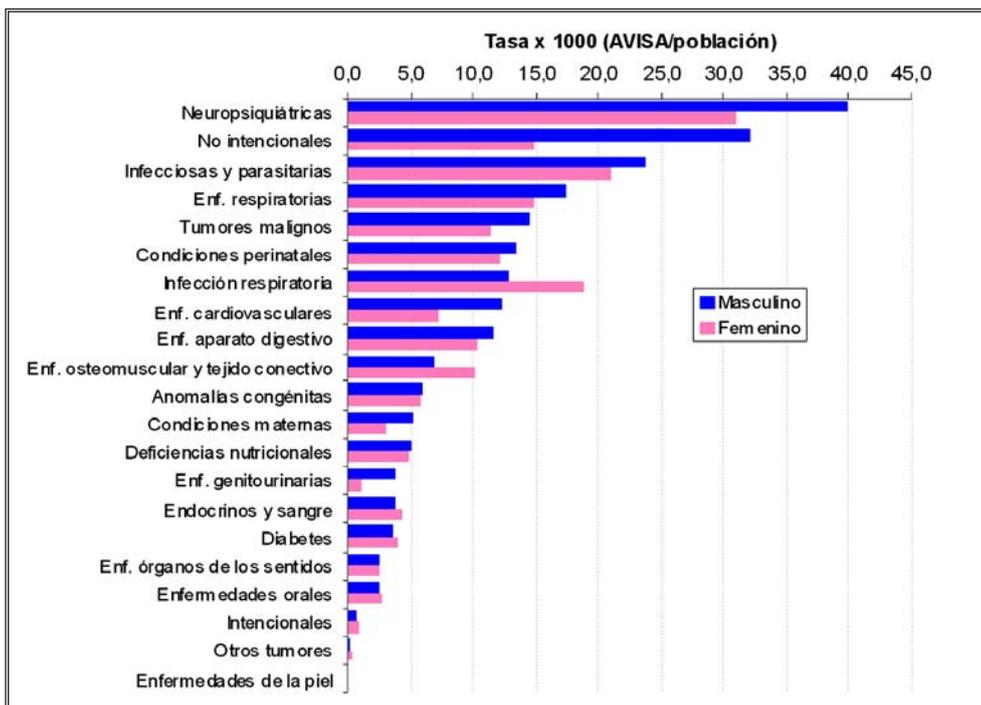


Imagen N° 1 Ubicación de Rellenos Sanitarios Convencionales o Mecanizados

predominantes. Es importante acotar que las cuencas bajas son las que padecen en mayor grado los impactos de la contaminación por la inadecuada disposición de los residuos sólidos.

Otro es el caso de la Región Amazónica, donde la inadecuada disposición de los residuos sólidos ocasiona una brecha muy estrecha con los asentamientos humanos en esta zona del país, el consumo de agua se realiza de pozos ubicados muchas veces en zonas aledañas a los botaderos. Por otro lado las altas precipitaciones, y la superficialidad de la napa freática en contacto con los botaderos son factores para la proliferación de vectores

Gráfico N° 4: Tasa de principales enfermedades en el Perú



Fuente: Primer Estudio de Carga de Enfermedad en el Perú DGE 2006.
 Sistema de Hechos Vitales - OGEI/MINSA.
 Elaborado por DGE/DEIS/ASIS.

Se puede observar del gráfico anterior, según la Dirección General de Epidemiología, que las enfermedades de infecciones parasitarias están en el rango de 20 por mil entre 24 por mil y las enfermedades respiratorias pertenece al rango de 14.9 por mil entre 17 por mil, siendo tasas elevadas; es importante destacar que las enfermedades mencionadas tienen relación con las condiciones de saneamiento entonces se puede deducir que existe una relación potencial por la inadecuada disposición final de los residuos sólidos.

Entre las enfermedades relacionadas con los residuos sólidos que más afectan a los peruanos se encuentran la hepatitis viral A, la toxoplasmosis, la fiebre tifoidea, leptospirosis, dengue y poliomeilitis, también están relacionadas las Infecciones Respiratorias Agudas - IRA y los Síndromes de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA), las enfermedades de la piel y los problemas de diarrea aguda infecciosa, que son los trastornos más frecuentes provocados por el contacto directo de los desechos⁷.

⁷ Informe Defensorial N° 125 – Defensoría del Pueblo

1.4 Normatividad legal vigente

El Reglamento para la disposición de los residuos sólidos mediante el empleo del relleno sanitario son las siguientes:

La constitución política,

Promulgada en el año 1993, fija normas que garantizan el derecho que tiene toda persona a la protección de su salud y gozar de un ambiente equilibrado. Establece asimismo que es el Estado quien determina las políticas nacionales de salud y ambiente.

Decreto legislativo N° 1065

Decreto legislativo que modifica la ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, en los aspectos principales de perfeccionar los lineamientos de política, establece las competencias del Ministerio del Ambiente, especifica las competencias de las autoridades sectoriales, la autoridad de salud, la autoridad de transporte y comunicaciones, establece el rol de los gobiernos regionales y el rol de las municipalidades, precisa las responsabilidades del generador de residuos sólidos del ámbito no municipal, entre otros.

Ley general de residuos sólidos - Ley N° 27314

Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 del 21 de julio del 2000, que presenta las recomendaciones y establece lineamientos generales a tomar en consideración para la implementación y operación de las infraestructuras de disposición final del residuo, así mismo establece la obligatoriedad de elaborar Estudios de Impacto Ambiental en los proyectos de infraestructura de residuos sólidos, entre ellos el relleno sanitario. Tomar en consideración, la modificación de esta Ley dada por el Decreto Legislativo N° 1065.

Reglamento de la ley general de residuos sólidos - D.S. N° 057-2004 - PCM

D.S. N° 057-2004, que siguiendo con los principios establecidos en la Ley General de Residuos, establece los criterios mínimos para la selección de sitio, habilitación, construcción, operación y cierre de las infraestructuras de disposición final. En la actualidad el presente Reglamento se encuentra en modificación.

Decreto supremo No. 06-STN del 09-01-64

Reglamento para la disposición de basuras mediante el empleo del método de relleno sanitario; mediante el cual se asigna a las municipalidades la responsabilidad de efectuar la recolección de los residuos en su jurisdicción y realizar su disposición final.

Ley orgánica de las municipalidades - Ley N° 27972

Título V: Competencias y Funciones Específicas de los Gobiernos Locales, artículo 73°, numeral 3 señala que las municipalidades distritales en materia de Protección y Conservación del Ambiente, cumplen las siguientes funciones:

- ❖ Formulan, aprueban, ejecutan y monitorean los planes y políticas locales en materia ambiental, en concordancia con las políticas, normas y planes regionales, sectoriales y nacionales.
- ❖ Proponen la creación de áreas de conservación ambiental.
- ❖ Promueven la educación e investigación ambiental en su localidad e incentivan la participación ciudadana en todos sus niveles
- ❖ Participan y apoyan a las comisiones ambientales regionales.
- ❖ Coordinan con los diversos niveles de gobierno nacional, sectorial y regional, la correcta aplicación local de los instrumentos de planeamiento y gestión ambiental, en el marco del sistema nacional y regional de gestión ambiental.

Ley general del ambiente - Ley N° 28611

Hace una diferencia de responsabilidades en cuanto al manejo de los residuos sólidos de origen doméstico y comercial (municipales), y de otros tipos de residuos (no municipales), cuyos generadores serán responsables de su adecuada disposición final, bajo las condiciones de control y supervisión establecidas en la legislación vigente.

Ley general de salud - Ley N° 26842

Ley N° 26842 del 20-07-97 - en la cual se reconoce la responsabilidad del Estado frente a la protección de la salud ambiental. En su artículo 96 del Capítulo IV, se menciona que en la disposición de sustancias y productos peligrosos deben tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para prevenir daños a la salud humana o al ambiente. Asimismo, los artículos 99, 104 y 107 del Capítulo VIII tratan sobre los desechos y la responsabilidad de las personas naturales o jurídicas de no efectuar descargas de residuos o sustancias contaminantes al agua, el aire o al suelo. El artículo 80°, numeral 3.1 de la misma Ley señala que en materia de saneamiento, salubridad y salud, son funciones específicas de las municipalidades distritales: proveer el servicio de limpieza pública determinando las áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y el aprovechamiento industrial de los desperdicios.

Ley del sistema nacional de inversión pública - Ley N° 27293

Creada con la finalidad de optimizar el uso de los recursos públicos destinados a los proyectos de inversión, en ese contexto se sitúan los proyectos de manejo de los residuos sólidos municipales, creando para tal efecto el Sistema Nacional de Inversión Pública, estableciendo además las fases a cumplir por todo proyecto de inversión pública; y su modificatoria dada por Decreto Legislativo N° 1091.

Ley marco para el crecimiento de la inversión privada

Decreto legislativo N° 757 (13 de noviembre de 1991) - que incentiva el crecimiento de la inversión privada, y que en su artículo 55, precisa que se encuentra prohibido "internar al territorio nacional residuos o desechos, cualquier sea su origen o estado de materia, que por su naturaleza, uso fines, resultan peligrosos radiactivos. El internamiento de cualquier otro tipo de residuos o desechos sólo podrá estar destinado a su reciclaje, reutilización o transformación"

Ley de bases de descentralización - Ley N° 27783

Que establece entre los objetivos a nivel ambiental, la gestión sostenible de los recursos naturales y mejoramiento de la calidad ambiental, además de incluir dentro de la asignación de competencias de las municipalidades, la Gestión de los residuos sólidos dentro de su jurisdicción.

Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental - Ley N° 27446

Establece dentro de los criterios de protección ambiental, la protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas; aspectos ambientales comunes a toda infraestructura de disposición final de residuos sólidos. Así mismo define los estudios ambientales correspondientes a cada tipo de proyecto dependiendo de la envergadura de éstos y la potencialidad de los impactos en el ambiente.

Código penal

"Ley que modifica diversos artículos del Código Penal y de la Ley General del Ambiente", en el título XIII, capítulo I, sobre los Delitos Ambientales, establece las penalidades por contaminación al ambiente y en su artículo 306, por incumplimiento de las normas relativas al manejo de residuos sólidos, define:

El que sin autorización o aprobación de la autoridad competente, establece un vertedero o botadero de residuos sólidos que pueda perjudicar gravemente la calidad del ambiente, la salud humana o la integridad de los procesos ecológicos, será reprimido con pena privativa de libertad no mayor de 4 años. Si el agente actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de 02 años.

Con el agente, contraviniendo leyes, reglamentos o disposiciones establecidas, utiliza desechos sólidos para la alimentación de animales destinados al consumo humano, la pena será no menor de 03 años no mayor de 06 años y con doscientos sesenta a cuatrocientos cincuenta días - multa. (Ver ley N° 29263)

1.5 Mecanismos de obligación y sanción

1.5.1 Competencias

Los mecanismos de supervisión, fiscalización y sanción en lo que respecta a las instalaciones de residuos sólidos; las operaciones y procesos de manejo de residuos sólidos en espacios públicos, esta definido por el artículo 49⁸ de la Ley General de Residuos sólidos, como competencia compartida del Ministerio de Salud, las Municipalidades Provinciales y las Municipalidades Distritales.

El Ministerio de Salud, las Municipalidades Provinciales y las Municipalidades Distritales no son autoridades competentes cuando la operación del relleno sanitario recae dentro de una competencia exclusiva conforme lo indicado en los párrafos siguientes:

1. El Ministerio del Ambiente - MINAM y las demás autoridades sectoriales como:
 - Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Agricultura,
 - Dirección de Asuntos Ambientales de Industria del Ministerio de la Producción - PRODUCE,
 - Dirección General de Asuntos Ambientales de Pesquería del Ministerio de la Producción - PRODUCE,
 - Dirección de Medio Ambiente y Sostenibilidad Turística del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo - MINCETUR,

○ los organismos reguladores, como:

- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN,
- Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público - OSITRAN,
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS,

a cargo de las actividades productivas y de servicios, son competentes por el manejo de los residuos sólidos generados en el desarrollo de las mismas.

2. La autoridad a cargo del sector transporte y comunicaciones (Dirección General de Asuntos Socio-ambientales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC), en lo que respecta al transporte de residuos peligrosos y el uso de las vías nacionales para este fin.
3. La autoridad a cargo del sector vivienda, construcción y saneamiento (Oficina del Medio Ambiente - OMA, del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), respecto de los residuos de la construcción, de las instalaciones de saneamiento y otros en el ámbito de su competencia.
4. La autoridad marítima (Dirección de Medio Ambiente de La Dirección General de Capitanías y Guardacostas - DICAPI) por las infracciones cometidas a la ley de residuos sólidos, en los buques e instalaciones acuáticas así como por arrojar residuos o desechos sólidos en el ámbito acuático de su competencia.
5. La autoridad de Puertos (Dirección de Operaciones y Medio Ambiente - DOMA de la Autoridad Portuaria Nacional - APN) por las infracciones cometidas en instalaciones portuarias y similares, dentro del ámbito de su competencia.

⁸ Modificado por el artículo 1° del Decreto Legislativo N° 1065.

6. La autoridad de salud de nivel nacional (Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, del Ministerio de Salud) por el manejo de los residuos sólidos al interior de los establecimientos de atención de salud y en campañas sanitarias, así como por los demás temas a su cargo de acuerdo a lo establecido en la ley general de residuos sólidos.
7. Los gobiernos Regionales (Gerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente) y Municipales (Oficina o Subgerencia de Medio Ambiente de la Gerencia de Servicios a la Ciudad), en lo concerniente a las funciones establecidas en la legislación vigente o que fueran transferidas como parte del proceso de descentralización.

En tal sentido se concluye que las acciones de vigilancia, supervisión y fiscalización del funcionamiento del relleno sanitario en los aspectos fundamentales de riesgo de daño a la salud pública y el ambiente, las ejecutan de forma descentralizada las Direcciones Regionales de Salud (DIRESA) a través de sus Direcciones de Salud Ambiental (DESAs) y las acciones de vigilancia del funcionamiento del relleno sanitario en los aspectos de cumplimiento de cronogramas de implementación progresiva, cumplimiento de cláusulas establecidas por servicios contratados o concesiones vigentes y otros de cumplimiento de aspectos tributarios y de funcionamiento conforme con lo establecido en la autorización (Licencia) de funcionamiento emitida, las ejecutan las Municipales Provinciales y Municipalidades Distritales donde se ubica el relleno sanitario.

Cuando el relleno sanitario es para residuos sólidos del ámbito NO municipal o se ubican dentro de las instalaciones de actividades extractivas o de producción, son las autoridades competentes exclusivas las que ejecutan las acciones de vigilancia, supervisión y fiscalización para la aplicación de la sanción.

Finalmente la participación ciudadana también cuenta con mecanismos para la fiscalización y vigilancia ciudadana ambiental, así como para la denuncia por infracciones a la legislación ambiental, según lo establecido por el D.S. 002-2009 - MINAM, que es una norma específica de acceso a la información, participación y consulta ciudadana emitido por el Ministerio del Ambiente.

1.5.2 Mecanismo de sanción

Las autoridades competentes para la aplicación de sanciones en materia de residuos sólidos, están facultadas para aprobar la tipificación de infracciones y escalas de sanciones correspondientes, adecuándose a las particularidades de cada actividad bajo su competencia.

Toda Sanción que se imponga a un infractor será mediante resolución según corresponda, la misma que será motivada con los fundamentos de hecho y derecho, bajo causal de nulidad.

Sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa que correspondiera, los infractores están obligados a la reposición o restauración del daño causado hacia el estado anterior a la infracción cometida, en la forma y condiciones fijadas por la autoridad que impuso la sanción independiente de la sanción que le correspondiera.

En el cuadro que se muestra a continuación se presenta la relación de infracciones considerados por el reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, la clasificación de infracciones según su gravedad y la escala de aplicación de sanción correspondiente.

Cuadro N° 4: Clasificación de infracciones y escala de sanciones

Clasificación	Infracción	Amonestación por escrito	Multa (UIT)	Suspensión temporal Parcial o total de actividades o procedimientos	Clausura Parcial o total de actividades o procedimientos	Cancelación de registro
Infracciones Leves	Negligencia en el mantenimiento, funcionamiento y control de las actividades de residuos	SI	0.5 – 20 (R. No Peligrosos) 21 – 50 (R. Peligrosos)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
	Incumplimiento en el suministro de información a la autoridad correspondiente	SI	0.5 - 20 (R. No Peligrosos) 21 – 50 (R. Peligrosos)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
	Incumplimiento de otras obligaciones de carácter formal	SI	0.5 - 20 (R. No Peligrosos) 21 – 50 (R. Peligrosos)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
	Otras infracciones que no revistan mayor peligrosidad.	SI	0.5 - 20 (R. No Peligrosos) 21 - 50 (R. Peligrosos)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Infracción grave	Ocultar o alterar maliciosamente la información consignada en los expedientes administrativos para la obtención de registros, autorizaciones o licencias previstas en el reglamento de la Ley General de residuos sólidos.	NO APLICA	21 – 50 (R. No Peligroso) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Realizar actividades sin la respectiva autorización prevista por ley o realizar estas con autorizaciones caducas o suspendidas o el incumplimiento de las obligaciones establecidas en las autorizaciones.	NO APLICA	22 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Abandono, disposición o eliminación de los residuos en lugares no permitidos.	NO APLICA	23 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Falta de Pólizas, de seguro de conformidad a lo establecido en el reglamento de la ley general de residuos sólidos.	NO APLICA	24 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Importación o ingreso de residuos no peligrosos al territorio nacional, sin cumplir con los permisos y autorizaciones exigidos por norma.	NO APLICA	25 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA

Continúa...

Clasificación	Infraacción	Amonestación por escrito	Multa (UIT)	Suspensión temporal Parcial o total de actividades o procedimientos	Clausura Parcial o total de actividades o procedimientos	Cancelación de registro
Infraacción grave	Falta de rotulado de los recipientes o contenedores donde se almacena residuos peligrosos, así como la ausencia de señalización en las instalaciones de manejo.	NO APLICA	26 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Mezcla de residuos incompatibles	NO APLICA	27 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Comercialización de residuos sólidos no segregados	NO APLICA	28 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Utilizar el sistema postal o de equipaje de carga para el transporte de residuos no peligrosos	NO APLICA	29 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
	Otras infracciones que generen riesgo a la salud y el ambiente	NO APLICA	30 - 50 (R. No Peligrosos) 51 - 100 (R. Peligrosos)	HASTA 60 DIAS	NO APLICA	NO APLICA
Infraacción Muy Grave	Operar infraestructuras de residuos sin la observancia de las normas técnicas.	NO APLICA	51 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI
	Importación o ingreso de residuos peligrosos al territorio nacional, sin cumplir con los permisos y autorizaciones exigidos por ley.	NO APLICA	52 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI
	Incumplimiento de las acciones de limpieza y recuperación de suelo contaminado.	NO APLICA	53 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI
	Comercialización de residuos sólidos peligrosos sin la aplicación de sistemas de seguridad en toda la ruta de la comercialización.	NO APLICA	54 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI
	Utilizar el sistema postal o de equipaje de carga para el transporte de residuos sólidos peligrosos.	NO APLICA	55 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI
	Omisión de planes de contingencia y de seguridad	NO APLICA	56 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI
	Otras infracciones que permitan el desarrollo de condiciones para la generación de daños a la salud pública y al ambiente.	NO APLICA	57 - 100 (R. No Peligrosos) 101 - 600 (R. Peligrosos)	NO APLICA	SI	SI

Procedimientos previos a la construcción del relleno sanitario

2.1 Estudio de selección de área

Es el documento que define y establece el ó los espacios geográficos dentro de una jurisdicción determinada para instalar infraestructuras de transferencia, tratamiento y disposición final de residuos, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Conforme con el uso del suelo y planes de expansión urbana.
- Conforme con el plan de gestión integral de residuos de la provincia, en caso los tuviera.
- Mínimo impacto social y ambiental por la construcción operación y cierre.
- Considerar los factores climáticos, topográficos, geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos.
- Prevención de riesgos sanitarios y ambientales.
- Preservación del patrimonio arqueológico, cultural y monumental de la zona.
- Preservación de áreas naturales protegidas por el estado y conservación de recursos naturales renovables.
- Menor vulnerabilidad del área a desastres naturales.

2.2 Informe de opinión técnica favorable de la selección de área

Para lograr la aprobación del estudio de selección de área se sugiere las siguientes recomendaciones previas a la realización del estudio de selección de área.

Antes de definir el lugar de disposición final es preciso evaluar los terrenos posibles estableciendo las coordinaciones entre la municipalidad provincial y la autoridad de salud.

Es importante que la municipalidad cuente con la dirección profesional y el especialista idóneo para la determinación de los estudios a realizar. Luego es preciso tener en cuenta los siguientes pasos a fin de lograr la aprobación del estudio de selección del área:

- ❖ Ubicar tres áreas posibles para la evaluación por parte de la Dirección Regional de Salud y los especialistas idóneos.
- ❖ Solicitar evaluación de área al Director de la Dirección Regional de Salud-DIRESA, esta solicitud debe estar a cargo de la municipalidad y firmado por el alcalde.
- ❖ Elaborar el estudio de selección de área, recogiendo los resultados y recomendación de la evaluación previa y cumpliendo con los criterios técnicos establecidos por el D.S. N° 057 - 2004 - PCM, Art. 67)
- ❖ Presentar la solicitud de opinión técnica favorable, adjuntando el estudio de selección de área, por parte de la Municipalidad a la Dirección Regional de Salud para su respectiva aprobación.

2.3 Aprobación del estudio de impacto ambiental

El Estudio de Impacto Ambiental - EIA, es el instrumento ambiental que evalúa el futuro proyecto respecto a sus potenciales efectos en el ambiente y que finalmente establece el plan de manejo que minimizara tales efectos.

Los requisitos para la presentación del expediente de aprobación de estudio de impacto ambiental para Relleno sanitario son los siguientes:

- ❖ Solicitud dirigida al Director General de la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, con carácter de declaración jurada N° RUC, y firmado por el representante legal o por el Alcalde de la Municipalidad, precisando si los residuos sólidos a disponer son de ámbito de gestión municipal adjuntando dos (02) ejemplares del EIA.
- ❖ Certificado de compatibilidad de Uso original otorgado por la Municipalidad Provincial correspondiente.
- ❖ Documento del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas - SENARP (ex INRENA) en donde se señala la no afectación de áreas naturales protegidas por el estado.
- ❖ Informe del comité regional de Defensa Civil (en original) de no encontrarse la infraestructura en área vulnerable a desastres naturales.
- ❖ Certificado de no afectación de restos arqueológicos en original otorgado por el Instituto Nacional de Cultura.
- ❖ Informe de la opinión técnica favorable de la selección de área para infraestructura de residuos sólidos, emitida por la Dirección de Salud de la jurisdicción (adjuntando copia del referido estudio de selección)
- ❖ Resultados en original del último monitoreo ambiental basal (aire, agua, suelo) de antigüedad no mayor a un año, realizado por un laboratorio acreditado, adjuntando la interpretación de los resultados correspondientes.
- ❖ Estudio topográfico, geológico, geotécnico, hidrológico e hidrogeológico correspondiente al área de influencia del proyecto debidamente suscritos por los profesionales responsables en cada una de sus hojas.
- ❖ Comprobante de pago por derecho de trámite (29.79% de la UIT).

2.4 Opinión técnica favorable del proyecto de infraestructura

El proyecto de infraestructura, es el equivalente al expediente técnico de la construcción de la instalación de disposición final o relleno sanitario en su nivel de factibilidad.

Los requisitos para la presentación del expediente de opinión técnica favorable del proyecto de infraestructura de Relleno Sanitario son los siguientes:

- ❖ Solicitud dirigida al Director General de la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA, con carácter de declaración jurada N° RUC, y firmado por el Alcalde de la Municipalidad.
- ❖ Copia del título de propiedad o documento que autorice el uso del terreno para su operación.
- ❖ Constancia de habilitación profesional del ingeniero sanitario responsable del proyecto de infraestructura de residuos sólidos.
- ❖ Dos (02) ejemplares del proyecto de infraestructura, suscrito por el ingeniero sanitario responsable en cada una de sus hojas, adjuntando una (01) copia en medio magnético del proyecto desarrollado.
- ❖ Comprobante de pago por derecho de trámite (27.44% de la UIT).

2.5 Procedimientos de aprobación de opinión pública

El procedimiento administrativo para lograr la aprobación de la opinión pública en los Estudios de Impacto Ambiental - EIA y para la opinión favorable de proyectos de inversión de rellenos sanitarios, específicamente no está regulado por la autoridad competente que aprueba dichos documentos, sin embargo, el promotor de las inversiones debe tomar en consideración lo establecido por la Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental⁹ y la norma específica de participación y consulta ciudadana emitido por el Ministerio del Ambiente¹⁰. Donde se define entre otros: los lineamientos para la participación ciudadana, los procesos ambientales con participación ciudadana, los mecanismos de consulta y los lineamientos de las consultas.

⁹ Ley N°29325 Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

¹⁰ D.S. 002-2009-MINAM Reglamento sobre transparencia, acceso a la información pública ambiental y participación y consulta ciudadana en asuntos ambientales. Publicado el 17/01/2009.

Criterios para el estudio de selección de área

3.1 Consideraciones técnicas, legales y sociales

3.1.1 Aspectos técnicos

A continuación se describen algunos de los aspectos técnicos más importantes para el estudio de selección de área:

3.1.1.1 Ubicación del área para futuro relleno sanitario

Un relleno sanitario bien operado no causa molestias, sin embargo es preferible ubicar el sitio alejado de centros poblados, previendo que al final de la vida útil del relleno, éste se pueda usar como área verde.

Se recomienda que el sitio para el relleno sanitario esté cercano al centro urbano al cual va servir por razón del menor costo en la operación del transporte de residuos, sin embargo 1 Km. es la menor distancia límite que debe existir entre la población del centro poblado mas cercano, de acuerdo al Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.

Por excepción y de acuerdo a lo que establezca el respectivo EIA, la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA podrá autorizar distancias menores o exigir distancias mayores, sobre la base de los potenciales riesgos para la salud o la seguridad de la población, que pueda generar el relleno sanitario

3.1.1.2 Material para cobertura

El relleno sanitario debe ser lo más autosuficiente en material de cobertura (tierra) para su construcción como sea posible.

Si el sitio no contara con tierra suficiente o no se pudiera excavar, deberán investigarse bancos de material para cobertura en lugares próximos y accesibles tomando en cuenta el costo de transporte.

3.1.1.3 Vida útil del sitio

La capacidad del área debe ser suficientemente grande para permitir su utilización durante un periodo igual o mayor de cinco (05) años, a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación, instalación y las obras de infraestructura.

3.1.1.4 Vías de acceso

Las condiciones de tránsito de las vías de acceso al relleno sanitario afectan el costo global del sistema, retardando los viajes y dañando vehículos; por lo tanto, el sitio debe estar de preferencia a corta distancia del área urbana a servir y bien comunicado por carretera, o bien, con un camino de acceso corto no pavimentado, pero transitable en toda época del año.

3.1.1.5 Topografía

El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea.

3.1.1.6 Compatibilización con el uso de suelo y planes de expansión urbana

De igual manera la ubicación de una infraestructura de disposición final debe estar acorde a la proyección de expansión de la población, así como también debe compatibilizar con el uso de suelos, esto contemplado en el plan de desarrollo urbano distrital o el plan de acondicionamiento territorial de los Gobiernos Provinciales.

3.1.1.7 Compatibilización con el plan de gestión integral de residuos en la provincia

Es necesario tomar en cuenta si el proyecto de relleno sanitario fue considerado como una alternativa para la disposición final de residuos sólidos dentro del plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos de la Provincia.

3.1.1.8 Minimización y prevención de los impactos sociales y ambientales negativos

Para la evaluación de este aspecto técnico considerar las siguientes variables: tamaño del terreno, la capacidad útil del terreno, la situación sanitaria actual respecto a la presencia de pasivos ambientales como existencia de botaderos pasados o actuales, proximidad a las fuentes de abastecimiento de aguas superficiales, como a fuentes de aguas subsuperficial, y antecedentes de conflictos sociales o quejas sociales por residuos sólidos en la zona.

3.1.1.9 Condiciones climáticas

La ubicación del área deberá seleccionarse de tal manera que la condición climática sea favorable para la ubicación del proyecto. La dirección del viento predominante es importante, debido a las molestias que puede causar tanto en la operación, por el polvo y papeles que se levantan, como por el posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Asimismo será importante conocer las condiciones meteorológicas de precipitación, temperatura y humedad relativa, y ver si serán favorables a la biodegradación de los residuos.

3.1.1.10 Geología

Un contaminante puede penetrar al suelo y llegar al acuífero, contaminándolo y haciéndolo su vehículo, por lo tanto es muy importante conocer el tipo de suelo (estratigrafía) del sitio para el relleno sanitario.

Los suelos sedimentarios con características areno - arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de líquido contaminante se reduce sustancialmente.

Por otra parte, este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cubierta.

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas.

3.1.1.11 Hidrogeología

Uno de los factores básicos para la selección del sitio es el de evitar que pueda haber alguna contaminación de los acuíferos.

Es importante realizar como mínimo un estudio o evaluación geohidrológico a nivel de reconocimiento para identificar la posibilidad de existencia de acuíferos sub-superficiales, la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, la dirección y la velocidad del escurrimiento o flujo de la misma.

El profesional especialista determinará el nivel de detalle en el cual se debe realizar el estudio geohidrológico, debiendo en todos los caso utilizarse información oficial¹¹ de referencia o mediciones in situ si el caso lo amerita.

3.1.1.12 Hidrología superficial

Una parte de los problemas de operación causados por la disposición de desechos sólidos son consecuencia de una deficiente captación de agua de escurrimiento; partiendo de esa base es muy importante que el sitio seleccionado esté lo más lejos posible de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua, y cuente con una adecuada red de drenaje pluvial para evitar escurrimientos dentro del relleno sanitario.

3.1.1.13 Preservación del patrimonio arqueológico

La preservación del patrimonio arqueológico es un criterio importante, el terreno no debe estar ubicado en un área perteneciente a una zona arqueológica de ser así es un criterio de restricción de ubicación.

3.1.1.14 Preservación de áreas naturales protegidas

Para la evaluación del siguiente criterio es importante que el lugar posible no afecte un área natural protegida por el estado.
En caso si existiese este sería un criterio de restricción de ubicación.

3.1.1.15 Vulnerabilidad del área a desastres

Es importante definir si el terreno es vulnerable a desastres naturales, de ser así los rellenos sanitarios no deberán ubicarse en estas áreas.

3.1.2 Aspectos legales

3.1.2.1 Saneamiento físico legal del terreno

Es recomendable que un proyecto de relleno sanitario deberá iniciar solamente cuando la entidad responsable del relleno (Municipio), tenga en un sus manos el documento legal que la autorice a construir sobre el terreno el relleno sanitario con todas las obras complementarias, estipulando también el periodo y la utilización futura u opciones.

Es muy usual que el municipio obtenga de particulares, el arrendamiento del terreno para el relleno sanitario. En caso esto suceda será necesario siempre contar con un convenio o contrato firmado y debidamente legalizado por ambas partes.

Cuando el terreno sea propiedad del municipio, éste deberá quedar debidamente registrado en el catastro de la propiedad, señalando que será de uso restringido.

Las Instituciones para acudir y conocer el estado físico - legal del terreno son las siguientes:

- Ministerio de Agricultura a través del Proyecto Especial de Titulación de Tierras - PETT.
- Ministerio de Energía y Minas.
- Superintendencia Nacional de Registros Públicos.
- Dirección Regional de Salud.
- Superintendencia Nacional de Bienes Estatales - SBN.

¹¹ Información generada por el Ministerio de Energía y Minas y/o el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

3.1.3 Aspectos sociales

3.1.3.1 Grado de aceptación respecto a una futura construcción del relleno sanitario.

El grado de aceptación de las poblaciones aledañas a las áreas pre-seleccionadas, es el resultado de una evaluación social, que incluye como mínimo los siguientes pasos:

Primero, se identifica las poblaciones más cercanas a los sitios preseleccionados y que podrían resultar como poblaciones directamente afectadas o indirectamente afectadas tanto en la fase de implementación como en la fase de funcionamiento de la planta de tratamiento de los residuos sólidos.

Segundo, se determinan las características demográficas de cada una de las poblaciones identificadas¹².

En tercer lugar, se requiere conocer tanto las opiniones, creencias y actitudes, así como su interés y posibilidades de participación en el proyecto, donde la recolección de la información a cada uno de estos aspectos se puede efectuar por medio de la aplicación de los siguientes instrumentos:

- Encuesta a los pobladores.
- Entrevista a los líderes o autoridades de las localidades seleccionadas.
- Observación de la dinámica social, económica y cultural.
- Realización de dinámicas de grupo a fin de percibir actitudes y percepciones en torno a la instalación de un futuro relleno sanitario en terrenos cercanos a su comunidad.

Sobre la base de los resultados del grado de aceptación de la población se recomienda diseñar y efectuar la campaña de educación e información a través de los medios de comunicación, instituciones del estado como privadas, instituciones educativas y asociaciones sociales, que entre otros objetivos busque aclarar la confusión que existe por parte de la población, originada por la creencia que un relleno sanitario es un botadero a cielo abierto.

En todos los pasos es recomendable la participación o supervisión de un profesional en ciencias sociales a fin de minimizar errores en el desarrollo los resultados y conclusiones.

3.2 Restricciones de ubicación

Los rellenos sanitarios no podrán ser ubicados en aquellos lugares que no cumplan las condiciones mínimas indicadas a continuación.

En casos excepcionales debidamente justificados, y cuando el responsable garantice que el funcionamiento del relleno no ocasionará problemas a la salud, la seguridad pública y al ambiente, la autoridad competente podrá otorgar la aprobación respectiva¹³.

3.2.1 Seguridad aeroportuaria

El relleno sanitario no deberá estar ubicado a una distancia menor de 3 000 m de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje.

3.2.2 Fallas geológicas, áreas inestables

No se podrán escoger zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, zonas con posibilidad de deslizamientos ni propensas a ser inundadas.

¹² Información estadística oficial del INEI ó de establecimientos públicos del Estado como Colegios, Establecimientos de Salud, etc.

¹³ CEPIS "Proyecto de Normas Técnicas para la Ubicación, Diseño, Construcción y Monitoreo de Rellenos Sanitarios Mecanizados y Manuales".

3.2.3 Zonas sísmicas

En zonas sísmicas el relleno sanitario no deberá ubicarse en lugares propensos a sufrir agrietamientos, desprendimientos, desplazamientos u otros movimientos de masas que pongan en riesgo la seguridad del personal y/o la operación del relleno.

3.2.4 Infraestructura existente

No se podrán seleccionar zonas que se encuentren dentro de las áreas de influencia de obras de infraestructura tales como embalses, represas, refinerías, obras hidroeléctricas, entre otros.

3.2.5 Plan urbano y proyectos de desarrollo regional o nacional

No se permitirá la ubicación de un relleno sanitario en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. Tampoco se podrán utilizar áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (centrales hidroeléctricas, aeropuertos, represas, etc.).

Los rellenos sanitarios:

- ❖ No se deberán ubicar en áreas naturales protegidas por el Estado.
- ❖ No se deberán ubicar en áreas vulnerables a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos de tierra, piedra y/o lodo).
- ❖ No se deberán ubicar en zonas arqueológicas.
- ❖ No se deberán ubicar en lechos de ríos, ni quebradas activas.

Las áreas disponibles identificadas por las autoridades competentes a ser utilizados para los fines de disposición final, no podrán establecerse sobre propiedad privada, concesiones u otros derechos adquiridos previamente, a menos que haya una declaración expresa de necesidad pública, conforme a ley, o medie consentimiento expreso del titular del predio.

3.3 Evaluación de áreas alternativas

A fin de ejecutar una evaluación de las distintas áreas pre-seleccionadas o alternativas para el futuro proyecto de relleno sanitario, se recomienda seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Definición de parámetros de evaluación

Definir que parámetros se van a utilizar para el proceso de evaluación, el parámetro debe ser cuantificable a fin poder comparar el valor en diferentes alternativas.

Paso 2: Definición de los valores límite o de referencia y las opciones de calificación por cada parámetro que se utilizará en la selección, estos valores guardarán absoluta concordancia con lo establecido en las normas, reglamentos o normas técnicas específicas y en el caso de no encontrarse regulados en función de referencias nacionales o internacionales especializadas en el diseño o la gestión de residuos.

Paso 3: Definición de la importancia del parámetro

Consiste en establecer un peso o importancia para cada parámetro en función de la evaluación preliminar del conjunto de las áreas preseleccionadas o alternativas, se recomienda partir del peso que se le asignará a los parámetros sociales y luego al resto de la parte técnica, según la realidad propia de la zona, en la imagen siguiente se muestra un ejemplo de importancia de parámetros.

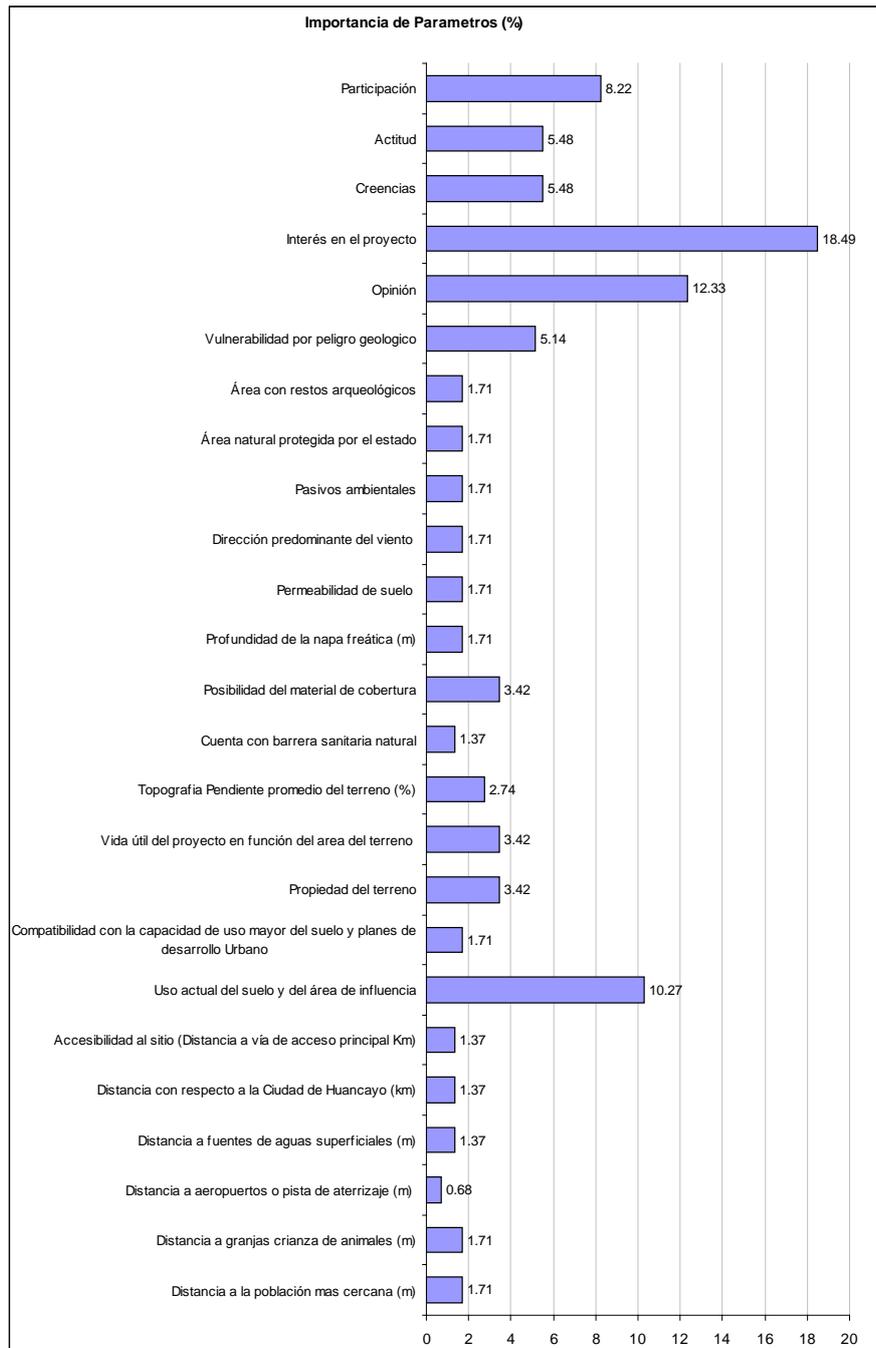


Imagen N° 2: Importancia porcentual del puntaje máximo según parámetros de evaluación.

