



Guía para el Cierre Técnico de Botaderos



DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



AUTORIDADES

MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

Lic. José Antonio Zamora Gutiérrez

VICEMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

Ing. Rubén Alejandro Méndez Estrada

DIRECTOR GENERAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Ing. Vladimir Onny Gutiérrez Ledezma

EQUIPO DE TRABAJO

Coordinación

Lic. Elisenda Realp Campalans- Agencia de Residuos de Cataluña (ARC)

Elaboración y Redacción

Ing. Luis Fernando Peñaranda Rodriguez	VAPSB/DGGIRS
Ing. Gladys Limachi Mamani	VAPSB/DGGIRS
Lic. Elisenda Realp Campalans	ARC

Edición y Diagramación

Ing. Roger Roberto Zeballos Valda	VAPSB/DGGIRS
-----------------------------------	--------------

Revisión VAPSB/DGGIRS

Dra. Rosmery Casillo Bautista	VAPSB/DGGIRS
Ing. Denise Evelyn Canelas Santiesteban	VAPSB/DGGIRS
Ing. Ronald Gutiérrez Hurtado	VAPSB/DGGIRS
Ing. Vladimir Onny Gutierrez Ledezma	VAPSB/DGGIRS
Ing. Roger Roberto Zeballos Valda	VAPSB/DGGIRS

Versión Preliminar(2011)

Ing. Jorge Siñani Coba

Proyecto Financiado por:

Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo

Agencia de Residuos de Cataluña

Esta publicación debe ser citada como:

MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía para el Cierre Técnico de Botaderos/2012

Primera Edición: 200 ejemplares

MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Calle Capitán Castrillo N° 434

Teléfonos: (591-2) 2-116583 – 2-115571 Fax: 2-116124

E-mail: dggirsvapsb@gmail.com

Bolivia 2012

PRESENTACIÓN

Uno de los problemas más graves relacionados al manejo de los residuos sólidos en Bolivia se refiere a la disposición final de los mismos. En más del 90% de los municipios, la disposición final se realiza en botaderos a cielo abierto, de los cuales aproximadamente el 30% se encuentran próximos a cuerpos de agua superficiales y en el 35% se realiza la quema, atentando en consecuencia al medio ambiente y la salud de la población.

La Ley de los Derechos de la Madre Tierra, señala como uno de sus principios la *Garantía de Restauración*, que establece: “*El Estado Plurinacional de Bolivia y cualquier persona individual, colectiva o comunitaria que ocasione daños de forma accidental o premeditada a los componentes, zonas y sistemas de vida de la Madre Tierra, está obligada a realizar una integral y efectiva restauración o rehabilitación de la funcionalidad de los mismos, de manera que se aproximen a las condiciones preexistentes al daño, independientemente de otras responsabilidades que puedan determinarse*”.

En ese marco, un sitio de disposición final mal operado deberá necesariamente ingresar a un proceso de restauración y/o remediación de los impactos generados al medio ambiente, lo cual pasa por diseñar e implementar un proyecto de cierre técnico y saneamiento o un proyecto de cierre técnico y rehabilitación del actual sitio.

Por otra parte, algunos botaderos pueden convertirse en rellenos sanitarios de modo tal que el lugar rehabilitado opere sin causar contaminación ambiental ni daños a la salud de la población. En Bolivia existen muy pocas experiencias locales de este tipo, a pesar que la normativa vigente establece el cierre de los botaderos en un plazo determinado.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, en el marco de la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, ha ido desarrollando e impulsando la Gestión Integral de Residuos Sólidos a través de la formulación de políticas y principios orientados básicamente a implementar sistemas de prevención, aprovechamiento y disposición final adecuada de residuos sólidos; esto significa realizar los mayores esfuerzos para aprovechar los residuos y lograr disponer solo aquellos que no pudieron ser aprovechados.

En ese contexto, se ha elaborado la presente “**Guía para el Cierre Técnico de Botaderos**”, que proporciona una serie de información y herramientas que podrán utilizar los diferentes actores relacionados al sector para el cierre técnico de botaderos o su rehabilitación, coadyuvando de esta manera a mejorar la gestión integral de residuos a nivel nacional y reduciendo los actuales índices de disposición final inadecuada.

La gestión integral de residuos sólidos es responsabilidad de todos nosotros.

Lic. José Antonio Zamora Gutiérrez
MINISTRO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	ix
1 CAPÍTULO I: MARCO NORMATIVO Y CONCEPTUAL	3
1.1 Marco Normativo	3
1.2 Marco conceptual	6
1.3 Riesgos Ambientales y de Salud provocados por los Botaderos	7
2 CAPÍTULO II: SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN BOLIVIA	15
2.1 Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en Bolivia.....	15
2.2 Situación actual de la disposición final de residuos sólidos en Bolivia	17
3 CAPÍTULO III: PROCESO GENERAL DEL CIERRE DE UN BOTADERO	23
3.1 Lineamientos Generales	23
3.2 Evaluación de las alternativas técnicas	25
4 CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE BOTADEROS	29
4.1 Diagnóstico técnico ambiental del botadero	29
4.2 Identificación de impactos ambientales ocasionados por un botadero.....	30
4.3 Metodología para la evaluación técnico – ambiental de un botadero.....	31
5 CAPITULO V: CIERRE TÉCNICO DE BOTADEROS	37
5.1 Cierre Técnico	37
5.1.1 Actividades previas.....	37
5.1.2 Actividades previas al Cierre de Botaderos	38
5.2 Operaciones técnicas de cierre.....	40
5.2.1 Excavación y traslado de los residuos al relleno sanitario.....	41
5.2.2 Cierre técnico in situ y saneamiento	42
5.2.3 Uso final del sitio	66
5.3 Rehabilitación de botaderos.....	67
5.4 Datos Complementarios.....	68
5.5 Anexos de Planos.....	68
6 CAPÍTULO VI: MANTENIMIENTO Y MONITOREO POST – CIERRE TÉCNICO DEL SITIO	71
6.1 Post – Cierre técnico	71
6.2 Mantenimiento de las obras de cierre técnico del botadero	71
6.2.1 Mantenimiento de las vías de circulación	71
6.2.2 Mantenimiento de la cobertura final	71
6.2.3 Mantenimiento de la cobertura vegetal en la celda.....	72

6.2.4	Mantenimiento de áreas verdes	72
6.2.5	Mantenimiento del sistema de drenaje de aguas superficiales	72
6.2.6	Asentamiento en celdas	72
6.2.7	Adecuación y mantenimiento de taludes y banquetas	73
6.2.8	Mantenimiento del sistema de captación de lixiviados	73
6.2.9	Mantenimiento de piscinas de almacenamiento de lixiviados	73
6.2.10	Mantenimiento del sistema de captación de biogás	74
6.3	Actividades de monitoreo ambiental Post – Cierre Técnico	74
6.4	Programa de control y monitoreo ambiental	74
6.4.1	Monitoreo de aguas subterráneas.....	74
6.4.2	Monitoreo de las aguas superficiales.....	75
6.4.3	Monitoreo de lixiviado.....	75
6.4.4	Monitoreo de Biogás.....	76
6.4.5	Monitoreo del Aire	76
6.4.6	Monitoreo del suelo	76
6.5	Contenido Mínimo de los Informes de Mantenimiento y Monitoreo.....	77
7	CAPÍTULO VII: ELABORACIÓN DEL MANIFIESTO AMBIENTAL.....	81
7.1	El Manifiesto Ambiental y el Reglamento General de Gestión Ambiental	81
7.2	El Manifiesto Ambiental y el Reglamento de Prevención y Control Ambiental	81
7.3	Preparación del Manifiesto Ambiental.....	82
	BIBLIOGRAFÍA.....	84
8	ANEXO I: FICHA DE EVALUACION DE BOTADEROS	89
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	92

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1: Clasificación de los Sitios de Disposición Final.....	6
Cuadro 1.2: Transmisión de enfermedades según tipo de vector	9
Cuadro 2.1: Índice de PPC domiciliario nacional, por categoría poblacional	15
Cuadro 4.1: Identificación de impactos ambientales por factor/atributo ambiental	30
Cuadro 4.2: Evaluación o valoración del Impactos Ambientales.....	32
Cuadro 4.3: Evaluación o valoración de Botaderos	33
Cuadro 5.1: Tecnologías para tratamiento de lixiviados	48
Cuadro 5.2: Tipo y requerimiento técnicos para el tratamiento de biogás	54
Cuadro 5.3: Construcción de la Capa Final.....	58
Cuadro 6.1: Fallas vs Causas de Movimientos de Tierras	73
Cuadro 6.2: Aspectos Sujetos de Control y Monitoreo.....	74
Cuadro 6.3: Frecuencia de Muestreo de Parámetros de Calidad de las Aguas Subterráneas	75
Cuadro 6.4: Monitoreo de Biogás	76
Cuadro 6.5: Monitoreo del Aire	76
Cuadro 6.6: Monitoreo del Suelo	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Contaminación de aguas por disposición inadecuada de residuos sólidos.....	8
Figura 1.2: Contaminación al Aire	8
Figura 1.3: Cría de animales en botaderos	10
Figura 1.4: Actividades de segregación en botaderos.....	10
Figura 1.5: Resumen sobre los efectos de la disposición inadecuada de residuos sólidos...	11
Figura 2.1: Composición media de residuos sólidos en Bolivia	15
Figura 2.2: Porcentaje de recolección media por fuente	16
Figura 2.3: Gestión actual de residuos sólidos en Bolivia, Enfoque general	16
Figura 2.4: Disposición final de residuos sólidos en Bolivia	17
Figura 2.5: Disposición Final de Residuos Sólidos en algunas ciudades del país.....	18
Figura 2.6: Mapa de Lugares de Disposición Final.....	19
Figura 3.1: Proceso de Cierre técnico y/o rehabilitación del Botadero.....	25
Figura 5.1: Cerco Perimetral Tipo.....	39
Figura 5.2: Colocación de Cerco Perimetral.....	39

Figura 5.3: Colocación de letrero informativo.....	40
Figura 5.4: Cierre técnico del relleno sanitario del distrito de Moquegua – Perú	42
Figura 5.5: Habilitación de vías.....	43
Figura 5.6: Zanja de coronamiento para drenaje de aguas pluviales	44
Figura 5.7: Drenajes de captación de lixiviados	45
Figura 5.8: Transversal del Dren Basal.....	46
Figura 5.9: Sistema de Captación de Lixiviados.....	46
Figura 5.10: Sistema de Almacenamiento de Lixiviados	47
Figura 5.11: Composición de los Gases en cada fase de Descomposición	49
Figura 5.12: Captadores de Biogás en Botadero con Cobertura de Sellado	50
Figura 5.13: Captadores de biogás en botadero con cobertura de sellado	51
Figura 5.14: Captadores de biogás con tecnología para opciones simplificadas	51
Figura 5.15: Ejemplo de pozo de captación profundo y combustión conjunta.....	52
Figura 5.16: Ubicación de chimeneas de venteo de biogás	53
Figura 5.17: Aprovechamiento de biogás.....	54
Figura 5.18: Peligros en la Construcción de Talud y Relleno Sanitario	55
Figura 5.19: Cuidados Para Disposición de Residuos Sólidos.....	56
Figura 5.20: Ejemplos de estabilización y conformación de banquinas	57
Figura 5.21: Capas de Cobertura.....	60
Figura 5.22: Construcción de la capa final en botadero	61
Figura 5.23: Forestación de Rellenos	62
Figura 5.24: Ejemplos de Cubiertas con Materiales Sintéticos.....	62
Figura 5.25: Esquema de un Pozo de monitoreo	64
Figura 5.26: Instalación de piezómetros o pozos de monitoreo	64
Figura 5.27: Parque ambiental en antiguo botadero cerrado	66
Figura 5.28: Integración en el paisaje de relleno sanitario	67

GUÍA PARA EL CIERRE TÉCNICO DE BOTADEROS

INTRODUCCIÓN

La disposición final es la última etapa del manejo de residuos sólidos y en caso que no sea ejecutada en las condiciones técnicas necesarias, genera serios riesgos para la salud y el medio ambiente.