Paso 4: Definición del sistema de calificación

Para facilitar el proceso de selección del área más adecuada para la instalación de una futura planta de tratamiento se puede definir una escala múltiple de calificación: que puede considerar la evaluación de la calidad del resultado respecto al parámetro como positivo (+) cuando cumple o sobrepasa valores límite o de referencia, negativo (-) cuando ocurre lo contrario, también se evalúa la magnitud del resultado respecto a su alejamiento y/o acercamiento a los valores límites de referencia según la siguiente sub escala (1: para los menos alejados, 2: para los valores moderadamente alejados y 3: para los valores muy alejados.) la importancia del parámetro se puede establecer en función al criterio del equipo multidisciplinario considerando el siguiente orden de criterios a) aspectos de aceptación social del proyecto, b) exigencias del marco legal existente y c) aspectos no regulados pero importantes para un correcto funcionamiento del

proyecto, finalmente se establece una regla de cálculo, para la obtención del puntaje máximo ponderado del componente, por ejemplo el resultado de la multiplicación del puntaje por el valor de importancia.

Todo lo antes expresado se puede apreciar en el cuadro que se muestra a continuación:

Cuadro N° 5: Puntaje máximo ponderado por parámetro de evaluación

Ítem	Parámetro	Valores limite o de referencia y Puntaje	Puntaje máximo	Importancia del indicador	Puntaje máximo ponderado	Puntaje Máximo del Componente
1.1	Distancia a la población mas cercana (m)	> 1000 (1) < 1000 (-1)	1	5	5	146
1.2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	> 1000 (1) , < 1000 (-1)	1	5	5	
1.3	Distancia a aeropuertos o pista de aterrizaje (m)	> 3.0 (1), < 3.0 (-1)	1	2	2	
1.4	Distancia a fuentes de aguas superficiales (m)	> 300 m quebrada seca una parte del año (2) , >300 m de río principal (1) , < 300 m de río principal (-2) <de 300 m de quebrada seca una parte del año (-1)	2	2	4	
1.5	Distancia con respecto a la Ciudad de Huancayo (km)	> 16 km (1), entre 1 y 16 km (2)	2	2	4	
1.6	Accesibilidad al área (Distancia a vía de acceso principal Km)	Acceso en buen estado (2) Acceso en Mal estado (1) , sin acceso (-2)	2	2	4	
1.7	Uso actual del suelo y del área de influencia	Cultivo en Limpio (1) Cultivo secano (2), pastos cultivados (3) Pastos naturales (4) , forestal de sierra (5) Eriazo (6)	6	5	30	
1.8	Compatibilidad con la capacidad de uso mayor del suelo y planes de desarrollo Urbano	Uso compatible (1) uso no compatible (-1)	1	5	5	
1.9	Propiedad del terreno	saneado (1) no saneado (-1)	1	10	10	
1.1	Vida útil del proyecto en función del área del terreno	> 5 años (2) < 5 años (-2)	2	5	10	
1.11	Topografía Pendiente promedio del terreno (%)	Plano a ligeramente inclinado 0 - 7% (4), Inclinado 7-12% (3), empinado 12-25% (2), muy empinado >25% (1)	4	2	8	
1.12	Cuenta con barrera sanitaria natural	Presenta Barrera sanitaria natural (2) Presencia de barrera sanitaria parcial (1) sin barrera sanitaria natural (-2)	2	2	4	
1.13	Posibilidad del material de cobertura	material de cobertura adecuado para operación total del proyecto (2), material de cobertura parcialmente adecuado (1), sin material de cobertura (-2)	2	5	10	
1.14	Profundidad de la napa freática (m)	profundidad < 10 metros (-1), profundidad > 10 m (1)	1	5	5	
1.15	Permeabilidad de suelo	impermeabilidad es < a 1x10 ⁻⁶ (arcilla) (1), impermeabilidad > a 10 ⁻⁶ (-1)	1	5	5	

Continúa...

Ítem	Parámetro	Valores límite o de referencia y Puntaje	Puntaje máximo	Importancia del indicador	Puntaje máximo ponderado	Puntaje Máximo del Componente
1.16	Dirección predominante del viento	Contrario a la población mas cercana (1), a favor de la población mas cercana (-1)	1	5	5	
1.17	Pasivos ambientales	No existe pasivo ambiental (1) existe pasivo (-1)	1	5	5	
1.18	Área natural protegida por el estado	Fuera de área natural (1), dentro del área natural (-1)	1	5	5	
1.19	Área con restos arqueológicos	Inexistencia de restos (1) Existencia de restos (-1)	1	5	5	
1.20	Vulnerabilidad por peligro geológico	Baja vulnerabilidad (3), Mediana Vulnerabilidad (2) Alta Vulnerabilidad (1)	3	5	15	
2.1	Opinión	Desfavorable (-1) poco Favorable(1) Regular (2) Altamente favorable (3)	3	12	36	146.00
2.2	Interés en el proyecto	Sin interés (-1), Bajo interés (1) Mediano Interés (2) Alto interés (3)	3	18	54	
2.3	Creencias	Negativas (-1) positivas (1)	1	16	16	
2.4	Actitud	Favorable (1) Desfavorable (-1) Incierta (0)	1	16	16	
2.5	Participación	Participación de rechazo (-2) No haría nada (0) Participación favorable (2)	2	12	24	

¹¹ Información generada por el Ministerio de Energía y Minas y/o el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

Puntaje máximo del Sistema de evaluación: es el puntaje máximo que se asigna al sistema de calificación y que resulta de la sumatoria de los puntajes máximos de cada parámetro, para nuestro ejemplo el puntaje máximo es 292 puntos.

Escala de calificación: se establece una escala o rango de puntajes que permita la calificación de cada una de las alternativas, un ejemplo se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 6: Escala de Calificación para el puntaje ponderado final

Puntaje Ponderado Total	Calificación
0 - 146	MALO ó Terreno No aceptable o de opción Marginal.
147 -195	REGULAR o terreno moderadamente aceptable.
196 -245	BUENO ó Terreno aceptable.
246 - 292	MUY BUENO ó Terreno aceptable de Primera Opción.

Diseño de infraestructura de relleno sanitario convencional

4.1 Residuos aceptables e inaceptables en un relleno sanitario convencional

La mayoría de los residuos sólidos generados por fuentes domiciliarias, comerciales, institucionales y agrícolas podrán disponerse en un relleno sanitario convencional con un riesgo mínimo de poner en peligro directa o indirectamente la salud humana y la calidad del ambiente.

Esta generalización no comprende los residuos industriales. Las características de los residuos sólidos industriales deberían examinarse cuidadosamente para evaluar si requieren un manejo y métodos especiales de disposición en el suelo.

Es importante acotar que los rellenos sanitarios no están diseñados para aceptar y procesar cantidades sustanciales de residuos peligrosos, los que deben disponerse en rellenos especialmente diseñados.

Los residuos inaceptables deben identificarse en un plan de desarrollo del relleno sanitario y se debe proporcionar una lista de estos residuos sólidos a los usuarios. Las consideraciones de aceptabilidad de tipos de residuos sólidos deben incluir la hidrogeología del lugar, las cantidades y características físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos, los métodos alternativos para su procesamiento y disposición; los riesgos y efectos de los residuos sólidos para el ambiente y la salud pública; y sobre todo la seguridad del personal operativo.

Otros tipos de residuos como los residuos de establecimientos de salud y los residuos de lodos de aguas residuales que no han recibido tratamiento previo califican como inaceptables por razones de concentración y grado de peligro.

En el cuadro que se muestra a continuación se presenta los tipos de riesgo o peligros de diferentes residuos que califican como inaceptables en un relleno sanitario convencional:

Cuadro N° 7: Tipo de residuos que representan riesgos y peligros potenciales a un relleno sanitario convencional

Tipo de residuos	Tipo general de riesgos o peligros			
	Tóxicos	Explosivos / Inflamables	Patógenos	Radioactivos
Residuos sólidos				
Putrescibles			X	
Voluminosos y combustibles		X		
Voluminosos y no combustibles	X	X		
Pequeños y combustibles		X		
Pequeños y no combustibles		X		
Latas, botellas, cilindros no vaciados	X	X	X	X

Continúa...

Tipo de residuos	Tipo general de riesgos o peligros			
	Tóxicos	Explosivos / Inflamables	Patógenos	Radioactivos
Cilindros con gas		X		
Polvos	X	X		
Residuos patógenos	X		X	X
Lodos	X			
Escombros	X	X		
<i>Vehículos abandonados</i>		X		
Residuos radiológicos				X
Residuos líquidos*				
Aguas residuales	X		X	
Aguas contaminadas	X			X
Compuestos orgánicos líquidos	X	X	X	
Breas	X	X		
Lodos	X			
Residuos gaseosos*				
Olorosos	X	X		
Partículas combustibles		X		
Vapores orgánicos	X	X		
Gases ácidos	X	X		

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", 1997.

4.2 Estudios Básicos

4.2.1 Estudio demográfico

Estudio que en función al procesamiento de información estadística censal o de referencia, concluye determinando la población actual, la tasa de crecimiento y la proyección de la población futura en el área de influencia del proyecto para un período de tiempo no menor a cinco años en adelante.

Población actual

Es uno de los parámetros primordiales conocer el número de habitantes para determinar la cantidad de residuos sólidos de la ciudad. Es importante diferenciar entre la población urbana y la población rural, asimismo es mas seguro que en un relleno sanitario convencional atienda la producción urbana debido a la cantidad de la población, aumento de la población, desarrollo de diversas actividades, presencia de instituciones, etc.

Tasa de crecimiento de la población

Estimar la proyección de la población es predecir el número de habitantes en los próximos 10 años (sería recomendable para el proyecto ya que el reglamento sugiere 5 años), para relacionar y calcular la cantidad de residuos durante toda la vida útil del relleno.

Para determinar la proyección de la población se recomienda el método matemático siguiente, este método tiene más relación con el crecimiento geométrico (poblaciones en expansión).

$$Pf = Po(1 + r)^n$$

Donde:

Pf: Población final
 Po: Población actual
 r: Tasa de crecimiento de la población
 n: ($t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$) intervalo en años
 t: variable tiempo (en años)

4.2.2 Estudio de caracterización de residuos

Estudio que producto de mediciones en campo o muestreos estadísticos determina entre otros: la generación per cápita de residuos de una población de estudio, la generación actual, la composición porcentual de los diferentes tipos de residuos que se generan y la densidad de los residuos que se recolectan.

Generación per cápita

La Generación per cápita expresa la cantidad (en peso) de residuos generados por un solo individuo, se puede estimar globalmente así:

$$Gpc = \frac{DSr \text{ en una semana}}{Pob * 7 * Cob}$$

Donde:

Gpc = Generación por habitante por día (Kg./hab./día)
 DSr = Cantidad de Residuos Sólidos recolectados en una semana (kg/semana)
 Pob = Población total (hab.)
 7 = días de la semana
 Cob = Cobertura del servicio de aseo urbano (%)

Generación total de residuos sólidos

El conocimiento de la generación total de residuos sólidos domésticos permite tomar decisiones sobre el equipo de recolección más adecuado, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad de área para el tratamiento y la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa de limpieza pública. La producción de RSD está dada por la relación:

$$DSd = Pob * Gpc$$

Donde:

DSd = Cantidad de RSD producidos por día (Kg./día)
 Pob = Población total (hab.)
 Gpc = Generación per cápita (Kg./hab./día)

Proyección de la producción total

Esta se calcula tomando en consideración la población proyectada en base a la tasa de crecimiento poblacional anual y el incremento anual de la generación per cápita. Cálculo del incremento anual de la generación per cápita.

Así mismo se determinará el incremento anual de la generación per cápita mediante la siguiente fórmula:

$$G_{pf} = G_{pa}(1 + r)^n$$

G_{pf} = Generación per cápita futura (Kg./hab./día)

G_{pa} = Generación per cápita actual (Kg./hab./día)

$r\%$ = Tasa del incremento de generación en % (de 0.5 a 1%, Jorge Jaramillo, 2002)

n = número de años

Clase o tipos de residuos sólidos a manejar

Según la Ley 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, éstos se clasifican según su origen en:

1. Residuos domiciliarios.
2. Residuos comerciales.
3. Residuos de limpieza de espacios públicos.
4. Residuos de establecimiento de salud.
5. Residuos industriales.
6. Residuos de las actividades de construcción.
7. Residuos agropecuario.
8. Residuos de instalaciones sanitarias o actividades especiales.

Los residuos sólidos domiciliarios o residenciales son generados por viviendas unifamiliares y multifamiliares, estos contienen porcentajes sustanciales de materia putrescible.

Los residuos sólidos comerciales tienen un valor y usos locales como el papel, los plásticos, textiles, chatarra, así mismo debido a los segregadores y recicladores de residuos sólidos son removidos y evitan que lleguen a los lugares de disposición final.

Composición

Es importante comprender adecuadamente las características de los residuos sólidos que requieren disposición final. Entre otros impactos, para una determinación más de residuos sólidos, la cantidad de residuos sólidos influye en la densidad del sitio, número de vehículos que ingresan al sitio, superficie de terreno y cantidad de cobertura.

La composición de los residuos sólidos puede determinarse mediante el muestreo representativo.

Densidad

La densidad es un parámetro importante para el diseño del relleno sanitario, para calcular las dimensiones de la celda diaria y el volumen de relleno; ésta depende casi exclusivamente del equipo utilizado para la compactación.

4.2.3 Estudio topográfico

Es el estudio que permite describir las características de los diferentes perfiles de terreno a fin de clasificarlo según su pendiente, identificar el sector apropiado para relleno y para material de cobertura y facilitar la definición del método de disposición a utilizarse, el estudio concluye en un plano con curvas de nivel en escala adecuada para el diseño de detalle y con información anexa como: memoria descriptiva, planos de ubicación, plano perimétrico y la copia de libreta topográfica o de base de datos.

Para los fines de construcción y operación de un relleno sanitario, un terreno por su topografía se puede clasificar en:

Plano.- Es aquel terreno en el que se presentan pequeñas pendientes como las mesetas y llanuras (0 a 5% de pendientes).

Ondulado.- Se consideran terrenos, ondulados aquellos en los que la pendiente no es continua presentando partes planas y partes con pendiente media como son los valles (5 a 10% de pendiente).

Escarpado.- Presentan una pendiente muy fuerte (mayores del 10%) como montañas, cerros, cañadas, etc.

Banco de material de préstamo abandonado.- Es aquel terreno que se uso como banco de material y presenta grandes oquedades u hoyos que puedan ir desde 5 m a 15 m de profundidad.

Combinado.- Es aquel que presenta 2 ó más variantes de los terrenos arriba descritos.

El procedimiento de construcción y método de relleno sanitario se seleccionará una vez conocido el perfil de terreno disponible, que podrá ser trinchera, área y/o combinación de ambos.

a) Curvas de nivel

El trazo de curvas de nivel se hará de acuerdo a los siguientes lineamientos:

- A cada 0.50 m para sitios planos, hondonadas naturales y terrenos ligeramente sinuosos.
- A cada 1.00 m para sitios sinuosos, hondonadas profundas y valles escarpados.¹⁴

b) Escalas recomendadas para el diseño de planos topográficos

El plano se dibujará tomando en consideración las siguientes escalas:

- Terrenos hasta de 8 hectáreas¹⁵, Escala 1:500.
- Terrenos mayores de 8 hectáreas, Escala 1:1000

En el mismo plano se ponen los datos obtenidos del levantamiento de campo.

¹⁴ SEDUE -1984.

¹⁵ 1 Hectárea = 10000 m².

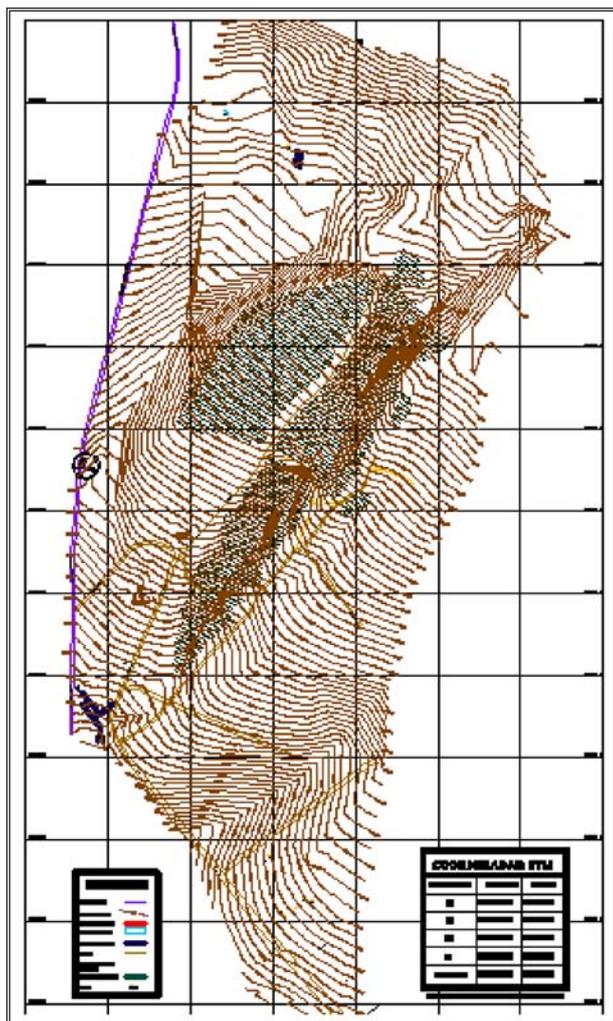


Imagen N° 3: Mapa Topográfico.

c) Información anexada al estudio topográfico

Todo informe topográfico deberá anexar información y los planos respectivos propios del área levantada. En ese sentido el estudio topográfico deberá presentar los siguientes resultados:

I. Memoria descriptiva del levantamiento topográfico de la zona elegida para la disposición final de los residuos sólidos municipales, esto para identificar las dificultades en cuanto a la accesibilidad al terreno.

II. Plano de ubicación: Este plano además deberá incluir las vías de acceso al área elegida, cercanía con centros poblados cercanos, actividades humanas próximas y/o áreas de interés para el proyecto de relleno sanitario.

III. Plano topográfico: En el que se deberá incluir una ficha de datos técnicos conteniendo: Coordenadas UTM de los vértices del área en Datum WGS 84 (aunque todavía se sigue empleando el Datum PSAD 56) y BM.

Plano perimétrico: Conteniendo el cuadro de datos técnicos con la siguiente información:

- Medida de los ángulos interiores de todos los vértices del polígono.
- Lados del polígono debidamente acotados.
- Área del polígono.

La libreta topográfica (uso de teodolito) o base de datos del levantamiento (uso de estación total): Dicha información será de utilidad durante el replanteo o la eventualidad de realizar alguna corrección.

Cuadro N° 8: Cuadro de datos técnicos

Vertice	Lado	Distancia	Ang. Interno	Este (X)	Norte (Y)
L 1	1 - 2	311.52	115°31'08"	308390.0942	8352723.8131
L 2	2 - 3	272.86	117°10'59"	308187.6017	8352798.2715
L 3	3 - 4	343.91	100°17'42"	308124.5756	8353063.7534
L4	4 - 5	132.76	155°52'35"	308439.6036	8353201.7127
L5	5 - 6	340.80	95°42'09"	308572.3644	8353200.6156
L6	6 - 1	178.11	135°15'27"	308603.4236	8352861.2254
Área		20.00 Has			
Perimetro		1579.96 ml.			
Centoide		Norte (Y): 8352601.19			
		Este (X): 308132.32			

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Estudio de mecánica de suelos - Geotecnia

La geotecnia es la técnica con elementos de ciencia y "arte" que se dedica al estudio de las propiedades de suelos, rocas y materiales artificiales, así como a la resolución de problemas de fundaciones y/o excavaciones en ellos a su empleo como material de construcción (presas, terraplenes, vías de comunicación, etc.)¹⁶

El objetivo de este estudio geotécnico es conocer el comportamiento mecánico del suelo en el que va a construirse el relleno, su resistencia, elasticidad, etc., mediante los resultados de los análisis de laboratorio de las siguientes características:

- ✓ Contenido orgánico total.
- ✓ Granulometría.
- ✓ Capacidad e intercambio catiónico.
- ✓ Límites de consistencia.
- ✓ PH.
- ✓ Clasificación de los suelos.
- ✓ Porosidad.
- ✓ Humedad.
- ✓ Peso volumétrico.
- ✓ Permeabilidad.
- ✓ Capacidad de carga.
- ✓ Compactación - proctor estándar.
- ✓ Compresión triaxial.

Los resultados de estos estudios deben presentarse en un anexo respaldado incluso, con planos donde se ubiquen los sitios de muestro, así como las características e información general de los muestreos realizados, complementados con la simbología, claves y notas usuales para este tipo de estudios. (De: SEDUE, 1984).

¹⁶ Curso internacional de clausura de botadero y diseño de rellenos sanitarios, Lima - Perú 2006.

El proyecto ejecutivo de un relleno sanitario incluye también un estudio de permeabilidad de suelos y un estudio edafológico en laboratorio. De acuerdo al criterio del especialista debe de establecer la necesidad de efectuar otros estudios básicos con la finalidad de completar la información que se requiere para el diseño del relleno, sin perder de vista el objetivo principal que es prevenir la contaminación ambiental.

Consideraciones para el muestreo

Se recomienda excavar pozos a cielo abierto con una profundidad máxima de dos metros; en caso de que se hayan realizado sondeos geofísicos, éstos se utilizarán para el muestreo de mecánica de suelos. El ancho de estos pozos será el suficiente para que una persona pueda introducirse a sacar muestras (entre 0.8 a 1.5 m). Existen dos tipos de muestreo que son el alterado y el inalterado. A continuación se describe cada uno de ellos.

Muestras alteradas

Se toma una muestra integrada en forma alterada, de cada uno de los pozos a cielo abierto, éstos se harán en cantidad de uno por hectárea, tomándose el sitio más representativo para cada uno de ellos.

El procedimiento para la extracción de muestras alteradas es el siguiente:

- ❖ Una vez excavado el pozo, se procede a abrir una ranura vertical de sección uniforme de 20 cm. de profundidad y que llegue al fondo del mismo.
- ❖ El material obtenido se coloca en un bote de lámina que debe estar debidamente identificado con los siguientes datos: banco, fecha, pozo y profundidad.

Muestras inalteradas

Se debe tomar cuando menos una muestra inalterada del sitio por capas, cuyo punto de localización siempre es el centro del terreno elegido para el relleno sanitario.

Las muestras inalteradas, deben conservar las condiciones del suelo en su estado natural, por lo que su obtención, empaque y transporte requieren de cuidados especiales.

El procedimiento para la obtención, empaque y transporte de estas muestras es el siguiente:

- ❖ Se debe limpiar y nivelar el terreno.
- ❖ Se introduce un tubo muestreador hasta donde la resistencia del terreno lo permita.
- ❖ Se excava alrededor del tubo muestreador para evitar la fricción de la cara exterior del tubo.
- ❖ Se introduce el tubo hasta los primeros 25 cm. u horizonte de suelo que se trabaje.
- ❖ Se recorta la muestra de suelo por su base y se enrasa al tamaño del tubo.
- ❖ Se protegen las bases de la muestra con vendas de manta impregnadas con parafina y brea.
- ❖ Se empaqueta la muestra en un cajón de madera con aserrín, papel o paja.
- ❖ Por último se identifica cada una de las muestras.

Parámetros:

A continuación se explica algunos parámetros a tomarse en cuenta para el análisis:

A) Porosidad

La porosidad se expresa como:

$$Porosidad = \frac{(vol.total) - (vol.solidos)(100)}{(vol.total)}$$

La porosidad en los suelos puede variar como se indica en la siguiente cuadro N° 9:

Cuadro N° 9: Porosidad en algunos suelos

Material	Porcentaje (%)
Arenas y gravas	35 - 50
Arenas apisonadas	25 - 30
Pizarras y arcillas pizarrosas	0.5 - 8
Arcillas	44 - 47
Tierras vegetales	37 - 65

Fuente: Secretaría de Desarrollo urbano y ecología, México, 1984.

B) Coeficiente de Permeabilidad (K)

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Q}{A} \left(\frac{\Delta h}{\Delta i} \right)$$

Donde:

K : es el coeficiente de permeabilidad, en cm./seg.

Q : es el caudal o flujo, en cm.3/seg.

A : es el área, en cm.2

$\Delta h/\Delta i$: es la pendiente hidráulica, en milésimas

El coeficiente de permeabilidad (K) para diferentes tipos de suelos, varía como se indica a continuación:

Cuadro N° 10
Coefficiente de permeabilidad k (cm./s)(Escala logarítmica)

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

Fuente: Jorge Jaramillo, Colombia, 2002.

C) Granulometría

El análisis consiste en separar y clasificar por tamaños el material del suelo. A partir de la distribución de los granos es posible formarse una idea de la graduación del material; un material bien graduado (de todos tamaños) tiende a ser impermeable; una cantidad del 10% de partículas menores que pasa la malla N° 200 en arena y gravas puede hacer que el suelo sea virtualmente impermeable.

Los suelos gruesos cuando carecen de finos son permeables. A medida que una arena se hace más fina y más uniforme decrece su permeabilidad.

A partir del análisis granulométrico se obtienen el diámetro efectivo, la porosidad y el coeficiente de uniformidad.

La tabla N° 11 corresponde al Sistema unificado de clasificación de suelos, en la imagen N° 04 se presenta la gráfica de textura de suelos.

Pruebas de permeabilidad.

Las pruebas de permeabilidad se clasifican como sigue:

En el campo.

- Pozos de absorción.
- Pozos de filtración.
- Pozos en material homogéneo.

En el laboratorio.

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Permeámetro de capilaridad horizontal.

Descripción de pruebas en el campo.

Pozos de absorción

- ❖ Se excavan pozos de 20 x 30 x 30 cm., en lugares representativos.
- ❖ Estos pozos se espacian 50 m ó bien, se perforan cuatro en cada hectárea.
- ❖ Se raspa el fondo y las paredes para eliminar superficies sucias o grasosas.
- ❖ Cada pozo se llena con agua unas tres veces antes de tomar las lecturas, para saturar el terreno circundante. Se puede dejar el agua de toda una noche, con el mismo objeto, después de lo cual se vuelve a llenar con agua el pozo.
- ❖ Se determina el tiempo de infiltración como indicio de la permeabilidad. Esta prueba es representativa de una capa de material de un metro.
- ❖ Si el descenso total del agua se realiza en menos de una hora, se puede decir que el terreno es permeable e inadecuado. Si el agua tarda más de una hora en infiltrarse totalmente, el terreno puede ser bueno.
- ❖ Un manto es prácticamente impermeable si el agua tarda más de 24 horas en ser absorbida completamente.
- ❖ A partir del tiempo de infiltración se calcula el volumen de infiltración, en m^3/m^2 .

Pozos de filtración

Se excavan dos pozos a una distancia de un metro, se llenan de agua y así se mantienen con una diferencia de nivel de un metro. La permeabilidad de este caso se calcula por medio de redes de flujo.

Pozos en material homogéneo

Utilizando la fórmula de THIEMES se puede obtener el coeficiente de permeabilidad, cuando el material es homogéneo, excavando tres pozos e instalando en uno de ellos un equipo de bombeo y midiendo el abatimiento del nivel freático en los otros.

Descripción de pruebas en el laboratorio

Permeámetro de carga constante

Se utiliza para suelos relativamente permeables como: grava, arenas y mezclas de arena y grava cuyos coeficientes de permeabilidad varían de 10^2 a 10^{-3} cm./seg.

- Permeabilidad por capilaridad horizontal.

Se usa en materiales que tienen una permeabilidad comprendida entre 10^{-1} y 10^{-5} cm./seg. Es adecuada para ensayar con gran rapidez un buen número de muestras en el campo.

Permeámetro de carga variable

Esta prueba se utiliza para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos relativamente impermeables tales como: mezclas de arena, limos y arcillas, limos con arcillas o arcillas simplemente. El coeficiente de permeabilidad de estos suelos varía de 10^{-4} a 10^{-9} cm./seg.

Cuadro N° 11: Sistema unificado de clasificación de suelos

PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO (excluyendo las partículas mayores de 7.6cm (3) y basando las fracciones en pesos estimados)			Simbolos del grupo (*)	Nombres típicos	Información necesaria para la descripción de los suelos
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200	G R A V A S Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N°4 como equivalente a la malla N° 4.	GRAVAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)	GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.	Dese el nombre típico, indiquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas grasas, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el simbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compactidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.
		GRAVAS con FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.	
Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200	A R E N A S Más de la mitad de la fracción gruesa para la malla °4 para clasificación visual ½ cm	ARENAS LIMPIAS (poco o nada de partículas finas)	GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO.	Ejemplo Arena limosa, con grava, como un 20% de grava de partículas duras angulosas y de 1.5 cm de tamaño máximo; arena gruesa o fina de partículas redondeadas o subangulosas, alrededor de 15% de finos plásticos de baja resistencia en estado seco; compacta y húmeda en el lugar; arena aluvial (SM)
		ARENAS con FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	GC	GRAVA ARCILLOSAS, MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA.	
		ARENAS con FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS.	
		ARENAS con FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA CON POCO O NADA DE FINOS.	
		ARENAS con FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO.	
		ARENAS con FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y ARCILLA.	

Cuadro N° 11: Sistema unificado de clasificación de suelos

PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO (excluyendo las partículas mayores de 7.6cm (3) y basando las fracciones en pesos estimados)				Simbolos del grupo (*)	Nombres típicos	Información necesaria para la descripción de los suelos
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (las partículas de 0.074 mm. De diámetro(malla N°200 son aproximadamente las mas pequeñas visibles a simple vista)	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA DE LA MALLA N° 40					
	RESISTENCIA DE ESTADO SECO(CARACTERISTICAS AL ROMPIMIENTO)	DILATANCIA (REACCIONAL AGITADO)	TEMACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	ML	LIMOS ANORGANICOS, POLVO DE ROCA, LIMOS ARENOSOS O ARCILLOSOS LIGERAMENTE PLASTICOS.	Dese el nombre típico, indique el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	TEMACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE BAJA MEDIA PLASTICIDAD; ARCILLA CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS POBRES.	Para los suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia todos en estado inalterado como remoldeado, condiciones de humedad y de drenaje.
	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD.	Ejemplo Limo arcilloso, café, ligeramente plástico porcentaje reducido de arena fina; numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco en el lugar (loess)(ML)
LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	MH	LIMOS INORGANICOS, LIMOS MICACEOS O DIATOMACEOS, LIMOS ELASTICOS.	
	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERAA MEDIA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD, ARCILLAS FRANCAS.	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE MEDIA A ALTA PLASTICIDAD, LIMOS ORGANICOS DE MEDIA PLASTICIDAD.	
	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERAA MEDIA	P _t	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS.	
	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR COLOR OLORES EN SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA.					

Fuente: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México, 1984.

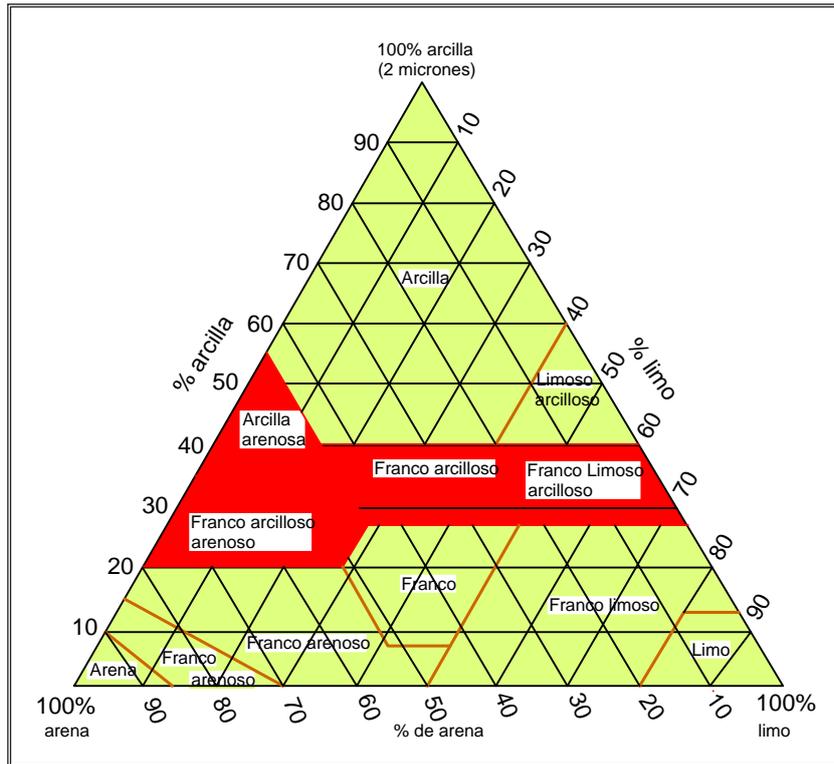


Imagen N° 4 Diagrama triangular para la clasificación de suelos por texturas
Fuente: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México, 1984.

4.2.5 Estudios geohidrológicos

Uno de los factores básicos para la selección de área es evitar que pueda haber alguna contaminación de los acuíferos.

Por eso es muy importante realizar un estudio geohidrológico para conocer la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como la dirección y velocidad del escurrimiento o flujo de la misma.

El especialista - Ing. geólogo determinará el nivel de detalle del estudio geohidrológico, siendo aceptable el nivel de estudio de reconocimiento con información del INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico). Para zonas geológicamente impermeables, de forma que se facilite la ejecución de estos estudios principalmente en los municipios de escasos recursos.

Un buen geólogo (preferentemente con conocimiento de hidrología subterránea), debe ser contratado para examinar el sitio, elaborar un programa de pozos de monitoreo y obtener la información detallada sobre las condiciones geológicas del lugar. Con la información resultante del estudio se podrán conocer aspectos importantes para el diseño del relleno sanitario como lo es el flujo de agua subterránea, ya que puede sufrir efectos en su calidad por el probable lixiviado que se pudiera generar en el relleno; la posibilidad de contaminar agua susceptible de ser aprovechada o que es usada para abastecimiento de agua potable representa altos costos que deben evaluarse.

El objetivo principal del estudio geohidrológico es la localización de los mantos acuíferos, así como su gasto de escurrimiento, velocidad, dirección de movimiento y los cortes estratigráficos de los suelos, de tal manera que se cuente con información acerca de la disponibilidad de tierra para cobertura y sus características geológicas, las cuales nos ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta y la línea de máxima excavación en la operación del relleno sanitario.

4.2.6 Estudio geofísico

El estudio geofísico nos permite caracterizar el futuro terreno de disposición final, este permite conocer las condiciones estratigráficas y litológicas de la geometría del suelo y el nivel freático del suelo. Además permite identificar los diferentes horizontes verticales del corte geoelectrico y correlacionarlos en forma bidimensional.

Método de prospección geoelectrica

Es una técnica geofísica que consiste en la medición de resistividades aparentes de los materiales del subsuelo permitiendo obtener un perfil o pseudosección en 2D (longitud x profundidad).

Método geofísico de resistividad: (S.E.V.) simetrico

Método geoelectrico indirecto normado y diseñado internacionalmente, para estudios de cortes geológicos, se emplea Sondaje Eléctrico Vertical (S.E.V.) de configuración simétrica lineal tetraelectrónica (AMNB), el Dispositivo Tetraelectrónico Schlumberger empleado se muestra en la imagen N° 05. En el S. E. V. una vez emplazado los electrodos en superficie, se introduce ciclos de corriente regulada, siendo el subsuelo un medio físico heterogéneo muy complejo, ofrece mayor ó menor dificultad al paso de la corriente eléctrica regulada, que está condicionada e influido por factores como: tipo de litología, granulometría, textura de las rocas, compacidad de las capas, temperatura, mineralización ó salinización y flujos de aguas subterráneas.

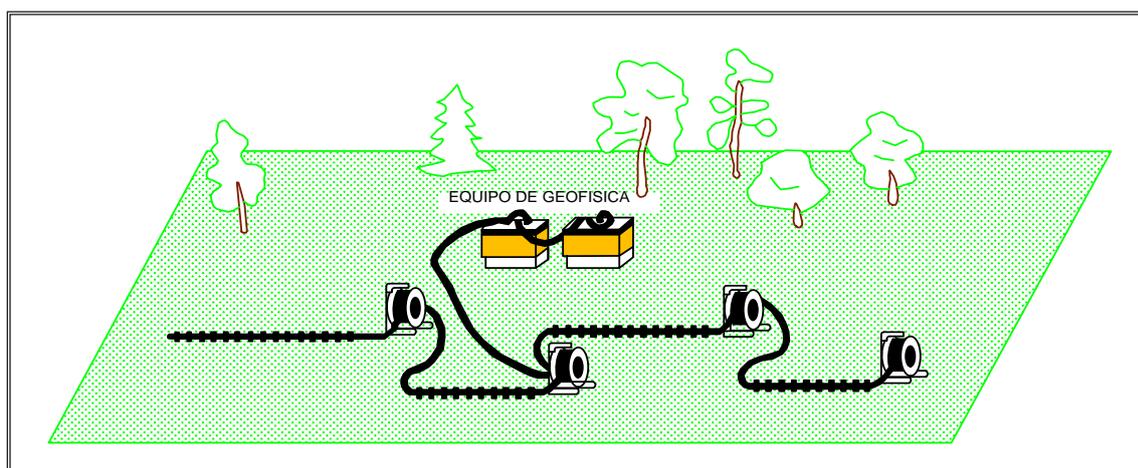


Imagen N° 5: Dispositivo Tetraelectrónico Schlumber.

SONDEO ELECTRICO VERTICAL (S.E.V.) ASIMETRICO

El dispositivo electrónico lineal asimétrico, trielectrónico (AMNB), traslada uno de los electrodos de emisión al infinito. Para trabajar en el campo con el dispositivo trielectrónico la resistividad aparente es registrado con el equipo geofísico, dispositivo aleatorio complementario al dispositivo simétrico, se emplea en zonas ó áreas con dificultades de accesibilidad para los monitoreos de datos de campo y en la optimización de mapeos del subsuelo.

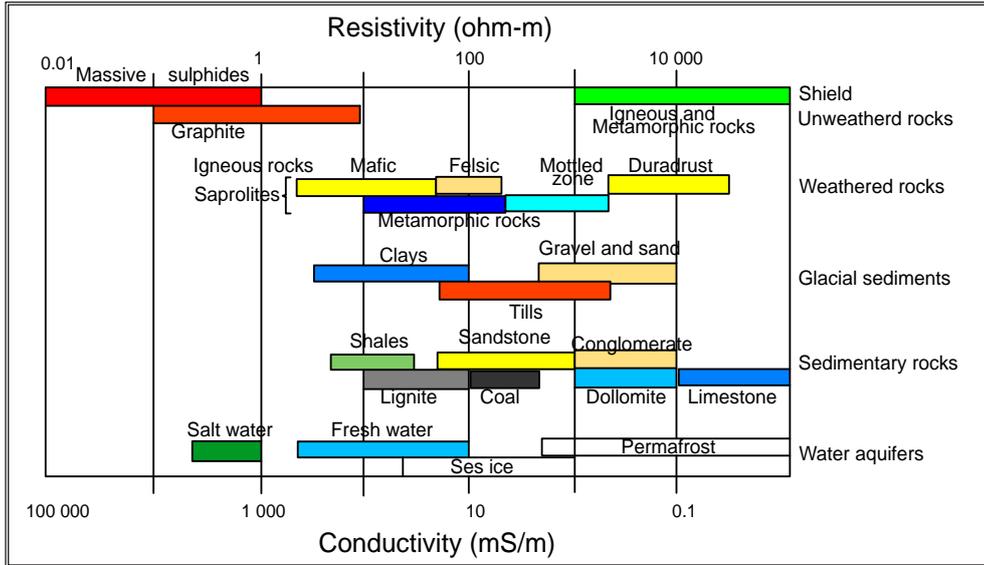


Imagen N° 6: Valores de resistividad de las rocas comunes.
Fuente: Adptado por Palacky 1987.

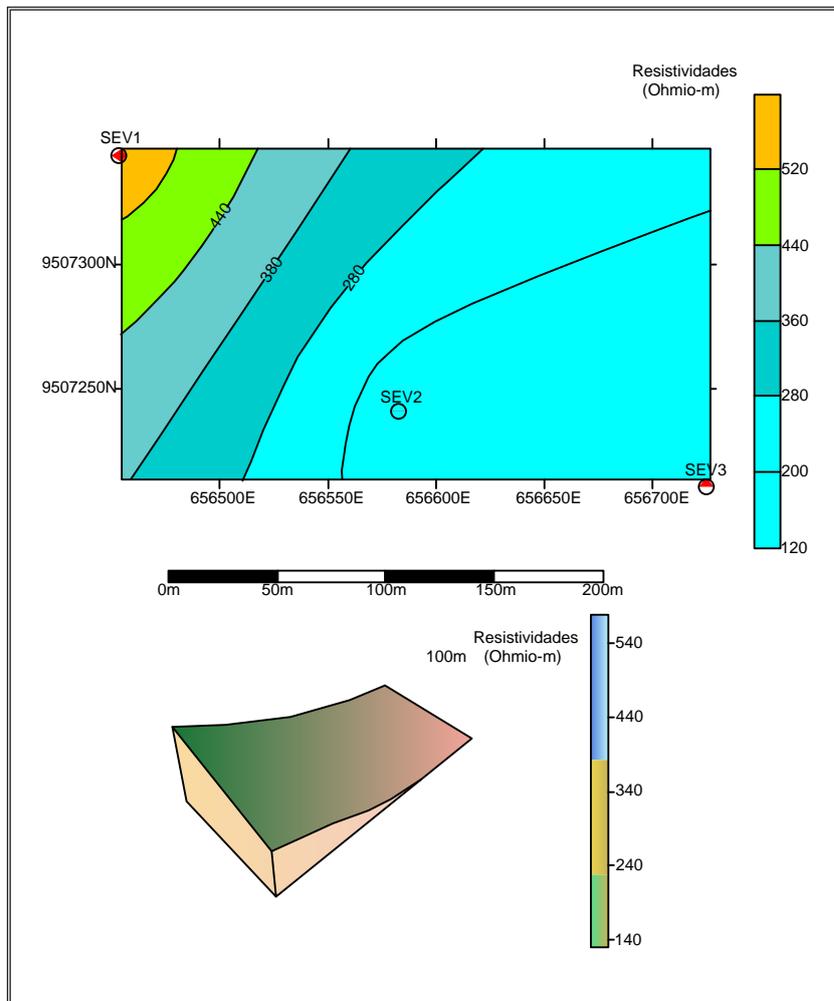
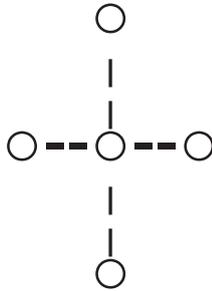
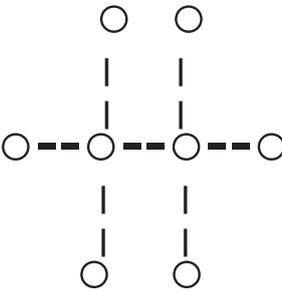
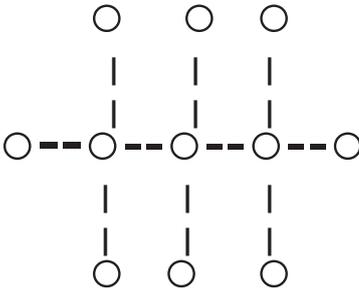


Imagen N° 7: Mapa de resistividades.
Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones de pozos de investigación

Se recomienda llevar a cabo un cierto número de pozos de investigación de acuerdo al área disponible (Ha), asimismo se recomienda la siguiente distribución de acuerdo a los cuadros siguientes:

Cuadro N° 12: Distribución de los pozos de investigación

Tamaño del área de estudio (Ha)	Numero aproximado	Distribución general
HASTA 5	3	
5 - 20	5 - 6	
20 - 40	8 - 9	
MAS DE 40	11 - 15	

Fuente: Noble George, "Sanitary landfill design book".

Cuadro N° 13: Número de sondeos por hectárea

Hectareas	Numero de sondeos
1-4	3
4-9	5
9-15	7
15-21	10
21-50	12
Más de 50	20

Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, México

Con la información obtenida se elaboran los perfiles de resultados, presentando, además, las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

A) Ciclo hidrológico

Los procesos que componen el ciclo hidrológico (Ver imagen N° 08), juegan un papel muy importante.

Precipitación pluvial

La precipitación pluvial tiene influencia en el diseño del relleno, ya que el conocimiento de ésta, en el sitio seleccionado, será importante para el diseño de los drenajes, el cálculo de volumen de lixiviados que se generará potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento superficial y finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo en la operación del relleno sanitario.

En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvias, puede hacer que el material de cobertura sea más difícil de esparcir y de compactar. Otro problema, es la dificultad en un momento dado que pueda ocasionar el tránsito de vehículos en los caminos del dentro del área. (De: SEDEU, 1981)



Imagen N° 8: Ciclo Hidrológico del agua.
Fuente: John M. Evans, USGS, Colorado District

Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual las moléculas de agua en la superficie de ésta o humedad del suelo adquieren suficiente energía a través de la radiación del sol para escapar del estado líquido al estado gaseoso.

Transpiración

La transpiración es el proceso por el cual las plantas pierden agua hacia la atmósfera. En muchas regiones es imposible medir separadamente la evaporación de la transpiración, por lo que en la actualidad se le ha dado por llamarlos evapotranspiración.

Evapotranspiración

Del agua que es precipitada sobre la tierra, una gran cantidad es regresada a la atmósfera, como vapor, a través de la acción combinada de la evaporación y la transpiración.

El proceso de la evapotranspiración interviene también en el cálculo de lixiviado y en los cálculos de evaporación de los mismos, lo cual será tratado en su capítulo correspondiente.

4.2.7 Estudio geológico

La geología puede definirse como el estudio sistemático de los materiales, procesos, ambientes e historia de la tierra. Si bien los tres son complementarios, la naturaleza y la estructura de los materiales tienen mayor impacto en un relleno sanitario.

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas.

Tipos de roca y de suelos

Las rocas en la superficie de la tierra y los suelos que provienen de ellas, pueden subdividirse en tres tipos; cada uno corresponde a su propia modalidad de formación y se vinculan a través del ciclo geológico.

Sedimentarias

Las rocas y los suelos sedimentarios se derivan principalmente de la destrucción (erosión o disolución química) de las rocas existentes, y su transporte y deposición en capas en el fondo de los mares, lagos y ríos. La sedimentación también puede presentarse directamente en la superficie como en el caso de las areniscas eólicas.

Las rocas y los suelos sedimentarios incluyen conglomerados, areniscas, piedras calizas, tiza, arcilla y otros.

Volcánicas

Las rocas y los suelos volcánicos se forman a través del surgimiento y enfriamiento del magma derretido en la superficie de la tierra. La composición original del magma derretido determinará las características finales de la roca enfriada y su resistencia al clima y su facturación.

El magma de movimiento rápido y baja viscosidad genera las clásicas erupciones volcánicas (basaltos). El magma más fresco y espeso no se mueve tan fácilmente y se detiene debajo de la superficie, donde forma rocas más gruesas. Estas rocas son expuestas a la superficie mediante la erosión, formándose los granitos.

Metamórficas

Las rocas metamórficas son el resultado de la transformación de las rocas existentes (volcánicas o sedimentarias) mediante el calentamiento de sedimentos en la profundidad de la corteza, de la deformación durante el desarrollo de cadenas montañosas o de la proximidad de rocas volcánicas. Los ejemplos de rocas metamórficas incluyen esquistos, mármol (piedras calizas transformadas) y unieses (rocas volcánicas transformadas).

Se puede hacer una distinción importante entre "rocas duras" (basaltos, piedras calizas, granitos, algunas areniscas) y los suelos provenientes de ellas, y "rocas blandas" (tiza, arcillas, arena blanda, grava, granito desintegrado o basaltos) y sus suelos correspondientes. Las áreas que tienen una concentración relativamente alta de roca dura no son fáciles de manejar con el equipo de movimiento de tierra y, por lo tanto, son más costosas para manejar que las áreas con rocas y suelos blandos. Por lo general, la roca y los suelos "blandos" pueden extraerse con el equipo de movimiento de tierra.

Riesgos geológicos

Como se indicó anteriormente, la geología estudia los procesos de desarrollo de la tierra. La mayoría de estos procesos son lentos (por ejemplo, erosión, formación de montañas). Si embargo, algunos son muy rápidos y pueden alterar drásticamente la superficie de la tierra. La probabilidad de que estos procesos se produzcan, agrupados bajo el término de riesgos geológicos, debe evaluarse al buscar un sitio con potencial para un relleno sanitario. Los riesgos geológicos más comunes se enumeran a continuación.

- Inundaciones;
- Avalanchas y aludes;
- Zonas sísmicas activas; y
- Zonas de falla, incluidas las zonas inactivas ya que actuarían como vías de agua preferenciales.

4.3 Diseño del relleno sanitario

4.3.1 Selección del método

Métodos a emplear para la disposición final de los residuos sólidos.

a. Método de trinchera

Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 1:3), donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia mínima de una vez al día esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo (Ver imagen N° 9).

Este método es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendiente del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipo normales de movimiento de tierras.

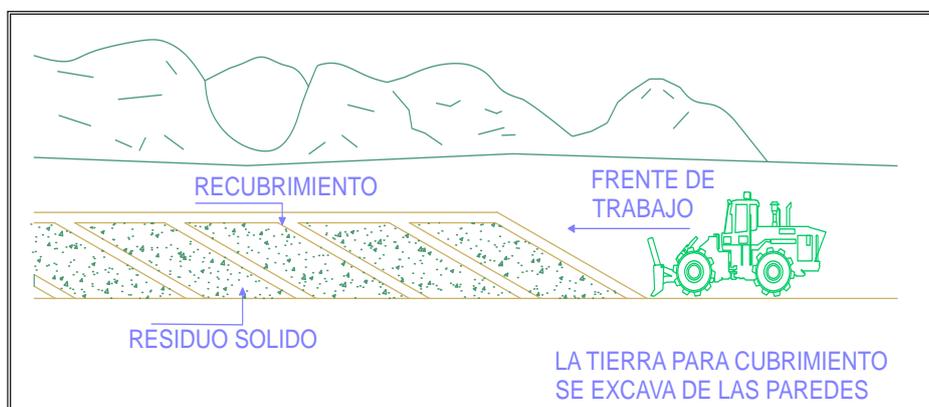


Imagen N° 9: Método tipo trinchera.

b. Método del área

El método es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas de 60cm. Para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo (Imagen N° 10)

Este método se puede usar en cualquier terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas; un punto importante en este método, para que el relleno sea económico, es que el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos a éste.

Para que se cumpla la condición de ser relleno sanitario, al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas para evitar la proliferación de fauna nociva, malos olores que invadan a todo el sector y que los residuos sean llevados por el viento fuera del relleno.

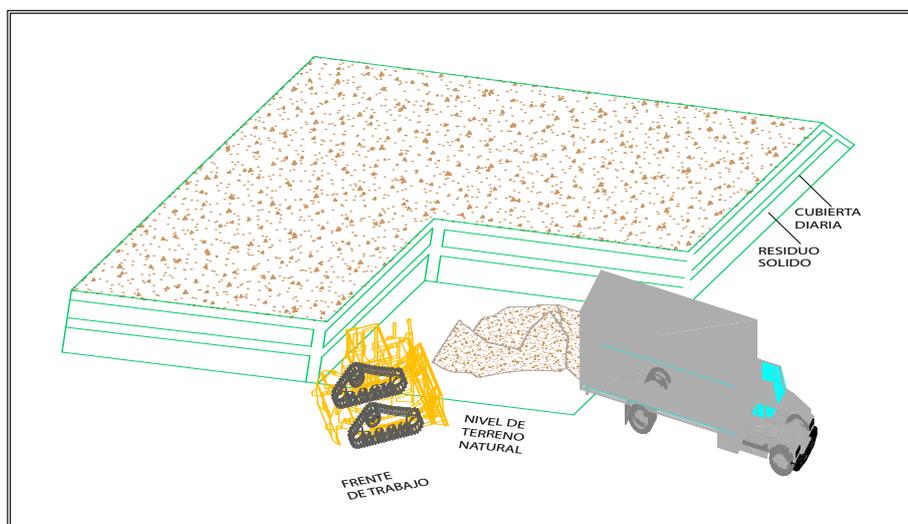


Imagen N° 10: Método tipo área.

c. Método mixto o combinado

Los métodos mixtos o combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio.

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior (Imagen N° 11).

Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con un método de área, excavado el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellenada.

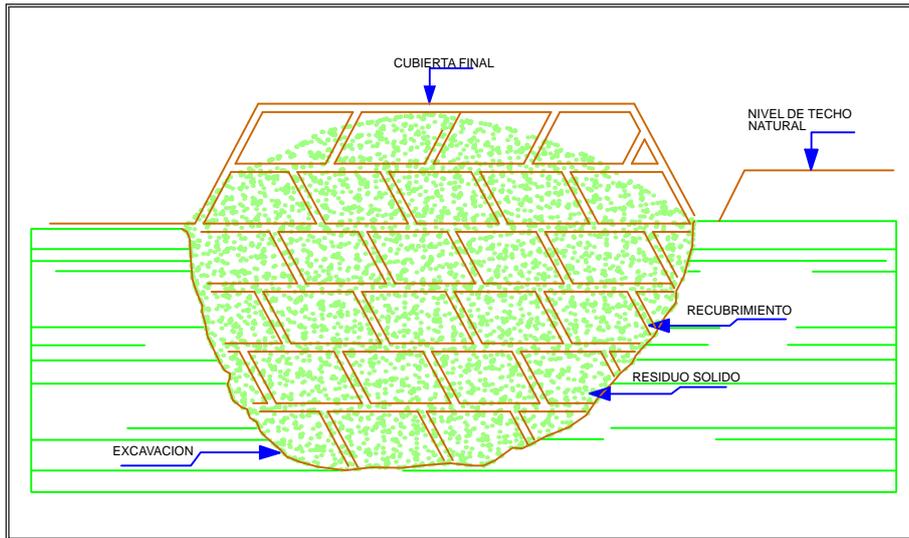


Imagen N° 11: Método mixto o combinado o tipo rampa.

4.3.2 Cálculo de la capacidad volumétrica de las trincheras y plataformas

Para realizar el cálculo de los volúmenes de almacenamiento y el dimensionamiento de las trincheras y plataforma proyectadas para el relleno sanitario se tomará en consideración la imagen N° 10, para establecer el talud en corte ver tabla N° 9. En relación con los taludes de residuos sólidos para la conformación de terraplenes se recomienda un talud de 1/2 ó 1/3 (Jaramillo, 2002). Para el cálculo de los volúmenes de almacenamiento en trincheras y plataformas se puede emplear la siguiente fórmula:

Fórmula para el cálculo del volumen

El diagrama superior muestra un trapezoidal con una longitud superior 'a', una longitud inferior 'd', una altura 'h' y un talud con una relación de 1 a 7. El diagrama inferior muestra un prisma trapezoidal con una longitud superior 'a', una longitud inferior 'd', una anchura 'b' y una anchura inferior 'c'.

$$V = \frac{1}{3} h (a \times b + c \times d + \sqrt{(a \times b) \times (c \times d)})$$

Imagen N° 12: Cálculo de volúmenes.

Ejemplo aplicativo:

Se tiene una trinchera de las siguientes dimensiones:

Largo de la Trinchera	:	76.00 metros
Ancho de la Trinchera	:	7.00 metros
Profundidad Promedio de la Trinchera	:	2.50 metros.
Talud de las Trincheras	:	H/V: 1/2

Adecuando los datos tenemos:

a	=	76.00
b	=	7.00
c	=	4.5
d	=	73.5

$$\text{Volumen} = \frac{1}{3}h(a \times b + c \times d + \sqrt{(a \times b) \times (c \times d)})$$

$$\text{Volumen} = 1068,52 \text{ m}^3$$

Cuadro N° 14: Taludes recomendados en corte

Tipo de Material	Talud recomendable S Altura del corte hasta 5m	Observaciones
Arenas limosas y limos compactados	½	K= 10 - 7 cm/s. Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada. Si son materiales fácilmente erosionables, deberá proyectarse talud 1:1
Arenas limosas, limo poco compactado	¼	K= 10 - 7 cm./s. contracuneta impermeable. Descopetar 1,5:1 la parte más intemperizada.
Arenas limosas y limos muy compactados	¼	K= 10 - 7 cm./s. Descopetar la parte superior suelta.
Arcillas poco arenosas, firmes y homogéneas	½	K= 10 - 8 cm./s. Descopetar 1:1 la parte intemperizada. Si existe flujo de agua, construir subdrenaje.
Arcillas blandas expansivas	1	K= 10 - 8 cm./s

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

Consideraciones sobre el balance de movimiento de tierras

Además de los criterios ya antes mencionados para el diseño de un relleno sanitario convencional deberá considerarse además la disponibilidad del material de cobertura en el área de disposición final, para adecuar el diseño según las condiciones de cada realidad, para lo cual se tiene:

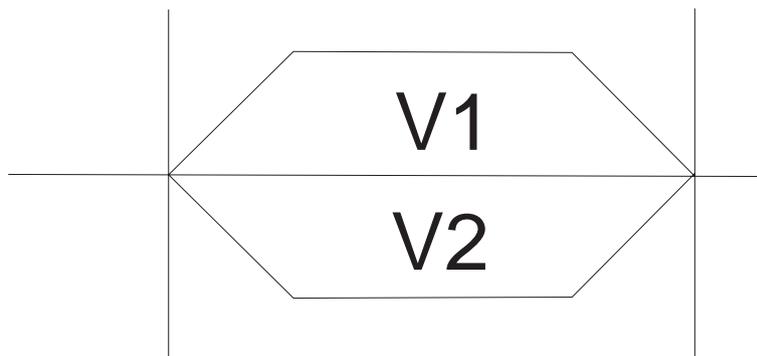


Imagen N° 13: Volúmenes de disposición de residuos sólidos.

$$VT = V1 + V2$$

$$MC = 25\% VT$$

$$25\% VT = V1$$

Donde:

VT= Volumen total ocupado por los residuos sólidos municipales
 V1= Volumen total de plataforma
 V2= Volumen total de trinchera

1 er caso:

Si el material de cobertura se encuentra dentro del terreno destinado para la disposición final de los residuos sólidos municipales se empleará el criterio antes propuesto.

2 do caso:

Si el material de cobertura es extraído de un lugar externo al área de disposición final, no se tomará en consideración lo antes propuesto.

4.3.3 Cálculo de vida útil

Se llama vida útil de un relleno sanitario al tiempo en años que se utilizará un sitio seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos de una comunidad. La vida útil del sitio depende de muchas variables entre las que mencionamos las siguientes: el volumen disponible del mismo, de la cantidad de residuos sólidos a disponer y del método de operación.

Para determinar el período de vida útil del relleno sanitario se deberá comparar el volumen proyectado de recepción de residuos en el relleno (volumen de residuos sólidos municipales + material de cobertura) a lo largo de los años, con el volumen total acumulado de las trincheras y plataformas proyectadas dentro del área de disposición final durante la etapa de diseño, hasta encontrar un valor similar, ligeramente mayor o menor; este valor corresponde al período de vida del relleno sanitario en años.

Volumen y área requerida por año en el relleno sanitario

El cuadro N° 15 resume las consideraciones y/o variables necesarias para calcular el volumen y área requerida por año en el relleno sanitario.

Cuadro N° 15: Cálculo del volumen y área requerida por año en el relleno sanitario

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Año	Población (Hab.)	Generación Percápita (Kg./hab./día)	Generación de Residuos sólidos Domiciliarios (Ton/día)	Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios (Ton/año)	Generación de Residuos sólidos Municipales (Ton/año)	Volumen de Residuos sólidos Municipales (m3/año)	Volumen de RRSS Municipales + Material de cobertura (MC) (m3/año)	Área Total (Vol. de RRSS Municipales + MC) / H (m2/año)	Área Total + Área Administrativa (m2/año)	Área Total Acumulada (m2)
0	110919	0.56	62.11	22671.84	29473.40	49122.33	61402.91	10233.82	13303.96	13303.96
1	113470	0.57	64.18	23425.23	30452.80	50754.66	63443.33	10573.89	13746.05	27050.02
2	116080	0.57	66.31	24203.65	31464.74	52441.24	65551.55	10925.26	14202.84	41252.85
3	118750	0.58	68.51	25007.94	32510.32	54183.86	67729.83	11288.30	14674.80	55927.65
4	121481	0.58	70.79	25838.95	33590.64	55984.39	69980.49	11663.42	15162.44	71090.09
5	124275	0.59	73.14	26697.58	34706.85	57844.75	72305.94	12050.99	15666.29	86756.38
6	127133	0.59	75.57	27584.74	35860.16	59766.93	74708.67	12451.44	16186.88	102943.26
7	130057	0.60	78.09	28501.38	37051.79	61752.99	77191.24	12865.21	16724.77	119668.02
8	133049	0.61	80.68	29448.48	38283.03	63805.04	79756.30	13292.72	17280.53	136948.56
9	136109	0.61	83.36	30427.05	39555.17	65925.28	82406.60	13734.43	17854.76	154803.32
10	139239	0.62	86.13	31438.14	40869.59	68115.98	85144.98	14190.83	18448.08	173251.40

Fuente: Elaboración propia

Explicación del cuadro de cálculo de volumen:

a) Años:

Es el número de años tomados en cuenta para la proyección de generación de residuos sólidos. De acuerdo a la normatividad vigente el periodo de vida útil del relleno sanitario no puede ser menor a 05 años, sin embargo debemos añadir que para efectos de recuperación de la inversión necesaria para las etapas de habilitación, construcción operación y cierre se recomienda que dicho período no debe ser menor a 10 años.

b) Población:

Es la población correspondiente a cada año proyectado, para nuestro caso se empleo la siguiente fórmula:

Cálculo de la población futura

$$Pf = Pa * (1 + tcp \%)n$$

- Pa = Población actual (hab.)
- Pf = Población futura (hab.)
- Tcp % = Tasa de crecimiento anual poblacional (proporcionada por el INEI)
- n = Diferencia del número de años

c) Generación per cápita de residuos domiciliarios:

Deberá ser obtenido para cada caso particular por estudios de caracterización realizados o PIGARS de los gobiernos Provinciales. Para este ejemplo se empleó una Gpc = 0.56 Kg./hab./día. Se recomienda calcular la generación per cápita total futura para cada año proyectado, con incremento de 0.5 a 1% anual (Jaramillo, 2002). De acuerdo al estudio desarrollado por la OPS "Informe de la Evaluación Regional de los servicios de manejo de Residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe" que contiene información concerniente a la generación per cápita de residuos sólidos, se tiene:

Cuadro N° 16: Generación per cápita de residuos sólidos domésticos en los países de América Latina y el Caribe por tamaño de núcleo poblacional (OPS)

Tamaño de núcleos poblacionales	Generación per cápita de residuos sólidos (Kg./hab./día)	
	Domésticos	Municipales
Grandes	0,88	1,09
Medianos	0,58	0,75

Fuente: "Informe de la Evaluación Regional de los servicios de manejo de Residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe" considerando sólo núcleos poblacionales intermedios a grandes.

- Grandes : > 200,000 hab.
- Medianos : 50,000 a 200,000 hab.

d) Generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/día):

Es el resultado de multiplicar las columnas 2 y 3.

e) Generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/año)

Es el peso en toneladas de los residuos generados durante un año (365 días)

f) Generación de residuos sólidos municipales (Ton/año)

Se consideró para efectos del presente cálculo:

$$\text{RSM} = 1.3 * \text{RSD}$$

$$\text{RSM} = 24\% \text{ a } 29,3\% \text{ más que los RSD ó } \text{RSM} = (1.24 - 1.3)*\text{RSD}$$

g) Volumen de residuos sólidos municipales (m³/año)

Es el cociente de dividir la columna 6 con la densidad de compactación de los residuos sólidos municipales (para este caso particular se tomó una densidad de compactación = 0.6 Ton/m³)

h) Volumen de residuos sólidos municipales + material de cobertura (m³/año)

Resultado de la suma de la columna 7 con el material de cobertura utilizado para los residuos sólidos municipales. Para efectos del presente cálculo se considera:

$$\% \text{ Material de cobertura:} = 25\% \text{ RSM} *$$

* 10 a 25% de volumen de residuos sólidos, Manual de Ingeniería de Residuos sólidos Industriales y Urbanos, España, 1991, y valores de 20 a 25% de los residuos sólidos.¹⁷

i) Área total: (Volumen de residuos sólidos municipales + material de cobertura) / H (m²/año)

Para efectos del presente cálculo se ha considerado:

$$H = 6\text{m}$$

j) Área total + área administrativa (m²/año)

Se considera área administrativa a la infraestructura complementaria del relleno sanitario: Zona de amortiguamiento, vías interiores, patio de maniobras, casetas administrativas, etc., para nuestro ejemplo se ha considerado:

$$\text{Área administrativa} = 30\% \text{ de Área Total}^*$$

* Entre 20 a 40% del área total conformado por las vías internas, patio de maniobras, instalaciones sanitarias, cerco perimétrico, áreas verdes, etc.¹⁸

k) Área acumulada (m²/año)

Resultado de la suma de las áreas parciales de cada año considerado en las proyecciones.

4.3.4 Diseño de la celda diaria

Celda

Se llama, celda diaria a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados mediante un equipo mecánico. (Imágenes N^{os} 14, 15 y 16).

Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegan al sitio del relleno sanitario seleccionado.

^{17, 18} Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, 2002.

Los elementos de una celda son: su altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas tal como se muestran en las imágenes N°s 14, 15 y 16.

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor de material de cubierta (tierra), la estabilidad de los taludes, y las especificaciones técnicas de la maquinaria empleada para la compactación de los residuos sólidos (para una densidad máxima usar capas de 610 mm. de espesor, CATERPILLAR, 1997). Mientras más altas sean las celdas, menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir a los residuos y mientras menor sea la altura de las celdas, el relleno requerirá de mayor cantidad de material de cubierta.

El ancho mínimo de la celda, o mínimo frente de trabajo, dependerá del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico, es decir, la hora del día en que arriba al relleno al máximo número de vehículos recolectores que depositan los residuos para su disposición final. Se recomienda que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria. Este factor de aumento es considerado para facilitar las maniobras de la maquinaria.

El talud de la celda es el plano inclinado en donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores. Su inclinación se especifica mediante un ángulo o una relación que indica el número de unidades que avanza en dirección vertical por cada unidad que se avanza horizontalmente (Imagen N° 14). Se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 1 a 3, es decir, que por cada metro de altura se avancen 3 metros horizontalmente. (SEDUE, 1984)

En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo tal como se ilustra en la imagen N° 15.

En el método de área y combinado pueden existir dos frentes de trabajo.

El material de cubierta que se ilustra en la imagen N° 14 es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado; este material, evita la proliferación de animales como ratas; insectos; moscas y mosquitos; malos olores al descomponerse los residuos y la dispersión de los residuos fuera del relleno por el viento.

Se recomienda un espesor de 15 a 20 cm. compactados de tierra entre los niveles de celdas (SEDUE, 1984 y el Instituto Tecnológico Geominero de España, 1992) y con cobertura final con material apropiado en un espesor no menor de 0.50m (Reglamento de la Ley 27314).

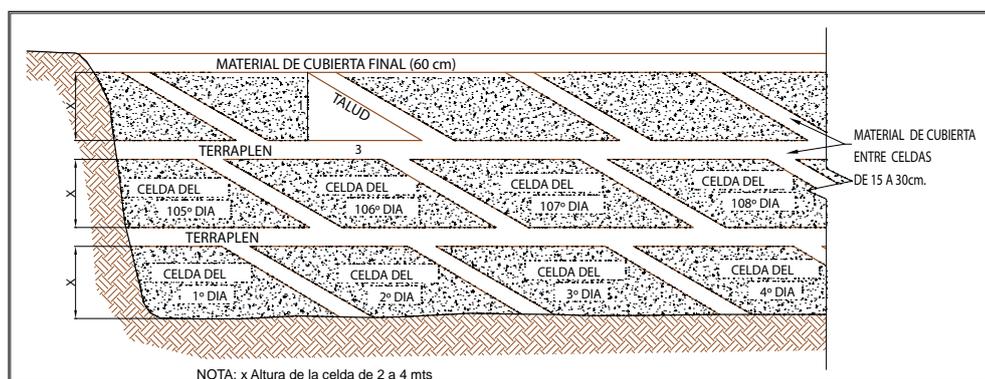


Imagen N° 14: Corte de un relleno sanitario.*

*Fuente: La eliminación de la basura y el control de insectos y roedores OMS - OPS. Publicación científica N° 75 Dic -1962



Imagen N° 15: Elementos de una celda.

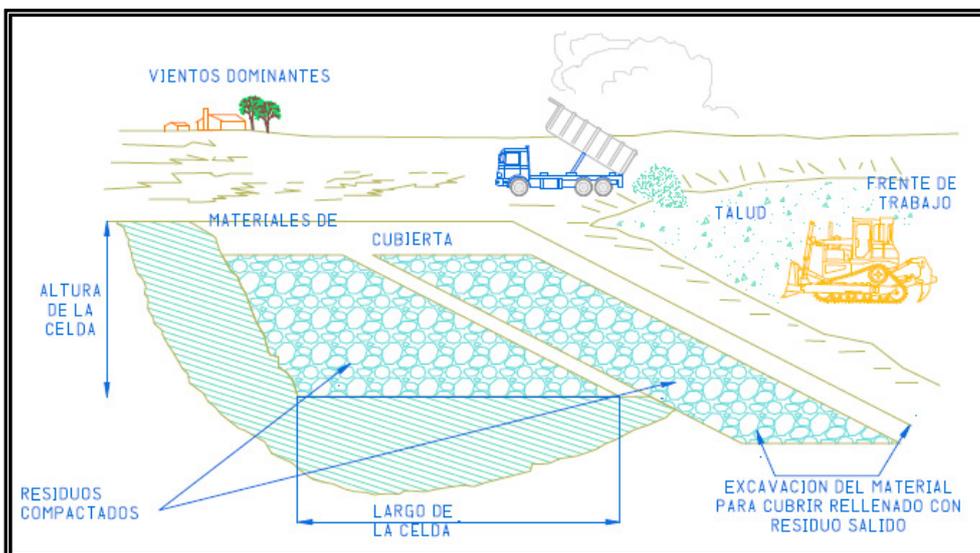


Imagen N° 16: Elementos de una celda.*

A continuación como ejemplo aplicativo se hacen los cálculos de la celda diaria para un caso en particular:

Dimensionamiento del frente de trabajo (ancho de celda)

Para determinar el frente de trabajo se tomará en consideración el número máximo de vehículos que llegan al mismo tiempo, que para este caso en particular serán 03, una distancia entre vehículos igual a 2 m., un ancho de vehículo 2.5 m y de maquinaria de compactación de 3.0 m; de esta manera se tiene:

*Fuente: La eliminación de la basura y el control de insectos y roedores OMS - OPS. Publicación científica N° 75 Dic -1962.

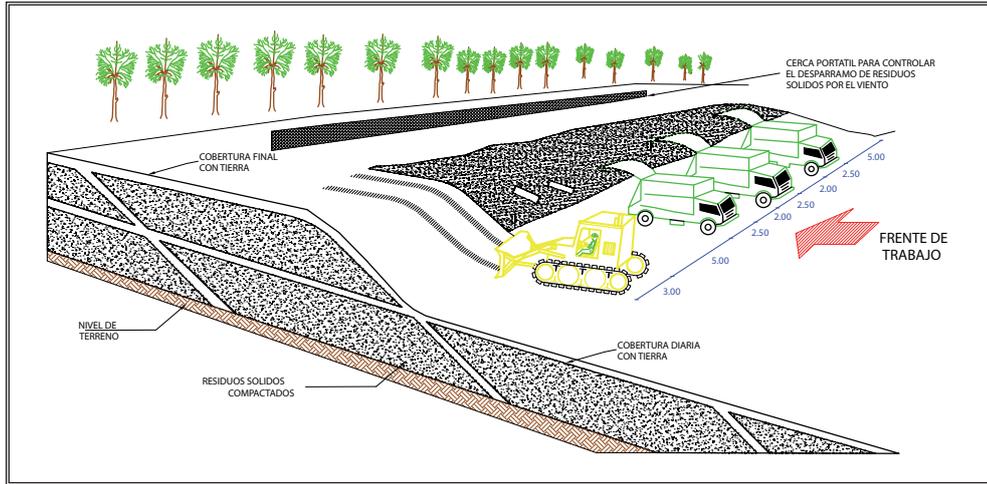


Imagen N° 17: Cálculo del frente de trabajo.

Ancho del frente de trabajo = 25.00 m.

Avance diario

Para estimar el avance diario de la celda se considerará un avance no menor a la Longitud total de la máquina de compactación, que para este caso será de 5 m., el volumen a depositar diariamente será de 180 m³, un talud de celda de 1/3, y una altura de celda que para nuestro caso será de 0.60 m. (máxima altura para eficiencia de compactación de la maquinaria) de ese modo tenemos:

$$L \cdot 0.60 \cdot 25 + \frac{(0.60)(1.80)}{2} \times 25 = 180 \text{ m}^3$$

$$L = 11.5$$

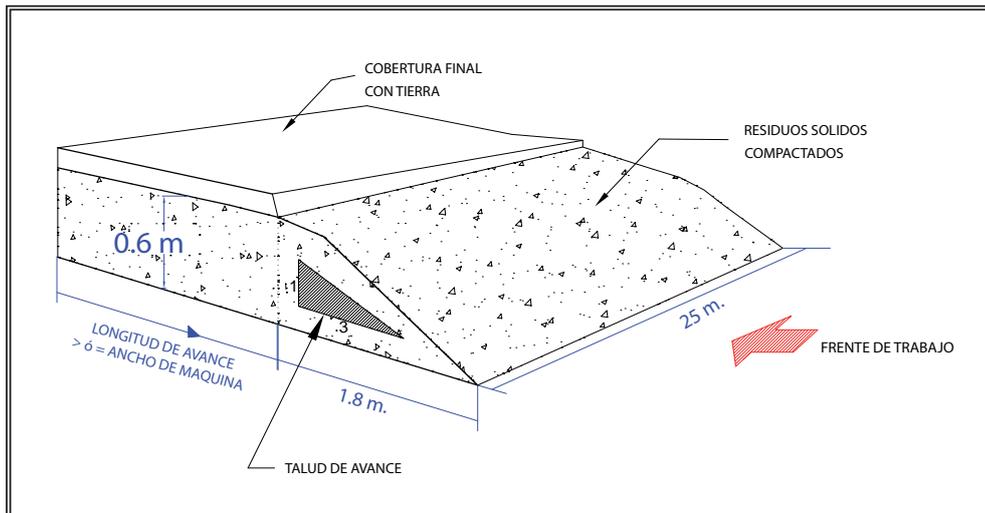


Imagen N° 18: Cálculo del avance diario.

Elección de maquinaria

Si suponemos que el total de residuos sólidos a disponer diariamente es de 90 ton., entonces podríamos elegir un equipo de las siguientes características:

Cuadro N° 17: Características del equipo requerido

Tipo de Equipo	Modelo	Talud de compactación	Densidad de compactación (Kg./m ³)	Distancia de empuje de desechos	Potencia (KW)	Productividad Estimada
Tractor de cadenas	D4K	3 en 1, mejor densidad de compactación	474 a 593	91,4 m	62.6	31 Tonelada de RRSS /Hora

Fuente: CATERPILLAR, 1991 y "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", 1997.

Tomando en consideración lo anterior, el equipo necesitaría 3 horas para realizar la labor de esparcir y compactar el material; adicionalmente se deberá tener en cuenta el rendimiento de la máquina durante el acarreo del material de cobertura y en la excavación de trincheras, labores que exigen que el equipo trabaje unas 02 horas más al día, haciendo en total 05 horas diarias de uso de maquinaria.

4.3.5 Diseño del sistema de drenaje pluvial

La interceptación y la desviación del escurrimiento de las aguas pluviales fuera del relleno contribuyen significativamente a la reducción del volumen del líquido percolado y también al mejoramiento de las condiciones para la operación del relleno.

A continuación se presenta el procedimiento del diseño del sistema de drenaje pluvial o zanja de interceptación.

1. Hacer una investigación en el campo, analizando la topografía, la característica del suelo, la vegetación, etc.
2. Estudiar un plano del sitio a escala 1:1000, seleccionando la curva de nivel que sea adecuada para colocar la zanja. La zanja siempre debe ser trasladada en la curva de nivel para garantizar una velocidad máxima que no provoque erosión excesiva. (Imagen N° 19).
3. Determinar la velocidad de diseño en la zanja. Dentro de las limitaciones impuestas por la topografía, la ruta exacta de una zanja queda definida por las pendientes que pueden tolerarse o admitirse. La pendiente excesiva puede producir una velocidad suficiente para causar erosión en la plantilla de la zanja. La velocidad con la cual se iniciará la erosión depende del material del lecho. En el cuadro N° 18 se presenta a las velocidades máximas permisibles en zanjas:

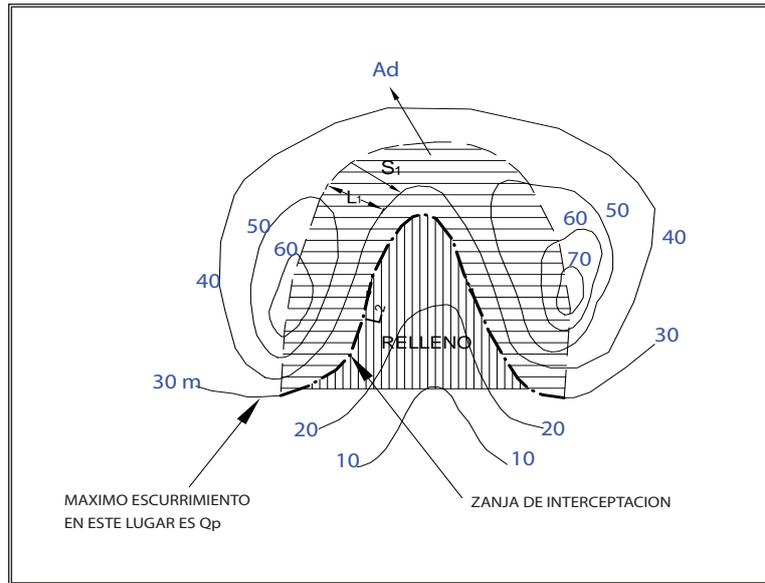


Imagen N° 19: Mapa topográfico (sin escala).