En Bolivia, el problema de la disposición final de residuos sólidos es crítico; en su mayoría éstos no son manejados adecuadamente; más del 90% de los municipios cuentan con botaderos a cielo abierto y el 30% de éstos se encuentran próximos a cuerpos de agua superficial, generando riesgo de contaminación a posibles fuentes de agua para consumo humano y riego.

De acuerdo a la normativa vigente, los botaderos deben proceder a su **cierre técnico definitivo** o bien, si el sitio es adecuado y cumple la normativa para ubicación de sitios y no se han producido problemas de contaminación, se puede proceder a **rehabilitar** el lugar para continuar operando como relleno sanitario, siempre y cuando previamente se realice el cierre técnico del área que había estado operando como botadero. En Bolivia existen muy pocas experiencias de este tipo ya que la disposición final de los residuos sólidos no ha tenido prioridad en su atención por los gobiernos municipales y la población.

Ante las importantes iniciativas de desarrollo socioeconómico, en armonía con el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales que el país viene proponiendo, el cierre técnico o la rehabilitación (conversión a relleno sanitario), representan un desafío impostergable. Más aún cuando la legislación boliviana (Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos aprobado mediante Decreto Supremo No. 24176) prohíbe expresamente la utilización de los botaderos como medio para la disposición final de los residuos sólidos y establecía el plazo de 1 año para el cierre de éstos desde la entrada en vigencia del mencionado Decreto Supremo, el 8 de diciembre de 1995.

CAPÍTULO I: MARCO NORMATIVO Y CONCEPTUAL

CAPÍTULO I: MARCO NORMATIVO Y CONCEPTUAL

1.1 Marco Normativo

El marco normativo toma como base los preceptos señalados en el Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos y se apoya en las políticas establecidas por la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, la Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien y la Ley de Medio Ambiente.

a) Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (2009)

En enero de 2009, se aprobó la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia. Referente al sector de residuos sólidos, la Constitución establece competencias privativas y exclusivas para el nivel central del Estado, competencias concurrentes entre el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas, y para los gobiernos municipales autónomos establece competencias exclusivas. Los artículos relacionados al objeto de la Guía son los siguientes:

Artículo 299: *II. Las siguientes competencias se ejercerán de forma concurrente por el nivel central del Estado y las entidades territoriales autónomas:*

- ...1. Preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y fauna silvestre manteniendo el equilibrio ecológico y el control de la contaminación ambiental.*
- 8. Residuos industriales y peligrosos.*
- 9. Proyectos de agua potable y tratamiento de residuos sólidos.*

Artículo 302: *I. Son competencias exclusivas de los gobiernos municipales autónomos, en su jurisdicción:*

- 5. Preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y recursos naturales, fauna silvestre y animales domésticos.*
- 6. Elaboración de Planes de Ordenamiento Territorial y de uso de suelos, en coordinación con los planes del nivel central del Estado, departamental e indígena.*
- 27. Aseo urbano, manejo y tratamiento de residuos sólidos en el marco de la política del Estado.”*

b) Ley de Derechos de la Madre Tierra N° 071 (2010) y Ley de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien N° 300 (2012)

La Ley N° 071 establece como objeto en el Artículo 1, reconocer los derechos de la Madre Tierra, también establece las obligaciones y deberes del Estado Plurinacional y de la sociedad para garantizar el respeto de estos derechos.

En materia de residuos se presenta una implícita relación con los botaderos, en su Artículo 7 “Derechos de la Madre Tierra”, inciso 7 que señala lo siguiente:

“A vivir libre de contaminación: Es el derecho a la preservación de la Madre Tierra de contaminación de cualquiera de sus componentes, así como de residuos tóxicos y radioactivos generados por las actividades.”

La Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien N° 300, establece principios de cumplimiento de la misma que con relación al cierre técnico de botaderos se pueden mencionar los siguientes:

- ✓ *Garantía de Restauración de la Madre Tierra. El Estado Plurinacional de Bolivia y cualquier persona individual, colectiva o comunitaria que ocasione daños de forma accidental o premeditada a los componentes, zonas y sistemas de vida de la Madre Tierra, está obligada a realizar una integral y efectiva restauración o rehabilitación de la funcionalidad*

de los mismos, de manera que se aproximen a las condiciones preexistentes al daño, independientemente de otras responsabilidades que puedan determinarse.

- ✓ *Responsabilidad Histórica. El Estado y la sociedad asumen la obligación de impulsar las acciones que garanticen la mitigación, reparación y restauración de los daños de magnitud a los componentes, zonas y sistemas de vida de la Madre Tierra.*

En el Artículo 10. Obligaciones del Estado Plurinacional, numeral 7, establece: *“El Estado Plurinacional de Bolivia tiene la obligación de... Avanzar en la eliminación gradual de la contaminación de la Madre Tierra, estableciendo responsabilidades y sanciones a quienes atenten contra sus derechos y especialmente al aire limpio y a vivir libre de contaminación.”*

En el Artículo 31. (Gestión de Residuos) disposiciones que tienen relación con el tema: *“Las bases y orientaciones del Vivir bien, a través del desarrollo integral en gestión de residuos son:*

- ✓ *Desarrollar mecanismos institucionales, técnicos y legales de prevención, disminución y reducción de la generación de los residuos, su utilización, reciclaje, tratamiento, disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco...*
- ✓ *Garantizar el manejo y tratamiento de residuos de acuerdo a Ley específica”.*

c) Ley de Medio Ambiente Nº 1333

Aprobada el 27 de abril de 1992, establece los lineamientos para regular las acciones antropogénicas con respecto al medio ambiente, enfocadas a lograr el desarrollo sostenible. Particularmente, se destacan los Artículos 17 y 19:

El Artículo 17 establece: *“Es deber del Estado y la sociedad, garantizar el derecho que tiene toda persona y ser viviente a disfrutar de un ambiente sano y agradable en el desarrollo y ejercicio de sus actividades.”*

Por su parte el Artículo 19 señala que son objetivos del control de la calidad ambiental:

- “1. Preservar, conservar, mejorar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales a fin de elevar la calidad de vida de la población.*
- 2. Normar y regular la utilización del medio ambiente y los recursos naturales en beneficio de la sociedad en su conjunto.*
- 3. Prevenir, controlar, restringir y evitar actividades que conlleven efectos nocivos o peligrosos para la salud y/o deterioren el medio ambiente y los recursos naturales.*
- 4. Normar y orientar las actividades del Estado y la Sociedad en lo referente a la protección del medio ambiente y al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a objeto de garantizar la satisfacción de las necesidades de la presente y futuras generaciones.”*

La reglamentación a la Ley Nº 1333 del Medio Ambiente, se halla en vigencia por D.S. 24176 de 8 de diciembre de 1995.

El cierre técnico de botaderos, debe considerar la aplicación de la Ley de Medio Ambiente Nº1333 y sus Reglamentos. Dicha normativa comprende de 5 Instrumentos de Regulación Directa de Alcance General y 3 reglamentos sectoriales. Los principales reglamentos a efectos de la presente Guía son:

Reglamento de Prevención y Control Ambiental (RPCA - D.S. 24176 de 8 de diciembre de 1995). Señala el marco institucional tanto a nivel nacional, departamental, municipal y sectorial, encargado de los procesos de prevención y control ambiental. Regula las disposiciones legales en materia de evaluación de impacto ambiental y control de calidad ambiental. Tiene por objeto la protección, conservación del medio ambiente y los recursos naturales, promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA - D.S. 24176 de 8 de diciembre de 1995) y Modificaciones y aclaraciones al RMCA (D.S. No 28139 de 16 de mayo de 2005). Define el ámbito de aplicación, el marco institucional correspondiente y los procedimientos para la evaluación y control de la calidad del aire.

Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH - D.S. 24176 de 8 de diciembre de 1995). Regula la calidad y protección de los recursos hídricos, mediante la planificación de su uso y las normas de prevención y control de la contaminación, protegiendo el recurso agua dentro del marco conceptual de desarrollo sostenible.

Reglamento para Actividades con Sustancias Peligrosas (RASP - D.S. 24176 de 8 de diciembre de 1995); y Aprobación del formato de la Licencia para Actividades con Sustancias Peligrosas (R.A. VBRFMA No 014/08 de 17 de marzo de 2008). Señala el ámbito de aplicación y el marco institucional tanto a nivel nacional, departamental, municipal, sectorial e institucional para el registro y licencia, del manejo y generación de sustancias peligrosas.

Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos

El Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos tiene por objeto: *“establecer el régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la gestión de los residuos sólidos, fomentando el aprovechamiento de los mismos mediante la adecuada recuperación de los recursos en ellos contenidos”.*

De su contenido, se destaca el siguiente Artículo:

“Artículo 8. Los botaderos que se encuentren en operación a la fecha de promulgación del presente Reglamento, deberán someterse al respectivo saneamiento en un plazo máximo de un año a partir de esta misma fecha.”

Los siguientes artículos se relacionan con la temática de la presente Guía:

Artículo 70. La disposición final de los residuos que no sean reutilizados, reciclados o aprovechados, deberá llevarse a cabo evitando toda influencia perjudicial para el suelo, vegetación y fauna, la degradación del paisaje, la contaminación del aire y las aguas, y en general todo lo que pueda atentar contra el ser humano o el medio ambiente que lo rodea”

Artículo 71. La operación de todos los sitios de disposición final para residuos sólidos deberá realizarse conforme al método de relleno sanitario.

Artículo 80. Todo sitio de disposición final de residuos sólidos que no haya sido previamente autorizado será declarado clandestino y como consecuencia se impedirá su utilización.

Artículo 91. Son prohibiciones, las siguientes:

- a) arrojar o abandonar residuos sólidos de cualquier especie en áreas públicas, quebradas, cuerpos y cursos de agua, y en general en sitios no autorizados;*
- c) abandonar en áreas públicas animales muertos o residuos y sustancias peligrosas para la salud pública o que despidan olores desagradables;*
- d) quemar residuos sólidos;*
- h) establecer botaderos o fomentar su existencia;*
- i) almacenar residuos a cielo abierto en áreas no autorizadas.”*

1.2 Marco conceptual

A continuación, se presenta el marco conceptual en relación a la disposición final, clausura y cierre técnico de botaderos. Se entiende por:

Disposición final: Proceso u operación efectuada para disponer los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente.

Botadero a cielo abierto: *“Sitio de acumulación de residuos sólidos, que no cumple con las disposiciones vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente general¹.”*

“Sitio de acumulación inapropiada e indebida de residuos que no cumplen con las disposiciones vigentes, creando o pudiendo crear riesgos sanitarios y/o ambientales².”

En este sitio de disposición final se disponen los residuos sólidos sin ningún tipo de control; los residuos no se compactan ni cubren diariamente lo que produce malos olores, gases y líquidos contaminantes (lixiviados). En muchos casos, en estos sitios existen segregadores y animales domésticos que ponen en riesgo la salud.

Botadero controlado: Sitio de disposición final, que a pesar de no disponer de todas las medidas técnicas necesarias, cuenta con algunas medidas y actividades de control y mantenimiento, como el compactado y recubrimiento con material de cobertura.

“Sitio de disposición final en el que se han implementado ciertas medidas de control, sin que éstas lleguen a las medidas de rigor técnico necesarias para que el sitio sea considerado como un relleno sanitario².”