Cuadro N° 18: Velocidades máximas permisibles en zanjas

Material de la zanja	Velocidad (m/seg.)	
	Agua clara	Agua con sedimento abrasivo
Arena fina	0.45	0.45
Migajón limoso	0.60	0.60
Grava fina	0.75	1.05
Arcilla rígida	1.20	0.90
Grava gruesa	1.20	1.80
Pizarra, tepetate	1.80	1.50
Acero	*	2.40
Madera	6.00	300
Concreto	12.00	3.60

*Limitada únicamente por posible cavilación
 Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai, CEPIS, Lima

También es necesario asegurar una velocidad mínima que impida la sedimentación, debido a que el azolve en suspensión en el agua puede depositarse si la velocidad es muy baja. Por lo tanto, las velocidades de diseño deben ser ligeramente menores que las máximas permisibles, si la topografía lo permite

4. Estimar el coeficiente de escurrimiento (k) de la cuenca, usando el siguiente cuadro:

Cuadro N° 19: Valores empíricos para obtener el coeficiente de escurrimiento (k)

A. Topografía	
Terreno plano con pendiente del orden de 0.2 - 0.6 m/km	0.30
Terreno con inclinación leve del orden de 3 - 4 m/km	0.20
Terreno con inclinación fuerte del orden de 30 - 50 m/km	0.10
B. Suelo	
Arcilla.....	0.10
Arcilla con migajón.....	0.20
Migajón arenoso.....	0.30
C. Cobertura	
Terrenos agrícolas y pastizales.....	0.10
Áreas boscosas.....	0.20

Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai, CEPIS, Lima

Nota: Se puede obtener el coeficiente k como sigue:

$$K = 1 - (A. + B. + C.) \tag{1}$$

- Adoptar la intensidad de la lluvia de diseño, analizando los datos meteorológicos del sitio. Generalmente se usa la siguiente ecuación de intensidad de la lluvia:

$$i = \frac{j \cdot tp^l}{tr_m} \tag{2}$$

Donde:

- i = Intensidad de la lluvia (mm./hora)
- tp = Recurrencia (años)
- tr = Duración de la lluvia (minutos)
- j, l,m = Características regionales

- Calcular el tiempo de concentración (tc) en minutos. El tiempo de concentración (tc) para una cuenca pequeña sería igual a la combinación más larga del tiempo de escurrimiento sobre el terreno (t₁) y del tiempo de escurrimiento en la zanja (t₂).

$$tc = t_1 + t_2 \tag{3}$$

El tiempo, en minutos, de escurrimiento sobre el terreno (t1) está dado por la ecuación siguiente:

$$t_1 = \frac{235 b L_1^{1/3}}{(ki)^{2/3}} \tag{4}$$

Donde:

L1 = Longitud del flujo de escurrimiento sobre el terreno (m)

El coeficiente b está dado por la ecuación siguiente:

$$b = \frac{0.000028i + Cr}{S_1^{1/3}} \tag{5}$$

Donde:

S1 = pendiente de la superficie

Cr = coeficiente de retraso

Cuadro N° 20: Valores de coeficiente de retraso

Valores del coeficiente de retraso	(Cr)
Superficies lisas asfálticas.....	0.007
Pavimento de concreto.....	0.012
Pavimento de gravado.....	0.017
Césped muy tupido.....	0.046
Pasto azul denso.....	0.060

Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai, CEPIS, Lima.

El tiempo, en minutos, de escurrimiento en la zanja (t2) se toma comúnmente como la longitud de la zanja más larga (L2), dividida entre la velocidad de diseño de la misma (V2).

$$t_2 = \frac{L_2}{V_2} \tag{6}$$

7. Calcular el máximo del escurrimiento en la zanja (Qp), en metros cúbicos por segundo, usando la siguiente ecuación llamada comúnmente como la fórmula racional:

$$Q_p = \frac{K i A_d}{3.6 \times 10^6} \tag{7}$$

Donde:

K = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad de la lluvia para una duración igual a tc (mm./hora)

Ad = Área de la cuenca (m²)

- Calcular el tamaño de la sección transversal de la zanja en metros cuadrados (A₂), usando la siguiente ecuación:

$$A_2 = \frac{Qp}{\nabla_2} \quad (8)$$

- Decidir la sección transversal de la zanja. Las zanjas de tierra generalmente son trapeciales, con taludes determinados por la estabilidad del material en sus bancos. El siguiente cuadro enumera las pendientes típicas de taludes para zanjas no revestidas, en diversos materiales.

Cuadro N° 21: Taludes típicos para zanjas no revestidas

Material de la excavación	Taludes (horizontal : vertical)
Roca firma	1/4 : 1
Roca fracturada	1/2 : 1
Suelo firme	1 : 1
Migajón gravoso	1 1/2 : 1
Suelo arenoso	2 1/2 : 1

Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai, CEPIS, Lima

Se emplea la siguiente sección transversal como ejemplo:

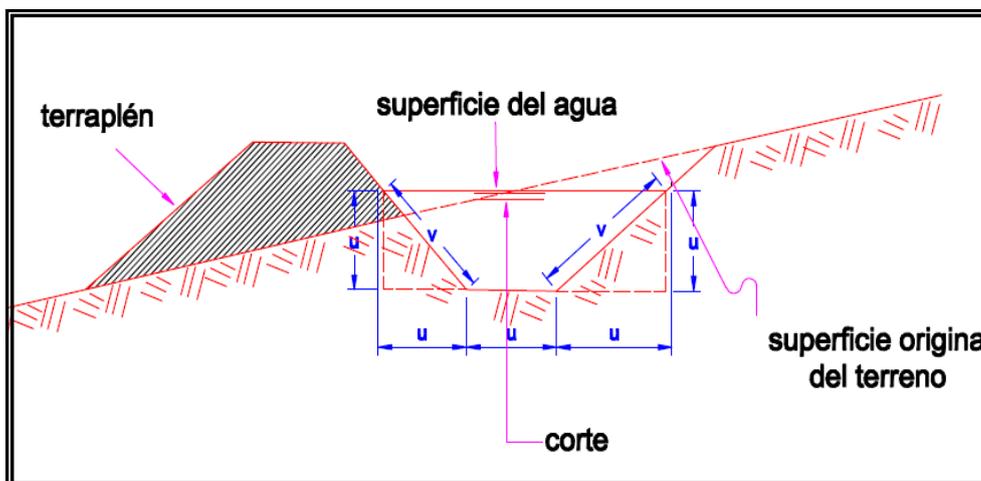


Imagen N° 20: Sección transversal de la zanja.

En esta sección transversal, el área de la sección está dada por la ecuación siguiente:

$$A_2 = u^2 \tag{9}$$

10. Calcular el radio hidráulico R en metros (área de la sección transversal dividida entre el perímetro mojado). Para el ejemplo arriba mencionado se calcula como sigue:

$$R = \frac{A_2}{u + 2v} \tag{10}$$

11. Finalmente se calcula la pendiente de la plantilla de la zanja (S₂), usando la siguiente ecuación comúnmente llamada de Manning:

$$\overline{V}_2 = \frac{R^{2/3} S_2^{1/2}}{n} \tag{11}$$

Donde:

\overline{V}_2 = Velocidad de diseño en la zanja (m/seg)

n = Valores del coeficiente de rugosidad (ver la siguiente tabla)

Cuadro N° 22: Valores del coeficiente de rugosidad (n)

Material de la zanja	n
Plástico, vidrio, tubería estirada.....	0.009
Cemento puro, metal liso.....	0.010
Madera cepillada, tubería asbesto.....	0.011
Hierro forjado, acero soldado, lona.....	0.012
Concreto ordinario, hierro colocado asfáltico.....	0.013
Madera no cepillada, barro vitrificado.....	0.014
Tubería de hierro colado.....	0.015
Acero remachado, tabique.....	0.016
Mampostería de pedacería.....	0.017
Tierra emparejada.....	0.018
Grava firme.....	0.020
Tubería de metal corrugado.....	0.022
Corrientes naturales en buena condición.....	0.025
Corrientes naturales con piedras y hierbas.....	0.035
Corrientes naturales, en muy malas condiciones.....	0.060

Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai, CEPIS, Lima.

4.3.6 Diseño del sistema del dren de lixiviados

Formación de lixiviado

Los lixiviados de rellenos sanitarios se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos, en contacto con un disolvente líquido (agua) o por la propia dinámica de descomposición de los residuos. Este lixiviado contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión y materia orgánica altamente contaminante.

Balance hidráulico

La cantidad de lixiviado que podría generarse en un relleno sanitario se puede predecir mediante un balance de agua (hidráulico). El balance hidráulico incluye el recuento de todos los flujos de líquidos que ingresan y egresan del relleno sanitario, y del líquido almacenado dentro del sistema. El mayor componente de la fase líquida en los rellenos sanitarios es, por supuesto, el agua. En la mayoría de los rellenos sanitarios, los flujos más significativos que ingresan a ellos son la precipitación y el agua obtenida en los residuos sólidos cuando llegan al relleno sanitario; el flujo más importante que egresa del relleno sanitario es el lixiviado. Entonces observaremos los casos en las diferentes regiones.

Formación del lixiviado en la costa o zonas desérticas

En ciertas ocasiones especiales, la cantidad de agua producida durante la descomposición de los residuos sólidos y el agua que se pierde como vapor podrían ser significativas en el balance hidráulico. Esas circunstancias podrían incluir el caso de un relleno sanitario ubicado en un desierto. Inicialmente, en un volumen nuevo de residuos sólidos, una porción del agua que ingresa (debido a la percolación en el relleno sanitario) será absorbida por los residuos sólidos. Sin embargo, a largo plazo, la tasa de lixiviado producida por un relleno sanitario eventualmente es igual a la tasa de filtración de la precipitación.¹⁹

Asimismo fue el caso en el Relleno Sanitario en Brasil fueron utilizados diversos ensayos empíricos como Método Suizo, Método Racional o el Método del Balance Hídrico. En época de déficit hídrico los resultados mostraron que el método suizo tuvo un porcentaje de error del 39%, asimismo el método racional 46.5% de porcentaje de error, en comparación al 57.8% de error correspondiente al método de Balance hídrico. Estas discrepancias muy elevadas son debido a que estos métodos no tienen en consideración algunas variables importantes, tales como la unidad, densidad y la capacidad de campo de la cobertura y la capacidad de campo de los residuos. Como se sabe estas variables son fuertemente influenciadas por la succión que por su tiempo y de difícil la obtención en los residuos.²⁰

En estos casos se sugiere emplear la siguiente consideración:

Determinación de la cantidad de lixiviado en un relleno sanitario con aporte de agua con precipitación nula:

1.- Datos:

Relleno sanitario en la costa peruana

Humedad de los residuos: 70%

Tipo de relleno: Trinchera (5 m) + 4 plataformas (40 m).

Densidad de Residuos Sólidos

Densidad de compactación: 0.6 ton/m³

Pp: Nula

2.- Determinando la capacidad de campo:

$CC = 0.6 - 0.55 \times (P / (10000 + P))$

Relleno de una trinchera + 4 plataformas: 45 metros;

Presión de sobrecarga a la altura media: $h = 45/2 = 22.5\text{m}$

Asumiendo una superficie de 1 m²: Volumen = 22.5 m x 1 m² = 22.5 m³

Peso = Densidad x Volumen: $P = 0.6\text{Ton/m}^3 \times 22.5\text{ m}^3 = 13.5\text{ ton} = 13500\text{ kg}$

$CC = 0.6 - 0.55 (13500 / (10000 + 13500)) = 0.6 - 0.55(0.57)$

CC = 28.4%

¹⁹ Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de Seguridad, CallRecovery, 1997.

²⁰ Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos en el Brazil, Jose Fernando Thome Juca. 5º Congreso Brasileiro de Geotecnia Ambiental REGEO" 2003 - Porto Alegre .

Cantidad de Humedad aportada:

1) Asumiendo 1 ton de residuos:

- Composición de residuos sólidos* =

% de materia orgánica (MO) = 70%

W MO = 70 % * 1 ton = 700 kg de MO

- Cantidad de Humedad presente* =

% de humedad presente en la MO = 60 %

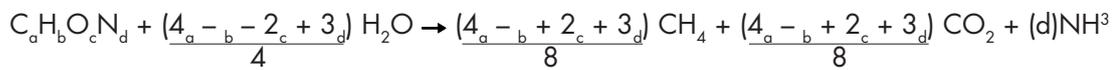
WH = 60 % * 700 kg de MO = 420 kg H₂O

W MO seca = 40 % * 700 kg de MO = 280 kg MO seca

- Cantidad de MO (base seca) que se transforma en Biogás ** = 95 %

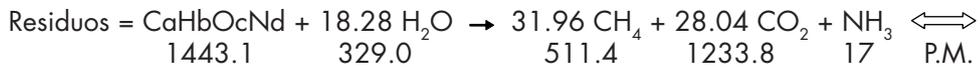
W Biogas = 80 % * 280 Kg MO (base seca) = 224 kg (que se transforma en biogás)

Fórmula de los Residuos (base seca)** =



Donde:

$$\begin{aligned} a &= 60 \\ b &= 94.3 \\ c &= 37.8 \\ d &= 1 \end{aligned}$$



- Cantidad de Agua necesaria para generar biogás:

$$\left(\frac{329}{1443.1} \right) * 224 \text{ kg} = 51.07 \text{ kg de H}_2\text{O}$$

W total de agua necesaria para generación de biogás = **51.07 Kg de agua/1000 kg de residuos**

Cantidad de agua que potencialmente se transforma en lixiviados (sin precipitación)

Ag_{lix} = Hum – Agua Nec

Ag_{lix} = 420 – 51.07 = 368.98 kg de agua generados

Agua retenida = CC = 28.4%

Agua que se retiene: Ag Ret = CC x Vol = 28.8% x 1 ton

Ag Ret = 280 kg agua

Lixiviado Generado: Lixiv = Agua Potencialmente transformada – Agua retenida

Lixiv = 368.98 Kg H₂O – 280 kg H₂O

Lixiv = 88.98 kg H₂O

Se generan 88.98 kg de lixiviados por cada tonelada de residuos sólidos

METODO BALANCE HIDRICO

Los elementos que influyen el balance hidráulico son los siguientes (Imagen N° 21):

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

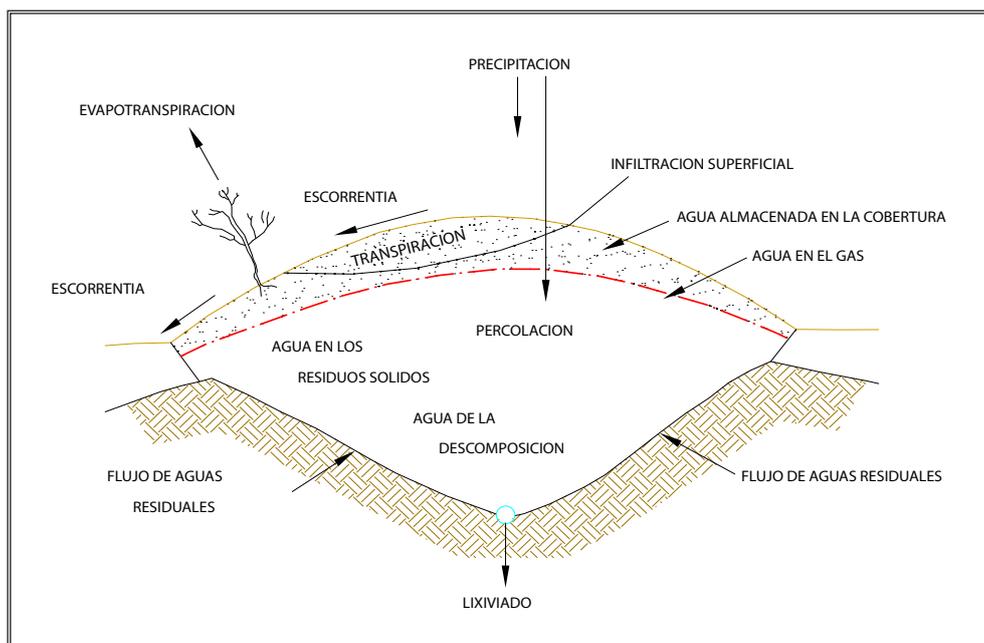


Imagen N° 21: Diversos componentes de un balance hidráulico para un relleno sanitario.

Como consecuencia de los procesos de descomposición que ocurren en un relleno sanitario, cierta cantidad de humedad se convierte en los elementos constitutivos del gas del relleno sanitario (es decir, CH_4 y CO_2).

Además, el agua también sale del relleno sanitario en forma de vapor de agua saturado en el gas de relleno sanitario. El resto del agua se convierte en lixiviado. Cada una de estas fuentes primarias de agua se trata en las siguientes secciones.

Ingreso de agua a través de la cobertura

Este componente del balance hidráulico consta principalmente de la precipitación que percola a través de la cobertura (estrictamente hablando, pueden haber otras fuentes de agua superficial, como la escorrentía del agua de lluvia y manantiales artesianos). Uno de los pasos más importantes en el rendimiento de un balance hidráulico es la predicción de la cantidad de precipitación que en realidad penetra la cobertura del relleno sanitario.

El flujo en una capa de percolación vertical es descendente (debido a la gravedad) o eliminado por evapotranspiración.

A continuación se presenta otro enfoque que puede emplearse para obtener una aproximación de la cantidad de percolación que puede esperarse para obtener una aproximación de la cantidad de percolación que puede expresarse en un relleno sanitario a través de un balance.²¹

²¹ Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos en el Brazil, Jose Fernando Thome Juca 5° Congreso Brasileiro de Geotécnica Ambiental REGEO" 2003 - Porto Alegre.

$$\Delta CH = P - CE - ET - PER$$

Donde:

- ΔCH = Cambio en la cantidad de humedad almacenada en una unidad de volumen de la cobertura del relleno sanitario (cm).
- P = Cantidad neta de precipitación (precipitación que incide menos escorrentía) por unidad de área (cm).
- CE = Cantidad de escorrentía por unidad de área (cm).
- ET = Cantidad de humedad perdida mediante evapotranspiración por unidad de área (cm).
- PER = Cantidad de agua que percola a través de la cobertura por unidad de área de la cobertura (cm).

La cantidad total de humedad que puede almacenarse en una unidad de volumen de suelo depende de dos variables: la capacidad de campo (CC) y el porcentaje de marchitamiento permanente (PMP).

Capacidad de Campo

La capacidad de campo (CC) se define como la máxima cantidad de líquido que permanece en el espacio de poro sujeto a la fuerza gravitatoria.

En el cuadro siguiente se presentan coeficientes de escorrentía, en función de la precipitación, para diferentes tipos de suelos con y sin una cobertura vegetal.

Cuadro N° 23: Coeficientes de escorrentía para diferentes materiales de cobertura y diferentes tipos de vegetación

Cobertura del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arcilla arenosa	Arcilla margosa	Arcilla
Suelo con Hierba	0 a 5	0,10	0,30	0,40
	5 a 10	0,16	0,36	0,55
	10 a 30	0,22	0,42	0,60
Suelo simple		0,30	0,50	0,60
		0,40	0,60	0,70
		0,52	0,72	0,82

Fuente: Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de Seguridad - CallRecovery, INc, 1997.

Otra información requerida, tal como la precipitación y la evapotranspiración en lugares específicos, generalmente puede obtenerse a través del SENAMHI.

Presencia de agua en los residuos sólidos

La humedad que ingresa al relleno sanitario con los residuos sólidos es agua inherente a ellos, así como la humedad que ha sido absorbida de otras fuentes (por ejemplo, la precipitación). De acuerdo a las condiciones climáticas, así como al tipo y a la calidad de los recipientes que se usan para almacenar los residuos sólidos par su recolección, la humedad inherente y la humedad

de otras fuentes tienen una gama de valores. El contenido de humedad de los residuos sólidos municipales en los países en desarrollo generalmente varía de 30% a 60%, (peso húmedo) según la ubicación y la estación.

Agua en el material de cobertura

La cantidad de agua que ingresa con el material de cobertura depende del tipo y de la fuente del material, así como de la estación y de las condiciones climáticas de la ubicación específica. La cantidad máxima de agua que puede estar contenida en el material de cobertura se determina por la capacidad de campo del material.

Agua utilizada en la formación del gas del relleno sanitario

La descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos utiliza cierta cantidad de agua. Puede calcularse la cantidad de agua que usa el proceso mediante aproximaciones teóricas del proceso de descomposición.

Pérdida de agua en forma de vapor en el gas del relleno sanitario

Comúnmente, el gas del relleno sanitario está saturado con vapor de agua. Puede estimarse la cantidad de humedad que sale del relleno sanitario por medio de la ley de gases perfectos.

Agua que sale del relleno sanitario

El agua que sale del relleno sanitario se denomina lixiviado (el término "lixiviado" también se aplica al agua dentro del relleno sanitario que está en contacto con los residuos sólidos).

Capacidad del campo de un relleno sanitario

El agua que ingresa al relleno sanitario y no se utiliza en las reacciones bioquímicas ni sale como vapor de agua con el gas del relleno sanitario puede tener uno de estos dos destinos:

- a) El agua puede mantenerse dentro del relleno sanitario
- b) El agua puede convertirse en lixiviado.

Los materiales que forman parte de la cobertura, así como los residuos sólidos del relleno sanitario tienen su propia capacidad de campo, la cual puede almacenar la humedad y, por lo tanto, mantenerla hasta que se llegue al nivel de saturación. La cantidad potencial de lixiviado que puede generarse en un relleno sanitario específico es la cantidad de humedad excedente de la capacidad de campo del relleno sanitario.

La capacidad de campo de un relleno sanitario varía en función del peso de la sobrecarga. La CC puede calcularse (esto es, la fracción de agua en los residuos sólidos basada en el peso seco de los residuos sólidos) mediante la siguiente ecuación:

$$CC = 0.6 - 0.55 \left[\frac{P}{10.000 + P} \right]$$

Donde:

- CC = Capacidad de campo
 P = Peso de la sobrecarga calculada en medio de la franja (Kg).

Dados todos los elementos en las secciones anteriores, los componentes del balance hidráulico para un relleno sanitario pueden expresarse del siguiente modo:

$$\Delta CH = A_{sw} + A_c + A_p - A_{lfg} - A_v - A_{evap} + A_{lix}$$

Donde:

ΔCH = Cambio en la cantidad de humedad almacenada en el relleno sanitario (Kg/m³)

A_{sw} = Humedad en los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario (Kg/m³)

A_s = Agua en el material de cobertura que se coloca sobre los residuos sólidos (Kg/m³)

A_p = Agua de la precipitación y otras fuentes externas (menos escorrentía) (Kg/m³).

A_{lfg} = Agua utilizada en la formación del gas del relleno sanitario (Kg/m³)

A_v = Agua perdida como vapor saturado con el gas del relleno sanitario (Kg/m)

A_{evap} = Humedad perdida debido a la evapotranspiración (Kg/m)

A_{lix} = Agua que sale del relleno sanitario (volumen control) como lixiviado (Kg/m³).

El balance hidráulico para un relleno sanitario durante un tiempo específico se prepara al agregar la masa de agua que ingresa a una unidad de área de una capa específica del relleno sanitario a la masa de agua de la misma capa que permaneció desde el balance anterior y restando la pérdida de masa de agua de la capa durante el periodo que se está evaluando. El relleno sanitario en un momento determinado. Con el fin de determinar la formación de cualquier lixiviado, la humedad disponible se compara con la capacidad de campo del relleno sanitario. Si la cantidad de agua presente (humedad disponible) excede la capacidad de campo del relleno sanitario, se formará lixiviado.

METODO DE HELP

HYDROLOGIC EVALUATION OF LANDFILL PERFORMANCE, HELP (Evaluación Hidrológica del Rendimiento del Relleno, HELP)

Es un programa que corresponde a un modelo hidrológico cuasi bidimensional que representa el movimiento del agua dentro, a través y fuera de un relleno sanitario.

REQUERIMIENTOS DEL MODELO

El modelo requiere para su utilización, la incorporación de datos tanto meteorológicos, características de suelo y aspectos de diseño del relleno sanitario, y se utiliza técnicas comunes en hidrología para cuantificar el efecto del almacenamiento superficial de agua, derretimiento de nieve, infiltración, evapotranspiración, crecimiento vegetativo, almacenamiento de humedad en el suelo, drenaje lateral subsuperficial, recirculación de líquido percolado, drenaje no saturado vertical y percolación a través del suelo, geomembranas o membranas compuestas.

El diseño del relleno sanitario permite diferentes combinaciones de cubierta vegetal, cubiertas de suelo, celdas de basura, capas de drenaje lateral, capas de baja permeabilidad y geomembranas, permitiendo modelar diferentes escenarios. Además el modelo permite una rápida estimación de la cantidad de líquido percolado, escorrentía superficial, evapotranspiración y drenaje que se produce durante la operación del relleno sanitario.

El programa ha sido desarrollado para proveer a los diseñadores y técnicos relacionados con el tema una herramienta rápida y económica para evaluar diferentes alternativas de diseño desde un punto de vista del balance hídrico dentro del proyecto. Este programa puede ser utilizado para estimar las magnitudes de varios componentes del balance hídrico en un relleno, así como la producción de líquido percolado. De esta forma se puede evaluar el potencial de generación de líquidos percolados bajo diferentes alternativas de diseño, para seleccionar y dimensionar sistemas de recolección adecuados y sistemas de tratamiento de los mismos.

El modelo requiere básicamente tres tipos de datos de entrada, que corresponden a los de clima, suelo y del diseño mismo del relleno sanitario a evaluar. Los datos climáticos o meteorológicos requeridos se clasifican en cuatro grupos: evapotranspiración, precipitación, temperatura y radiación solar de la zona en la cual se ubica el relleno sanitario. El programa permite tanto la entrada de datos históricos (los cuales se deben presentar como registros diarios); propiedades estadísticas de los datos históricos (que permiten al programa generar datos que describen un escenario climático de la zona); o elegir dentro de su base de datos la estación meteorológica más cercana a la ubicación del proyecto.

En el caso de los datos del suelo, es posible seleccionar dentro de la base de datos del programa el tipo de suelo o material deseado, como la opción de generar una base de datos con las características de éstos. Las propiedades que definen los diferentes tipos de suelo corresponden a la porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, conductividad hidráulica, flujo subsuperficial (en el caso de existir recirculación de líquido percolado) y humedad inicial del suelo. Para el caso de la geomembranas las propiedades corresponden a la densidad de agujeros, defectos de instalación (que se representan como anomalías por centímetro cuadrado) y calidad del contacto entre la geomembrana y el suelo superior.

Para los datos de configuración del relleno sanitario, el programa organiza los diferentes estratos según la función hidráulica que cumplen. De esta forma se establecen cinco categorías que se definen como: capas de percolación vertical, que generalmente corresponde al suelo de recubrimiento donde crece la vegetación o al estrato de basura, cuya función principal es el almacenamiento de humedad; capas de drenaje lateral, que en general la componen materiales de moderada a alta permeabilidad, como gravas y arenas cuya función es transportar el agua hacia un sistema de evacuación; capas de barrera de suelo, que usualmente son materiales de baja permeabilidad, como limos y arcillas, que son incorporados para limitar la percolación; capas de geomembranas, que corresponden a materiales flexibles y sintéticos que restringen la percolación vertical; y las capas de geotextiles, materiales sintéticos que permiten el drenaje lateral de los líquidos retenidos en alguna capa inferior. A pesar de que el programa permite diseñar un amplio rango de combinaciones de materiales, existen ciertas reglas que restringen la colocación de ciertas configuraciones, ya que estas se contradicen con la función para la cual son diseñadas.

El programa funciona a través de un balance de masas que considera como entradas la precipitación, el derretimiento de nieves, la humedad inicial del suelo como de la basura; como salidas considera la escorrentía superficial, la evapotranspiración, el drenaje lateral y la el líquido percolado que atraviesa la última capa del diseño; y una acumulación de agua de un año para otro. El cálculo de cada uno de estos parámetros se realiza a través de fórmulas utilizadas en el medio, como es el caso de la escorrentía superficial, que utiliza en método de la curva número para su estimación, o como la evapotranspiración, que utiliza en método de Penman modificado.

El modelo funciona con una serie de simplificaciones, las que son razonables dentro de un diseño convencional de un relleno sanitario. Este asume que tanto la precipitación, la escorrentía superficial y el derretimiento de nieves ocurre sólo dentro del área del relleno sanitario o en una fracción de éste, sin considerar una interrelación con el lugar donde se encuentra emplazado. Esto último supone la existencia de drenes perimetrales que evitan la llegada de escorrentía desde zonas ajenas al relleno mismo. Para la estimación de la curva número se considera el efecto de la pendiente y del largo de la superficie, que no están incluidos dentro del método SCS. El modelo asume un flujo a través de un medio poroso homogéneo, utilizando las ecuaciones de Darcy, sin considerar flujos preferenciales que se podrían producir en la realidad.

El modelo puede ser ejecutado hasta con 20 capas de suelo o basura, utilizando hasta 5 capas sintéticas en cada configuración. La simulación puede ser realizada en un rango entre 1 y 100 años, con intervalos de tiempo mensuales.

METODO SUIZO.-

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

$$Q = \frac{1}{t} [PxAxK]$$

Donde:

- Q = Caudal medio de lixiviado (l/seg)
- P = Precipitación media anual (mm/año)
- A = Área superficial del relleno (m²)
- T = Número de segundos en un año (31536000 seg/año)
- K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

- Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0.4 a 0.7 ton/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (K= 0.25 a 0.50) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.
- Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0.7 ton/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (K= 0.15 a 0.25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

4.3.7 Diseño del sistema de monitoreo de lixiviados.

La decisión de incluir o excluir un sistema de colección y tratamiento de lixiviado en el diseño de un relleno sanitario en un país en desarrollo es crítica. Es una decisión importante porque si tal sistema se incluye, requerirá un compromiso de fondos adicionales no sólo para su diseño y la construcción, sino también para su operación y mantenimiento. Por otro lado, si no se incluye un sistema de colección y tratamiento de lixiviado, las condiciones podrían ser tales que el lixiviado podría contaminar el suelo, así como las fuentes potenciales de abastecimiento de agua

Bajo algunas condiciones, los métodos de tratamiento de lixiviado pueden ser relativamente simples y baratos cuando son comparados con los que usan complejos sistemas de revestimiento, tuberías y sistemas para procesar el lixiviado que es captado. Las condiciones incluyen aquellas en las cuales los riesgos para los recursos agua y suelo, y para la seguridad pública, son bajos. La decisión con respecto a la necesidad de controlar y tratar el lixiviado y con respecto al diseño del sistema requerido para realizar el grado de control necesario debe estar basada en información verídica (incluyendo la relacionada con el grado de riesgo) y en la coordinación muy cercana con profesionales experimentados en la materia.

En general, la puesta en marcha de un sistema de colección y tratamiento de lixiviado incluye los siguientes cuatro pasos:

- a. La identificación y selección del tipo de revestimiento;
- b. La preparación de un plan de nivelación del sitio, incluyendo la ubicación de los canales y las tuberías para la colección y remoción del lixiviado.
- c. El diseño de las instalaciones para la colección, la remoción y el almacenamiento de lixiviado
- d. La selección y el diseño del sistema de manejo (por ejemplo, tratamiento) de lixiviado.

Identificación y selección del revestimiento

Tal como se ha indicado anteriormente, el tipo de revestimiento de la base que se usa en un relleno sanitario depende de varios factores. Algunos de ellos incluyen las condiciones geológicas del lugar de disposición final, los requisitos para la protección ambiental y la disponibilidad y el costo del material de revestimiento. La ubicación y la calidad de las aguas subterráneas así como los requisitos para el control de migración del lixiviado y del gas del relleno sanitario también tendrán una influencia en la selección final.

Sistemas de colección de lixiviado

La finalidad central de una instalación para la colección de lixiviado es captar, tan rápido como sea posible, el lixiviado en el relleno sanitario. La cantidad de lixiviado dentro del relleno sanitario debe mantenerse al mínimo porque la presión de agua puede forzar el lixiviado a través de un revestimiento permeable o a través de cualquier imperfección en el revestimiento, y puede afectar de manera negativa la integridad y las propiedades del revestimiento. El tamaño relativo de la instalación para la colección de lixiviado depende de las condiciones climáticas, la topografía del sitio, los procedimientos operativos y la cantidad de lixiviado esperada. La instalación debe hacerse de tal manera que sea compatible con el contorno de la base del relleno sanitario y con el sistema de revestimiento. El diseño debe hacerse de modo tal que el sistema de colección de lixiviado funcione como una unidad eficaz de drenaje y debe prevenirse, en todo momento, la obstrucción de sus componentes.

El sistema de drenaje desempeña un función importante en el funcionamiento del sistema de colección de lixiviado y realiza dos funciones claves:

- a. Proporciona una ruta para que el lixiviado migre fácilmente y de preferencia hacia las tuberías para la colección.
- b. Ofrece protección al revestimiento de la base contra los residuos sólidos depositados en la primera franja y contra el equipo pesado.

El material más apropiado para usarse como capa de drenaje es la grava (preferentemente redondeada, libre de raíces, vegetación y escombros de la construcción). También puede usarse arena gruesa o una mezcla de arena y grava, pero la tendencia es usar materiales más permeables. El material debe graduarse cuidadosamente para prevenir la obstrucción de la grava alrededor de las tuberías para la colección. Los sistemas de drenaje de lixiviado pueden incluir más de una capa de filtros. Se puede prevenir la obstrucción entre las capas de los filtros al instalar telas de filtro entre ellas. La eficiencia del sistema de colección de lixiviado depende mucho de la conductividad hidráulica de la capa de drenaje. A medida que la conductividad hidráulica disminuye, la tasa de remoción de lixiviado disminuye y, por lo tanto el líquido se acumula en la base del relleno sanitario.

Hay varios diseños que se pueden usar para la colección y la remoción de lixiviado en un relleno sanitario. Los diseños más comunes en los Estados Unidos consisten de un revestimiento con canales, poco profundos, inclinados y en forma de V; cada uno de los canales tiene un tubería de colección ubicada en el ápice invertido del canal. Los canales y las tuberías están separados por una distancia de 30 y 40 m y con una pendiente de aproximadamente 1% hacia los puntos de captación al borde de la pendiente. El lixiviado es colectado y bombeado a través de una tubería que penetra de pared lateral. Otros dos sistemas de colección de lixiviado se describen en las siguientes subsecciones.

Tuberías en la base del relleno sanitario

El sistema de colección de lixiviado con tuberías en la base del relleno sanitario incluye la colocación de barreras de arcilla (u otro material de revestimiento adecuado) y de tuberías perforadas para la colección de lixiviado en la base del relleno sanitario. Según se muestra en la imagen 22, las barreras toman la forma de un rectángulo que tiene un ancho similar a una celda del relleno sanitario. En los países industrializados, se coloca una capa de geomembrana sobre la arcilla, tal como se indica en la imagen 23. Una vez que la barreras están en orden (arcilla y geomembrana), se coloca una serie de tuberías perforadas de colección de lixiviado, directamente sobre la geomembrana. Comúnmente, las tuberías para la colección de lixiviado son perforadas y tienen un diámetro de 10 cm. En los Estados Unidos, las perforaciones están cortadas de manera muy precisa (a través de rayos láser), de manera tal que su tamaño es similar al del grano más pequeño de arena (cerca de 0.00025 cm).

El espacio entre las tuberías para la colección de lixiviado es de 10 a 20 m y ellas están cuidadosamente cubiertas con una capa de arena o grava (capa de drenaje). El espacio entre las tuberías determina la profundidad del lixiviado que se permitirá acumular en la base del relleno sanitario. En general, la capa de drenaje tiene 60 cm de espesor y se coloca en las tuberías antes que cualquier residuo sólido sea dispuesto en el sitio. Se puede colocar tela de filtro sobre la capa de drenaje para evitar obstrucciones. Generalmente, la primera capa de residuos sólidos (cerca de 1m de espesor) colocada sobre la capa de drenaje no se compacta. La base de relleno sanitario se inclina entre 1% y 2% para promover el flujo del lixiviado hacia los puntos de colección. Las tuberías para la colección de lixiviado deben estar instaladas de manera tal que sean drenadas por gravedad.

Este método también permite el uso de tuberías para la colección de lixiviado par eliminar el agua proveniente de las lluvias en la porción de relleno sanitario que no recibe residuos sólidos. En esta forma, las tuberías para la colección de lixiviado están conectadas directamente a las tuberías para la colección del agua proveniente de las lluvias. Una vez que la porción del relleno sanitario empieza a funcionar, las tuberías simplemente se desconectan del sistema de aguas pluviales y se unen al sistema de colección de lixiviado.

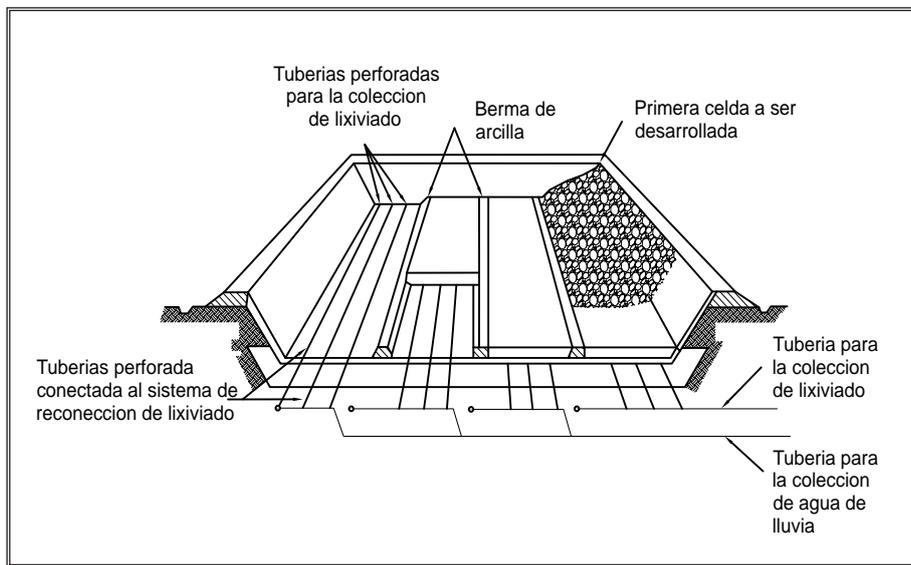


Imagen N° 22: Diagrama del diseño con tuberías en la base del relleno sanitario.

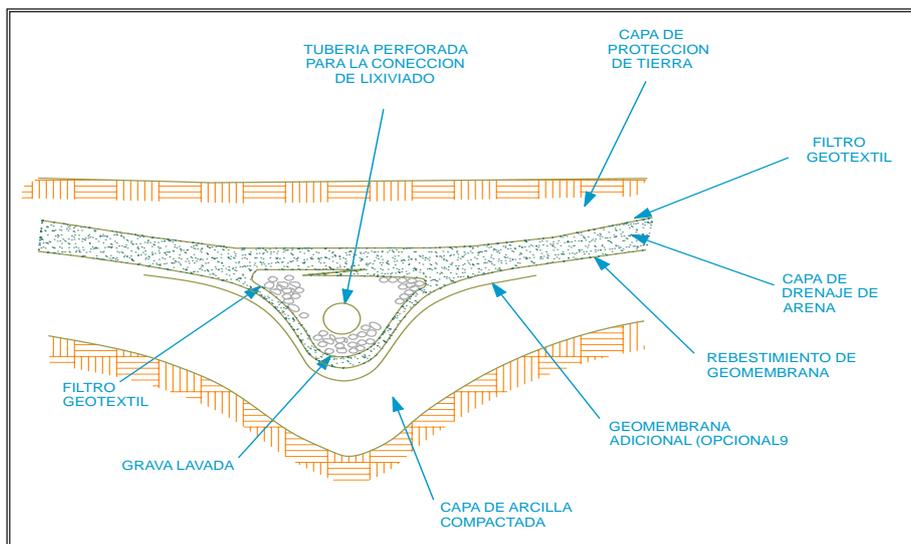


Imagen N° 23: Detalle de una tubería para colección de lixiviado.

Terrazas en pendiente

En el sistema de terrazas en pendiente, la base del relleno sanitario se inclina en una serie de terrazas (entre 1% y 5%), de manera tal que el lixiviado fluye hacia los canales de colección. Cada canal de colección consta de tuberías para la colección de lixiviado, perforadas y rodeadas de grava lavada (cerca de 4 a 5 cm). Para prevenir la obstrucción de la grava, se puede colocar una capa de protectora de filtro geotextil. Las tuberías se usan para transportar el lixiviado a un punto de colección para su remoción o tratamiento. Los canales de drenaje se inclinan 0,5% y 1,0%, la longitud del canal de drenaje depende de la capacidad de las instalaciones de drenaje. En las imágenes 24 y 25 se presenta el diagrama del diseño de las terrazas en pendiente.

Remoción y almacenamiento de lixiviado

Hay dos opciones par la remoción de lixiviado de un relleno sanitario. En la primera opción, la tubería de colección pasa a través del costado del relleno sanitario mientras que, en la segunda opción, se usa una tubería de colección inclinada dentro del relleno sanitario para recoger el líquido. En la primera opción, la tubería debe construirse e instalarse con sumo cuidado para asegurar la integridad del sistema de revestimiento del relleno sanitario.

Debe proporcionarse un acceso adecuado a la mayoría de las partes del sistema de colección de lixiviado para permitir la inspección del sistema y el mantenimiento del funcionamiento. El acceso adecuado incluye la instalación de pozos de registros relimpieza para poder alcanzar cualquier sección de tubería. Debido a las operaciones de disposición final, quizás no sea posible llegar a los registros de limpieza de manera vertical dentro del área del relleno sanitario. En esta situación, los registro de limpieza pueden extenderse lateralmente en la base, hacia el perímetro del relleno sanitario y luego a lo largo del costado de la pendiente hacia la superficie.

El lixiviado que se recoge se almacena en una bóveda, tanque o estanque; se drena o se bombea directamente a las instalaciones para su tratamiento. Los requisitos de almacenamiento dependen del tamaño del relleno sanitario, de la cantidad de lixiviado generado y del tratamiento final o de la opción de disposición final para el lixiviado.

Los tanques de retención están diseñados para almacenar el lixiviado de entre 1 a 3 días durante el pico de producción máxima. Se usan tanto tanques de metal como de plástico para este fin, aunque los tanque de plástico son más resistentes a la corrosión que los de metal no tratado.

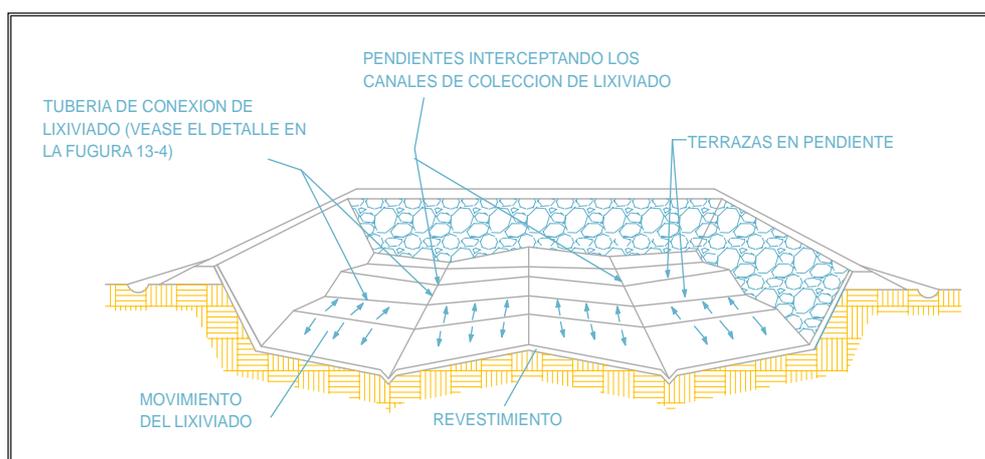


Imagen N° 24: Diagrama del diseño de terrazas en pendiente.

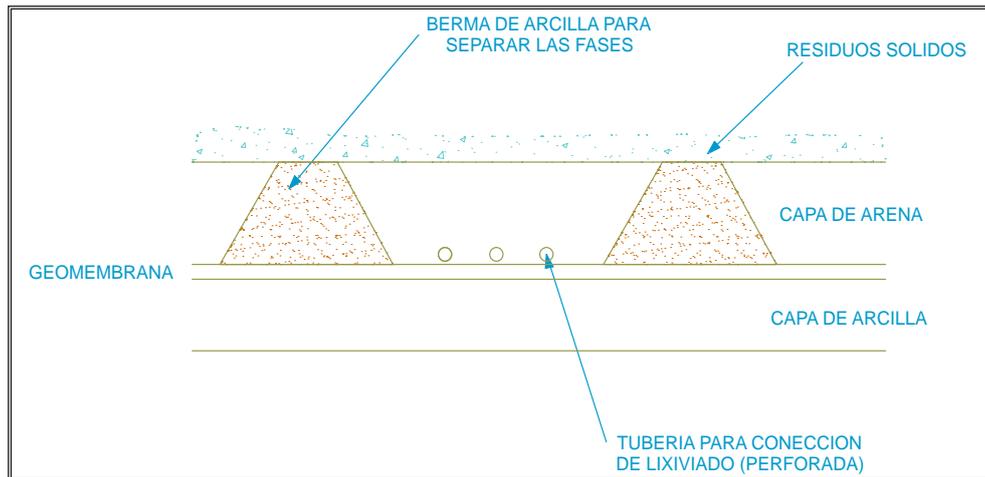


Imagen N° 25: Detalle de una tubería para colección de lixiviado.

Alternativas de manejo

El método para manejar el lixiviado de un relleno sanitario determinará el riesgo asociado con la contaminación de acuíferos subterráneos. Hay varias alternativas para manejar el lixiviado.

Algunas de las alternativas son:

- a) La descarga a un sistema de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio.
- b) La evaporación (natural o inducida).
- c) La recirculación o el reciclaje.
- d) El tratamiento en el terreno.

Descarga a un sistema de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio

En caso que el relleno sanitario esté ubicado relativamente cerca de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales, puede ser posible descargar el lixiviado para su tratamiento en esa planta. Antes de intentarlo, sin embargo, es importante evaluar si la planta de tratamiento sería capaz de tratar la cantidad y la calidad del lixiviado; por ejemplo, la carga orgánica adicional. En algunos casos puede ser necesario establecer un tipo de pretratamiento APRA el lixiviado antes de descargarlo en la alcantarilla. Si no está disponible una alcantarilla local a una distancia conveniente del punto de descarga en el relleno sanitario, la utilización de un camión cisterna es una alternativa para transportar el lixiviado a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Evaporación

Esta es una de las alternativas más sencillas para el manejo de lixiviado. En esta alternativa, el lixiviado se almacena en un estanque o laguna de evaporación. (En circunstancias ideales, el estanque se revestiría adecuadamente con material o membrana impermeable). La tasa de evaporación, desde luego, depende las condiciones climáticas. En caso que hubiera una época de lluvias intensas, el estanque debe estar diseñado para retener el volumen asociado de líquido o, si la práctica lo permite, puede estar cubierto con una membrana impermeable. La tasa de evaporación puede aumentarse al rociar el lixiviado sobre la superficie del relleno sanitario en funcionamiento y sobre las áreas terminadas. Aunque el rociado aumenta la tasa de evaporación, el proceso puede generar olores, así como aerosoles que pueden contener bacterias.

La evaporación también puede aumentarse al calentar el lixiviado a través de un intercambiador de calor. En caso que haya un sistema para la colección del gas del relleno sanitario, puede usarse el gas como fuente de energía para el proceso de evaporación. De otro modo, debe buscarse otra fuente de energía. Esta opción puede ser costosa en un país en desarrollo sin reservas de combustibles fósiles. Además, se debe tener mucho cuidado con el control de los potenciales

emisiones de compuestos volátiles así como con el manejo de la corrosión y la contaminación de las superficies de transferencia de calor.

Recirculación o reciclaje

El lixiviado puede administrarse eficazmente colectándolo y recirculándolo a través del relleno sanitario. Cuando el relleno sanitario empieza a funcionar, es común que el lixiviado contenga concentraciones relativamente altas de DBO, DQO, sólidos disueltos totales, metales pesados y nutrientes. La recirculación y el reciclaje del lixiviado atenúa estos constituyentes debido a la actividad biológica y a las reacciones físicas y químicas que se producen dentro del relleno sanitario. Por ejemplo, considerando que el pH en el relleno sanitario se torna neutral o ligeramente básico a medida que se produce metano, algunos de los metales se precipitarán y serán retenidos dentro del relleno sanitario.

El diseño y la operación de un sistema de recirculación de lixiviado debe considerar que, si es que la percolación hacia el interior del relleno sanitario es mayor que la evaporación del lixiviado colectado, la recirculación resulta en un constante aumento del reservorio del lixiviado.

En caso que la rápida estabilización de la sustancia orgánica, así como la recolección y el uso beneficioso del gas del relleno sanitario sean los objetivos principales de la operación, la recirculación del lixiviado puede ocasionar un aumento en la producción de gas debido al incremento del contenido de humedad en el relleno sanitario. Un aumento en la tasa de estabilización conduciría a una mayor tasa de sentamiento del relleno sanitario. Se puede obtener una reducción considerable de DQO y DBO a través de la recirculación, en particular, durante un período corto. La recirculación de lixiviado es más eficaz en los rellenos sanitarios cuyo funcionamiento incluye la aplicación de residuos sólidos en capas relativamente delgadas.

Se debe prestar atención cuando se adopta la recirculación como una estrategia para manejar el lixiviado. En primer lugar, la introducción de humedad en el relleno sanitario puede conducir a la contaminación del ambiente circundante al relleno sanitario por causa de la migración de lixiviado por la base o por los costados del mismo. En segundo lugar, la recirculación continua producirá la acumulación de sales, metales y otros compuestos indeseables en el lixiviado. Además en caso que se hayan aplicado coberturas intermedias, la introducción de lixiviado puede formar acumulaciones de líquido dentro del relleno sanitario que, con el tiempo, pueden escapar por los costados del relleno sanitario.

La recirculación del lixiviado, incluyendo el tratamiento del mismo, se está realizando de manera activa en ciertas zonas del Brasil [1].

Tratamiento

Si ninguna de las alternativas presentadas en los párrafos anteriores es viable, será necesario algún tipo de tratamiento para manejar adecuadamente el lixiviado. Ya que la composición de los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario puede variar mucho de municipio, el lixiviado producido en los rellenos sanitarios también puede tener características muy distintas. A diferencia de las aguas residuales, la calidad y la cantidad del lixiviado pueden experimentar variaciones importantes con los cambios del clima. Además, a medida que el contenido del relleno sanitario se deteriora con el transcurso del tiempo, la calidad del lixiviado también cambia.

Han sido usados varios tipos de diseños para tratar el lixiviado. Algunos de los procesos aplicados incluyen los biológicos, físicos y químicos. Un diseño típico incluiría tres etapas de tratamiento:

- Pretratamiento,
- Tratamiento biológico y
- Tratamiento físico y químico.

En general, el pretratamiento incluye el tamizado, la sedimentación y el ajuste de pH. El tratamiento biológico está diseñado para eliminar principalmente la DBO, la DQO y algunos de los nutrientes. Los métodos más comunes de tratamiento biológico incluyen: las lagunas de oxidación, las

lagunas aireadas, los lodos activados y otros. La etapa final puede incluir una serie de procesos diseñados principalmente para eliminar el color, los sólidos en suspensión, los metales pesados y cualquier DQO restante. Los procesos que pueden usarse en esta etapa incluyen, entre otros, la sedimentación, la oxidación con ozono, la filtración con arena y la floculación. Los textos sobre tratamiento de aguas residuales incluyen información específica sobre el diseño y la operación de estos sistemas.

Un sistema complejo de tratamiento de lixiviado que usa el ajuste de pH, seguido de floculación, sedimentación, tratamiento biológico del sobrenadante a través de una laguna aireada y cloración, se está usando en uno de los sitios de disposición final de Buenos Aires, Argentina.

Los sistemas simples de tratamiento de lixiviado (que, por lo tanto, están dentro del alcance de varios lugares) podrían ser la única alternativa factible para algunas localidades. Con respecto a los sistemas simples, el almacenamiento y la evaporación constituyen la selección más adecuada. En lugares donde los sistemas de evaporación no son factibles, un sistema simple de tratamiento biológico podría ser una alternativa razonable para el tratamiento de lixiviado, especialmente si los residuos sólidos son predominantemente de origen doméstico, putrescibles y con un alto contenido de celulosa. En tales situaciones, los sistemas aerobios o anaerobios podrían constituir formas adecuadas de tratamiento. Los sistemas simples de aireación (por ejemplo, lagunas con aireación, lagunas de oxidación, etc.) con residencia hidráulica de entre 30 y 60 días, podrían funcionar bien, dependiendo principalmente del DBO del lixiviado.

Rellenos sanitarios existentes no revestidos

Un elevado porcentaje de los sitios de disposición final en el suelo en los países en desarrollo no tienen revestimientos de la base. Además, estas instalaciones también carecen de un sistema de colección y remoción de lixiviado, como los descritos en los párrafos anteriores. Obviamente, la instalación de tal sistema, en muchos casos, requeriría la tarea poco realista de excavar y remover los residuos sólidos. En algunas casos, es posible que las condiciones específicas puedan ser tales que la instalación de un revestimiento, así como de un sistema de colección de lixiviado, pueda ser factible. Bajo ciertas condiciones, en especial para los grandes sitios de disposición final en el suelo que contaminan el ambiente y amenazan a la salud pública, puede ser necesario implementar algún tipo de acción correctiva o mejorar un botadero a cielo abierto. En esta situación específica, debe seguirse una serie de pasos para realizar el trabajo. Aunque cada caso específico será diferente, algunos de los pasos que serían comunes para la mayoría de las situaciones son: la identificación y la determinación de la magnitud del problema, el control y la desviación de la escorrentía, la aplicación de una cobertura y la instalación de algún tipo de sistema de colección de lixiviado.

Si se requiere un sistema de colección de lixiviado para un sitio existente de disposición final, puede ser factible instalar un sistema de colección perimetral. En este caso, como su nombre lo indica, se excava una zanja alrededor del perímetro del relleno sanitario, aguas abajo del gradiente de las aguas subterráneas. Idealmente, la zanja debe ser lo suficientemente profunda para alcanzar la base de baja permeabilidad por debajo de la base del relleno sanitario. La zanja se llena con grava y se equipa con piezómetros; además, debe estar conectada a un sumidero de colección de lixiviado a través de un drenaje. Se debe rodear todo el perímetro, de ser factible, por medio de una pared de baja permeabilidad ubicada más allá de las zanjas e instalada debajo de una capa natural de baja permeabilidad. La pared de separación sirve como barrera para la migración lateral de lixiviado. En casos donde la profundidad requerida para la zanja perimetral es excesiva, un sustituto adecuado sería una serie de pozos, lo suficientemente cerca unos de otros, como para simular una trinchera continua.

Si el área del sitio de disposición final es demasiado extensa, o si por alguna otra razón el sistema de colección perimetral no es práctico o eficaz debido a los costos, puede ser posible otra alternativa tal como la instalación de pozos de extracción dentro del relleno sanitario. Estas y otras opciones deben evaluarse cuidadosamente en función de su factibilidad, los costos, requisitos de operación y de mantenimiento, y de otras características, antes que se seleccionen el sistema a ser instalado.

4.3.8 Diseño del sistema de captación de biogás.

Producción de gas y su calidad en relación al tiempo

El gas del relleno sanitario (biogás) constituye uno de los más importantes productos derivados de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario. Un determinado volumen específico de residuos sólidos en el relleno sanitario (es decir, un volumen de control en el sentido de ingeniería) esta sujeto a una serie de cambios que van desde los procesos aeróbicos de descomposición a los anaerobios.

La transición de la descomposición aerobia a la anaerobia y la producción de metano se efectúan en una serie de fases. La primera fase es aerobia y dura el tiempo requerido para agotar el oxígeno (O_2) atrapado; puede durar unas pocas semanas o varios meses. Los gases sintetizados consisten principalmente de dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua. La segunda fase empieza cuando las condiciones se toman anaerobias; los aerobios obligatorios mueren y los facultativos se convierten en anaerobios. El principal gas producido es el CO_2 y, en menor grado, el hidrógeno (H_2). La tercera fase esta marcada por la aparición gradual de metano (CH_4). La concentración de CH_4 se estabiliza y es relativamente constante (en el intervalo de 40% a 60%) en la cuarta fase.

También durante la fase anaerobia, se producen compuestos variados de azufre y carbono, reducidos a concentraciones traza (sulfuros y ácidos orgánicos volátiles, respectivamente). El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es el compuesto predominante en el gas crudo del relleno sanitario.

Bajo descomposición metanogénica, las concentraciones de CH_4 y CO_2 (y otros elementos constitutivos del gas) dependen de varios factores, incluyendo la composición de los residuos sólidos y la presencia de humedad para disolver el CO_2 . EN el caso de los rellenos sanitarios de países industrializados, la proporción típica de CH_4 a CO_2 es de 40:60 a 60:40. En el cuadro N° 24 se proporciona un ejemplo del componente del gas del relleno sanitario y sus concentraciones. El gas también contiene compuestos orgánicos volátiles que pueden haberse dispuesto con los residuos sólidos.

La tasa y el volumen de producción de gas dependen de las características de los residuos sólidos dispuestos y de las condiciones específicas que prevalecen dentro del relleno sanitario. Las condiciones incluyen temperatura, pH, contenido de humedad y tamaño de las partículas de los residuos sólidos. Las condiciones dentro del relleno sanitario pueden variar en función del tiempo, de acuerdo al diseño y la operación del relleno sanitario y a la edad de los residuos sólidos dispuestos.

Debido a que las características de los residuos sólidos y las condiciones del relleno sanitario varían mucho de una región a otra las tasa reportadas de emisión de gas abarcan una amplia variedad de valores (1,2,3). Por ejemplo, el rendimiento total (calculado y medido) de generación de gas de rellenos sanitarios en países industrializados varia de 0.064 a 0.44 m^3/kg de residuos sólidos dispuestos.

Las tasas anuales de generación total de gases (CH_4 y CO_2) se han reportado dentro del intervalo de 1.19 a 6.8 m^3 gas/ Mg de residuos sólidos dispuestos/ año. La mayor parte de la producción de gas se efectúa durante los 20 años posteriores al cierre del relleno sanitario, aunque la producción es más intensa durante los primeros 5 años. La producción de gas disminuye gradualmente y puede continuar indefinidamente.

Se han desarrollado varios modelos para predecir la tasa de producción del gas de los rellenos sanitarios. La mayoría de los modelos, sin embargo, requieren mediciones reales de producción de gases para determinar los valores de las constantes para los mismos.

Un enfoque estequiométrico relativamente riguroso (en relación a otros enfoques) para calcular la producción de gas del relleno sanitario se describe en Recovery, Processing, and Utilization of Gas from Sanitary Landfills. Este enfoque considera las dos clases principales de material que se descomponen para producir gas en el relleno sanitario:

- A. La primera clase es de la fracción fácilmente biodegradable (por ejemplo, residuos sólidos de alimentos, residuos de jardín).
- B. La segunda clase incluye la fracción menos biodegradable (por ejemplo, papeles, telas, etc).

Las variables indicadas en el párrafo anterior, así como otras, afectan la exactitud de los modelos desarrollados para predecir la tasa de generación de gas en el relleno sanitario; las tasas de colección por el sistema de captación de gas presentan variables adicionales. Entre las variables para la colección de metano están el volumen de gas que se escapa del sistema de colección, el porcentaje de carbono que se convierte en metano y el porcentaje de carbono que se convierte en parte del protoplasma microbiano o que es lavado por el lixiviado. En consecuencia, tales modelos deben considerarse solo como indicadores aproximados de las tendencias esperadas de colección de gas.

Aunque la mayoría de los residuos sólidos municipales en los países en desarrollo tienen una elevada concentración de materia orgánica biodegradable, los residuos sólidos, generalmente, no se colocan en un ambiente impermeable (o casi impermeable), ni están cubiertos adecuadamente; por lo tanto, el gas se escapa fácilmente del área de disposición final.

Además, el rendimiento de gas (en base al peso húmedo) de los rellenos sanitarios en países en vías de desarrollo no necesariamente corresponden a los rendimientos que se obtienen en los rellenos sanitarios de los países industrializados debido al alto contenido de humedad en los residuos sólidos. Por lo tanto, se debe enfatizar la importancia de calcular los rendimientos de gas (y las tasas de producción del mismo) basados en las condiciones locales.

Cuadro N° 24: Composición del gas del relleno sanitario

Componente	%Componente (en seco)
Metano	47,5
Dióxido de Carbono	47,0
Nitrógeno ²²	3,7
Oxígeno ²²	0,8
Parafinas hidrocarburos	0,1
Hidrocarburos cíclicos y aromáticos	0,2
Hidrogeno	0,1
Sulfuro de hidrogeno	0,01
Monóxido de carbono	0,1
Compuestos restantes ²³	0,5

²² La presencia de nitrógeno y de oxígeno en el gas podría deberse a escapes en el sistema de control de gas o debido al ingreso de aire dentro del relleno sanitario.
²³ Los compuestos traza incluyen: dióxido de sulfuro, benceno, tolueno, cloruro de metileno, precloroetileno y sulfuro de carbonilo en concentraciones superiores a 50ppm.

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", calRecovery Inc, 1997.

²² La presencia de nitrógeno y de oxígeno en el gas podría deberse a escapes en el sistema de control de gas o debido al ingreso de aire dentro del relleno sanitario.

²³ Los compuestos traza incluyen: dióxido de sulfuro, benceno, tolueno, cloruro de metileno, precloroetileno y sulfuro de carbonilo en concentraciones superiores a 50ppm.

Aspectos de seguridad

Si no se controla el gas generado dentro del relleno sanitario, se dispersará y migrará fuera de sus límites. El gas acumulado y la dispersión y la migración incontroladas pueden representar una situación potencialmente peligrosa debido a varias características del gas del relleno sanitario, tales como el riesgo de inflamación, el potencial de causar asfixia y las concentraciones orgánicas traza.

La presión ligeramente positiva que existe dentro del relleno sanitario permite que el gas fluya con control hacia áreas de presión inferior por el transporte convectivo del gas. Además, el gas con concentraciones mayores de CO_2 y CH_4 puede diseminarse en áreas que contienen gases con concentraciones inferiores a estos dos compuestos.

Finalmente, si el gas se acumula en el relleno sanitario, puede inhibirse el crecimiento de la vegetación en la cobertura, a menos que se tomen precauciones apropiadas.

Cuando faltan métodos adecuados de control de gas de rellenos sanitario, el mismo migra a la atmósfera de la cobertura del relleno sanitario o puede migrar lateralmente a través del suelo alrededor del relleno sanitario. Si el gas llega a áreas donde no pueda escapar (tales como los edificios), se acumula. Mientras las concentraciones sean relativamente bajas, el gas solo plantea una molestia potencial. Sin embargo, cuando la acumulación alcanza un valor crítico, el gas metano es inflamable y existe el potencial de una explosión si el gas está confinado y encendido (la concentración explosiva de metano en el aire es entre 5% y 15% por volumen). A condiciones mayores, el metano es inflamable solo cuando es diluido (generalmente por el aire) a concentraciones dentro de la franja mencionada anteriormente y en la presencia de oxígeno. Bajo estas condiciones, la acumulación de metano presenta un riesgo potencial de incendio o de explosión. Debido a la posibilidad de acumulación del gas, los edificios en o cerca de los rellenos sanitarios no deben tener estructuras subterráneas, a menos que tales estructuras se ventilen continuamente y completamente.

La acumulación del gas en el relleno sanitario puede evitarse mediante el uso de una cobertura final porosa. La migración del gas y los riesgos consiguientes se pueden evitar mediante rutas de alta permeabilidad en el relleno sanitario que controlan el movimiento del gas y, por último, su ventilación a la atmósfera. La ventilación del gas a la superficie del relleno sanitario produce su dilución en la atmósfera a niveles inofensivos (Imagen N° 26).

Pueden usarse varios métodos para proporcionar rutas específicamente diseñadas de alta permeabilidad para el gas del relleno sanitario. Los métodos incluyen perforaciones, pozo de gas y zanja dentro del relleno sanitario y zanjas interceptoras o pozos instalados alrededor de los bordes del relleno sanitario. La imagen N° 27 es una ilustración de una zanja interceptoras. A pesar que la ventilación del gas del relleno sanitario a la atmósfera evita problemas potenciales locales e impactos adversos, este enfoque contribuye al efecto global de invernadero. En consecuencia, debe realizarse todo esfuerzo para colectar y usar el gas o quemar el gas mediante el sistema de quemadores adecuadamente diseñados.

4.3.9 Diseño básico de los sistemas de extracción de gases

La recuperación de biogás se instituye en los rellenos sanitarios por dos razones. Una razón se basa en la recuperación para controlar el gas; por ejemplo, para el control ambiental. Los métodos de control ambiental incluyen el quemado y la simple dilución y dispersión. El control ambiental es esencial para la operación de los rellenos sanitarios grandes y modernos. La segunda razón para la recuperación de gas se basa en el aprovechamiento del contenido de energía del gas a través de la recuperación y la utilización de la misma. La recuperación de energía es deseable, pero no necesariamente obligatoria, para la operación de un relleno sanitario. La determinación de la factibilidad de la recuperación de la energía del gas de un relleno sanitario generalmente está basada en un análisis financiero.

Cuando el propósito para la colección y recuperación del gas del relleno sanitario es el control ambiental, la quema del gas es colectada (por ejemplo, por intermedio de quemadores) y la dispersión natural (en donde no se realiza ningún tipo de combustión) son métodos de control que

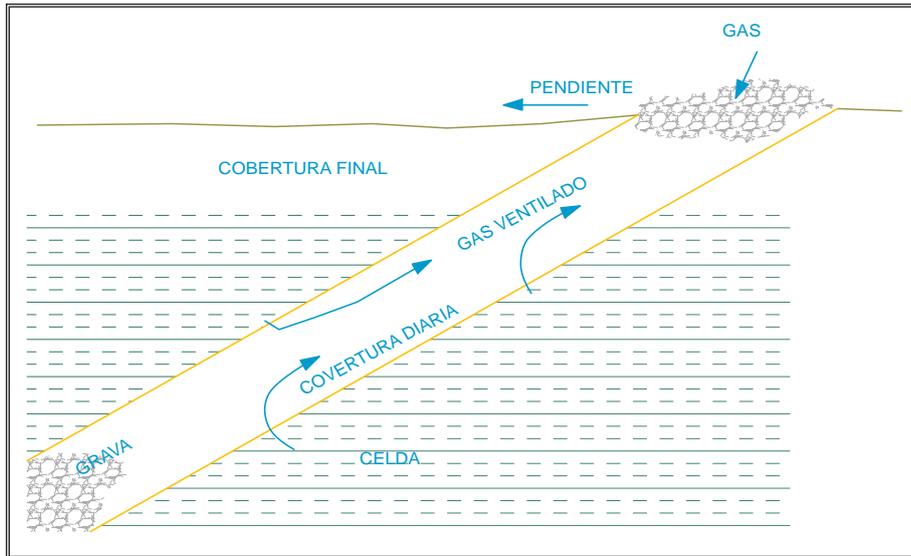


Imagen N° 26: Disipación del gas a través de una ruta porosa dentro del relleno sanitario.

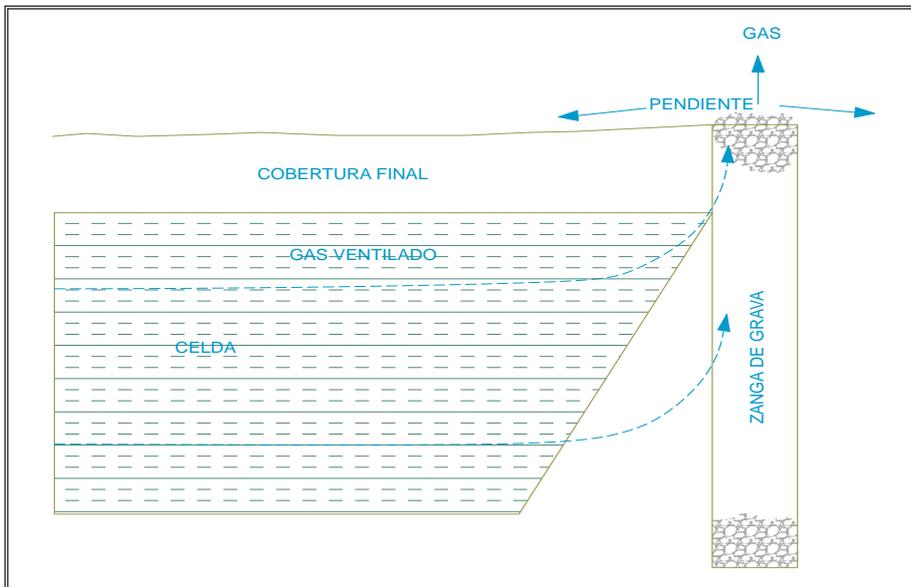


Imagen N° 27: Disipación del gas mediante una zanja interceptora.

ameritan ser considerados. La decisión con respecto a la quema del gas captado solamente por razones ambientales esta en función de varias consideraciones, incluyendo pero no limitada a la disponibilidad de recursos para adquirir y operar el sistema de quema, la capacidad de sitio de disposición final, la existencia de estructuras que podrían confinar el gas, en énfasis puesto en el control de gases que contribuyen al efecto global invernadero, etc.

Si se ha planificado la recuperación y la utilización de metano, se deben incorporar ciertas características en el diseño. Algunas son propias del diseño moderno de un relleno sanitario, independientemente de la recuperación de metano. Para la recuperación de metano, el relleno sanitario debe estar sellado y aislado eficazmente del terreno circundante y del agua. Los pasos incluidos en la provisión de tal sellado son los mismos de que los descritos en toso este material para la colección y el control de lixiviado, o para minimizar la infiltración de agua e la superficie del relleno sanitario. Los rellenos sanitarios antiguos o existentes deben sellarse hasta donde sea económica y prácticamente factible.

La extracción y la recuperación de gas incluye el diseño del relleno sanitario de tal modo que el gas se genera por la descomposición de los residuos sólidos puede controlarse y colectarse. El gas colectado usarse directamente como combustible o puede ser purificado para convertirlo en combustible alto poder calorífico. La colección del gas del relleno sanitario (es decir, la mezcla de gases) se hace mediante una red de pozos espaciados estratégicamente o de trincheras dentro del relleno sanitario, y construyendo cada pozo o trinchera con materiales de elevada permeabilidad a través de los cuales el gas puede pasar fácilmente e introducirse al sistema de tubería. El gas se extrae de los pozos a través de un sistema de tuberías y se usa una bomba de succión para extraer el gas del relleno sanitario (1, 5, 6), tal como se muestra en la imagen N° 28.

El uso de aspersores asegura el funcionamiento adecuado del sistema de colección de gases. Los aspersores se operan de manera tal que se creó un vacío en el sistema de llaves y colección y, en consecuencia, el gas se extrae del relleno sanitario. Aunque cierta cantidad de gas fluye sin ayuda a los pozos de colección debido a la presión interna elevada del relleno sanitario, la tasa de flujo es demasiado baja para asegurar el desempeño adecuado de la colección. Un sistema si aspersores (bombas, sopladores) se denomina un sistema pasivo. Los aspersores aumentan el flujo del gas del relleno sanitario y expande el área eficaz del relleno sanitario atendida por cada pozo de extracción de gas. Lo aspersores pueden ajustarse:

- a. Para succionar el gas del relleno sanitario y descargarlo para su dispersión, quemado, combustión
- b. Para comprimir el gas a presiones mayores para su distribución o procesamiento adicional.
Existe potencial de recuperar gas de dos tipos de sitios de disposición final:
- c. Un relleno sanitario no concebido para la recuperación de gases pero donde se usa cobertura diaria y final y hay un capa de suelo de baja permeabilidad en los costados y en la base que no permite el contacto con los residuos sólidos;
- d. Un botadero a cielo abierto, si lo residuos sólidos de los cuales se extraerá el gas están sellados y aislados adecuadamente del terreno circundante y de la atmósfera.
Las razones por las cuales estas situaciones promueven la factibilidad para la recuperación del gas son:
- e. La cobertura y el sellado de los residuos sólidos inhibe la rápida pérdida del gas a la atmósfera o la succión de aire dentro del relleno sanitario se es que el gas es activamente retirado
- f. Se minimiza la migración del gas del relleno sanitario a los suelos circundantes si esto tienes baja permeabilidad.

Los pozos para la extracción de gas generalmente se extienden hasta el 60% o 90% de la profundidad de los residuos sólidos y son perforados hasta aproximadamente del 50% al 60% de la parte inferior si ellos se van a usar para la colección y el uso del gas. Si los pozos son usados solamente para descargar el gas a la atmósfera, el largo de la tubería es perforada. Se practican varias estrategias con respecto a los pozos para ajustarse a los asentamientos en el relleno sanitario.

Los pozos se construyen de manera progresiva, colocando grava alrededor de la tubería de colección de gas. La grava (o un sustituto) sirve como zona de colección sumamente permeable por la cual el gas fluye hacia la tubería de colección para su posterior remoción del pozo. El área de grava esta cubierta con un sello ajustado de gas y una barrera de suelo para impedir la entrada del aire externo en el pozo. La presencia de aire en el pozo (o en cualquier parte del relleno sanitario) diluiría el gas recolectado, reduciría su poder calorífico y complicaría su purificación. Además, puede conducir el desarrollo de graves problemas. En lo que se refiere a la dilución, aumentaría la concentración de nitrógeno en el recolectado y disminuiría su calidad. Potencialmente, la presencia de oxígeno en el aire que ingresa al relleno sanitario podría ocasionar problemas mas graves. El oxígeno inhibiría la actividad de microorganismos que forman metano y, lo que es mas importante desde u punto de vista de la seguridad, el oxígeno podría originar explosiones pues el metano actuaría como combustible y el oxígeno como oxidante.

La disposición de los pozos de colección de gas depende de su capacidad, características de la cobertura de tierra para dirigir el movimiento del gas en el relleno sanitario y de la tasa de producción de gas. Las dimensiones del área de impacto del pozo dependen de la tasa de bombeo.

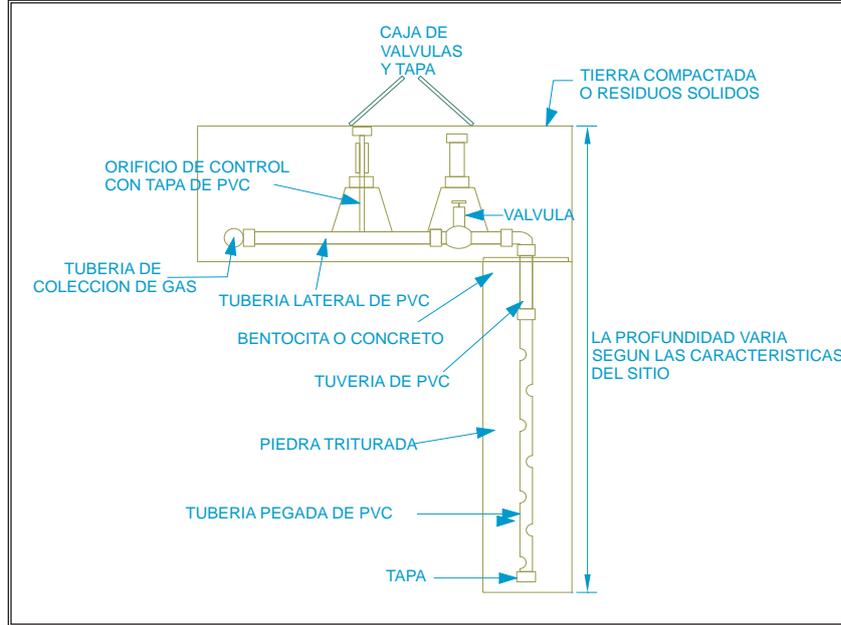


Imagen N° 28: Pozo para colección de gas

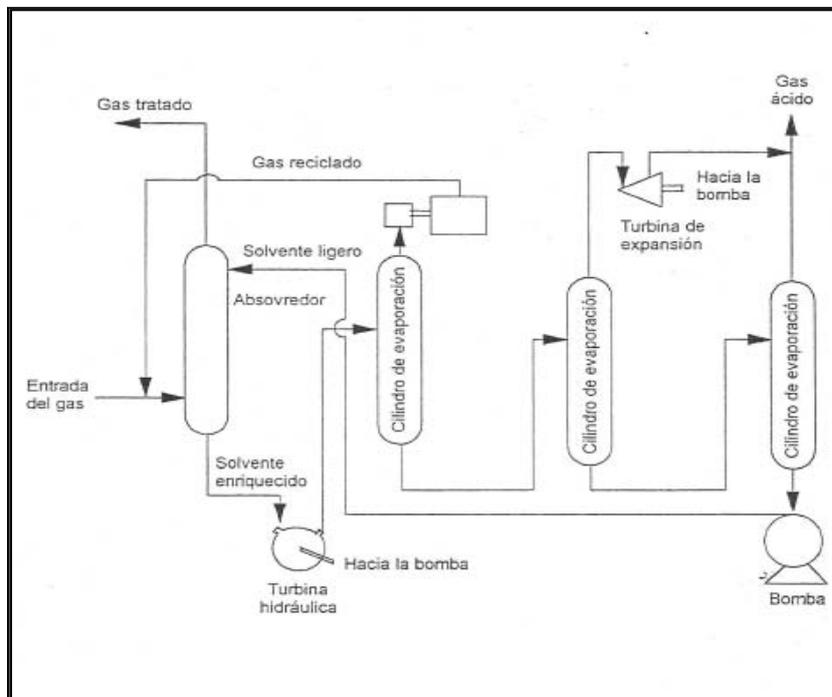


Imagen N° 29: Esquema de un sistema de deshidratación del gas del relleno sanitario por medio de glicol trietileno (TEG)

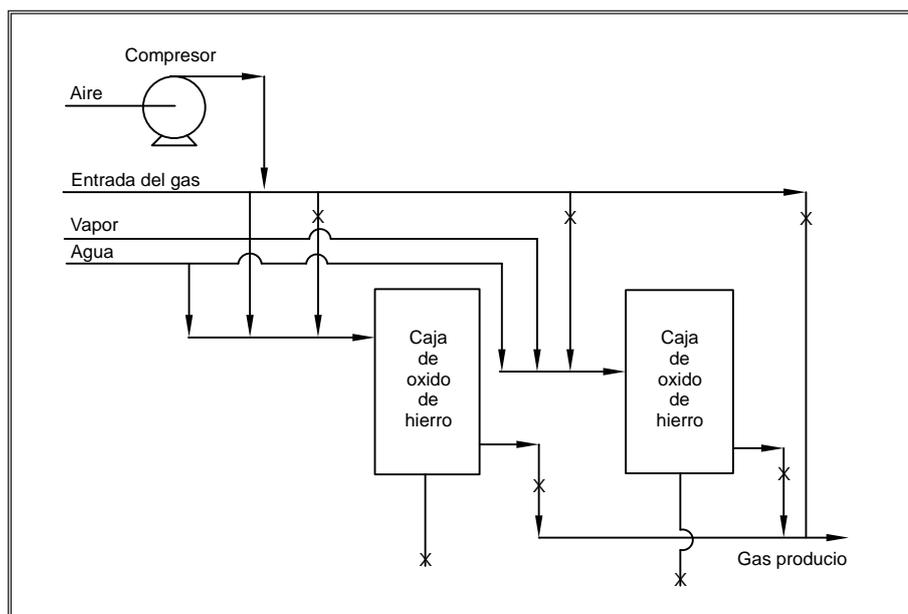


Imagen N° 30: Esquema de un proceso de oxidación de hierro para remover sulfuro de hidrógeno del gas del relleno sanitario.