Relleno Sanitario: *“Obra de ingeniería para la disposición final segura de residuos sólidos en sitios adecuados y bajo condiciones controladas, para evitar daños al ambiente y la salud¹.”*

Los residuos sólidos se confinan en el menor volumen posible a través de su compactación, controlando la emisión de biogás mediante su captación y quema o aprovechamiento, controlando la generación de lixiviados a través de su captación, conducción, almacenamiento y tratamiento y minimizando olores no deseados por medio de la cobertura continua.

Cuadro 1.1: Clasificación de los Sitios de Disposición Final					
Descripción	Botadero		Relleno Sanitario		
	A cielo abierto	Controlado	Manual	Semi-mecanizado	Mecanizado
Cobertura diaria	No	Si	Si	Si	Si
Impermeabilización de la base	No	No	Si	Si	Si
Sistema de recolección y tratamiento de lixiviados	No	Si/No	Si	Si	Si
Sistema de drenaje de aguas pluviales	No	No	Si	Si	Si

¹Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, 1996, D.S. 24176

²MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

Cuadro 1.1: Clasificación de los Sitios de Disposición Final

Descripción	Botadero		Relleno Sanitario		
	A cielo abierto	Controlado	Manual	Semi-mecanizado	Mecanizado
Sistema de control de gases	No	Si/No	Si	Si	Si
Compactación de material de cubierta	No	Manual	Manual	Mecanizado	Mecanizado

Fuente: Adaptado de la Guía práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos, Carlos Eduardo Meléndez, 2004.

Clausura de un botadero. Suspensión de la disposición de residuos en un sitio de disposición final que no cumple lo establecido en la normativa ambiental vigente.

Cierre técnico de un botadero: Sellado de un relleno sanitario por haber concluido su vida útil cumpliendo las condiciones establecidas en la normativa correspondiente. Conlleva a un proceso gradual de saneamiento, restauración ambiental del área alterada debido al manejo inadecuado de los residuos sólidos y la falta de acciones técnicas y ambientales, y al control y monitoreo durante la disposición final.

Rehabilitación de un botadero: Es el proceso de transformación de un botadero a un sistema de disposición final técnico, sanitario y ambientalmente adecuado, con el objetivo de continuar con la disposición final de los residuos sólidos de forma segura desde el punto de vista ambiental y de salud.

1.3 Riesgos Ambientales y de Salud provocados por los Botaderos

Los riesgos ambientales en los botaderos a cielo abierto, se convierten en riesgos a la salud de corto a largo plazo, debido a los siguientes factores:

- ✓ **Generan lixiviados:** La descomposición de los residuos orgánicos al interior de los rellenos sanitarios o botaderos debido a su gran contenido de humedad (50 a 80 %), es una de las principales fuentes de generación de lixiviados (líquidos percolados).

Cuando los líquidos no son captados existe el riesgo que este mezcle con las aguas superficiales o se infiltre hasta llegar a las aguas subterráneas causando problemas de contaminación que pueden significar la pérdida de este recurso para consumo humano y riego, así como ocasionar impactos en la fauna y vegetación.

Figura 1.1: Contaminación de aguas por disposición inadecuada de residuos sólidos



Fuente: MMAyA/VAPS/DGGIRS(fotos) y Adaptado de Environment Canadá. www.ec.gc.ca (Mapa contaminación aguas)

- ✓ **Generan biogás y otros gases por la quema incontrolada, gases de efecto invernadero:** La degradación anaerobia de los residuos sólidos orgánicos en el interior del relleno sanitario o botadero tiene como consecuencia la generación de gases, principalmente gas metano, considerando como gas de efecto invernadero, que contribuye al cambio climático global. Estos gases deben ser captados y tratados o aprovechados antes de ser emitidos a la atmósfera.

En los botaderos, la quema incontrolada de residuos de plástico y otros, genera gases tóxicos.

Figura 1.2: Contaminación al Aire



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

- ✓ **Generan olores:** La degradación de los residuos sólidos en condiciones anaeróbicas en el interior del relleno sanitario o botadero y su exposición al ambiente, provoca emanación de olores desagradables que deben ser mitigados. En los botaderos, generalmente no se realiza recubrimiento de los residuos, por lo que la emanación de los olores es aún más desagradable.
- ✓ **Generan impacto visual por dispersión de residuos por acción del viento:** Los residuos en un botadero no son compactados ni se contempla su cobertura con tierra por lo que normalmente el viento los dispersa en la zona donde éste se encuentre.
- ✓ **Generan proliferación de vectores:** Los residuos en un botadero no son cubiertos de tierra por lo que se propician las condiciones para la proliferación de vectores de enfermedades como moscas, insectos, ratas y otros.

Cuadro 1.2: Transmisión de enfermedades según tipo de vector		
Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	Mordisco, Orina y heces	Peste bubónica
	Pulgas	Tifus Leptospirosis
Moscas	Vía mecánica (Alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea
		Salmonelosis
		Cólera
		Amibiasis
Moscas	Vía mecánica (Alas, patas y cuerpo)	Disentería
		Giardias
Mosquitos	Picadura del mosquito	Malaria
		Leishmaniosis
		Fiebre Amarilla
		Dengue
		Filariosis
Cucarachas	Vía mecánica (Alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea
		Cólera
		Giardiasis
Cerdos	Ingestión de carne contaminada	Cisticercosis
		Toxoplasmosis
		Triquinosis
		Teniasis

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

- ✓ **Propician las actividades de cría de animales domésticos:** Al tener los residuos expuestos en los botaderos, se dan las condiciones para que los habitantes de áreas colindantes (normalmente de área semirural y rural) alimenten sus animales domésticos con residuos orgánicos contaminados, que posteriormente comercializan para alimentación de la población.

Figura 1.3: Cría de animales en botaderos



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

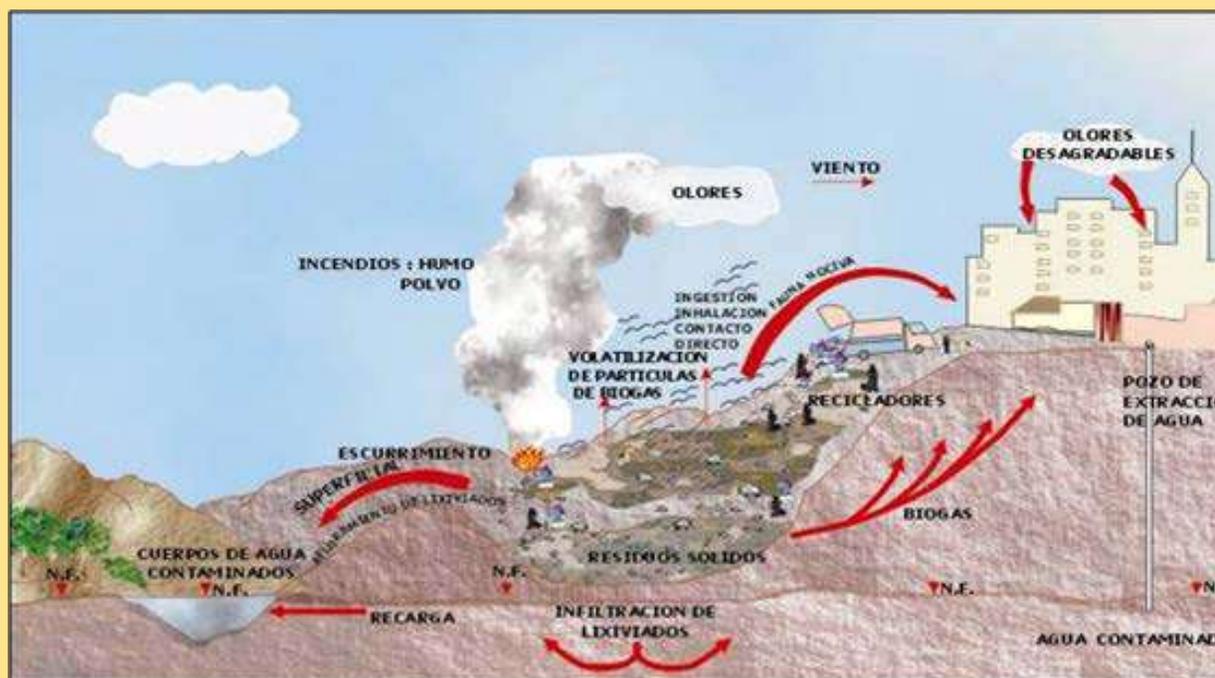
- ✓ **Fomentan las actividades de segregación de residuos en condiciones insalubres:** En muchos botaderos las personas de escasos recursos, en su mayoría mujeres y niños, se dedican a la segregación y clasificación de residuos reciclables en condiciones completamente insalubres con el permanente riesgo de contraer enfermedades de todo tipo y tener accidentes que afecten su integridad física.

Figura 1.4: Actividades de segregación en botaderos



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Figura 1.5: Resumen sobre los efectos de la disposición inadecuada de residuos sólidos



Fuente: Hernández Barrios, Claudia P.; Wehenpohl, Gunther. *Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el Estado de México*. México, D.F., Secretaría de Ecología, 2000.

CAPÍTULO II: SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN FINAL EN BOLIVIA

CAPÍTULO II: SITUACIÓN ACTUAL DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN BOLIVIA

2.1 Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en Bolivia

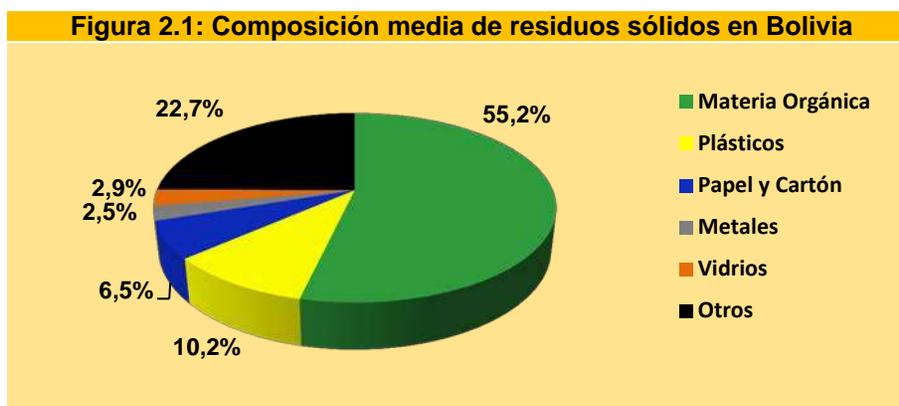
El manejo inadecuado de los residuos sólidos, se ha convertido en uno de los principales problemas que afectan al medio ambiente y la salud, más aún cuando estos son dispuestos de forma incontrolada e indiscriminada, principalmente los residuos no biodegradables y peligrosos que muchas veces son expuestos a cielo abierto a quemas incontroladas creando riesgos de contaminación hacia los recursos hídricos, suelo y aire.

El Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia³, indica que el país genera aproximadamente 4.782 Ton/día de los cuales el 85% corresponde al área urbana y el 15% al área rural. En función a los datos obtenidos por categoría poblacional, se estima que el Índice Promedio Ponderado de Producción Per Cápita de residuos sólidos domiciliarios en Bolivia es de 0,50 Kg/habitante-día.