4.3.10 Diseño del sistema de monitoreo para biogás

Las instalaciones para el manejo del gas del relleno sanitario pueden incluir respiraderos pasivos, zanjas, pozos de extracción, tuberías de colección, sondas detectores de migración, quemadores, o dispositivos para la recuperación de energía. Por lo general, los respiraderos, las zanjas y los pozos de extracción se ubican dentro del área de relleno sanitario, mientras que los otros componentes están fuera del límite de las celdas de residuos sólidos. Como en el caso de las otras infraestructuras, las instalaciones para el manejo de gas del relleno sanitario deben integrarse al diseño general del sitio.

4.3.11 Otras obras auxiliares

4.3.11.1 Cerco perimetral

El acceso a la operación del relleno sanitario puede controlarse mediante la construcción de un cerco perimetral, el cerco perimetral permite:

- Mantener fuera a personas ajenas al sitio, así como perros y animales grandes
- Aislar visualmente el relleno sanitario
- Delimitar la línea de propiedad y mantener un orden y seguridad.
- Ayudar a controlar los residuos sólidos desparramados por el viento.

4.3.11.2 Área de amortiguamiento y protección

El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m. Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvo, ruido, y materiales ligeros durante la operación, además impedirán que los transeúntes vean los residuos sólidos y la operación en sí del relleno.

Entre las especies arbóreas que se recomiendan son el pino, eucalipto, laurel, bambú, etc.

4.3.11.3 Caseta de control

La construcción de una caseta con un área determinada es importante para ser usada como control de ingreso esta caseta deberá tener una mesa o escritorio y una o varias sillas, a fin de que el supervisor lleve más cómodamente el registro de las actividades.

4.3.11.4 Instalaciones sanitarias y eléctricas

Un relleno sanitario convencional debe contar con los servicios de saneamiento básico y las instalaciones eléctricas, este permitirá bienestar a los trabajadores.

La electricidad se empleará para la iluminación y la energía. Estos dos usos son casi esenciales si el mantenimiento y la reparación de equipos se realizan en el lugar. La electricidad puede producirse en el sitio a través de un generador portátil. El agua debe estar disponible para bebida, control de incendios, control de polvo y saneamiento de los empleados.

Si en el caso que el acceso al alcantarillado sea difícil las aguas residuales domésticas pueden descargarse en un sistema séptico con un campo de lixiviación.

4.3.11.5 Zona de básculas

Es necesario tener un buen conocimiento de las cantidades gravimétricas y volumétricas de los residuos sólidos entregados al sitio de disposición final por ser esencial en el desarrollo y en la ejecución de la recolección de residuos sólidos y en las estrategias de relleno sanitario, así como en el reglamento y control de la operación del relleno sanitario.

Las estimaciones volumétricas de los residuos sólidos que ingresan a un relleno sanitaria son subjetivas y, por lo tanto, pueden tener una inexactitud significativa; en consecuencia, hasta cierto punto, todos los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario deberían ser pesados.

El tipo de básculas recomendable para un relleno sanitario convencional o mecanizado consisten básculas electrónicas automatizadas de capacidad aproximada de 50 tm, y que debe calibrarse por el organismo competente periódicamente. En la actualidad el organismo competente encargado de la verificación y calibración de las balanzas electrónicas es el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

La balanza debe ser capaz de pesar el vehículo mas grande que usualmente llegue al relleno sanitario; sería el límite adecuado en la mayoría de los casos. Idealmente, la plataforma debe ser lo suficientemente larga para acomodar todos los ejes del vehículo de manera simultánea. Una alternativa, en caso de que los recursos financieros sean limitados, es el uso de una balanza más corta donde se mida individualmente el peso en el eje frontal y luego en el eje trasero.

4.3.11.6 Oficinas administrativas

Es recomendable dar un confort a los empleados y proporcionar espacio a la oficina. La construcción de las oficinas administrativas facilita en mantener un registro y la realización de las actividades administrativas.

Esta infraestructura deberá contar con previsiones para detectar, controlar y prevenir de la acumulación del gas.

4.3.11.7 Instalaciones para el mantenimiento de vehículos

Las provisiones para el lavado de vehículos deben incluirse en el diseño de la instalación si existe adecuado abastecimiento de agua. El lavado de vehículos se refiere a la

limpieza general del equipo empleado en el relleno sanitario y al lavado de las ruedas de los vehículos de recolección.

Los requisitos para el lavado de vehículos son:

- ❖ Fuente de agua confiable,
- ❖ Bomba u otros medios para esparcir el agua a presión
- ❖ Área de lavado con control de la escorrentía.

El área de lavado debe tener una superficie pavimentada para evitar la formación de lodo y debe tener rebordes o bermas para desviar la escorrentía hacia un canal de recolección.

Como en el caso del diseño de los otros sistemas de drenaje en el relleno sanitario, los canales deben protegerse de la erosión. La escorrentía cargada de sedimentos debe desviarse hacia una trampa o laguna de sedimentación. A menudo, es posible dirigir esta escorrentía hacia el drenaje del relleno sanitario principal y hacia el sistema de control de la erosión. Una laguna de detención de aguas pluviales o un estanque de almacenamiento empleado para casos de incendio puede proveer agua para el lavado de vehículos.

Por lo general, las instalaciones para el lavado de vehículos están ubicadas cerca del área de almacenamiento del equipo y de la salida del relleno sanitario. Las rutas de acceso al relleno sanitario y las rutas públicas pavimentadas requieren el lavado de las ruedas de los vehículos que transportan residuos sólidos, a fin de mantener limpios los caminos. Las áreas de lavado de equipos y de las ruedas pueden ser las mismas o estar colindantes. La ubicación para el lavado de ruedas es a la salida del frente de trabajo y debe ubicarse en un área pavimentada.

4.3.11.8 Cartel de identificación

Es necesario colocar un cartel de presentación del relleno sanitario en construcción para que la comunidad identifique la obra, en donde el deberá figurar el nombre del proyecto de relleno sanitario, ubicación del relleno, entre otros.

4.3.11.9 Impermeabilización y control de líquidos.

Últimamente se ha empleado bastante la arcilla en espesores de 10 a 30 cms. Con polietileno de alta densidad entre medios, el espesor de este polietileno oscila entre 1 y 2 mm. Otras geomembranas bastante usadas son el Polietileno cloro sulfonado (Hypalon) y el polivinil clorado (P.V.C.), en ocasiones las geomembranas son usadas con geotextiles (tejidos esponjosos) con el fin de protegerlas de desgarramientos y/o punzonamiento.

4.3.11.10 Área de almacén

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipos, herramientas, materiales que sean de uso para el relleno, el tamaño dependerá del equipo que se disponga, camionetas, traxcavos y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande, para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén.

Construcción del relleno sanitario

5.1 Secuencia de actividades para la construcción y operación de un relleno sanitario

Cuadro N° 25: Secuencia de actividades para la construcción y operación de un relleno sanitario

Etapa	Características
A. SELECCION DEL SITIO	
Estudio de selección del terreno (opciones)	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios para Evaluación de Áreas • Consideraciones de selección de sitio de la Infraestructura de Relleno Sanitario Convencional • Restricciones de Ubicación
	<ul style="list-style-type: none"> • Criterios Técnicos para la selección de sitio • Factores de Evaluación para la selección de sitio
B. ADQUISICION DEL TERRENO	
C. PROYECTO EJECUTIVO	
Estudios básicos	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio demográfico • Estudio de generación de residuos • Información topográfica • Geotecnia - Mecánica de suelos • Estudios Geohidrológicos • Estudio Geofísico • Estudio Geológico
Diseño del relleno sanitario manual (principales conceptos)	<ul style="list-style-type: none"> • Selección del método • Cálculo de la vida útil • Diseño de celda diaria • Diseño del sistema de drenaje pluvial • Diseño del sistema de dren de lixiviados. • Diseño del sistema de monitoreo de lixiviados • Diseño del sistema de captación de biogás • Diseño del sistema de monitoreo para biogás
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación del sitio • Proceso constructivo: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Construcción de trincheras ➢ Construcción de drenes de lixiviados en trincheras. ➢ Construcción de drenes de lixiviados en plataformas. ➢ Construcción de celdas ➢ Construcción de chimeneas
Operación	<ul style="list-style-type: none"> • Control de acceso • Colocación y compactación de residuos • Operación durante la conformación de la celda. • Operación de la cobertura • Cobertura intermedia y final • Operación de maquinaria en el relleno sanitario • Tipos de equipo

Continúa...

Etapa	Características
Monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de aguas superficiales • Control de fuego • Control de plagas • Control de materiales ligeros • Control y monitoreo de lixiviados • Control y monitoreo de gas • Manejo de registros

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Preparación del sitio seleccionado

La preparación del terreno es indispensable para permitir la construcción de la infraestructura básica del relleno, recibir y disponer los residuos sólidos en una forma ordenada y con el menor impacto posible, del mismo modo facilitar las obras complementarias del relleno sanitario.

5.3 Limpieza y desmonte

El desmonte y despalme conlleva a realizar las operaciones siguientes:

- a) Corte de árboles y arbustos.
- b) Quitar maleza, hierbas o residuos de las siembras.
- c) Sacar los troncos y tocones con todo y raíces o cortando éstas.
- d) Retirar o estibar el producto del desmonte al lugar que se indique, así como quemar lo utilizable.

El trabajo de desmonte generalmente se efectúa con la ayuda de maquinaria pesada y a mano en algunos casos. Cuando se trata de vegetación arbórea tupida hay necesidad de cortar los árboles y cuando se trata de arbustos ralos se utiliza maquinaria por que ofrece mayor ventaja (Ver imagen N° 31).

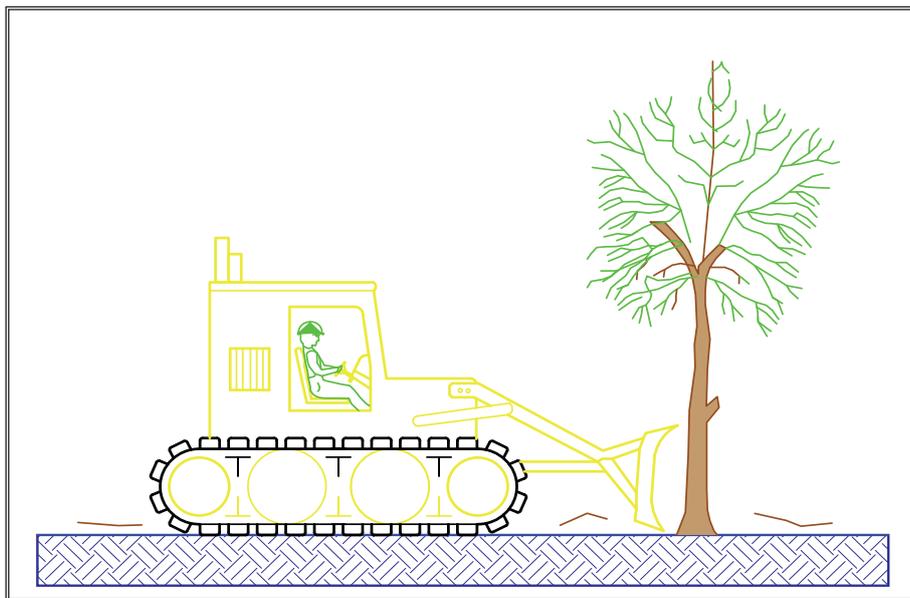


Imagen N° 31: Limpieza, desmonte y despalme.

Para fines de desmonte se consideran los siguientes tipos de vegetación:

- a) Manglar
- b) Selva o bosque
- c) Monte de regiones áridas o semiáridas
- d) Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales.

La vegetación tipo manglar es la constituida predominantemente por mangles y demás espacios de raíces aéreas típicas de los esteros y pantanos de los climas cálidos. Mientras que la vegetación tipo selva es la constituida por árboles, arbustos, hierbas, palmeras; típicos de la regiones cálidas y húmedas. Son ejemplos de vegetación selvática las palmeras, amates, ceibas, mangos, cedros.

La vegetación tipo bosque es predominante y está constituida por árboles típicos de las zonas altas de clima templado o frío, como por ejemplo: eucaliptos y podocarpaceas.

La vegetación de monte de regiones áridas o semiáridas es la constituida por especies predominantemente arbustivas y herbáceas, además de los árboles de poca altura y como ejemplo están: zapote costeño, tara, algarrobo, etc.

La vegetación de monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales se caracteriza por estar constituida por cactáceas, tillandsiales, vegetación de sembradío.

Densidad de desmonte:

La vegetación de cualquier tipo de desmonte puede ser más o menos tupida, por ello, debe tomarse en cuenta su densidad para la evaluación y pago de este trabajo.

Cuadro N° 26: Densidad de desmonte

Item	Tipo	Densidad
A	Manglar	Siempre 100%
B	Selva o bosque	100 m ² / Ha
C	Semi - árido	50 m ² / Ha
D	Desértico	Siempre 100%

Fuente: SEUDE, 1984.

5.3.1 Tratamiento del suelo soporte

Nivelación

La nivelación preparatoria es el proceso de contornear el terreno para crear las nivelaciones básicas requeridas una vez que se completan los procesos de desmonte, deshierbe y excavación de tierra. La nivelación también se realiza en la construcción de caminos, sistemas de drenaje y otras instalaciones de apoyo al relleno sanitario.

Los planes de nivelación preparatoria deben desarrollarse de acuerdo al diseño del drenaje del sitio, las medidas de control de la erosión y las rutas de acceso. Los planos deben mostrar elevaciones del contorno de todas las zonas modificadas y deben establecer criterios para las pendientes mínimas y máximas en todas las áreas de corte y de relleno. Es importante que las pendientes e inclinaciones de la base del relleno sanitario se desarrollen sólo después de considerar cuidadosamente las condiciones subsuperficiales (por ejemplo, tipo y profundidad del suelo con respecto al nivel freático) y el drenaje del área.

En caso de construir un relleno sanitario con revestimiento impermeable y con un sistema para el manejo del lixiviado, el fondo del relleno sanitario debe tener una pendiente para facilitar la recolección de lixiviado. Se recomienda una pendiente mínima de 2%. Para rellenos no revestidos, la nivelación preparatoria es menos crítica pero debe hacerse de acuerdo al plan de diseño a fin de eliminar irregularidades superficiales, controlar la escorrentía y prevenir el estancamiento.

Drenaje

No se ubicará el relleno sanitario sobre un terreno pantanoso, una pequeña corriente o nacimiento de agua, o donde la napa freática se encuentre muy somera.

5.3.2 Cortes y conformación de taludes

Cortes

Son las excavaciones o remoción de los materiales, realizadas en el terreno natural, en la ampliación o abatimiento de taludes, en derrumbes y en rebajes de terraplenes. (Ver imagen N° 32).

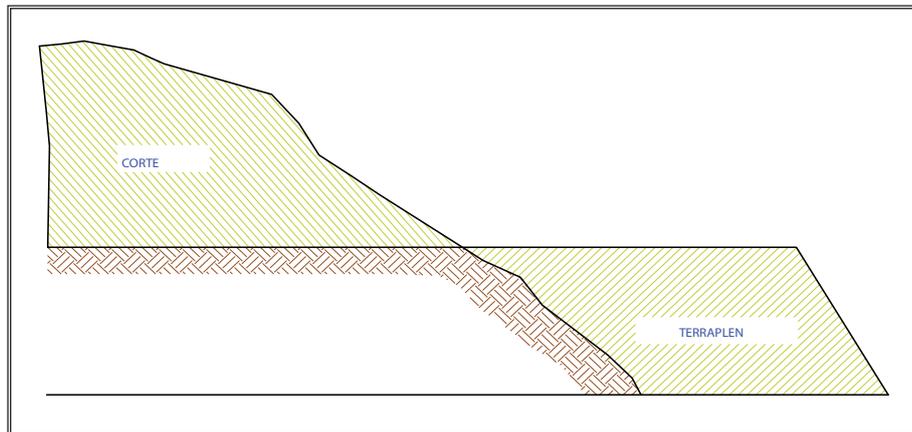


Imagen N° 32: Cortes y terraplenes.

Los materiales excavados de acuerdo con la dificultad que presenten para su extracción y carga se clasifican en:

- 1.- Material A
- 2.- Material B
- 3.- Material C

Material A:

Es el blando o suelto, que puede ser eficientemente excavado con tractor de orugas de 90 a 110 HP de potencia en la barra - sin auxilio de arados o tractores empujadores, aunque podrían utilizarse ambos para mejores rendimientos. Los materiales clasificables como material "A" son los suelos poco o nada cementados con partículas menores de 7.5 cm. de diámetro.

Material B:

Es el que por la dificultad de extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de 140 a 160 HP en la barra o con pala mecánica de capacidad mínima de un metro cúbico sin el uso de explosivos, aunque por conveniencia se utilicen para incrementar el rendimiento, bien que pueda ser aflojado con arado

de 6 toneladas remolcado por tractor de orugas de las características mencionadas. Además, se consideran como material "B" a las piedras sueltas menores de $1/2 \text{ m}^3$ y mayores de 20 cm. de lado. Los materiales comúnmente clasificables como material "B" son las rocas muy alteradas, conglomerados mediante cementados, areniscas blandas y tepetates.

Material C:

Es el que por su dificultad de extracción sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos de detonación rápida; también se consideran como material "C" las piedras sueltas que aisladamente cubiquen más de 1 m^3 . Entre los materiales clasificables como material "C" están las rocas basálticas, las areniscas y los conglomerados y fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

En la clasificación de materiales se observarán las siguientes disposiciones:

Para clasificar un material se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado en su extracción y carga, ajustándolo al que corresponda de los materiales "A", "B" y "C". Siempre se mencionarán los tres tipos de materiales para determinar claramente de cual se trata en la siguiente forma: 20 - 30 - 50 que quiere decir 20% de material "A", 30% de material "B" y 50% de material "C". Es decir que cada material se clasificará por separado y en proporción a su volumen se clasificará el total.

Cuando no sea posible hacer la clasificación de cada uno de los materiales encontrados, se fijará a todo el volumen una clasificación representativa de la dificultad de extracción y carga considerando siempre los tres materiales aunque para alguno de ellos corresponda 00.

Cuando el volumen por clasificar esté formado por material "C" alternado con otros de menor clasificación en proporción tal que el material "C" constituya por lo menos el 75 % del volumen total, el conjunto se considerará como material "C".

Las excavaciones en los cortes se ejecutarán procurando seguir un sistema de ataque que facilite el drenaje del corte.

Al hacer las excavaciones, particularmente cuando se emplean explosivos, se evitará hasta donde sea posible aflojar el material en los taludes.

La medición de los volúmenes se hará tomando como unidad al metro cúbico. El resultado se considerará redondeando a la unidad.

Debido a las grandes variaciones en el tipo y disposición de los materiales, será indispensable analizar la estabilidad del terreno para definir el talud más apropiado. Se puede establecer como norma que para un corte de más de 7 m. de altura, se deberá realizar el estudio de estabilidad con base en principios de la geotecnia. Para alturas menores, casi siempre se podrá definir el talud con base en la clasificación de las rocas y suelos y en el estado de disposición de los materiales de corte.

Para un corte de baja altura (menor a 5 metros), se puede recomendar un único talud; para alturas mayores, sería mejor tener dos taludes diferentes, mientras que en otros casos será necesaria la construcción de bermas o banquetas intermedias.

Los taludes del terreno se dejan de tal manera que no causen erosión y puedan darle una buena estabilidad al relleno. Estos pueden ser desde verticales hasta del tipo 3:1 (horizontal : vertical), dependiendo del tipo de suelo.

La superficie de las terrazas o terraplenes deberá tener una pendiente del 2% con respecto a los taludes interiores, a fin de conducir las aguas de lixiviado a las zanjas de drenaje y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar estabilidad a la obra.

Las zanjas podrán tener forma trapezoidal, cuadrada o rectangular, dependiendo de las condiciones del suelo. La separación entre ellas será de 0.5 a 1 m., según se requiera para garantizar su estabilidad mientras permanecen vacías.

Préstamos

Son excavaciones que se ejecutan en los lugares fijados en el proyecto a fin de obtener el material de cubierta. (Ver imagen N° 33).

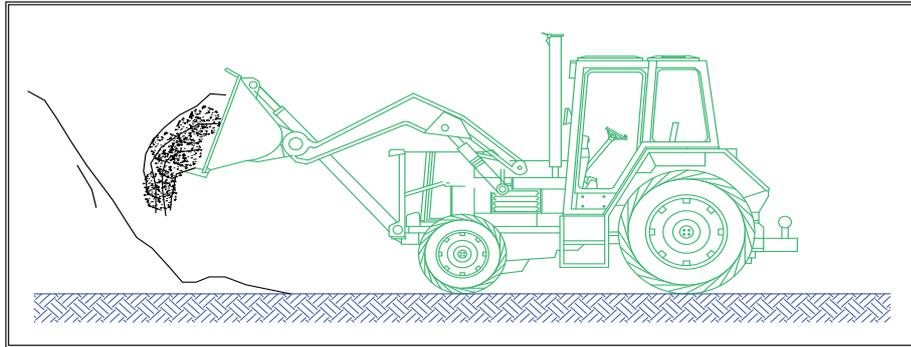


Imagen N° 33: Préstamos.

Para iniciar el ataque en un préstamo, previamente se despalmará la superficie por atacar, desalojando la capa superficial de terreno natural que por sus características no sea adecuada para ser utilizada como material de cobertura. Los despalmes sólo se ejecutarán en material "A". El despalme se iniciará después de que se haya efectuado el seccionamiento de la superficie probable de ataque, y el material producto del despalme se colocará en el lugar que se indique. Se procurará que durante el ataque no se alteren ni modifiquen las referencias y bancos del nivel del seccionamiento.

Una vez despalmados los préstamos se seleccionarán nuevamente antes de ser atacados dejando las referencias y los bancos de nivel a distancias tales del lugar de ataque y de trabajo que no vayan a ser destruidos o alterados.

La ubicación y las dimensiones de los préstamos serán fijados en cada caso en el proyecto. Los préstamos se excavarán únicamente hasta la profundidad fijada en el proyecto; siempre la excavación será en material apropiado y en la forma más regular posible a fin de facilitar su medición.

La medición del material producto del despalme del sitio de préstamo se hará tomando como unidad del metro cúbico y se empleará el sistema del promedio de las áreas extremas y su resultado se redondeará a la unidad. Para los materiales de préstamo se tomará como unidad el metro cúbico para cada uno de los materiales según su clasificación, seccionando la excavación misma y usando el método del promedio de las áreas extremas en distancias de 20 metros o menores sin la configuración del terreno así lo exige, el resultado se redondeará a la unidad para cada material. La excavación de los préstamos se pagará a los precios fijados previamente para el metro cúbico de materiales "A", "B" o "C" y en este precio se incluye la extracción, remoción, carga, acarreo libre, colocación del material en el terraplén, recortante de cuñas y afinamiento del terraplén.

Acarreos

Transporte del material producto de las excavaciones de cortes, adicionales bajo la sub-rasante, aplicación o abatimiento de taludes, rebaje de terraplenes, escalones o despalmes, préstamos, derrumbes o canales para construir un terraplén o efectuar un desperdicio.

Todos los materiales deben tener un acarreo libre de 20 metros a partir del cual su transporte se considerará como sobre acarreado.

5.4 Proceso constructivo

5.4.1 Método constructivo

Tipo de terreno

Para el proceso constructivo en la caso de la región de la costa y de la selva hay que tomar en cuenta el uso de material de impermeabilización como también considerar el tipo de material mas grueso.

En el caso de las zonas desérticas como departamentos de la costa, es importante considerar los taludes o pendientes de excavación del suelo.

Asimismo las zonas de mayor frecuencia sísmica como la región de la costa debemos tener en cuenta las zonas más vulnerables donde podría tener un riesgo el proceso constructivo, para así tomar las previsiones del caso.

5.4.2 Construcción de trincheras

Se realizarán trabajos de movimiento de tierras, ejecutando excavaciones en el terreno hasta llegar a los niveles establecidos en los perfiles.

Se nivelará y compactará el fondo y paredes de la trinchera, dejándolo listo para recibir su impermeabilización, la cual puede ser mediante el uso de geomembranas de HPDE (espesor recomendado 1 mm), y una protección con el empleo de geotextiles.

Las geomembranas y geotextiles son empotradas en sus extremos al terreno de fundación en la parte superior de las trincheras mediante dados de anclaje (50 x 50 cm. aprox.); rellenos con material propio de la zona.

El uso de arcilla como medio impermeabilizante es bastante común en América, a continuación presentaremos una forma de poner este material para lograr esta condición impermeabilizante. Sobre el terreno emparejado se colocarán 0,60 m de material arcilloso, homogéneo, sin contenido orgánico, con no menos de 40% e su peso seco que pase la malla A.S.T.M. N° 200. Este material se colocará en capas de 0,20 o 0,30 m., con una humedad algo mayor que la óptima determinada por el ensayo Proctor Modificado compactándose cada capa con rodillo, pata de cabra o similar hasta obtener una densidad seca no inferior al 90% de la densidad seca máxima establecida por el ensayo citado. El coeficiente de permeabilidad en el laboratorio para el material arcilloso no será superior a $K = 10^{-6}$ cm/seg.

5.4.3 Construcción de drenes de lixiviados en trincheras

Se construirán drenes de lixiviados en el interior de las trincheras en toda su dimensión mayor (largo de la trinchera) para la captación y conducción de los lixiviados hacia la poza de captación, las dimensiones en el diseño de los drenes de lixiviados estar de acuerdo a las estimaciones de producción de lixiviado; estos drenes pueden ser alternativamente impermeabilizadas con geomembranas de polietileno de alta densidad - HPDE por sus siglas en ingles (de 1 mm de espesor aprox.) y protegidas con geotextiles, o impermeabilizadas con arcilla siguiendo el mismo procedimiento de la construcción de trincheras; el componente principal del dren comprende su interior que está constituido con piedra seleccionada de 4" a 6" de diámetro aproximadamente, el cual estará cubierto con geodren que permite el paso del lixiviado aislando el dren de los residuos sólidos.

Existe la posibilidad de usar tubería perforada en la conformación del dren de lixiviados, esta tubería debe estar protegida por una capa de grava de menor diámetro para evitar daños a la tubería.

5.4.4 Construcción de drenes de lixiviados en Plataformas

Se construirán drenes de lixiviados en el exterior de las plataformas, en todo lo largo a pie de talud, se captarán y conducirán a los lixiviados hacia la poza de captación, serán impermeabilizadas con geomembranas de HPDE (de 1 mm de espesor aprox.) y protegidas con geotextiles; en su interior estarán constituidas con piedra seleccionada (de 6" a 8" de diámetro aproximadamente).

Los drenes de lixiviados conducirán a una poza de captación donde posterior a su almacenamiento en un período de tiempo corto, será recirculado dentro de las trincheras y plataformas de disposición final, de haberse optado por dicha estrategia.

5.4.5 Construcción de celdas

Se llama celda a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados mediante un equipo mecánico. (Ver imagen N° 34).

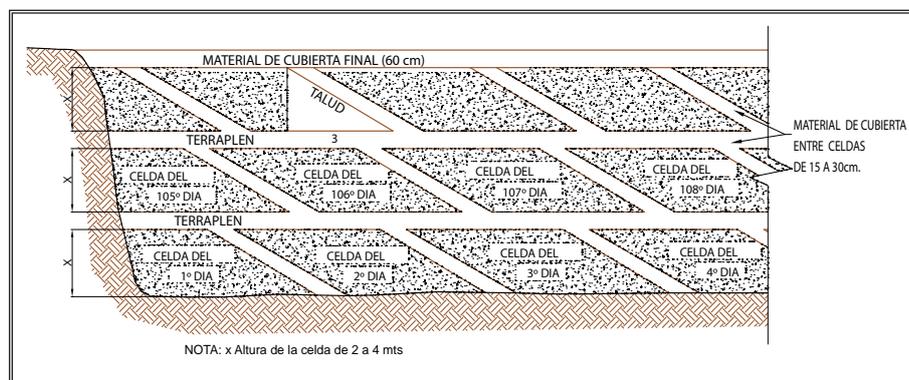


Imagen N° 34: Vista de distribución de celdas de un relleno sanitario.

Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegan al sitio del relleno sanitario seleccionado. En este ítem desarrollaremos las pautas principales a tomarse en consideración para la construcción de las celdas de trabajo.

Dimensiones:

Las dimensiones de la celda de trabajo diario han quedado previamente establecidas durante la etapa de diseño; considerándose entre los principales elementos de la celda los siguientes: altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas.

Conformación de las celdas de trabajo diario:

El ancho mínimo de las celdas (mínimo frente de trabajo), dependerá de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Es recomendable que dicho ancho sea de 2 a 2.5 veces el largo de la maquinaria empleada para esparcir y compactar los residuos finalmente dispuestos; facilitando de esta manera las maniobras de los vehículos. En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo. En el método de área o combinado pueden existir 2 frentes de trabajo.

Se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 1 a 3, es decir, que por cada metro de altura se avance 3 metros de forma horizontal, lo cual proporciona un mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra y mejor contención y estabilidad del relleno.

Para la construcción de las celdas de trabajo se deberá apoyar cada celda en el talud del terreno natural o en las paredes de la trinchera y durante el avance sobre la celda ya terminada, esto con la finalidad de brindarle más estabilidad al relleno. (ver imágenes N°s 35 y 36).

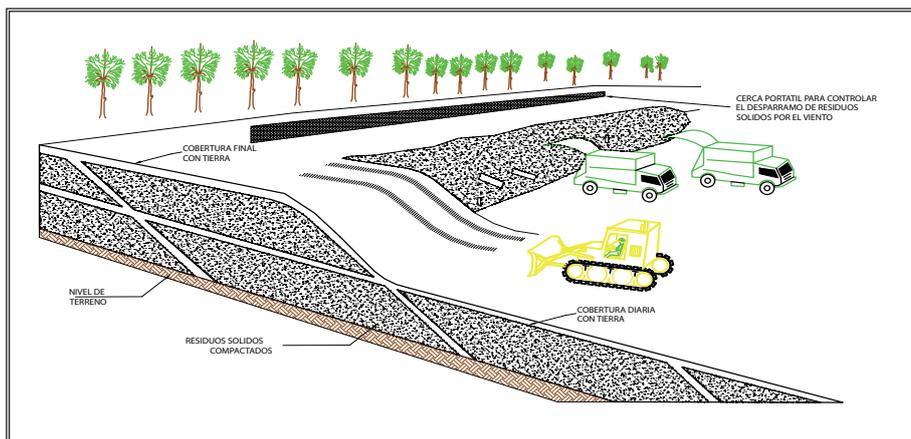


Imagen N° 35: Distribución de celdas utilizando el método de área.

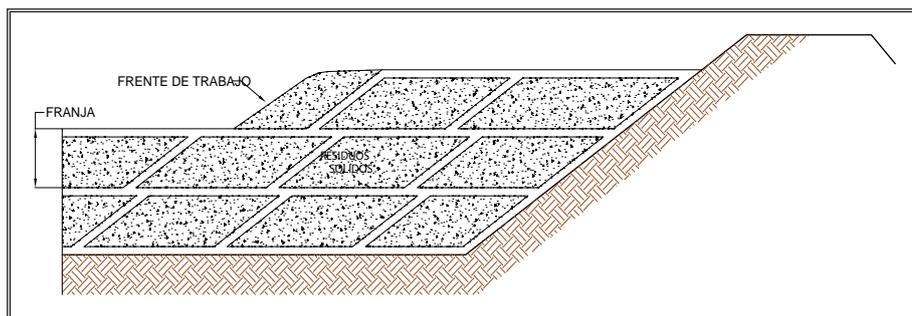


Imagen N° 36: Distribución de celdas utilizando el método de trinchera.

Cobertura

Se recomienda un espesor de 0.15 a 0.20 m. compactados de tierra entre los niveles de celdas y de 0.60 m. de tierra en la capa final. La cobertura final se realizará en dos etapas, con capas de 0.30 m. y a intervalos de un mes, con finalidad de cubrir posibles asentamientos que se produzcan en la superficie.

A continuación se detallan algunas consideraciones para llevar a cabo la cobertura del relleno de acuerdo al tipo:

a) Relleno sanitario de área

Si el material para cobertura es extraído del mismo lugar se ahorrarían costos en su transporte. Se recomienda que dicha extracción se realice en época de estiaje y el material obtenido sea acumulado contiguo al área destinada para la construcción de las celdas.

b) Relleno sanitario de trinchera

Es un hecho que al trabajar con este método el material de cobertura se encuentra garantizado; se recomienda acumular el material extraído a un lado de la trinchera o sobre otra ya rellena.

5.4.6 Construcción de chimeneas

Las chimeneas generalmente serán construidas a manera de ventilación de piedras o con tubería perforada de concreto (revestida con piedras) cuya finalidad será evacuar los gases producidos por la degradación bacteriana de la materia orgánica presente al interior del relleno sanitario. Las chimeneas estarán conectadas con los drenajes para lixiviados que se encuentran en el fondo con la finalidad de hacer más eficiente al sistema.

Se recomienda que las chimeneas tengan un diámetro de 0.30 a 0.50m. con una radio de influencia de 20m.

Las chimeneas se culminan colocando un cilindro metálico cortado por la mitad debiéndose mantener en buen estado y protegidas a 0.40 m. sobre el nivel del perfil terminado (Ver imagen N° 37).

Por ningún motivo se deberá clausurar una chimenea antes de su tratamiento, se deberá proceder a la combustión previa instalación de un quemador por lo menos a 1.5 m. sobre la superficie final del relleno (Ver imagen N° 37).

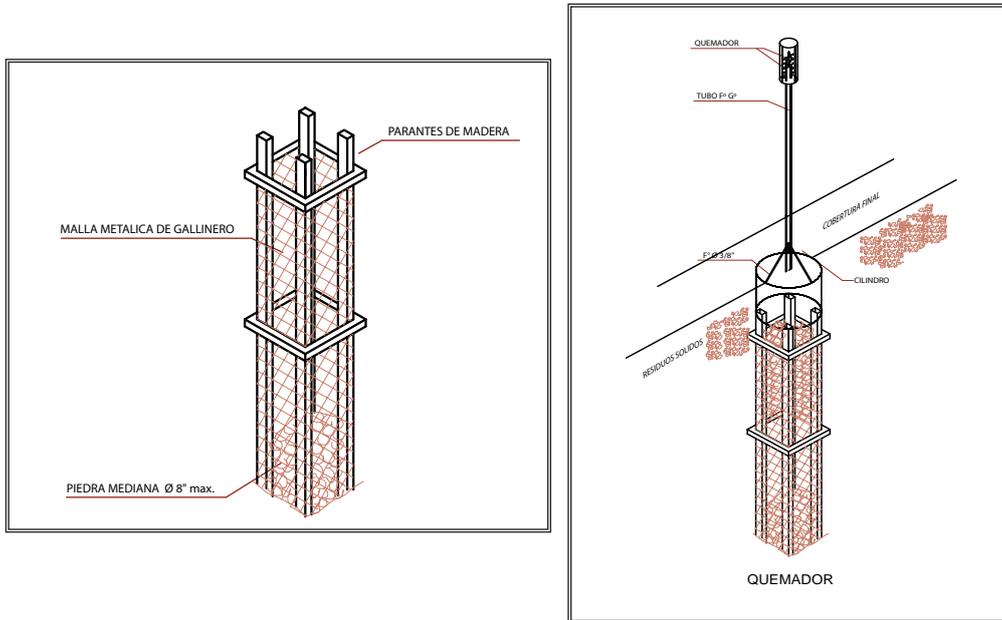


Imagen N° 37: Construcción de chimenea – Instalación de quemador.

Operación del relleno sanitario

La operación exitosa de un relleno sanitario requiere de una planificación cuidadosa, manejo eficaz, uso adecuado de la mano de obra y del equipo mecanizado, y un frecuente control del rendimiento. El control del rendimiento se inicia con la recepción y la disposición final de los residuos sólidos y continúa con las operaciones que atañen a la protección de la salud y la seguridad humana, así como a la protección del ambiente. La operación de un relleno sanitario incluyen el uso de equipo pesado, mano de obra y el control del impacto de la disposición final de residuos sólidos en la salud pública y en el ambiente.

A continuación se describen las actividades que conforman la operación de un relleno sanitario.

6.1 Control de acceso

El primer procedimiento para el control de la disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario es el control del acceso al sitio.

El relleno sanitario debe contar con una garita de control y una oficina en el cual un guardia, algunas veces asistido por un personal, registra los detalles de las cargas a ingresar, estas son:

- ✓ Tipo de residuo sólido.
- ✓ Procedencia.
- ✓ Cantidad aproximada de residuos sólidos.

La cantidad de residuos sólidos puede ser calculada a partir de la capacidad volumétrica del vehículo de transporte, o mediante la medida del peso en la zona de báscula.

Con frecuencia el horario de operación de un relleno sanitario es fijado de acuerdo al horario de la recolección de residuos sólidos. Sin embargo el control y el manejo adecuado de los residuos sólidos y la contabilidad adecuada de la cantidad de residuos sólidos, puede requerir alguna modificación en la recolección y en los horarios para mejorar la operación de los sitios de disposición final. El control de acceso se establece en un horario determinado, luego se debe de evitar el ingreso de vehículos no controlado después de las horas de acceso lo que generaría problemas en el registro y manejo de las operaciones, daños y posible robo a las instalaciones; por lo tanto el ingreso al relleno sanitario debe de contar con personal durante todo el día, en las horas de operación con el guardia y personal de registro; y en las horas restantes con un guardia de seguridad.

Otro aspecto importante en el control de acceso, es el de proveer medidas en las cuales los vehículos que transportan los residuos sólidos puedan ser dirigidos fácilmente hacia un lugar específico dentro del relleno sanitario; con el objetivo de evitar un tráfico congestionado si existiera un arribo de vehículos simultáneamente y la posible interferencia al equipo de compactación que trabaja dentro del relleno sanitario.

Otra ventaja del control de acceso es el de poder detener a vehículos con cargas sospechosas, en ese sentido el operador de un relleno sanitario deberá diseñar e implementar un plan para prevenir

y detectar la disposición de residuos peligrosos según se define en el reglamento correspondiente de disposición final de residuos municipales, dicho plan deberá de contener:

- Programa de inspecciones al azar, del ingreso y de cargas sospechosas.
- Mantenimiento de bitácora.
- Entrenamiento del personal.
- Procedimiento de notificación a las autoridades en caso de descubrir cargas de residuos peligrosos.

Cabe mencionar que la recepción de residuos peligrosos de procedencia domiciliaria si se pueden aceptar.

6.2 Colocación y compactación de residuos

No hay razón sensata para el diseño y la preparación de una mejor ingeniería de rellenos sanitarios si, posteriormente, no es operado en una manera adecuada. Hay dos requisitos "clásicos" para un relleno sanitario de acuerdo a Flintoff (1976):

1. Los desechos deben ser depositados y compactados en capas delgadas a no más de unos 2 m de profundidad.
2. Cada día, la superficie del nuevo depósito de residuos deben ser cubiertos con aproximadamente 15 cm., de suelo (o material similar).

Un aspecto importante para una mejor operación del relleno sanitario es la colocación y principalmente la compactación del residuo sólido; se debe de asegurarse una correcta compactación la cual mejorara también la capacidad del relleno. Este procedimiento reduce la cantidad de aire remanente en los depósitos de residuos sólidos (el cual puede acelerar la descomposición, incrementar el olor, la propagación de superficie inflamable y la contaminación de agua), también se previene los espacios vacíos los cuales reducen la estabilidad de los residuos pudiendo provocar un colapso.

Logrando una buena compactación se reduce la probabilidad de problemas futuros. En la mayoría de rellenos se hace uso de maquinaria "tractor oruga" para la operación de colocación y compactación; la técnica recomendada es diseñada para la compactación efectiva de residuos sólidos manteniendo pequeñas áreas de trabajo.

El procedimiento inicia con la llegada del vehículo de transporte y la descarga de los residuos sólidos hacia la zona de trabajo. Luego el tractor oruga extiende los residuos formando una capa delgada (no mas de 300 mm de profundidad), estas capas formadas son compactadas por el peso del tractor. Se recomienda que la maquina pase por encima de los residuos sólidos entre 3 a 6 veces para maximizar la compactación. Las capas delgadas son construidas hasta que la capa global de residuos alcanza un espesor de 2 m, luego es cubierta al cierre del día de trabajo con una capa de arcilla (mayormente de 15 cm).