Cuadro 2.1: Índice de PPC domiciliario nacional, por categoría poblacional (Kg/Hab-día)		
Categoría poblacional	Población urbana	Promedio ponderado
Capital metropolitanas	Mayor a 500.000	0,53
Resto ciudades capitales	Entre 100.000 a 500.000	0,48
Mayor	Entre 100.000 a 500.000	0,46
Intermedio	Entre 10.000 a 100.000	0,45
Menor	Entre 2.000 a 10.000	0,42
Rural	Menor a 2.000	0,20
Total Municipios		0,50

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

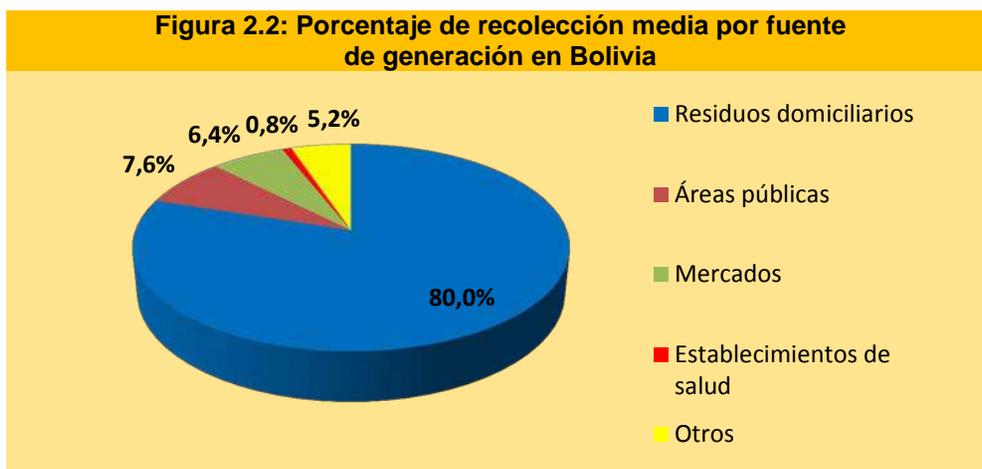
Respecto a su composición, el 55,2% son residuos orgánicos o biodegradables, el 22,1% son reciclables y el 25,6% son residuos no aprovechables.



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

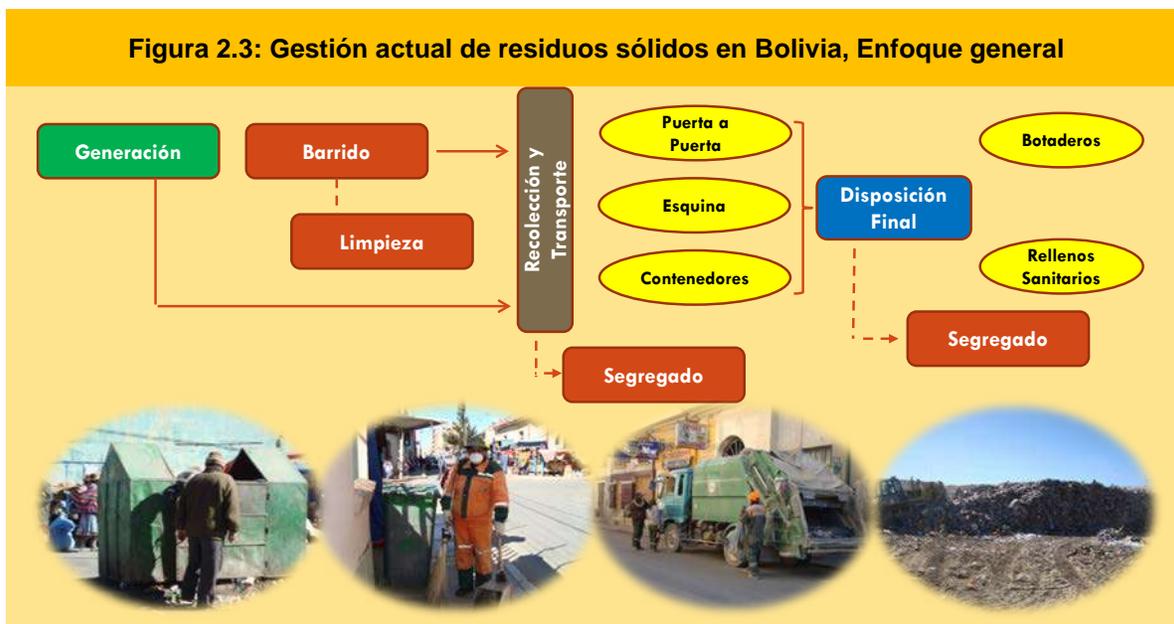
³MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

Del total de residuos que se recolectan, aproximadamente el 80% provienen de fuente domiciliaria, de acuerdo a la siguiente figura:



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

La gestión de los residuos sólidos en Bolivia está dirigida principalmente a la gestión de los servicios de aseo, especialmente la recolección y transporte y en el mejor de los casos a la disposición final, aunque con algunas deficiencias técnicas y ambientales. Las demandas de servicio, han superado la capacidad técnica y financiera de atención, generando recurrentes deficiencias en la prestación y en algunos casos ha derivado en colapsos ambientales que requieren de pronta atención.

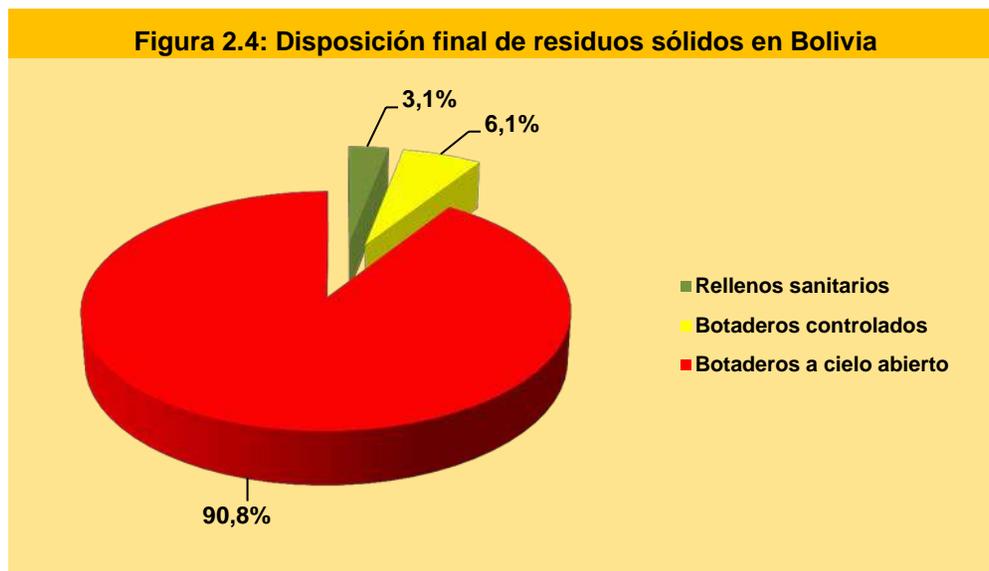


Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

Principalmente, en las ciudades capitales y algunos municipios mayores, la gestión de los servicios se realiza a través de entidades municipales de aseo, algunas descentralizadas y otras desconcentradas de la administración pública. En el resto de los municipios el servicio es gestionado por los gobiernos municipales de manera directa.

2.2 Situación actual de la disposición final de residuos sólidos en Bolivia

La disposición final de residuos sólidos corresponde a la última etapa del manejo de residuos y es la que mayores problemas presenta por los impactos ambientales que implica su operación. Se estima que del total de municipios en el país, el 90,8% cuentan con botaderos a cielo abierto, el 6,1% con botaderos controlados y sólo el 3,1% cuentan con rellenos sanitarios.



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

De los 337 municipios que conforman el país en el año 2012, el 90,8% dispone sus residuos a cielo abierto, el 6,1% en botaderos controlados y sólo el 3,1% en rellenos sanitarios.

Del total de residuos generados a nivel nacional, aproximadamente el 45% es dispuesto en rellenos sanitarios, el 18% se dispone en botaderos controlados y el 37% es dispuesto en botaderos a cielo abierto.

A nivel poblacional, se estima que del total de población solo el 34% es atendido con la tecnología de relleno sanitario.

El problema ambiental que ocasionan los botaderos a cielo abierto es de gran magnitud ya que del total de municipios identificados con botaderos a cielo abierto según en el Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia, 2010, el 30% de éstos están próximos a orillas de ríos, el 5% cerca de cultivos y el 25% a una distancia menor a 1 Km del centro poblado.

Figura 2.5: Disposición Final de Residuos Sólidos en algunas ciudades del país



Relleño Sanitario ciudad de La Paz



Botadero Controlado Potosí



Botadero Controlado Incahuasi - Chuquisaca



Botadero a cielo abierto Apolo

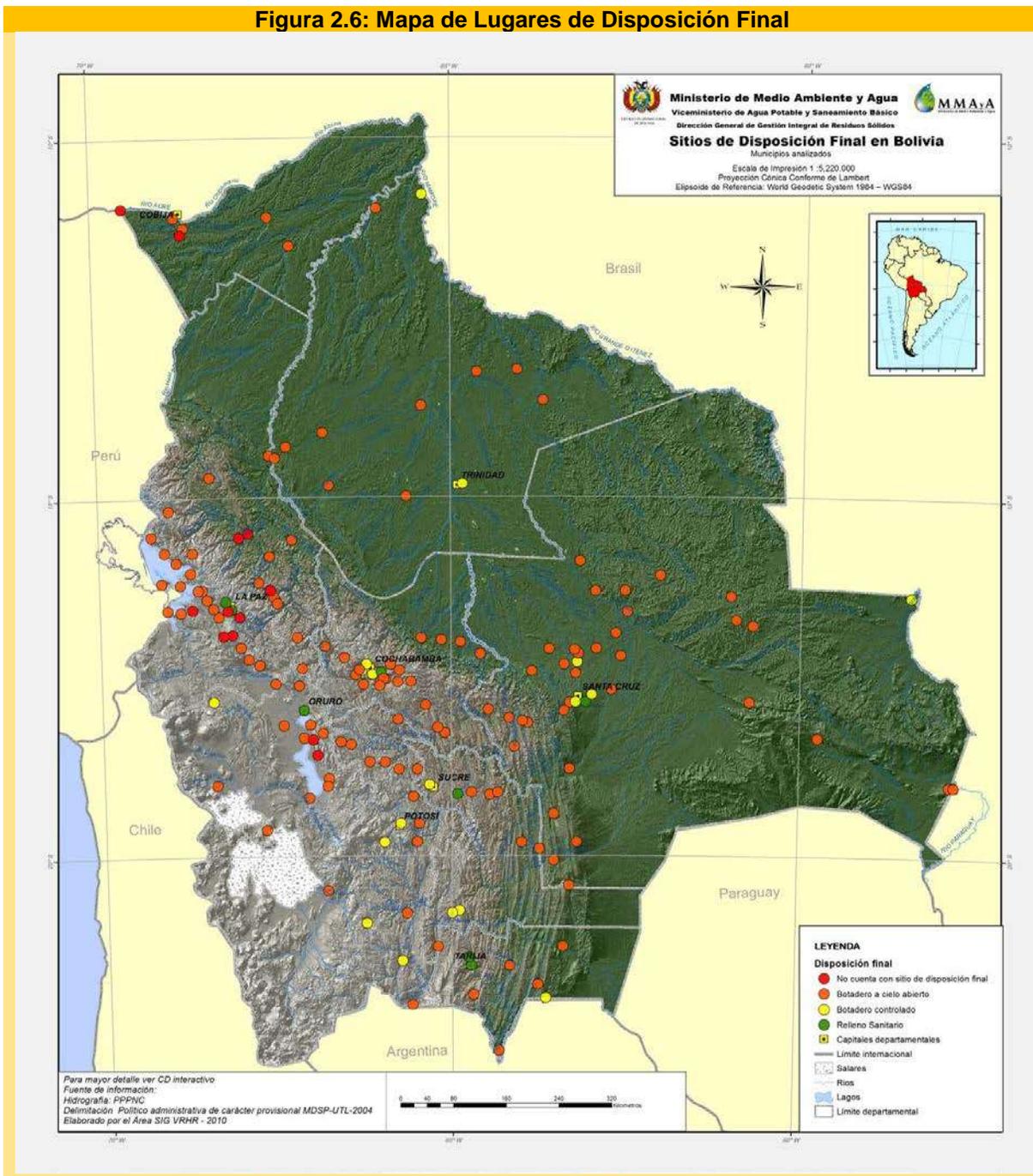


Botadero a cielo abierto Desaguadero

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

En el siguiente mapa se visualiza la ubicación de los sitios de disposición final:

Figura 2.6: Mapa de Lugares de Disposición Final



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/ Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010

CAPÍTULO III: PROCESO GENERAL DEL CIERRE DE UN BOTADERO

CAPÍTULO III: PROCESO GENERAL DEL CIERRE DE UN BOTADERO

3.1 Lineamientos Generales

En el proceso de cierre técnico de un botadero se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) **Diagnóstico, identificación del Problema y recopilación de datos.** Antes de iniciar la acción correctiva, es necesario tener conocimiento del sitio y su área de influencia. Para ello se requerirá de información específica sobre el tipo y cantidad de residuos dispuestos, la localización de cuerpos de agua superficial y subterránea con riesgo de contaminación, las condiciones hidrogeológicas, la topografía, entre otros. Se requiere realizar un diagnóstico del área, que permitirá identificar los procedimientos de saneamiento más apropiados a desarrollar.
- b) **Evaluación de Alternativas Técnicas.** Comprende la evaluación general del sitio de disposición final y su área de influencia de acuerdo a criterios técnicos, económicos, sociales, ambientales y legales. La evaluación tendrá como resultado dos alternativas: 1) cierre técnico definitivo, o 2) la rehabilitación. En ambos casos deberá contar su respectivo manifiesto ambiental y proyecto técnico.

El cierre técnico definitivo: Corresponde a la clausura de las actividades de disposición final y a la ejecución de las obras de cierre técnico. Se deberá diseñar la alternativa técnica más viable que cumpla con los requisitos técnicos necesarios.

Rehabilitación del sitio a relleno sanitario: En caso que previa evaluación, el sitio donde está ubicado el botadero cumpla con la normativa de ubicación de sitios para rellenos y que éste pueda ser rehabilitado por disponibilidad de espacio, aceptación social y porque los impactos puedan ser controlados, se podrá rehabilitar el sitio, previo proceso de cierre técnico del espacio operado como botadero.

- c) **Selección de la alternativa.** Una vez que se han identificado y descrito las alternativas disponibles para el cierre técnico, para cada una de ellas se debe establecer sus ventajas y desventajas tomando en cuenta entre otros aspectos costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, etc. Este análisis permitirá seleccionar una de las alternativas.

Los factores más relevantes a momento de hacer la evaluación, comparación y análisis, son:

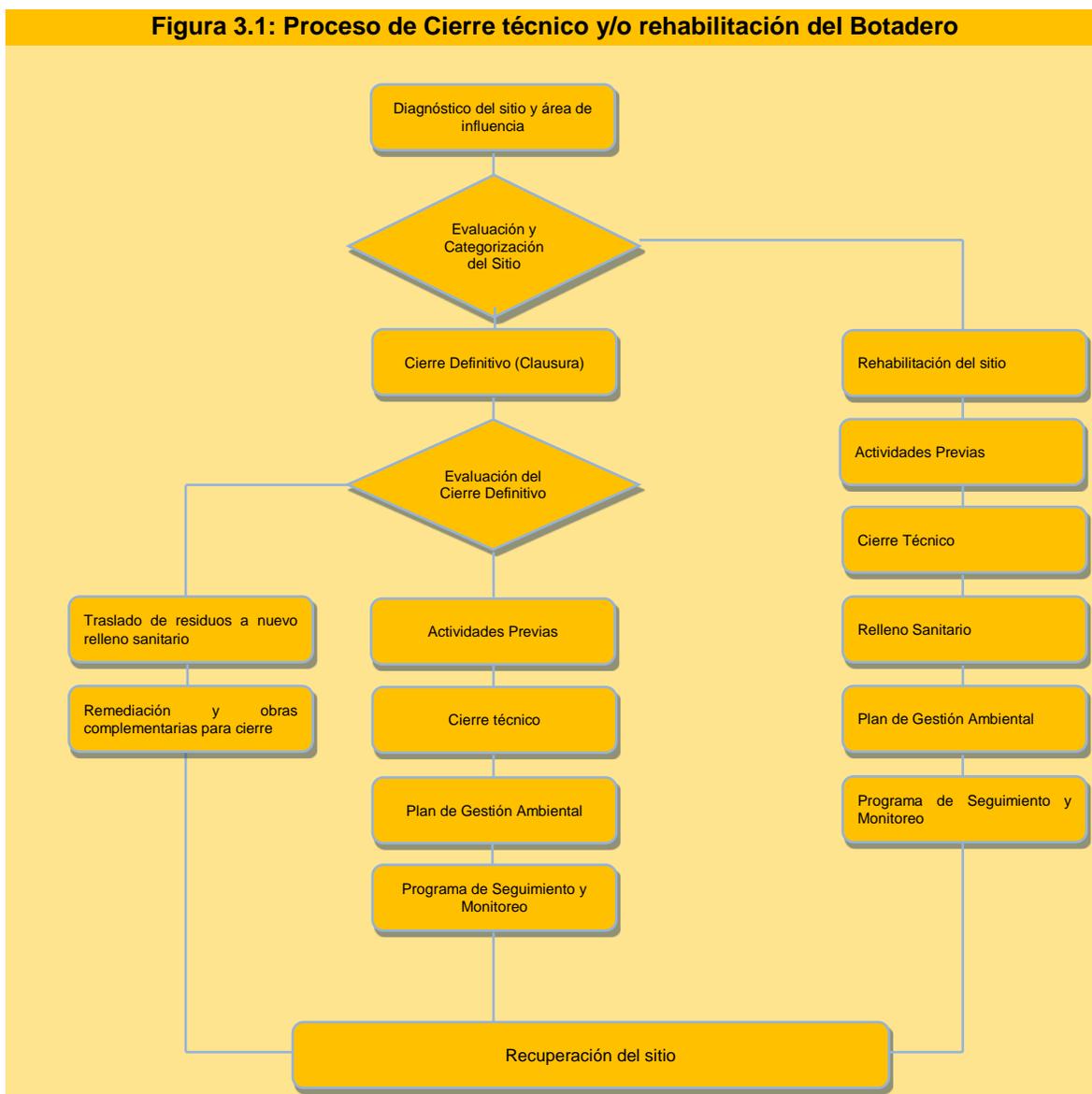
- ✓ Antecedentes de la operación del sitio
- ✓ Factibilidad técnica
- ✓ Situación legal
- ✓ Capacidad para reutilizar el sitio
- ✓ Costos de inversión y operación
- ✓ Riesgos de instalaciones previas
- ✓ Efectos ambientales a corto, mediano y largo plazo
- ✓ Impactos económicos secundarios
- ✓ Cumplimiento de las normas

- d) **Proyecto técnico.** Diseño técnico de la alternativa seleccionada: comprende el diseño y descripción de las acciones previas administrativas y sociales, de las obras de cierre técnico o rehabilitación, de los sistemas de control, monitoreo y mantenimiento post-cierre técnico.

- e) **Manifiesto Ambiental.** El botadero a cerrarse, sanearse y/o rehabilitarse a relleno sanitario, deberá contar un Manifiesto Ambiental de abandono o manifiesto ambiental de operación según corresponda a un proyecto de cierre técnico o a un proyecto de rehabilitación conteniendo entre otros (según se detalla en el Capítulo VII) su Plan de Adecuación Ambiental, su Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental y el Análisis de riesgos y Plan de Contingencias
- f) **Ejecución de los trabajos definidos.** Implementación del proyecto técnico una vez que el mismo está autorizado por la autoridad ambiental competente.
- g) **Implementación del programa de mantenimiento y monitoreo post-cierre técnico del sitio.** Este programa está encaminado a realizar una observación continua en el tiempo y espacio de las variables ambientales y sus indicadores y determinar el comportamiento y evolución de los parámetros físicos, bióticos y socioeconómicos de la disposición final de residuos sólidos y de su área de influencia, además de garantizar el mantenimiento de las obras de cierre técnico.

Es fundamental considerar que el gobierno municipal, para proceder a tomar acciones para la eliminación de botaderos, deberá tener mínimamente un relleno sanitario en fase final de construcción o de ser posible listo para iniciar operaciones para la disposición final segura de sus residuos sólidos.

Figura 3.1: Proceso de Cierre técnico y/o rehabilitación del Botadero



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

3.2 Evaluación de las alternativas técnicas

Se plantean dos alternativas para remediar los botaderos y solucionar los problemas de impacto que generan:

- a) **Cierre técnico definitivo del botadero y saneamiento:** Consiste en la suspensión definitiva de la disposición final de los residuos sólidos en un botadero, para eliminar los impactos ambientales negativos que pudiera estar causando.

Conlleva todas las actividades técnicas de remediación y reparación que utilizan principios de ingeniería y que garantizarán que los residuos que han sido depositados en el lugar no provoquen impactos negativos al ambiente y la salud, de forma que el sitio quede integrado con el entorno y no genere riesgos a la salud de la población ni al medio ambiente. El cierre técnico integra también las actividades de mantenimiento y monitoreo post- cierre técnico.

- b) Rehabilitación del botadero para convertirlo en relleno sanitario:** Es la acción de recuperar o restituir la capacidad de un sitio de disposición final utilizado como botadero hacia relleno sanitario, con el objetivo de continuar con la disposición final de los residuos sólidos de forma segura desde el punto de vista ambiental y de salud. Consiste en cerrar técnicamente la celda o área que había estado operando en forma de botadero para garantizar la mitigación de impactos por los residuos allí depositados y posteriormente rehabilitar el sitio como nuevo relleno sanitario.

La rehabilitación de un botadero hacia un relleno sanitario se podrá realizar, siempre y cuando se cumplan las normas técnicas vigentes en relación a la ubicación de sitios de disposición final que establecen requisitos en cuanto a: derecho propietario, distancia al área urbana, características del suelo, capacidad volumétrica del sitio, forma de operación, mecanismos de control, protección al ambiente y a la salud pública y aceptación social y siempre y cuando el anterior botadero no haya provocado problemas ambientales que hagan inviable seguir operando en el lugar.

En Bolivia existen diversas situaciones bajo las cuales se han generado botaderos y por lo tanto se requerirá del diseño de un proyecto de cierre técnico acorde a las características del sitio de disposición final. En general, se pueden dar las siguientes situaciones:

1. *Botaderos de áreas urbanas, de disposición de residuos municipales mezclados y de cierta magnitud.* En este caso, se deberá ejecutar un proyecto integral de cierre técnico o un proyecto integral de rehabilitación del sitio a relleno sanitario. El cierre técnico en este tipo de botaderos, debe ser completo de acuerdo a las especificaciones técnicas del capítulo V. Si se puede rehabilitar el lugar a relleno sanitario se realizará de acuerdo a las especificaciones del capítulo V.
2. *Botaderos en áreas rurales, de pequeña magnitud, de disposición de residuos sólidos de composición física con reducida cantidad de materia orgánica o botaderos a cielo abierto de escombros en los márgenes de las vías públicas.* En ambos casos se requerirá de acciones básicas, simplificadas, de mitigación y adecuación del sitio. Para llevar a cabo el cierre técnico mediante medidas simplificadas, previamente se debe presentar la correspondiente justificación técnica en el proyecto técnico a ser aprobado por las autoridades ambientales.
3. *Botaderos ubicados en los márgenes de cuerpos de agua,* lo que puede hacer inviable y no efectiva la ejecución de obras de cierre técnico basadas en acciones in-situ. En este caso, se deberá valorar como primera opción el traslado de los residuos a un relleno sanitario o a una celda construida y acondicionada para tal fin.
4. *Botaderos de residuos industriales peligrosos.* En este caso, las medidas a aplicar escapan de las mencionadas en esta guía, siendo necesario un proyecto técnico a detalle que garantice de forma efectiva las acciones de confinamiento y/o tratamiento así como de mitigación de los impactos ambientales y a la salud y de saneamiento correspondiente.