En rellenos sanitarios de gran extensión, tienen muchas veces dos áreas de trabajo, una para la descarga de los vehículos de transporte, y otra para la compactación de residuos previamente descargados. Estas áreas de trabajo son alternadas cada 30 a 60 minutos. En algunas ocasiones es beneficioso tener áreas de trabajo separadas para la descarga de vehículos ya se ha esta una descarga manual o mecánica.

El área de trabajo debe de ser lo mas estrecho posible sin que interfiera con el desarrollo normal de las operaciones; para lograrlo se debe de precisar de un correcto y ordenado ingreso de los vehículos de transporte los cuales deben de descargar los residuos sólidos en el área pre-establecida. Para esto el personal debe de usar herramientas de guía para los vehículos, ya sean banderines o silbatos.

6.3 Operación durante la conformación de la celda

La forma en que se aborda la construcción y operación de la celda es muy importante, ya que de ello dependerá en gran medida el grado de consolidación y estabilidad estructural que alcanzara el relleno, características que a su vez determinarían el uso posterior que se le dará al sitio.

La compactación de la basura es la operación que se debe cuidar fundamentalmente para obtener un relleno sanitario de alto nivel. Para obtener resultados óptimos de esta se debe aplicar lo siguiente:

- Distribuir los residuos en un frente de aproximadamente un ancho igual al ancho de la placa de empuje y colocarlas en una capa de no más de 60 cm. de espesor.
- Crear un frente de trabajo con una contra pendiente de aproximadamente 1 m de altura por 3 m de base, a la vez que se trabaja el material de abajo hacia arriba, rompiendo, acomodando y compactando los residuos.
- El operador repite esta operación (2 a 4 pasadas) hasta eliminar los huecos y hasta que los desechos hayan sido acomodados y su superficie ya no se deforme después del paso del equipo de compactación.
- El ciclo comienza nuevamente (Ver imagen N° 38).

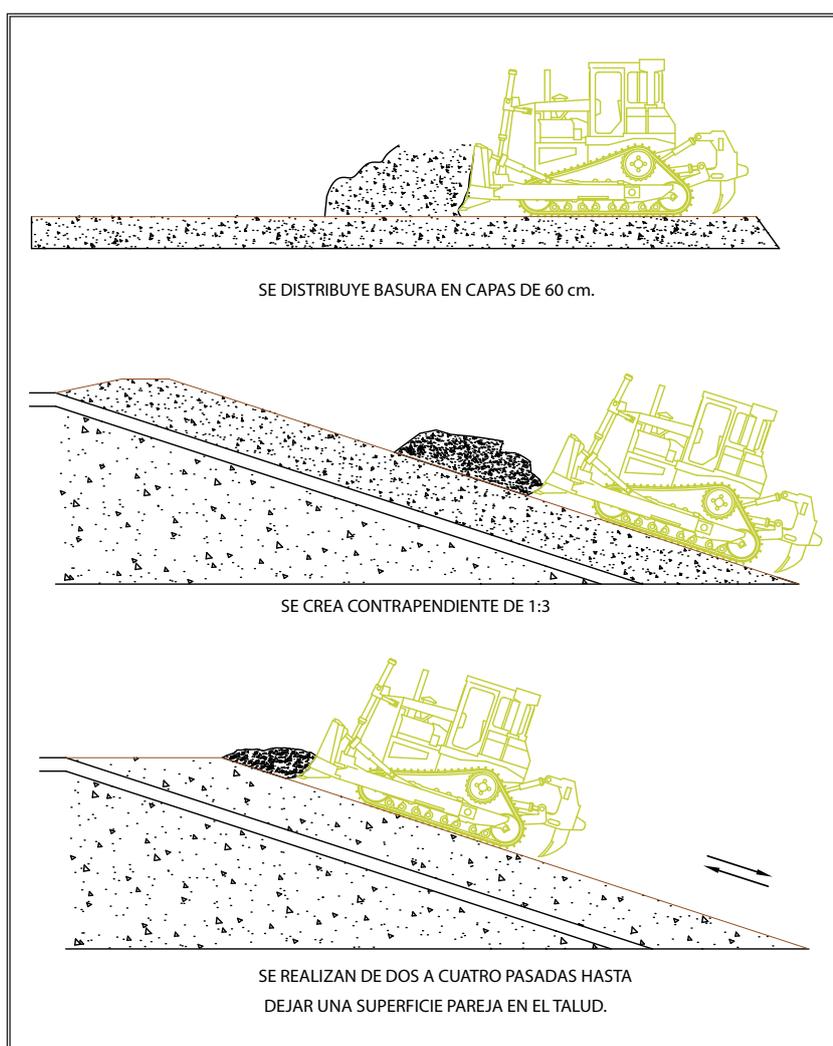


Imagen N° 38: Conformación de Celda de Disposición Final.

6.4 Operaciones de cobertura

Una vez compactada la basura, se procederá a ejecutar la etapa de cobertura, cuyo espesor final no deberá ser en ningún punto menor a 15 cm. Compactado (Ver imagen N° 39). La tierra a utilizar deberá ser acumulada en una zona inmediata a la parte superior de la celda en construcción, desde donde será distribuida sobre toda la superficie a cubrir, de acuerdo a los espesores arriba señalados.

Una vez colocado el material de cobertura sobre la basura, este deberá ser debidamente compactado de manera de obtener un grado de compactación cercano al óptimo. Tal compactación se efectuara pasando al menos 2 veces la oruga de la maquinaria por cada punto de la cobertura.

La terminación de la celda, una vez puesto y compactado el material de cobertura, se hará de manera tal de dejar la superficie superior de esta con una leve pendiente, del orden del 1 % al 2 % hacia su parte posterior. Dicha pendiente tiene por objeto reducir la posibilidad de afloramiento de fluidos percolados en el momento de sobreponer una celda sobre otra.

Adicionalmente, la cobertura de cada celda se finalizara construyendo un pequeño pretil de contención al pie del talud frontal, con el fin de impedir cualquier afloramiento posterior de fluidos por su base, si fuera necesario. Al término de la jornada diaria, la totalidad de la celda debe quedar cubierta según lo señalado anteriormente en lo que respecta a espesores mínimos, pendientes superiores y pretiles de contención (Ver imagen N° 41).

Para facilitar la extracción del biogás, se puede remover parte de la capa de cobertura de la celda sobre la cual se colocara la siguiente, a fin de que ambas fuesen interconectadas y se asegure así la efectividad de las chimeneas de drenaje de gases.

Cobertura intermedia y final

Varias operaciones de movimiento de tierras deben de ser realizadas periódicamente en un relleno sanitario. En las áreas del relleno que hayan sido completadas parcialmente y en las que no se depositara residuos por un prolongado tiempo se debe de colocar una cobertura "intermedia". Esto es normalmente una capa de cobertura diaria entre 25 y 50 cm. Que actúa como un sello parcial para restringir el ingreso de agua de lluvia, el movimiento de los desechos, evitar la exposición accidental de los desechos hacia los trabajadores y evitar la propagación de plagas.

La cobertura intermedia puede ser esparcida por equipo mecánicos o de forma manual, preferentemente debe de tener una pendiente suave (menos del 2%).

Cuando parte del relleno alcanza la altura destinada se coloca una cobertura la cual proporciona un sello a largo plazo, para aislar los residuos de las aguas superficiales, impedir la entrada y la liberación de los olores y los lixiviados. Los detalles sobre la selección y el diseño de la cobertura final se encuentran descritos en el capítulo 4. Es importante señalar que un buen manejo de los rellenos sanitarios considera una buena cobertura final. Esto se conoce como "la restauración progresiva", por lo tanto las operaciones de rutina, después de unos años, inevitablemente se debe concluir con la colocación de una capa gruesa de cubierta final.

Otras funciones del movimiento de tierras, incluyen la construcción de las paredes laterales de la nueva celda donde los residuos han de depositarse. Estas paredes laterales deben de ser construidas en la medida posible con material impermeable, de manera que cada celda es hidráulicamente separada de la adyacente.

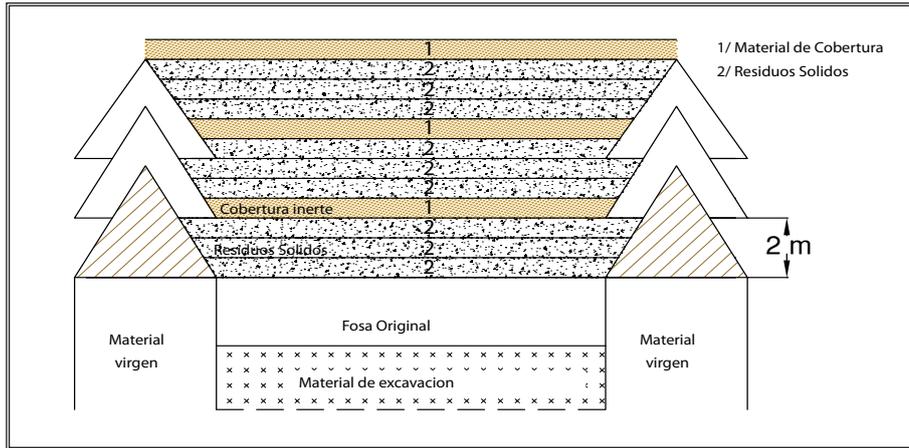


Imagen N° 39: Alternancia de capas de residuos sólidos y cobertura diaria.

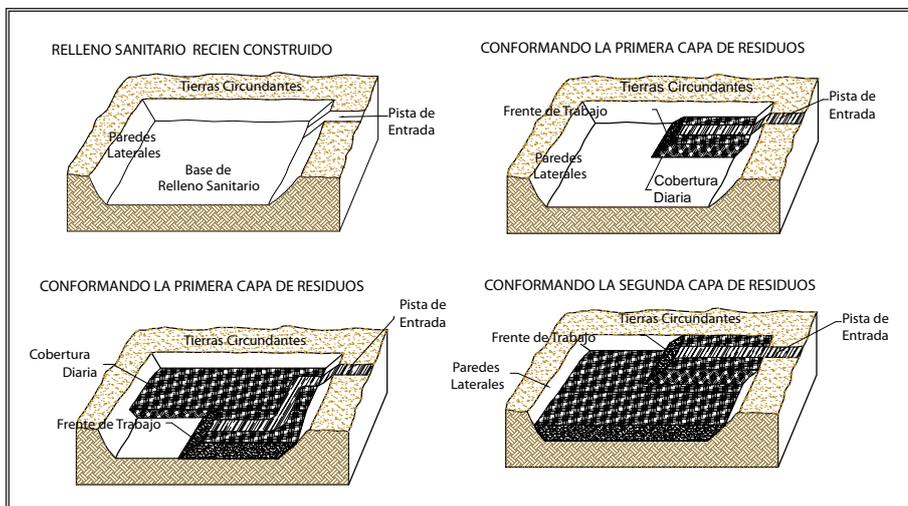


Imagen N° 40: Colocación de la cobertura diaria.

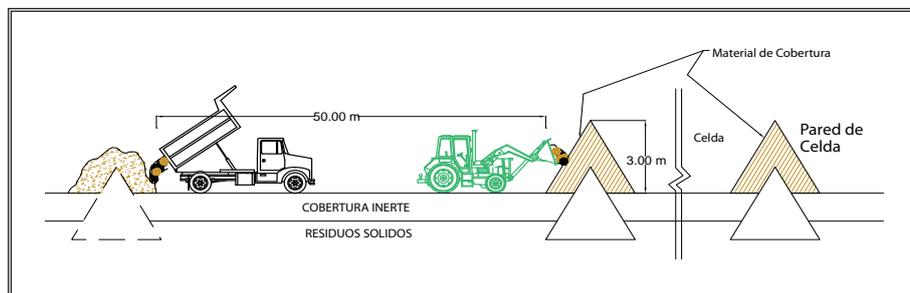


Imagen N° 41: Diagrama de la construcción de las paredes laterales de las celdas de disposición final.

6.5 Operación de maquinaria en el relleno sanitario

Equipo mecánico del relleno sanitario

El administrador del relleno sanitario tiene que tomar importantes decisiones acerca de la inversión en equipos mecánicos respecto al tipo de relleno sanitario. Existe una serie de características del sitio donde se desarrolla el relleno sanitario que definen la necesidad de equipos mecánicos, características como: condiciones topográficas del lugar, existencia de aguas superficiales, existencias de material de recubrimiento en el sitio o cercano a el, cantidad de residuos que llegan a diario, tipo de residuos, etc. Las características predominantes son la cantidad de residuos a tratar a diario, el tipo de residuo y el material de recubrimiento que será necesario traer de algún sitio exterior.

Las funciones básicas que realiza el equipo mecánico esta dividido en tres:

- i. Funciones relacionadas al suelo (excavación, traslado, compactación).
- ii. Funciones relacionadas con los residuos (traslado, compactación).
- iii. Funciones de soporte.

Basados en el tipo y dimensión de la operación, el mismo equipo mecánico puede ser usado para mas de una función. La versatilidad y la facilidad del manejo son consideraciones esenciales en la selección del equipo con la capacidad de uso en más de una función.

a) Funciones relacionadas con el suelo

La necesidad de excavación, traslado y compactación de suelo como material de cobertura deben de ser considerados en la selección del equipo para el relleno sanitario. Los procedimientos y equipo para realizar estas tareas no difieren mucho de las usadas en otros tipos de trabajos relacionados con el movimiento de tierras. Consecuentemente el grado de mecanización y sofisticación del equipo mecánico para el relleno sanitario no difiere de otras operaciones de movimiento de tierras (Ejm. Construcción de carreteras).

Los equipos de ruedas (como la pala mecánica), son ideales para la excavación de suelos arenosos, gravas, arcillosos, limosos. Alternativamente, se necesitaría un equipo de oruga para suelos arcillosos. Si el suelo tiene que ser desplazado a distancias menores a 100 m., el equipo mecánico de palas y excavadoras puede ser usado. Los camiones volquete, tractores con remolque, o vehículos pueden ser usados para trasladar el material de distancias mas largas.

b) Funciones relacionadas a los residuos sólidos.

Las funciones relacionadas con los residuos sólidos, incluyen el esparcido y la compactación. Los equipos de oruga son comúnmente usados en el traslado y la compactación. Sin embargo, para operaciones a pequeña escala, limitada por los fondos, la pala mecánica como equipo de movimiento de tierra, es adecuada para el traslado de los residuos sólidos.

Lograr una buena compactación de los residuos sólidos tiene un efecto positivo a un corto y largo plazo durante la operación del relleno sanitario, además es un factor importante en la maximización de la capacidad del relleno sanitario. Un equipo pesado específicamente diseñado para la compactación es mas efectivo y eficiente para esta operación a comparación a un equipo liviano diseñado primeramente para el movimiento de tierra. Sin embargo, la diferencia de peso puede ser compensada con el número de pasadas que realice el equipo liviano sobre los residuos sólidos acumulados.

El número de pasadas requerido para lograr una buena compactación también depende del contenido de humedad y el promedio de densidad del material componente de los residuos sólidos.

Los equipos deben de ser resistentes ya que el trabajo dentro del relleno sanitario es duro. Los radiadores pueden obstruirse, y las partes componentes del equipo pueden ser dañadas por las protuberancias de los residuos sólidos. Las llantas, aún las duras, pueden ser dañadas o cortadas, lo que resultaría en un corto

periodo de operación de la maquinaria. Esta combinación de factores infavorables enfatiza la necesidad de mantener piezas de recambio y una adecuada facilidad para la reparación y mantenimiento cerca de la zona de operación del relleno sanitario.

c) Funciones de apoyo

Las funciones de apoyo durante la operación de rellenos sanitarios, incluyen la extensión y el mantenimiento de carreteras hasta el área de trabajo, construcción de drenaje, protección contra el fuego traslado de vehículos de operación atascados. Las capacidades y el uso de algunos tipos de equipos mecánicos usados en rellenos sanitario son mostrados en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 27: Comparación de maquinaria y su eficiencia en las tareas del relleno sanitario

Tipo	Residuos sólidos		Cobertura			Preparación y mantenimiento de sitio
	Esparcido	Compactación	Excavación	Cobertura	Tracción	
Excavadora oruga	E	B	E	B	NA	B
Cargador de Oruga	B	B	E	E	R	B
Compactador	B	E	P	R	NA	P
Excavadora de llantas	B	B	R	B	NA	R
Cargadora de llantas	R	B	R	B	B	R
Rascador	NA	NA	B	B	E	R
Dragalina excavadora	NA	NA	E	R	NA	R

E=Excelente; B=Bueno; R=Regular, P= Pobre, NA= No Aplicable; Fuente: Flintoff 1976

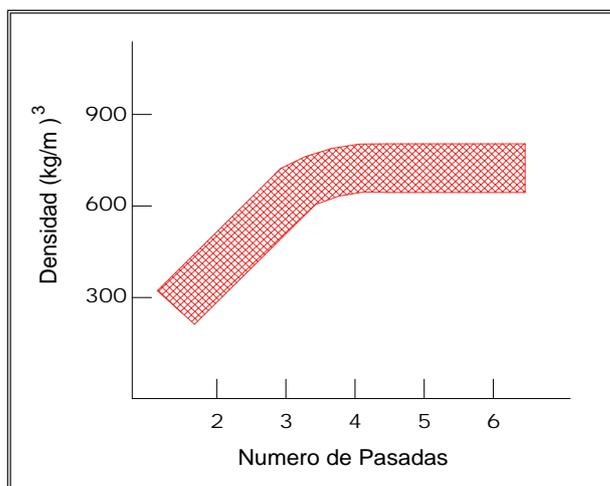


Imagen N° 42: Cambio en la densidad de los residuos sólidos respecto al número de pasadas de los vehículos.

6.6 Tipos de equipo

La selección del equipo debe basarse en el uso primario y en la capacidad del mismo para adaptarse con éxito a las condiciones peculiares del sitio. Una consideración secundaria es la capacidad del equipo para satisfacer múltiples usos. Las consideraciones relacionadas con el uso primario tienen que ver con las características del suelo, topografía y clima; por las características de los residuos sólidos, cantidad y tasa de entrega; y por las limitaciones presupuestarias. Otro factor es el posible uso del equipo fuera del sitio.

Las características principales de los diferentes tipos de equipo usados en los rellenos sanitarios, se describen a continuación:

6.6.1 Tractor sobre orugas con hoja topadora (bulldozer)

Usos

Los tractores sobre orugas se utilizan para distribuir y compactar residuos sólidos, así como para preparar el terreno, distribuir la cobertura diaria y final y concluir el trabajo general del suelo.

Características

Los tractores sobre orugas están equipados con orugas metálicas que tienen anchos convencionales que varían, de 460 mm, 510 mm, 560 mm y 610 mm. Las orugas deben tener pestañas lo suficientemente altas para reducir el tamaño (por ejemplo, comprimir y romper) de los residuos sólidos y prevenir que los tractores se deslicen en el frente de trabajo u otras pendientes.

La presión ejercida sobre los residuos sólidos se logra al distribuir el peso de la máquina sobre la superficie de contacto. En el cuadro siguiente se presenta algunos valores típicos para estas máquinas:

Cuadro N° 28: Valores típicos del tractor sobre orugas con hoja topadora

Potencia (kW)	Peso (kg)	Área de contacto con residuos sólidos (m ²)	Presión (kg/cm ²)
100	11,750	2,16	0,54
150	16,100	2,76	0,58
220	24,800	3,19	0,78

El grado de compactación de los residuos sólidos depende de la presión ejercida. Como se indicó anteriormente, mientras más delgada sea la capa de residuos sólidos, más eficaz será la presión aplicada al fondo de la capa. Las máquinas sobre orugas no son muy eficaces para compactar residuos sólidos debido a su baja capacidad de presión.

Para obtener la máxima eficiencia de una máquina sobre orugas, ella debe de estar equipada con una hoja adecuada para empujar el material. La densidad de los residuos sólidos descargados de un vehículo de recolección es aproximadamente un tercio menor que la del suelo; en consecuencia, el tamaño de la hoja puede aumentarse, sin sobrecargar el equipo, mediante una malla de acero que no interfiera la visibilidad del operador como sería en el caso de una placa sólida. Las dimensiones de las hojas varían de acuerdo a cada modelo. Por ejemplo, una máquina típica de 100 kW tendría una hoja con las siguientes dimensiones:

Ancho (recto): 3,2 m;
 Altura (sin malla): 1,1 m; y
 Altura (con malla): 1,8 m.

La hoja se controla a través de un mecanismo hidráulico. La productividad estimada para un modelo típico de 100 kW en superficies llanas es de 50 Mg de residuos sólidos por hora de trabajo productivo. En superficies inclinadas la producción será menor, en el caso de una pendiente de 20°, la producción se reducirá a aproximadamente 40 Mg/h para el modelo 100 kW indicado anteriormente.

6.6.2 Compactadores pata de cabra con hoja topadora

Usos

Los compactadores se usan para esparcir y compactar los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario.

Características

Los compactadores están equipados con un motor diesel convencional o turbo. Las ruedas metálicas generalmente tienen dientes alternados invertidos en forma de una "V", que les permite concentrar el peso de la máquina sobre una superficie de contacto más pequeña que una máquina sobre orugas y, en consecuencia, ejercen una mayor presión sobre los residuos sólidos. El siguiente cuadro indica la presión promedio para dos tipos de compactadores, basada en el área de contacto.

Cuadro N° 29: Valores típicos de la compactadora pata de cabra con hoja topadora

Potencia (kW)	Peso (kg)	Presión promedio (kg/cm ²)
110	16,000	75
130	26,000	120

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", calRecovery Inc, 1997.

Al operar en condiciones similares, los compactadores son en general más versátiles y rápidos que los tractores sobre orugas para esparcir y compactar residuos sólidos. Un modelo típico de 110 kW tendrá una productividad aproximada de 75 Mg/h en superficies llanas. La productividad disminuye a cerca de 60 Mg/h si la pendiente de trabajo es de 20°.

Los compactadores pata de cabra están equipados con una hoja topadora de control hidráulico a la que se le adiciona una malla de metal para aumentar su capacidad. Las dimensiones comunes de la hoja son las siguientes:

Ancho 3,0 m; y
 Altura (con malla): 1,9 m.

6.6.3 Cargadores frontales

Usos

Los cargadores frontales se usan para excavar el suelo blando (es decir, el suelo que ofrece poca resistencia), para cargar el material excavado en los camiones y transportarlo a distancias no mayores de 50 y 60m (para la eficiencia óptima).

Características

Los cargadores frontales generalmente están equipados con motor diesel y cuatro ruedas. Las unidades pueden estar equipadas con ruedas sólidas, neumáticas o llenas de espuma. El tipo de neumáticos depende de la aplicación y de las condiciones de trabajo. Se seleccionan los neumáticos sólidos y los llenos de espuma cuando están expuestos a objetos agudos que pueden cortarlos y perforarlos. El eje frontal está fijo y el eje trasero puede ser movable. Los modelos varían en potencia de 50 a 370 kW. La capacidad de la cuchara varía de 0,8 a 6 m³. Los modelos usados con mayor frecuencia son los de 75 a 110 kW. En el siguiente cuadro se presentan algunas características de los cargadores frontales:

Cuadro N° 30: Valores típicos del cargador frontal

Potencia (kW)	Peso (kg)	Presión promedio (kg/cm ²)
75	9,280	1,34 a 1,72
100	11,550	1,72 a 2,68

Si el suelo es blando, un cargador frontal de 100 kW con una cuchara con capacidad de 1,9 m³ podría excavar y cargar en un camión volquete (o basculante) aproximadamente 160 m³/h. Si el suelo es más firme (es decir, ofrece más resistencia a la penetración de la cuchara), la productividad disminuirá. Para mantener la misma productividad, se necesitaría un unidad más apropiada para realizar la excavación.

Los cargadores frontales también son eficaces para trabajar suelos arcillosos para la cobertura de los residuos sólidos y para preparar sitios destinados a rellenos sanitarios.

6.6.4 Cargadores sobre orugas

Usos

Los cargadores sobre orugas pueden realizar funciones similares a las de los cargadores frontales y son capaces de excavar el suelo duro y bien compactado. Su distancia óptima de transporte generalmente no excede los 30 m. La baja presión que ejerce en el suelo es beneficiosa e incluso necesaria en varias operaciones del relleno sanitario, es decir; la carga de tierra en barro o en una superficie blanda.

En situaciones de emergencia y cuando las cantidades diarias son pequeñas, los cargadores sobre orugas pueden emplearse para manejar (es decir para esparcir y compactar) los residuos sólidos. También pueden utilizarse para contornear y nivelar el material de cobertura. En algunos casos, el cargador sobre orugas puede ser más eficiente y flexible que una máquina sobre oruga equipada con una hoja topadora.

Características

Los cargadores sobre orugas están equipados con motores diesel de 50 a 200 kW. El siguiente cuadro describe algunos parámetros y valores típicos para este tipo de equipo.

Cuadro N° 31: Valores típicos de cargador sobre oruga

Potencia (kW)	Peso (kg)	Área de contacto con residuos (m ²)	Capacidad de la cuchara (m ³)
70	12.340	1,54	1,34
100	13.700	1,79	1,34 a 1,74
140	21.300	2,48	1,90 a 2,48

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", calRecovery Inc, 1997.

La cuchara en los cargadores sobre orugas se opera a través de un mecanismo hidráulico y en muchos casos puede lograrse una mejor eficiencia y flexibilidad si es multifuncional. Este tipo de cuchara realiza cuatro operaciones diferentes según la posición en la cual se opere.

La cuchara tiene una sección fija y otra movable. El movimiento puede ser controlado por el operador con la misma palanca de control. Con una cuchara multifuncional, un cargador sobre orugas puede servir como los siguientes equipos:

1. Cargador.- Para descargar material con la cuchara.
2. Tractor.- Al levantar la sección movable se permite el empuje y nivelación del material.
3. Raspador.- En suelos blandos y arcillosos la acción de corte puede controlarse con la abertura.
4. Cuchara de almeja.- El cargador puede usarse para levantar troncos y ramas de árboles. Esto puede realizarse al sostener material entre el seguro y el borde de la parte inferior de la cuchara.

La versatilidad de un cargador sobre orugas es beneficiosa para los rellenos sanitarios, especialmente cuando la disponibilidad del equipo o los recursos financieros son limitados.

6.6.5 Excavadoras sobre orugas

Usos

Dos tipos de excavadoras son relevantes para el trabajo pesado de un relleno sanitario: 1) la excavadora común con sobre orugas en la cual la cuchara y el movimiento para la excavación es hacia la cabina, y 2) el modelo con la hoja frontal en el cual el movimiento para excavar es en sentido contrario a la cabina. Las excavadoras comunes se emplean para excavar el suelo, para cargar los equipos de carga y para aplicar la cubierta primaria o diaria sobre los residuos sólidos (es decir, como en el método de trincheras). Este equipo también puede usarse para ciertas operaciones de movimiento de tierra. Tal como los equipos sobre orugas, la carga (del vehículo y carga neta) se distribuye sobre un área grande de oruga, por lo tanto, se minimiza la presión aplicada en el suelo. Este rasgo es importante en algunas operaciones de relleno sanitario, es decir, en condiciones con lodos o suelos blandos. El equipo tiene la aptitud de excavar y realizar excavaciones profundas a altas tasas de productividad (las excavadoras más pequeñas tipo tractor, es decir, las retroexcavadoras, tienen una profundidad más limitada y una productividad menor que las excavadoras tipo oruga).

Características

La excavadora está equipada con un motor diesel y un sistema hidráulico para controlar el movimiento de los brazos de carga y de la cuchara. Generalmente, las potencias de los motores

están en el rango de 100 a 500 kW. Como se menciona anteriormente, la cuchara de la excavadora común está en dirección a la cabina y el movimiento de excavación es hacia el operador.

La excavación sigue estas cuatro fases:

1. Cargar la cuchara,
2. Rotar cuando está cargada,
3. Abrir la cuchara y descargar el material, y
4. Rotar cuando está descargada.

La duración de la excavación depende del tamaño del equipo y de las condiciones del sitio. Cuando la excavación es difícil o la zanja es profunda, el tiempo de trabajo será más extenso. Los fabricantes describen el tiempo o el método de cálculo, según el modelo del equipo y las condiciones del sitio (por ejemplo, tipo de suelo, profundidad de la excavación). La profundidad de la excavación (medida a nivel del suelo) depende del alcance del brazo. El siguiente cuadro proporciona algunas especificaciones típicas para las excavadoras.

Cuadro N° 32: Valores típicos de la excavadora sobre oruga

Potencia (kW)	Peso (kg)	Longitud del brazo (m)	Capacidad de la cuchara (m ³)	Profundidad máxima de la excavación
100	22.680	2,44	0,75	6,4
145	34.020	2,90	1,18	7,3
240	56.200	3,20	1,94	8,5

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", calRecovery Inc, 1997.

6.6.6 Excavadoras con palas frontales

Usos

Las excavadoras con palas frontales se emplean para excavar las zanjas para colocar los residuos sólidos, para cargar tierra y roca en los equipos de carga, y para realizar la cobertura primaria o diaria de las celdas del relleno sanitario (sin compactar ni nivelar los residuos sólidos). Como se mencionó anteriormente, las excavadoras con palas frontales con diferentes de las excavadoras convencionales en las que la apertura de la cuchara es en sentido opuesto a la cabina. Por lo tanto, las excavadoras con palas frontales están limitadas mecánicamente a la excavación cerca de la superficie y a mover pilas de material cerca de la superficie y no tienen suficiente alcance para excavar como la excavadora típica. Este equipo no es adecuado para realizar excavaciones profundas.

Características

Las excavadoras con palas frontales están montadas sobre un equipo que tienen un motor diesel cuya potencia varía de 300 a 600 kW aproximadamente. Las zapatas, por lo general, tienen un ancho de 600 a 700 mm. Estas máquinas están equipadas con un brazo operado mecánicamente. La longitud del brazo puede variar de 10 a 15 m. El radio de la operación varía de 6 a 13 m según el equipo. De acuerdo al tipo de suelo y al tamaño y uso de la cuchara, este tipo de excavadora puede alcanzar profundidades de hasta 4m. Generalmente, las cucharas tienen una capacidad de 0,6 ó 0,8 m³. El peso de una excavadora y 100 kW de palas frontales es de 20.500 kg aproximadamente.

6.6.7 Motoniveladoras

Usos

Las niveladoras se usan en la construcción y el mantenimiento de los caminos, terraplenes y canales de drenaje, y para perfilar y nivelar el material de cobertura.

Características

Las niveladoras están equipadas con un motor diesel, ruedas de goma y potencia de conducción. Los típicos pesos y potencias de este tipo de equipo se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 33: Valores típicos de motoniveladoras

Potencia (kW)	Peso (kg)
90	12.000
165	18.280

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", calRecovery Inc, 1997.

La cuchara convencional tiene las siguientes dimensiones:

- Longitud: 4,0 m;
- Altura: 0,7 m; y
- Espesor: 25 mm.

Estas máquinas pueden llevar un raspador como equipo adicional para romper la tierra o mezclar suelos. Un raspador típico tiene 11 dientes configurados a manera de ganchos, con terminales reemplazables. La profundidad de raspado varía según el modelo de 0,2 a 0,4 m.

6.6.8 Raspadores

Usos

Las raspadoras se usan para excavar, transportar, y distribuir grandes volúmenes de suelo a altas tasas de productividad en superficies relativamente planas o moderadamente onduladas. Debido a su alta tasa de productividad, ellas son comúnmente usadas en rellenos sanitarios grandes para excavar y distribuir tierra para cobertura y para revestimiento.

Características

Las raspadoras pueden tener sus propios medio de propulsión o pueden ser remolcadas por otros equipos (por ejemplo, por una topadora); ellas son relativamente maniobrables. Las raspadoras están equipadas con una cuchilla para cortar o con un sistema con elevación el cual corta y dirige el suelo excavado dentro de una unidad de almacenamiento. Las capacidades volumétricas de almacenamiento están en el orden de 10 a 40 m³.

En el cuadro N° 34 se presenta la capacidad aproximada de movimiento de tierra para los cargadores y las raspadoras.

Cuadro N° 34: Capacidad aproximada de movimiento de tierra para suelos promedio (m³/h)

Capacidad de las unidades (m ³)	Distancia del trayecto (m)									
	0	30	60	90	120	150	180	240	300	
Cargador sobre orugas										
1 1/4	40	30	25	20	15	-				
1 1/2	50	35	30	25	20	15				
2	80	60	45	40	35	30				
Raspadoras de tiro										
14					190	170	150	125	100	
12					165	145	125	100	75	
7					90	80	75	60	55	
Raspadoras										
20						400	380	340	300	
14						250	240	210	180	
11						170	160	140	120	

Fuente: "Guía para rellenos sanitario en países en desarrollo", calRecovery Inc, 1997.

Como estas máquinas tienen un mecanismo que permite la articulación de los tambores, puede lograrse una compactación uniforme aún sobre las capas irregulares del suelo.

6.6.9. Compactadoras con ruedas neumáticas

Usos

Las compactadoras con ruedas neumáticas se usan para compactar las capas superiores de los suelos y las subcapas, especialmente cuando la tierra es margosa. Pueden obtenerse densidades altas y uniformes en todo el espesor de las capas.

Características

Estas máquinas pueden ser remolcadas o autopropulsadas. La carga se transmite al suelo a través de la superficie de contacto de los neumáticos que forman la unidad rodante. Por lo general estas compactadoras tienen siete neumáticos.

Se usa arena húmeda como material de lastre (a una densidad de 2.000 kg/m³), lo que permite lograr un peso entre 13.000 y 35.000 kg. La operación es la siguiente:

Inicialmente, durante el aplanado del suelo, se usan neumáticos con presión baja suficiente para compactar el suelo sin que los neumáticos se hundan. La presión baja de los neumáticos da lugar a un área grande de contacto de los neumáticos y, en consecuencia, se aplica una presión vertical baja al suelo.

A medida que avanza el proceso de aplanado y compactación, se aumenta gradualmente la presión del neumático; por lo tanto, se reduce el área de contacto y se incrementa la presión que se aplica al suelo. Estas máquinas tienen un sistema que controla adecuadamente la presión de los neumáticos.

6.6.10 Compactadoras de tambor vibratorio autopulsadas

Usos

Las compactadoras de tambor vibratorio se usan para compactar suelos y para cubrir materiales formados por suelos normales, granulado son similares a la arcilla.

Características

Esta máquina está diseñada y construida para producir eficazmente la compactación de los tipos de suelos indicados anteriormente. Las compactadoras de tambor vibratorio tienen un tambor metálico en el frente y sus dimensiones aproximadas son:

- Ancho 2,2 m; y
- Diámetro: 1,5 m.

Las compactadoras tienen llantas neumáticas en la parte trasera. El sistema de vibración es operado por un motor hidrostático directamente conectado al vibrador, lo que permite variaciones en la amplitud y frecuencia, independientemente de la velocidad del motor propulsor. La frecuencia de vibración puede regularse hasta alcanzar un máximo de 2.000 vibraciones/min. El peso del equipo varía según el modelo (9.000 a 12.000 kg).

6.6.11 Otros equipos

Otros equipos necesarios en los rellenos sanitarios son: equipos para control de incendio, equipos para bombear agua, equipos para fumigar, etc.

El personal que requiere un relleno sanitario tiene relación directa con el tamaño de la obra, en los grandes rellenos, aquellos que reciben sobre 1000 toneladas/día, el personal está compuesto por varias decenas de empleados (profesionales, administrativos, operadores de máquinas, ayudantes, cuidadores, mecánicos, bodegueros, etc.), en cambio en un relleno pequeño pueden ser 5 o 6 personas como máximo. En todo caso cualquiera sea el tamaño del relleno este deberá contar como mínimo con el siguiente personal:

Supervisor.- Este empleado debe tener los conocimientos y entrenamiento necesario para dirigir la obra en base a un Proyecto. Esta oposición requiere la presencia de este empleado durante todo el tiempo que el relleno sanitario se encuentre en operación.

Operador de Maquinaria Pesada.- Un relleno sanitario requerirá el empleo de un operador de maquinaria pesada, que sea capaz de manejar y mantener el equipo en buen estado de operación, además de poder hacer reparaciones menores y revisiones o servicio de rutina. También el operador deberá tener el entrenamiento necesario para poder seguir planos que indiquen elevaciones y contornos, seguir especificaciones de acabado y entender el propósito y los problemas relacionados con la operación de un "Relleno Sanitario".

Recibidor.- Este empleado estará encargado de la caseta de entrada y de pesar todos los vehículos que entren al sitio. En la mayor parte de los casos este empleado será el encargado de cobrar las cuotas de disposición una vez que los vehículos han sido pesados y tratados. Esta posición requiere que el empleado esté a la mano todo el tiempo que el relleno permanezca abierto al público. Cuando el relleno es muy grande se requiere más de una persona.

Ayudantes.- Es recomendable contratar empleados que puedan ayudar al resto del personal en la obra, en tareas menores de limpieza o para dirigir el tráfico durante las horas de tráfico intenso.

El relleno deberá contar a 10 menos con una persona que vigile el lugar durante la noche y tenga la responsabilidad de reportar cualquier anomalía que tenga lugar y que este relacionado con la obra.

Cuadro N° 35: Necesidades de equipo para rellenos sanitarios

Población	Ton/día	N°	Tipo	Peso en Ton.	Accesorios
0-50.000	0-50	1	tractor oruga	6 - 12	Hoja de empuje. Pala Frontal
50.000-150.000	50-150	1	tractor oruga	12 - 18	Hoja de empuje, Pala Frontal
150.000-300.000	150-300	2	tractor oruga	16 o mas	Hoja de empuje, Pala Frontal
> 300.000	> 300	2	o mas tractores oruga con apoyo de cargadores frontal con rueda, moto niveladores, camión tolva y otros.	16 a mas	Hoja de empuje, Pala Frontal

Fuente: CATERPILLAR "Curso Internacional: Tecnología de rellenos sanitarios". Perú, 1997.

Control y monitoreo ambiental

7.1 Gestión de aguas superficiales

La prevención de la entrada de agua hacia el relleno sanitario, es un requerimiento continuo en la operación, para un mejor manejo del relleno sanitario. El uso de celdas hidráulicamente separadas y la cobertura diaria, son los mejores métodos para prevenir el exceso de la infiltración de agua de lluvia.

El agua superficial, que pudiera ingresar al relleno por los lados, es interceptado por zanjas de drenaje perimétrico. (También conocidas como desagües de agua de tormenta). Zanjas de drenaje temporal en zonas de no uso del relleno sanitario especialmente las ubicadas en las zonas de canteras o similares, son usadas para detener el agua de lluvia de movimiento lateral y evitar el contacto de esta con los desechos.

Las labores de rutina requieren inspección, limpieza, y mantenimiento de los canales de drenaje. Estas labores requieren de un manual de labores. Se debe tener en cuenta que después de los efectos de temporada como: vientos y transporte de vegetación o vientos fuertes que transporten polvo y diversos materiales, estos se pueden acumular en los canales y podrían causar un bloqueo o cubrir por completo los canales y complicarse la situación con la ocurrencia de una lluvia severa. Los canales de drenaje deberán ser limpiados como mínimo cada seis meses y de manera más continua en zonas en donde la temporada de lluvias es más regular.

7.2 Control de fuego

En un Relleno Sanitario con buen manejo la presencia de fuego abierto es muy poco probable. Si el fuego se inicia, este debe de ser extinguido lo más pronto posible para prevenir una extensión del fuego en todo el cuerpo del relleno sanitario. La técnica más común, en zonas donde se practica la minimización de lixiviado, es excavar una trinchera alrededor del área en fuego, con el fin de aislarla del resto del relleno sanitario. Imagen N° 43 luego los residuos con fuego son cubiertos con arena o tierra. Solo en circunstancias excepcionales se debe de usar agua. Las fuentes apropiadas de agua deben de ser ríos cercanos, lagos, agua de lluvia retenida, o también puede ser usado los lixiviados retenidos. En circunstancias extremas se debe de recurrir a los bomberos de la ciudad.