Independientemente del tamaño del botadero y de la opción escogida para su cierre o rehabilitación se requiere formular, un Proyecto de Cierre Técnico y Saneamiento o un Proyecto de Rehabilitación de botadero a relleno sanitario.

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE BOTADEROS

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE BOTADEROS

4.1 Diagnóstico técnico ambiental del botadero

Para realizar el cierre técnico de estos sitios se requiere realizar de forma previa el diagnóstico situacional del mismo, que parte del relevamiento de información, que debe incluir:

1) Información General

- ✓ Ubicación geográfica del botadero
- ✓ Accesibilidad al sitio
- ✓ Proximidad a centros poblados
- ✓ Información sobre el sitio (activo o inactivo)
- ✓ Años de Funcionamiento
- ✓ Tipo y Composición de residuos sólidos dispuestos
- ✓ Cantidad de residuos sólidos confinados diariamente y acumulados
- ✓ Superficie del sitio
- ✓ Derecho propietario

2) Características Geofísicas e Hidrogeológicas

- ✓ Topografía (pendiente y relieve)
- ✓ Edafología y Geología (Tipo y características del suelo)
- ✓ Entorno geológico y perfiles del suelo
- ✓ Climatología (Temperaturas, Precipitación Pluvial, Evapotranspiración, Vientos predominantes)
- ✓ Presencia de aguas superficiales y subterráneas
- ✓ Distancia a cuerpos y puntos de toma de agua para consumo humano
- ✓ Profundidad de la napa freática
- ✓ Zonas de inundación
- ✓ Zonas de riesgo o fallas geológicas
- ✓ Usos de suelo en el área de influencia

3) Características Ambientales

- ✓ Impactos al suelo (Contaminación por residuos y lixiviados)
- ✓ Impactos al aire (Emisión de gases, quema de residuos)
- ✓ Impactos agua (Contaminación por lixiviados a cuerpos de agua)
- ✓ Impactos a la fauna
- ✓ Impactos a la flora
- ✓ Impactos al patrimonio natural y cultural

4) Características Socio-económicas y de Salud

- ✓ Actividades socioeconómicas que se generan el área de influencia (Segregación y Crianza de animales)

- ✓ Actividades socioeconómicas afectadas el área de influencia (Turismo, Paisaje, Patrimonio Cultural, Agricultura, etc.)
- ✓ Grupos humanos potencialmente afectados (Familias de comunidades)
- ✓ Afectación a la salud (Enfermedades, Presencia de vectores)
- ✓ Existencia de otros servicios públicos instalados en el área de influencia

En el Anexo 1, se presenta un formulario para la evaluación de campo de las condiciones de un botadero.

4.2 Identificación de impactos ambientales ocasionados por un botadero

La identificación de impactos ambientales, deberá realizarse relacionando la ubicación y operación del sitio con los diferentes factores ambientales y sus atributos, algunos de estos se señalan a continuación:

Cuadro 4.1: Identificación de impactos ambientales por factor/atributo ambiental	
Factor Ambiental/ Atributo Ambiental	Descripción
Medio Biótico	
Representa al componente biológico afectado por la acción del Botadero a cielo abierto.	
Fauna	Entre los efectos causados por esta actividad se pueden indicar los siguientes: Incremento de roedores (ratas y ratones) y aves carroñeras. Pérdida de la fauna endémica de la región.
Flora	La operación de un botadero incide directamente en la flora nativa existente en el área operativa.
Medio Abiótico	
Constituido por todos los factores no vivientes los cuales pueden considerarse afectados por las actividades del botadero a cielo abierto.	
1	Agua
Calidad de aguas superficiales	Los cuerpos de agua superficiales usualmente han sido los receptores de los residuos, este hecho hace que los botaderos contaminen las fuentes o cuerpos de agua con mayor intensidad.
Calidad de aguas subterráneas	Los acuíferos, son afectados por la infiltración de los lixiviados (líquidos percolados), provocando su contaminación y convirtiéndose en un peligro a la salud. Los niveles de contaminación a aguas subterráneas dependen de las características del suelo, principalmente la permeabilidad. La norma boliviana NB 760, establece que estos cuerpos de agua tendrían que ser monitoreados siempre y cuando el nivel freático sea menor a 25 metros garantizando que si hubiera alguna contaminación la misma se observe en unos 150 años.
2	Aire
Partículas suspendidas en el aire y residuos ligeros esparcidos	En la operación de un botadero es posible detectar elevadas cantidades de material particulado, así como residuos ligeros a causa de los vientos, generando un radio de esparcimiento variable según la ubicación. La norma boliviana NB 760 establece que en un área de disposición final se debe de realizar un seguimiento ambiental mediante monitoreo mensuales de partículas suspendidas totales (PST) y de partículas viables.

Cuadro 4.1: Identificación de impactos ambientales por factor/atributo ambiental	
Factor Ambiental/ Atributo Ambiental	Descripción
Emisión de gases	Por efecto de la descomposición de los residuos sólidos se generan diferentes gases combustibles como el metano, provocando olores desagradables e incendios en el sector.
3 Suelo	
Suelo	El suelo se ve afectado con la erosión, principalmente el cambio en su composición y estratificación natural, causando así su infertilidad y reducción de la capacidad agrícola.
Medio Antrópico	
Factores relacionados a la población y sus actividades que son afectados por la operación del botadero.	
Vectores	La aparición de vectores (moscas, cucarachas, etc.) es lo más común en esta actividad, al no existir la cobertura de residuos, se genera un foco de infección que causa malestar y enfermedades.
Socioeconómicos	Si bien está prohibido el ingreso de personas particulares al sector de disposición final, existe la presencia de segregadores que hicieron de ese lugar una fuente de trabajo.
Medio Simbólico	
Se refiere al aspecto estético natural donde se encuentra el botadero.	
Paisajismo	Es la afectación al entorno en general.

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

4.3 Metodología para la evaluación técnico – ambiental de un botadero

Para evaluar el estado de un botadero se debe considerar las características y los impactos más importantes que ocasionan al medio ambiente (impactos ambientales) y al ser humano (aspectos socioeconómicos y de salud) calificados de acuerdo a criterio del proyectista.

A fin de ejecutar la evaluación de los botaderos para el cierre técnico o su rehabilitación, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- 1) Definir qué parámetros se van a utilizar para el proceso de evaluación.
- 2) Definir los valores límite o de referencia y las opciones de calificación por cada parámetro que se utilizará.
- 3) Definir la importancia del parámetro que consiste en asignar un peso o importancia para cada parámetro en función de la evaluación preliminar del botadero.
- 4) Definir el sistema de calificación para facilitar el proceso de evaluación. Se puede definir una escala de calificación, que considere la calidad del resultado respecto al parámetro evaluado.

En base a los criterios señalados se establece:

Puntaje Máximo (a): comprende el valor asignado de acuerdo a las particularidades de cada parámetro evaluado, puede variar en la escala de 3 a 1:

Peor Valor (3): cuando la afectación o impacto es significativo.

Valor Medio (2): cuando la afectación o impacto se encuentra en un rango racional, la valoración se realiza respecto al peor valor.

Mejor Valor (1): cuando ocurre lo contrario, es decir la afectación o impacto no es significativo.

Importancia del Parámetro (b): La importancia del parámetro se puede establecer en función del criterio del proyectista. La escala puede variar de 1 a 5.

Ponderación del Parámetro (a * b): Para la ponderación de los parámetros, se establece una regla de cálculo, que consiste en la multiplicación del valor de Puntaje Máximo por el valor de Importancia del Parámetro.

A continuación, se presenta un cuadro de apoyo para la evaluación o valoración de impactos ambientales, ocasionados por la operación del botadero:

Cuadro 4.2: Evaluación o valoración del Impactos Ambientales				
Parámetro	Factores de valoración			
Suelo	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Área ocupada por los residuos	> 1 Ha			
	< 1 Ha			
Incompatibilidad de uso de suelo	Si			
	No			
Presencia de lixiviados	Si			
	No			
Aire	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Presencia de biogás	Si			
	No			
Quema de residuos	Si			
	No			
Presencia de olores desagradables	Si			
	No			
Agua	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Presencia de lixiviados	Si			
	No			
Fauna/Flora	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Ploriferación de fauna nociva	Si			
	No			
Daños a la vegetación	Si			
	No			
Alteración de la fauna terrestre o acuática	Si			
	No			
Patrimonio cultural y natural	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Cerca o en sitios de patrimonio histórico, arqueológico, turístico	Si			
	No			
Cerca o en areas de	Si			

Cuadro 4.2: Evaluación o valoración del Impactos Ambientales				
Parámetro	Factores de valoración			
reserva o protección natural	No			
Riesgos	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Ubicado sobre o cerca de áreas geológicas vulnerables o con dinámica hidromorfológica	Si			
	No			
En áreas con suelos inestables y alta permeabilidad	Si			
	No			
Ubicado en áreas inundables o áreas de riesgo	Si			
	No			
Subtotal (Máxima puntuación)				

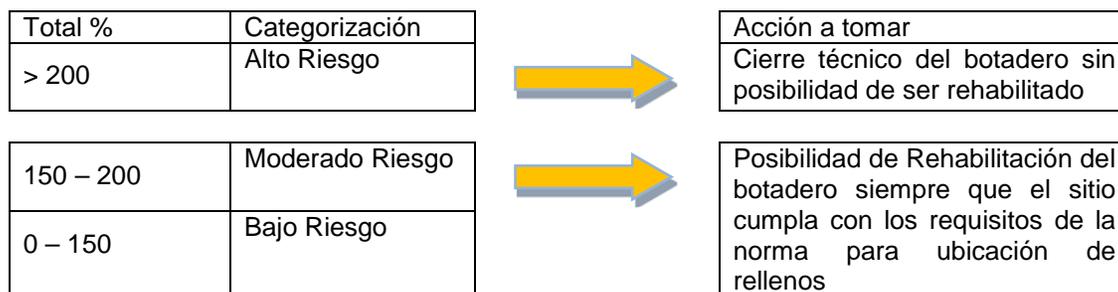
Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Cuadro 4.3: Evaluación o valoración de Botaderos según Actividades socioeconómicas y de salud				
Suelo	Indicador	Puntaje (a)	Importancia del Factor (b)	Ponderación (a*b)
Presencia constante de grupos humanos	Si			
	No			
Riesgo a la salud de los grupos humanos que viven en la zona o en los alrededores	Si			
	No			
Riesgo de contaminación de animales por consumo humano	Si			
	No			
Afectación a actividades socioeconómicas de la población circundante	Si			
	No			
Subtotal (Maxima puntuación)				

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Efectuada la evaluación se sumarán los puntajes máximos de cada parámetro que se asigna en el sistema de calificación, para lo cual se establece una escala o rango de puntajes que permita la calificación de cada una de las alternativas:

Para el caso dado, la calificación del botadero se realizará considerando los siguientes valores, para el caso dado:



Se considera que un botadero es de alto riesgo si:

- a) Existe riesgo de contaminación de cuerpos de agua, principalmente las que son utilizadas para consumo o recreación humana
- b) Si se encuentra a menos de 1000 m de actividades agrícolas, granjas de crianza de animales u otras actividades socioeconómicas.
- c) Si se encuentra en áreas inundables o en zonas con nivel freático alto.
- d) Si se encuentra en áreas con suelos inestables y de alta permeabilidad
- e) Si está ubicado sobre o cerca de áreas geológicas vulnerables
- f) Si está en áreas expuestas a procesos de dinámica hidromorfológica
- g) Si se encuentra en sitios de patrimonio histórico, turístico o cultural o cerca de estos.
- h) Si se encuentra en reservas naturales o cerca de estas.

Como resultado de la evaluación del sitio se podrá definir si la rehabilitación es factible o no.

Cada una de las acciones deberá adecuarse a las condiciones específicas identificadas en el área de disposición final. Debe tenerse en cuenta que las condiciones económicas del municipio serán determinantes, ya que esta instancia local es la responsable de la implementación de las acciones.

CAPÍTULO V: CIERRE TÉCNICO DE BOTADEROS

CAPITULO V: CIERRE TÉCNICO DE BOTADEROS

5.1 Cierre Técnico

El cierre técnico definitivo del botadero y saneamiento, supone la suspensión definitiva de la disposición final de los residuos en el botadero y conlleva todas las actividades técnicas de remediación y reparación que utilizan principios de ingeniería y que garantizarán que los residuos que han sido depositados en el lugar no van a generar impactos negativos al medio ambiente y la salud de la población, logrando la integración del sitio con el entorno.

Para llevar a cabo el cierre técnico se debe elaborar el Proyecto de Cierre Técnico y Saneamiento en el marco de un documento integral denominado Plan de Cierre que incluya el diagnóstico y la evaluación de impactos. El proyecto propiamente dicho, con las acciones de cierre técnico, mantenimiento y monitoreo post cierre, su cronograma y presupuesto y los respectivos instrumentos ambientales requeridos en la normativa (Manifiesto Ambiental, MA y Plan Acción y Seguimiento Ambiental, PASA).

El proyecto de cierre Técnico y Saneamiento debe incluir el detalle técnico y descripción de las actividades previas, de las obras a realizar, el equipo y personal, el mantenimiento y monitoreo post-cierre, el cronograma de actuación, y el presupuesto.

5.1.1 Actividades previas

Previa a la ejecución del proyecto de cierre técnico y saneamiento del botadero se deben llevar a cabo algunas actividades que son de gran importancia y que se detallan a continuación:

5.1.1.1 Determinación del Derecho propietario

En el caso de botaderos, como responsabilidad del gobierno municipal, es importante que tenga definido el derecho propietario del predio, ya que en caso de ser propiedad privada, será necesaria la expropiación el terreno, puesto que de otra forma no se podrá realizar inversiones que garanticen las obras de cierre a corto y mediano plazo.

5.1.1.2 Difusión del cierre técnico del botadero

Como segunda medida, se debe informar a la población en general y las autoridades ambientales competentes, sobre el cierre técnico del botadero. En estos casos, conviene:

-  Mantener informado al concejo municipal, con el apoyo de las autoridades de medio ambiente para asegurar la viabilidad del proyecto.
-  Explicar a través de los medios de comunicación local (periódicos, emisoras, boletines), que es urgente eliminar la práctica de arrojar residuos en un botadero a cielo abierto y destacar, en cambio, las ventajas de poder contar con un relleno sanitario.
-  Hacer público el cierre de los botaderos e informar que ya no se permitirá la disposición de residuos en esos lugares. También conviene divulgar las sanciones que se aplicarán a quienes infrinjan las normas y regulaciones establecidas y dictadas al respecto.
-  Requerir a los propietarios o administradores de establecimientos comerciales, industriales, institucionales, etc., que entreguen sus residuos al operador del servicio de recolección o que ellos mismos la lleven al relleno sanitario.

5.1.1.3 Trabajo social con segregadores de residuos sólidos

En nuestro país, un gran número de personas tiene en la recuperación de residuos reciclables una fuente de ingresos de subsistencia.

Aunque en las poblaciones alejadas de las grandes ciudades este fenómeno puede no tener lugar, por la falta de mercado para estos materiales, en la mayoría de los municipios esta es una práctica constante debido a las actividades socioeconómicas que esta genera.

Si bien el segregado es una actividad sancionada por la normativa actual, desde el punto de vista de responsabilidad social, se debe diseñar un plan de reubicación o reasentamiento de las personas que pudieren quedar afectados por el cierre técnico o rehabilitación del botadero. Se comprende que en un relleno sanitario, no debe existir presencia de personas que realicen la práctica del segregado de residuos en el sitio.

El objetivo del plan es promover la inclusión y/o formalización de los segregadores bajo condiciones diferentes a las que normalmente se desarrollaban. Una de las principales estrategias, es apoyarlas en organizar cooperativas o microempresas de servicios, de forma que trasladen su labor de segregación en el botadero a una labor de recojo selectivo, a promover la separación en fuente o bien a implementar y/o participar en la clasificación y recuperación de residuos en plantas de aprovechamiento o en su caso en actividades diferentes que previa consulta se definan. En consecuencia, un proyecto de cierre de botaderos no solo debe considerar aspectos técnicos, ambientales y económicos sino también sociales.

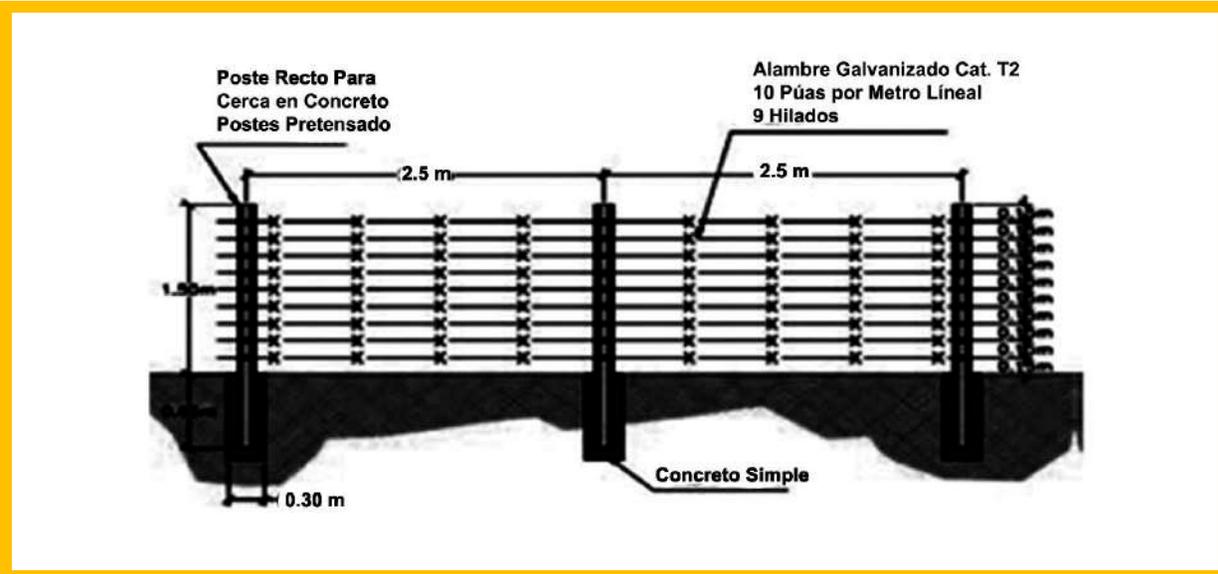
5.1.2 Actividades previas al Cierre de Botaderos

A continuación, se presentan las principales acciones que deben considerarse en un Proyecto de Saneamiento y Cierre Técnico de Botaderos:

- ♻️ **Construcción del cerco perimetral y puerta de acceso.** Para limitar el acceso de personas ajenas que puedan seguir llevando al lugar sus residuos y también para impedir el ingreso de animales se debe construir un cerco perimetral. A partir de su construcción, se debe impedir la entrada y permanencia de personas o animales en el sitio. La presencia de ellos es causa de problemas en la operación del sitio y es un peligro para la salud humana por la transmisión de enfermedades que este pudiera generar.

Un cerco perimetral típico se observa en la figura siguiente. Sus especificaciones técnicas pueden ser diferentes en función de los recursos disponibles. Se podrán construir con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m de alto, a partir del nivel del suelo con postes de madera, hormigón o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 2,50 o 3 m entre sí. También, en el caso de botaderos grandes en los que se prevé la necesidad de acciones y monitoreo del sitio a largo plazo, se recomienda el uso de un cerco con malla ciclónica de mínimo 2.20m de alto incorporando la puerta de acceso.

Figura 5.1: Cerco Perimetral Tipo



Fuente: Guía Ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a Cielo Abierto, Ministerio de Medio Ambiente, Colombia, 2002

Figura 5.2: Colocación de Cerco Perimetral



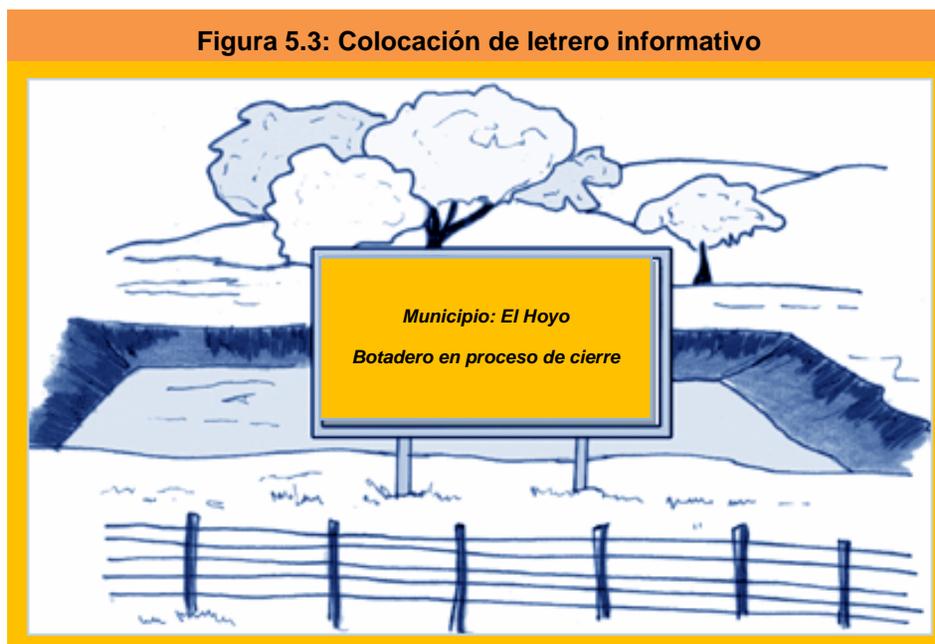
Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Para acciones de poca envergadura, una vez finalizadas las actuaciones, el cerco puede cambiarse por un cerco "natural" para armonizar el área con el entorno cumpliendo de todas formas la función de impedir nuevos vertidos en el lugar.

- ♻️ **Caseta de vigilancia e implementación de ambiente para almacén de insumos.** Dependiendo de su accesibilidad y necesidad, se deberá disponer de un servicio de vigilancia para impedir que se siga disponiendo residuos sólidos y para controlar la entrada y salida de vehículos de la obra así como de personas y/o animales que puedan entorpecer los trabajos que se estén ejecutando en el sitio y zonas aledañas.

- ♻️ **Colocación de un letrero informativo.** Tiene la función de informar a la población que el botadero está en proceso de cierre, indicando la localización del nuevo relleno sanitario. Dicho letrero deberá incluir como mínimo la siguiente información:

- ✓ Nombre del municipio y ubicación del lugar
- ✓ Información general con el nombre del proyecto, el objeto del mismo, su plazo de ejecución, el nombre de la empresa adjudicada, etc.



Fuente: Adaptado de Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Jorge Jaramillo, Washington, D.C., 1991

- ♻️ **Realizar un programa de control de vectores.** Efectuar una campaña para exterminar insectos y roedores con plena observancia de las medidas de seguridad y conforme al uso apropiado de raticidas e insecticidas. Siempre que sea posible, se acudirá a las autoridades de salud para obtener de ellas el apoyo y la asesoría necesaria. El mejor control de insectos y roedores está asociado con la compactación y cobertura de los residuos.

5.2 Operaciones técnicas de cierre

Una vez realizadas las actividades previas, hay que llevar a cabo las operaciones de cierre técnico del propio botadero conteniendo la masa de residuos. Éstas consisten en:

1. Excavación y traslado de los residuos al nuevo relleno sanitario o a una celda nueva construida para depositar estos residuos
2. Cierre técnico in-situ de los residuos.