Una técnica alternativa para extinguir fuegos someros, es cavar un agujero para la exponer los residuos en llamas, para ser expuestos al viento, y lograr una combustión más rápida o para que sea cubierta con arena.

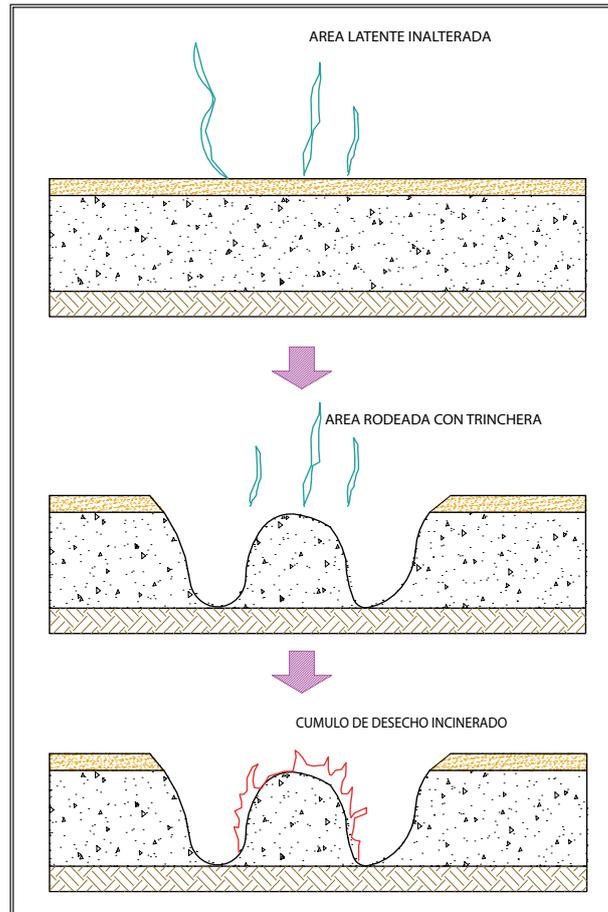


Imagen N° 43: Secuencia de operación para extinguir el fuego.

7.3 Control de plagas

Plagas (Ej. aves, parásitos, animales grandes, y moscas) son una gran molestia para los trabajadores y para los habitantes de las zonas próximas al relleno sanitario. Estas representan un potencial riesgo a la salud del público, riesgo que puede ser evitado. La abundancia de plagas alrededor del relleno sanitario es una muestra de un mal manejo.

Recientemente, el control de insectos y roedores en los rellenos sanitarios es considerado de importancia en el manejo y operación, las sugerencias son las siguientes:

Las plagas pueden ser grandes incomodidades y causa de problemas de salud para los operadores de los rellenos sanitarios. Las moscas y los mosquitos son dos tipos de insectos de principal preocupación por la transmisión de enfermedades. Las moscas transmiten muchas enfermedades, como salmonera, mediante el traslado físico de la bacteria desde los desechos a las fuentes de alimento. Los mosquitos se reproducen en agua colectada en depresiones de los rellenos sanitarios y en zonas descubiertas y no compactadas, los mosquitos transportan enfermedades como encefalitis, fiebre del dengue y la malaria. El control de estos incluye la compactación y la cobertura de los desechos, donde el agua de lluvia tiende a acumularse cubrir esas depresiones para eliminar los lugares de reproducción de mosquitos.

Las ratas y otros roedores transfieren enfermedades como la rabia, fiebre de mordedura de rata, leptospirosis, tífus y la plaga bubónica. Los roedores se reproducen dentro de las áreas del relleno sanitario o migran de zonas cercanas al relleno sanitario, ellos se mantienen en el lugar si encuentran facilidades de alimentación, madrigueras y agua. Una cobertura diaria, apropiada compactación, y una cubierta de zonas de depresión y posible almacenamiento de agua, se eliminan tres necesidades

que los roedores necesitan para sobrevivir. Si una ingestación de roedores es persistente, el uso de venenos es efectiva en la eliminación de la población de roedores. Si el envenenamiento o la captura de los roedores es requerida el operador debería de colocar señales que informen a los trabajadores del relleno sanitario, los visitantes y a los recolectores de residuos sólidos.

Las aves, especialmente en áreas de costa, son atraídas a los rellenos sanitarios por comida. Estos representan un peligro potencial para la salud (por ejemplo, las gaviotas pueden transmitir salmonera), y pueden ser un molestia por los ruidos, especialmente si existen áreas urbanas cerca. El control más efectivo es una rápida y completa cobertura. La producción de ruido, el uso de aves de presa o medidas similares pueden brindar un control temporal. En lugares donde persisten los proclames con las aves, el uso de una red por encima del lugar de trabajo del relleno sanitario provee una solución eficaz.

7.4 Control de materiales ligeros

Un relleno sanitario no esta bien manejado si los papeles u otros materiales ligeros se encuentran flotando alrededor del lugar. Estos objetos flotantes son muy visibles y son señales del pobre control que se hace a los desechos depositados. Es una de las formas simples de contaminación que se puede contener.

Aún en los mejores rellenos sanitarios existe objetos flotantes, pero existen muchas técnicas para poder reducir este problema. Este problema se agudiza en los días de más viento. El uso de pantallas portátiles alrededor del área de trabajo es una efectiva forma de control para la mayor parte de objetos que pudieran ser acarrados por el viento los diseños muestran en las imágenes N° 44 y N° 45. Las pantallas pueden ser hechas de madera o de metal cubierta de malla de alambre o redes. Estas pueden ser limpiadas manualmente una vez al día, al final del día de trabajo, por los trabajadores del relleno sanitario, y repuesta si la dirección del viento varia o si la ubicación del área de trabajo cambia. En adición, el manual del relleno sanitario debería de incluir realizar una patrulla alrededor del área de trabajo y coleccionar los desperdicios acarreados por el viento. Una actividad perimétrica puede evitar y actuar para detener la propagación de los desperdicios fuera del área del relleno sanitario.

Otras medidas, usadas cuando el manejo y deposición de residuos incrementa la generación de flotación de objetos, son:

- Descargar los desperdicios abajo del área de trabajo, no por arriba.
- Procurar cubrir por completo la porción de una celda de trabajo durante el día.
- Aplicar agua para humedecer los desperdicios con alto porcentaje de papeles y polvo.

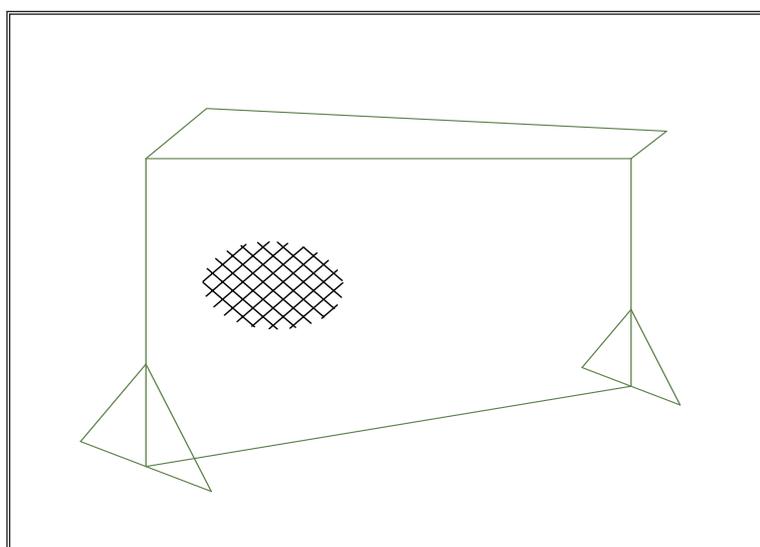


Imagen N° 44: Pantalla portátil, 2.5 m x 3 m., cubierta con malla de 20 a 40 mm.

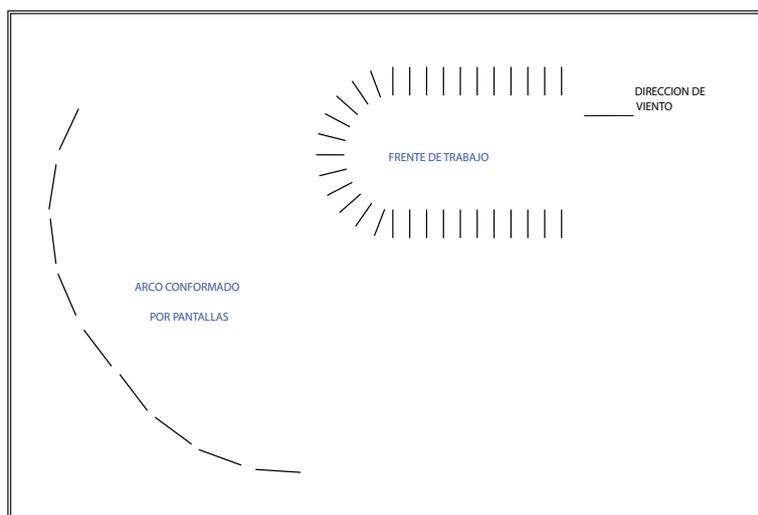


Imagen N° 45: Ubicación de pantallas respecto al viento y al frente de trabajo.

7.5 Control y monitoreo de lixiviados

Los procesos de descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario y el agua de lluvia que se infiltra originan el lixiviado (líquido que percola a través de las celdas que contienen a los residuos y sus materiales de cubierta).

Para evaluar la calidad del lixiviado y sus posibles efectos en las aguas subterráneas se realiza un monitoreo de ambas. El monitoreo consiste en una serie de programas que incluyen la toma de muestra, su análisis fisicoquímico y biológico en un laboratorio y la evaluación de los resultados.

7.5.1 Control de los lixiviados

Es importante tener en el relleno sanitario los elementos necesarios para mantener un control total de los lixiviados, éstos pueden ir desde el almacenamiento en lagunas para luego recircularlos con equipos de bombeo, hasta sistemas de drenaje al interior del relleno, depósitos de almacenamiento y tratamiento químico y/o biológicos.

La probabilidad de ocurrencia de una infiltración de lixiviados es baja, debido a la impermeabilización del fondo de la trinchera, el sistema de captación de lixiviados, así como el adecuado manejo y disposición de los residuos que han sido considerados en las medidas de mitigación en los diseños de ingeniería, lo que minimiza la ocurrencia de este riesgo.

En el caso de ocurrencia de una infiltración ésta será detectada por medio de los análisis de calidad de aguas establecidos en el plan de monitoreo desarrollado para el proyecto. Con la información obtenida de los análisis de las aguas subterráneas se evaluará la magnitud de la infiltración, y con ello el tipo y nivel de solución requerido.

Las acciones y medidas a seguir en el caso de detectarse contaminación de aguas subterráneas, se detallan a continuación:

- Se verificará la calidad de la cobertura (establecer periodicidad), revisando si existen grietas o disminución del espesor del material de recubrimiento. Si se constata su deterioro, se procederá a su reparación;
- Se verificará permanentemente el buen estado los drenes pluviales. Sin perjuicio de ello, se cumplirá con un programa de mantenimiento del sistema de interceptación de aguas lluvias;
- En el caso de detectarse contaminación para uno o más parámetros de rutina, en el punto de monitoreo se realizarán análisis de los parámetros de base en forma inmediata. Si se determinara que la contaminación en los parámetros de base tiene efectos inmediatos sobre

- la salud pública o el medio ambiente, se requerirán muestras adicionales o más frecuentes.
- Adicionalmente, se informará a la autoridad competente mediante la entrega de un informe que describa la situación de emergencia y presente las medidas a seguir. Cuando se haya solucionado el problema de contaminación se comunicará nuevamente a la autoridad enviando para estos efectos el desarrollo de las medidas y los resultados de los análisis.
- El plan de emergencia deberá mantenerse hasta que se demuestre que la contaminación no es causada por el relleno sanitario manual o que la fuente de contaminación ha sido detectada y reparada.

El control de lixiviados se hace a partir de la extracción de estos por la caja de registro ya sea para ser llevados a una planta de tratamiento o para ser recirculados en las zonas verdes.

De acuerdo a los cálculos obtenidos se determina la cantidad de lixiviados que se espera, en el caso que esta sea muy baja se recomienda realizar una recirculación, dependiendo de las características cualitativas de estos lixiviados, siempre y cuando no sobrepase el límite permisible en la mayoría de sus parámetros.

Una de las ventajas de la recirculación es que va reduciendo a cantidad de lixiviados y la concentración de los metales pesados se va haciendo menor. Por la infiltración que sufre.

En los primeros seis meses se deberá hacer una evaluación a la caja de registro de lixiviados con la finalidad de ver si requiere de una limpieza para la extracción de los lodos acumulados, si no fuera necesario se volverá a realizar este procedimiento a los 6 meses y así sucesivamente hasta encontrar el número de meses que deben de pasar para que se limpie la caja. En este caso se retirará el lodo y se revisará las condiciones de la caja, esto es que no tenga rajaduras ni grietas.

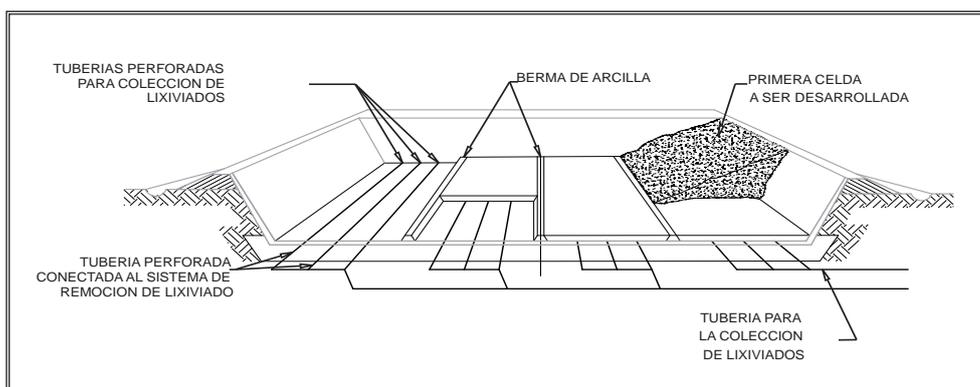


Imagen N° 46: Distribución de tuberías para colección de lixiviado.

7.5.2 Alternativas de manejo y control

El control y en especial el método para manejar el lixiviado de un relleno sanitario determinarán el riesgo asociado con la contaminación de acuíferos subterráneos. Hay varias alternativas para manejar el lixiviado. Algunas de las alternativas son:

- a. La descarga a un sistema de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio;
- b. La evaporación (natural o inducida);
- c. La recirculación o el reciclaje; y
- d. El tratamiento en el terreno.

Descarga a un sistema de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio en caso que el relleno sanitario esté ubicado relativamente cerca de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales, puede ser posible descargar el lixiviado para su tratamiento en esa planta. Antes de intentarlo, sin embargo, es importante evaluar si la planta de tratamiento sería capaz de tratar la

cantidad y la calidad del lixiviado; por ejemplo, la carga orgánica adicional. En algunos casos puede ser necesario establecer un tipo de pretratamiento para el lixiviado antes de descargarlo en la alcantarilla. Si no está disponible una alcantarilla local a una distancia conveniente del punto de descarga en el relleno sanitario, la utilización de un camión cisterna es una alternativa para transportar el lixiviado a la planta de tratamiento de aguas residuales.

- Evaporación

Esta es una de las alternativas más sencillas para el manejo de lixiviado. En esta alternativa, el lixiviado se almacena en un estanque o laguna de evaporación. (En circunstancias ideales, el estanque se revestiría adecuadamente con material o membrana impermeable). La tasa de evaporación, desde luego, depende las condiciones climáticas. En caso que hubiera una época de lluvias intensas, el estanque debe estar diseñado para retener el volumen asociado de líquido o, si la práctica lo permite, puede estar cubierto con una membrana impermeable. La tasa de evaporación puede aumentarse al rociar el lixiviado sobre la superficie del relleno sanitario en funcionamiento y sobre las áreas terminadas. Aunque el rociado aumenta la tasa de evaporación, el proceso puede generar olores.

La evaporación también puede aumentarse al calentar el lixiviado a través de un intercambiador de calor. En caso que haya un sistema para la colección del gas del relleno sanitario, puede usarse el gas como fuente de energía para el proceso de evaporación. De otro modo, debe buscarse otra fuente de energía. Además, se debe tener mucho cuidado con el control de los potenciales emisiones de compuestos volátiles así como con el manejo de la corrosión y la contaminación de las superficies de transferencia de calor.

- Recirculación o reciclaje

El lixiviado puede administrarse eficazmente colectándolo y recirculándolo a través del relleno sanitario. Cuando el relleno sanitario empieza a funcionar, es común que el lixiviado contenga concentraciones relativamente altas de DBO, DQO, sólidos disueltos totales, metales pesados y nutrientes. La recirculación y el reciclaje del lixiviado atenúan estos constituyentes debido a la actividad biológica y a las reacciones físicas y químicas que se producen dentro del relleno sanitario. Por ejemplo, considerando que el pH en el relleno sanitario se torna neutral o ligeramente básico a medida que se produce metano, algunos de los metales se precipitarán y serán retenidos dentro del relleno sanitario.

El diseño y la operación de un sistema de recirculación de lixiviado debe considerar que, si es que la percolación hacia el interior del relleno sanitario es mayor que la evaporación del lixiviado colectado, la recirculación resulta en un constante aumento del reservorio del lixiviado.

En caso que la rápida estabilización de la sustancia orgánica, así como la recolección y el uso beneficioso del gas del relleno sanitario sean los objetivos principales de la operación, la recirculación del lixiviado puede ocasionar un aumento en la producción de gas debido al incremento del contenido de humedad en el relleno sanitario. Un aumento en la tasa de estabilización conduciría a una mayor tasa de sentamiento del relleno sanitario. Se puede obtener una reducción considerable de DQO y DBO a través de la recirculación, en particular, durante un período corto. La recirculación de lixiviado es más eficaz en los rellenos sanitarios cuyo funcionamiento incluye la aplicación de residuos sólidos en capas relativamente delgadas.

Se debe prestar atención cuando se adopta la recirculación como una estrategia para manejar el lixiviado. En primer lugar, la introducción de humedad en el relleno sanitario puede conducir a la contaminación del ambiente circundante al relleno sanitario por causa de la migración lixiviado por la base o por los costados del mismo. En segundo lugar, la recirculación continua producirá la acumulación de sales, metales y otros compuestos indeseables en el lixiviado. Además en caso que se hayan aplicado coberturas intermedias, la introducción de lixiviado puede formar acumulaciones de líquido dentro del relleno sanitario que, con el tiempo, pueden escapar por los costados del relleno sanitario.

- Tratamiento

Si ninguna de las alternativas presentadas en los párrafos anteriores es viable, será necesario algún tipo de tratamiento para manejar adecuadamente el lixiviado. Ya que la composición de los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario puede variar mucho, el lixiviado producido en los rellenos sanitarios también puede tener características muy distintas. A diferencia de las aguas residuales, la calidad y la cantidad del lixiviado pueden experimentar variaciones importantes con los cambios del clima. Además, a medida que el contenido del relleno sanitario se deteriora con el transcurso del tiempo, la calidad del lixiviado también cambia.

Han sido usados varios tipos de diseños para tratar el lixiviado. Algunos de los procesos aplicados incluyen los biológicos, físicos y químicos. Un diseño típico incluiría tres etapas de tratamiento: 1) pretratamiento, 2) tratamiento biológico y 3) tratamiento físico y químico. En general, el pretratamiento incluye el tamizado, la sedimentación y el ajuste de pH. El tratamiento biológico está diseñado para eliminar principalmente la DBO, la DQO y algunos de los nutrientes. Los métodos más comunes de tratamiento biológico incluyen: las lagunas de oxidación, las lagunas aireadas, los lodos activados y otros. La etapa final puede incluir una serie de procesos diseñados principalmente para eliminar el color, los sólidos en suspensión, los metales pesados y cualquier DQO restante. Los procesos que pueden usarse en esta etapa incluyen, entre otros, la sedimentación, la oxidación con ozono, la filtración con arena y la floculación. Los textos sobre tratamiento de aguas residuales incluyen información específica sobre el diseño y la operación de estos sistemas.

Los sistemas simples de tratamiento de lixiviado (que, por lo tanto, están dentro del alcance de varios lugares) podrían ser la única alternativa factible par algunas localidades. Con respecto a los sistemas simples, el almacenamiento y la evaporación constituyen la selección más adecuada. En lugares donde los sistemas de evaporación no son factibles, un sistema simples de tratamiento biológico podría ser una alternativa razonable para el tratamiento de lixiviado, especialmente si los residuos sólidos son predominantemente de origen doméstico, putrescibles y con un alto contenido de celulosa. En tales situaciones, los sistemas aerobios o anaerobios podrían constituir formas adecuadas de tratamiento. Los sistemas simples de aireación (por ejemplo, lagunas con aireación, lagunas de oxidación, etc.) con residencia hidráulica de entre 30 y 60 días, podrían funcionar bien, dependiendo principalmente del DBO del lixiviado.

7.5.3 Monitoreo de aguas subterráneas.

Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar anticipadamente un eventual paso de líquidos percolados a través de terreno y subsecuentemente adoptar las medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población por consumo de aguas de calidad inadecuada.

Para tales efectos los proyectos deben contener un programa de muestreo en forma sistemática en pozos ubicados aguas arriba y aguas abajo del relleno, de manera de poder determinar claramente cualquier variación de calidad química o bacteriológica de ésta. A lo menos uno de éstos debe estar inmediatamente aguas debajo de relleno con el fin de detectar lo más anticipadamente posible cualquier infiltración de lixiviado.

Factores importantes a considerar, entre otros, para dar inicio y determinar la frecuencia del muestreo son la profundidad y tamaño del acuífero, permeabilidad del terreno, precipitaciones en la zona, tamaño del relleno, etc.

Adicionalmete se debe de considerar un pozo de monitoreo ubicado en el sitio del relleno, el cual estará ubicado a nivel de la base del relleno, pueden estar construido de asbesto-cemento o plástico, de un diámetro de aproximadamente 40 cm. Que permita la introducción de un bote de material resistente a la acidez sujetos a una madera o varilla como se ilustra en la imagen N° 48.

La referencia en cuanto a análisis de aguas sub-superficiales y aguas lixiviadas se muestran los cuadros 36 y 37.

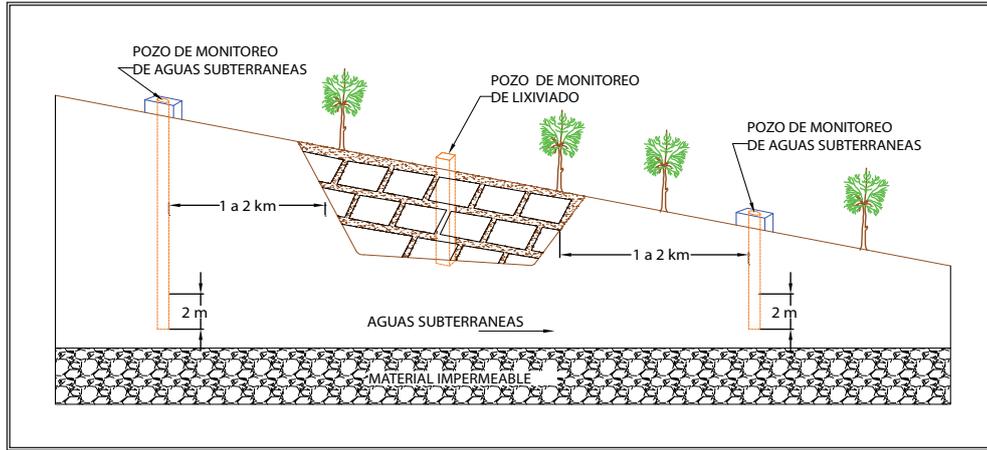


Imagen N° 47: Localización de pozos de monitoreo de aguas subterráneas y lixiviado en un relleno sanitario.

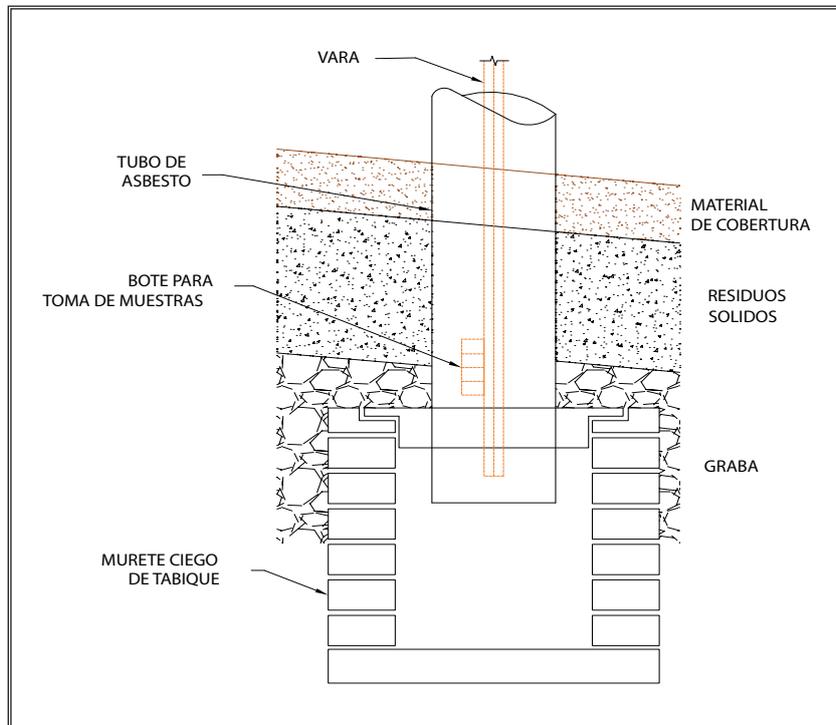


Imagen N° 48: Depósito para colectar muestras del lixiviado.

Cuadro N° 36: Referencia para el análisis de aguas subsuperficiales próximas a un relleno sanitario

1. Materia Orgánica	- Demanda Bioquímica de Oxígeno del 5° día (DBO5) - Demanda Química de Oxígeno (DQO)
2. Parámetros Físicos	- Conductancia Especifica - Turbiedad.
3. Parámetros Químicos	- Potencial de Hidrogeno pH. - Alcalinidad total como CaCO ₃ . - Cianuros (CN). - Cloruros (Cl). - Dureza total como CaCO ₃ . - Fosfatos totales como P-PO ₄ - Nitrógeno Orgánico como N-Org. - Nitrógeno Amoniacal como N-NH ₄ - Sulfatos (SO ₄)
3.1. Cationes	- Arsénico (As) - Cadmio (Cd) - Calcio (Ca) - Cobre (Cu) - Cromo Total (Cr) - Hierro Total - Magnesio - Mercurio - Níquel - Potasio - Plomo - Sodio - Zinc
4. Organismos indicadores Bacteriológicos:	- Bacterias Coliformes totales en NMP/100ml. - Bacterias Coliformes fecales en NMP/100ml.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 37: Referencia de resultados de análisis para lixiviado de un relleno sanitario

Componente	Ambito en mg/l o ppm.
2. Arsénico	0.04
3. Cadmio	0 – 0.025
4. Calcio	100 – 320
5. Cianuros	0
6. Cinc	0.25 – 3.0
7. Cloruros	1325 – 8870
8. Cobre	0-0.6
9. Conductancia especifica	7400-32000 umhos/cm

Continúa...

Componente	Ambito en mg/l o ppm.
10. Cromo total	0-8.7
11. Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5)	380-52000
12. Demanda química de oxígeno	1870-62320
13. Dureza total	1800-11000
14. Fluoruros	0.6-0.8
15. Fósforo Total	1-10
16. Hierro Total	1.7-1600
17. Magnesio	396-995
18. Manganeso	0.05-4.0
19. Mercurio	0-0.008
20. Nitratos	0
21. Nitritos	0.2-1.2
22. Nitrógeno amoniacal	15.5-1420
23. Nitrógeno orgánico	46-1889
24. Oxígeno disuelto	0
25. Potencial hidrogeno	6.3-7.9
26. Plomo	0-2.0
27. Potasio	365-1270
28. Sólidos totales	1700-16460
29. Sodio	490-4920
30. Sulfatos	40-1000
31. Detergentes	0.7-233
32. Turbiedad	128-1500 en UNT

Fuente: Gonzáles Urdela – Monitoreo Ambiental en Rellenos Sanitarios.

7.6 Control y monitoreo de gas

En los rellenos de área, se utilizan varios niveles de celdas para dar disposición a los residuos, por lo que es probable que se tenga una producción continua de biogás después de algunos años, cuando se alcancen unos tres niveles de celdas. Por esta razón resulta conveniente instalar chimeneas de drenaje, distantes de 20 a 25 m. entre si; en realidad esta última distancia debe ser obtenida a través de estudios en el terreno, lo que permite determinar lo que se denomina radio de influencia (distancia desde el centro de la chimenea que es influenciada por el drenaje). Ver imagen N° 49.

Cuando los rellenos sanitarios son construidos en depresiones, ya sean naturales o artificiales resulta conveniente hacer un dren perimetral con el fin de evitar la migración lateral, éste puede ser continuo o constituido por chimeneas colocadas a menores distancias que las ubicadas al interior del relleno. El gas de los drenes puede ser quemado en el mismo relleno o ser extraído para almacenarlo en gasómetros y luego enviarlo al consumo domiciliario o industrial.

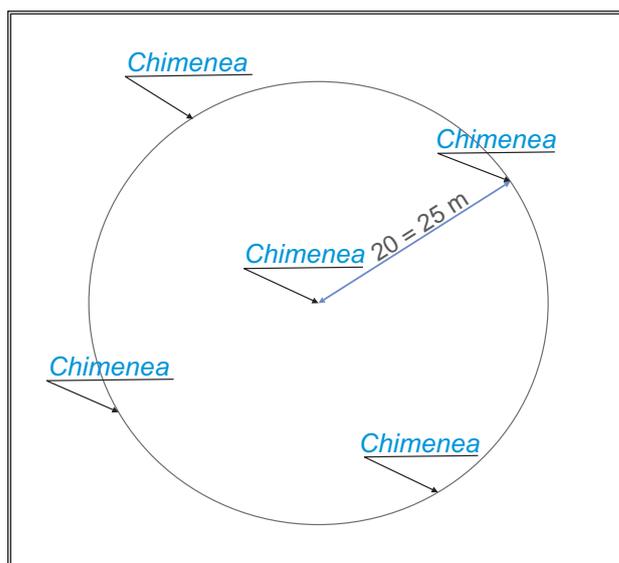


Imagen N° 49: Distancia influenciada desde el centro de la chimenea.

7.7 Manejo de registros

El manejo de registros de las operaciones dentro de los rellenos sanitarios, es un aspecto importante para diagnosticar y evaluar el funcionamiento del relleno sanitario en un momento dado; para realizar esta tarea se diseñan formatos, los cuales dependiendo de su contenido serán manejados diariamente, semanalmente y mensualmente.

7.8 Vigilancia y monitoreo ambiental

La vigilancia y el monitoreo ambiental tienen como fin generar la información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normatividad ambiental.

La autoridad ambiental nacional establece los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y monitoreo.

Debe entenderse que la autoridad ambiental competente ejerce acciones de vigilancia, control, seguimiento y otros similares como la vigilancia ciudadana, sobre toda persona natural o jurídica que genere impactos ambientales significativos y que cuente con instrumento de gestión ambiental (EIA o PAMA) aprobado que indique las medidas necesarias para evitar o reducir (mitigación) el daño ambiental a niveles tolerables.

El monitoreo ambiental es el control por medio de mediciones o muestreo, pueden ser ejecutados por la autoridad competente o por el promotor del proyecto u el operador del relleno sanitario, los resultados cuando son necesarios para los estudios ambientales y el diseño de un proyecto nuevo, se le conoce como monitoreo de línea base, estos se ejecutan antes de inicie el funcionamiento de la infraestructura.

Durante la etapa de operación del relleno sanitario también es necesario realizar monitoreo ambiental y la información resultante es útil para el control del adecuado funcionamiento de la instalación, finalmente una vez clausurado el relleno sanitario y durante un periodo no menor de 5 años (post-cierre) se debe realizar acciones de monitoreo ambiental, cuyos resultados permitirán oportunamente identificar alteraciones o comportamiento adecuado del clausurado relleno sanitario a fin de efectuar las correcciones necesarias que permitan una satisfactoria integración de la instalación a la comunidad adyacente.

7.8.1 Objetivos de monitoreo ambiental

a) Durante la fase de diseño del proyecto:

Evaluar el estado inicial de ciertos parámetros ambientales, que en el futuro sean susceptibles de ser utilizados como indicadores de alteraciones en el manejo del relleno sanitario, los mismos que deben contar con valores estándar de calidad ambiental.

b) Durante la fase de operación de la instalación:

Determinar la eficiencia y eficacia de las medidas de mitigación y controles implementados durante la etapa de operación mediante el establecimiento y evaluación de indicadores cualitativos y cuantitativos de calidad ambiental.

c) Durante la fase de cierre - post cierre de la instalación:

Determinar la eficiencia y eficacia de las medidas de mitigación y controles durante la etapa de cierre-post cierre mediante el establecimiento y evaluación de indicadores cualitativos y cuantitativos de calidad ambiental.

7.8.2 Ámbito de acción

El ámbito de acción de las acciones de vigilancia y monitoreo ambiental por lo general se define conforme al área de influencia ambiental del proyecto relleno sanitario, el mismo que debe estar precisado en el instrumento ambiental del proyecto.

7.8.3 Marco legal de referencia

La vigilancia y monitoreo ambiental en cuanto a su propuesta de parámetros a medir y evaluar se ajustará a los estándares de calidad y límites máximos permisibles establecidos por la Normatividad Nacional Vigente, en los estándares y/o límites que no estuvieran contemplados en ámbito nacional se asumirá los valores guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud - OMS.

- Decreto Supremo N° 002 - 2008 - MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua.
- Decreto Supremo N° 003 - 2008 - MINAM Estándares de Calidad Ambiental para el Aire.
- Decreto Supremo N° 085 - 2003 - PCM Estándares Nacionales de Calidad ambiental para el Ruido.
- Decreto Supremo N° 069-2003 - PCM Valor Anual de Concentración de Plomo.
- Decreto Supremo N° 074-2001- PCM Reglamento Anual de Concentración de Plomo.

7.8.4 Parámetros de monitoreo

Considerando, el factor contaminante, el tipo de impacto, los parámetros mínimos propuesto para monitoreo son los que se señalan, en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 38: Parámetros de monitoreo ambiental

Factor contaminante	Tipo de Impacto	Parámetro
BIOGAS	Contaminación del aire	CO
		H2S
		SO2
		NOX
LIXIVIADOS	Contaminación de aguas sub-superficiales y superficiales	DBO
		PH
		PLOMO
		ARSENICO
		CADMIO
		HIERRO
		PH
		ARSENICO
MAGNESIO		
POLVO	Contaminación del aire	PM 10

7.8.5 Frecuencia de muestreo.

La frecuencia y formas de almacenamiento y análisis de datos para cada parámetro seleccionado se muestran en el cuadro a continuación:

Cuadro N° 39: Frecuencia de muestreo

Parámetro	Frecuencia de Muestreo
CO	Trimestral
H2S	Trimestral
SO2	Trimestral
NOX	Trimestral
DBO	Bimestral
PH	Bimestral
PLOMO	Bimestral
ARSENICO	Bimestral
CADMIO	Bimestral
HIERRO	Bimestral

Continúa...

Parámetro	Frecuencia de Muestreo
PH	Bimestral
ARSENICO	Bimestral
MAGNESIO	Bimestral
PM 10	Trimestral

7.8.6 Responsables del plan de monitoreo ambiental

El promotor del proyecto u operador de la infraestructura, en el marco de su política de manejo ambiental, asignará un personal profesional y/o un técnico calificado con responsabilidad directa para la organización, supervisión y ejecución de las operaciones del monitoreo ambiental en sus diferentes fases, los resultados de los monitores, generará bases de datos y alimentarán el sistema de registro de información ambiental útil para retroalimentar y/o perfeccionar posteriores monitoreos, las acciones de supervisión de las operaciones será continua y las tareas correctivas de acción inmediata.

7.8.7 Operación del programa de monitoreo ambiental

Fase de diseño

En un plano a escala adecuada se presentará el diseño del sistema de monitoreo que prevé la ubicación de los pozos de monitoreo, los detalle de su construcción o instalación y la ubicación de las estaciones de monitoreo a medida que el relleno avanza, conforme con lo establecido en programa de monitoreo.

Fase de habilitación

Durante el proceso de habilitación se construirán los pozos de monitoreo para gases y para líquidos lixiviados, conforme lo establecido.

Fase operación

Durante esta fase los pozos de monitoreo iniciaran rutinas periódicas de inspección, evaluación, muestreo y/o mediciones, los datos o resultados conformaran bases de datos y estos se integraran al sistema de información ambiental del relleno. Los análisis y/o ensayos de laboratorio especializados se encargaran a laboratorios acreditados.

Fase de cierre

En esta fase se supervisará con detalle cada uno de los pozos de monitoreo, se ubicaran estaciones en las áreas ventiladas cerradas y en caso de detectarse indicios de contaminación, se evaluará y efectuará los correctivos necesarios que sean ambientalmente mas favorables.

Fase post - cierre

Durante un periodo no menor a 05 años posterior se realizaran acciones de monitoreo ambiental, que verificará el decaimiento de las tasas de emisión de gases y lixiviados hacia los niveles aceptables previstos, de detectarse alteraciones o anomalías, se evaluará y efectuará los correctivos necesarios que sean ambientalmente más favorables.

Material bibliográfico

CATERPILLAR "Curso Internacional: Tecnología de Rellenos Sanitarios". Perú, 1997.

CalRecovery Inc, "Guía de Rellenos Sanitarios en Países de Desarrollo" California, 1997

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, "Guía para el Diseño de Rellenos de Seguridad en América Latina". Perú, 1994. 47 pág.

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles "Informe de Consultoría sobre la Evaluación de la Operación del Relleno Sanitario de Mallasa". Bolivia, 2001.

Departamento de Saneamiento Ambiental "Mejoramiento de la disposición final de los desechos sólidos en el relleno sanitario del valle - Cuenca". México, 1995.

DIGESA, Marco Institucional de los Residuos Sólidos en el Perú, Perú, 2004. 126 pág.

Empresa de Servicio de Limpieza Municipal Pública del Callao, "Proyecto de Recolección y Disposición Final de los Residuos Sólidos en el Callao". Perú, 1993.

Fundación Ica "Algunas experiencia Municipales exitosas en el control de los residuos sólidos en México". México, 2002.

I Curso Internacional Clausura de Botaderos y Diseño de Rellenos Sanitarios, Lima - Perú, 2006.

Instituto Tecnológico Geominero de España, "Manual de Ingeniería de Residuos Sólidos Industriales y Urbanos" España, 1991. 256 pág.

Organización Panamericana de la Salud, "Informe de la Evaluación Regional de los servicios de manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe" Washington, D.C. 2005. 128 pág.

Organización Panamericana de la Salud, "Diagnóstico de la situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América latina y el Caribe", 2 da edición. Washington, D.C. 1998. 153 pág.

OPS/OMS "Descripción de la legislación Estadounidense sobre rellenos sanitarios" Washington, D.C., 1993.

Petts J.; Eduljee G. Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities, Great Britain, 1994. 485 pág.

Rushbrook P.; Pugh M. Solid Waste landfills in Middle and Lower Income Countries. A Technical Guide to Planning, Design, and Operation, Washington, EE.UU. 1998: Banco Mundial. 281 pág.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, "Proyecto tipo de Relleno Sanitario". México, 1984. 335 pág.

The Urban Unit Urban Sector Policy and Management Unit, Design and Operation of Sanitary Landfill, P&D Department. India, 2004 . 74 pág.