A continuación, se describen los diferentes aspectos a tener en cuenta en el cierre técnico en función de la alternativa seleccionada. Para el detalle técnico de algunos de los aspectos se tendrá en cuenta el tipo, tamaño de botadero, de los residuos depositados, su ubicación y el contexto socio económico y geográfico del municipio. Por ejemplo, en el caso de botaderos pequeños de escombros o de áreas rurales con una masa de residuos con reducida cantidad de materia orgánica, podrían plantearse opciones simplificadas que no incluyan captación de lixiviados o de biogás u otras opciones simplificadas para su captación; esto siempre y cuando esté justificado técnicamente (muestreo de residuos, de lixiviados y de biogás) y autorizado por las autoridades ambientales competentes.

5.2.1 Excavación y traslado de los residuos al relleno sanitario

Consiste en extraer los residuos sólidos y el suelo contaminado por éstos y disponerlos en un nuevo relleno sanitario o en su caso en una celda nueva construida en el lugar o inmediaciones solo con la finalidad de albergar los residuos excavados; rellenar la excavación y acondicionar el sitio para otro uso futuro definido.

Si bien la alternativa de recojo y traslado de residuos del botadero municipal a un Relleno Sanitario o celda específica, es más simple en términos de actividades a ejecutarse y el tiempo de ejecución es menor, esta alternativa está condicionada por la cantidad de residuos depositados, la distancia de traslado y los posibles impactos que se podrían generar durante la propia excavación. El costo de su implementación se encuentra asociado básicamente a estos aspectos, de forma tal, que el transporte de los residuos a una distancia mayor a un límite determinado por el costo por tonelada por kilómetro puede hacer inviable esta alternativa frente a la opción del cierre técnico "in situ".

De cualquier forma, esta opción puede ser aplicable en el caso de localidades pequeñas a medianas que generen cantidades menores a 10 Ton/día y que el botadero tenga un tiempo de operación menor a 2 años y sobre todo para botaderos ubicados en márgenes de ríos donde el impacto a las aguas superficiales es importante y donde el cierre técnico es casi imposible. En consecuencia se deberán realizar las siguientes actividades:

 **Excavar y retirar los residuos.** Esta actividad consiste en la remoción de todos los residuos dispuestos en el botadero siendo recomendable el empleo de maquinaria pesada, dependiendo del caso, una retroexcavadora o una pala de carga frontal. Los residuos removidos serán cargados en volquetas para su transporte al nuevo relleno sanitario.

 **Excavar y retirar las tierras de la base.** Luego de trasladar todos los residuos sólidos del sector, se procederá a realizar el retiro de toda la base de suelo donde se depositaron los residuos sólidos debido a que son suelos contaminados, principalmente con lixiviados.

Esta actividad consiste en el raspaje de la base del suelo natural donde se depositaron los residuos sólidos para luego ser cargado a las volquetas. Se recomienda que el trabajo sea también realizado con una retroexcavadora.

Este mismo suelo puede servir como suelo para la cobertura de los residuos en la nueva celda o relleno sanitario.

 **Muestrear y analizar el suelo de la base y paredes.** Habiendo extraído el material contaminado del sitio, se tomarán muestras de la base y del suelo que ha quedado en el área excavada para que mediante análisis de laboratorio, se verifique que en el lugar no existe suelos contaminados.

Asimismo, se realizará el monitoreo correspondiente de las aguas subterráneas, ya sea mediante piezómetros o pozos de control o mediante los pozos de abastecimiento cercanos en caso de existir, y el monitoreo de las aguas superficiales.

 **Nivelar y compactar el área liberada de residuos.** Efectuada la verificación de que el sector ya no contiene material contaminado, se descargará tierra de cobertura para rellenar el área excavada y reacondicionar el terreno de acuerdo a las condiciones topográficas, para lo que se deberá suavizar pendientes, rellenar depresiones, nivelar, y consolidar el terreno con tierra de buena calidad (agrícola), o cuando menos de las mismas características que la del entorno. Esta cubierta se compactará de forma manual o mecánica y se cuidará de darle el perfil topográfico requerido.

- ♻️ **Sembrar pasto o grama o vegetación propia del lugar.** Con el propósito de darle una mejor apariencia al sitio, evitar la erosión, se recomienda que estas áreas sean transformadas en zonas verdes con pasto y vegetación del lugar.

5.2.2 Cierre técnico in situ y saneamiento

Consiste en confinar al máximo los residuos, de forma de extraer los lixiviados y gases generados en el botadero e incorporar la cobertura que impida la entrada de agua de lluvia. Se debe lograr la integración del botadero cerrado con el medio que lo rodea. La figura siguiente presenta un ejemplo de cierre técnico de un botadero.



Fuente: Relleno Sanitario del Distrito de Moquegua – Perú

Se construirán todas las obras destinadas a mantener los residuos sólidos aislados mediante una cobertura impermeable, sin causar ningún tipo de contaminación ni peligro sanitario, a captar y tratar las emanaciones de biogás y lixiviados, además de conservar bajo control la escorrentía superficial y la previsión de posibles problemas que se puedan producir debido a los asentamientos del relleno. También se deben considerar las obras destinadas al monitoreo de gases, aguas superficiales y aguas subterráneas.

Todas las actividades y trabajos a realizarse de cierre del botadero deberán seguir lo establecido en el proyecto técnico que ha sido aprobado por las autoridades correspondientes; tener el soporte técnico y dirección de obra necesarios por parte de un profesional que esté al tanto de los lineamientos básicos y manejo de las actividades de cierre del botadero y saneamiento.

5.2.2.1 Habilitación de Vías de acceso

Antes de iniciar las obras de saneamiento, se debe mejorar la vía interna perimetral del botadero, para posibilitar el tránsito del equipo o maquinaria al área interior del botadero en cualquier época del año.

Figura 5.5: Habilitación de vías



Fuente: Proceso de cierre del botadero de Villa Ingenio, El Alto, Bolivia

5.2.2.2 Instalación de servicios básicos

Puesto que el cierre técnico demanda mayor permanencia de los operarios y requiere condiciones de seguridad y salubridad, deberá realizarse la instalación de servicios básicos, como tendido de energía eléctrica, agua potable, servicios sanitarios, duchas y otros servicios que se consideren necesarios.

5.2.2.3 Construcción de sistema de Drenaje Pluvial

El manejo de las aguas pluviales tiene como objetivo evitar su infiltración al interior de la celda en operación, para evitar principalmente el incremento del volumen de lixiviados, la erosión del sellado o cobertura del botadero y el deterioro de los caminos de acceso y otras obras de infraestructura.

El manejo de los lixiviados supone un elevado costo por lo que es muy importante tratar de minimizar su generación. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de residuos aumentan el volumen de lixiviados en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos. El adecuado manejo correcto del agua de lluvia minimizará la generación de lixiviados.

Para tal efecto, se deberán construir drenajes pluviales internos y externos en el perímetro del área:

- ♻️ Los canales pluviales internos serán de área transversal pequeña a mediana
- ♻️ La zanja de coronamiento o perimetral será de área transversal mayor a mediana

Los canales de aguas pluviales internos, serán construidos en los taludes internos de la masa de residuos después de haber instalado la cubierta final de sellado. El grado de pendiente de los canales internos debe ser diseñado con la finalidad de asegurar el escurrimiento de las aguas superficiales desde el interior del botadero hacia los puntos de evacuación que se hayan proyectado o fuera de la superficie del botadero, por lo general deben tener una pendiente mínima del 2%. Estos canales deben garantizar que las aguas procedentes de la lluvia que escurren sobre la superficie de cubierta final no producen erosión excesiva o filtración. El mayor riesgo está en el estancamiento de las aguas superficiales en zonas de asentamiento del terreno.

La zanja de coronamiento o canal perimetral se construye fuera de la masa de residuos, en el área perimetral del botadero, sobre suelo natural.

El tamaño de estos canales de drenaje pluvial se calculará con la información topográfica e hidrológica disponible. Las NB 759-760 indican que para el dimensionamiento del sistema de captación de aguas pluviales, se deberá utilizar la fórmula de Manning, garantizando que la velocidad del agua dentro de los canales no sea menor a 0,60 m/s ni mayor a 2,00 m/s.

A continuación, se incluyen dos ejemplos de canales de aguas pluviales:



Fuente: Plan de saneamiento y cierre del botadero municipal de Santiviáñez, Manejo de Residuos Sólidos en el Eje Conurbano del Departamento de Cochabamba

5.2.2.4 Sistema de captación, conducción y almacenamiento de lixiviados

Los lixiviados generados por la biodegradación propia de los residuos sólidos y por el paso del agua lluvia entre los residuos deberán ser captados y conducidos a estanques o piscinas de almacenamiento/tratamiento, según la magnitud del botadero a cerrarse.

$$\text{Lixiviado} = \text{Agua en el residuo} + \text{Infiltración agua de lluvia} + \text{Entradas agua subterránea}$$

La cobertura final de la celda y el sistema de drenaje pluvial minimizarán la infiltración de escorrentía y por lo tanto la mezcla con los residuos sólidos disminuyendo paulatinamente su generación.

Para diseñar el sistema de captación y conducción de lixiviados, es necesario estimar el volumen de generación de lixiviado. Para el efecto se puede recurrir a modelos basados en balances hídricos que tomen en cuenta entre otros, la precipitación, la evaporación, el escurrimiento superficial de aguas, la humedad o agua proveniente de los residuos sólidos (humedad que excede a la capacidad de campo) o generada por la descomposición de los residuos así como la evapotranspiración.

Según el modelo utilizado, el cálculo implica un balance anual de los ingresos, salidas, de la generación y de las pérdidas de agua dentro del botadero y la celda, utilizando datos reales históricos (en caso de estar disponibles) y/o valores empíricos de la literatura especializada o resultados de pruebas efectuadas en terreno. También se tendrán en cuenta los caudales reales de generación de lixiviados.

La captación de lixiviados generados por las celdas ya cerradas, se realizará a pie de talud, mediante la construcción y diseño de zanjas. Para diseñar correctamente este sistema, se recomienda localizar sobre un plano topográfico los sitios donde salen o se empozan los lixiviados y después diseñar y construir canales o filtros para que el líquido salga por gravedad hacia las partes bajas, ubicando los sistemas de cámaras para la acumulación de lixiviados en el sistema de captación.

Se deberá proyectar un dren basal al pie de los taludes en las zonas más bajas del botadero que se realizará mediante una excavación longitudinal, dónde se construirán zanjas rellenadas de grava o material drenante, zanjas rellenadas de grava con tubería interior de captación u otros sistemas equivalentes. De forma referencial se sugieren las siguientes especificaciones técnicas:

- ♻️ Ancho y altura variable. Referencialmente se sugieren 1,0 m de alto en terreno natural y 1-2 m de ancho.
- ♻️ Tubería de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) de 6" en el interior de la excavación, ranurada en su manto superior, junto con un relleno de piedra bolón de tamaño máximo 4".
- ♻️ Protección del dren con material geotextil para evitar su contaminación con material fino, además se considera el revestimiento de su cara lateral que queda expuesta hacia el terreno natural y su fondo con geomembrana de HDPE de 1 mm de espesor.
- ♻️ Una cámara prefabricada en PEAD de diámetro 80 cm y profundidad mínima de 3,5 m., los cuales reciben la tubería que transporta los lixiviados que se depositan en el drenaje basal, tal como se muestra en la figura siguiente.

De todas formas, el dimensionamiento de los canales de captación de lixiviados dependerá del volumen generado y de la conformación final de la masa de residuos para su cobertura.

En actuaciones simples de cierre, para botaderos pequeños se puede optar por excavar en la parte inferior de los terraplenes una zanja longitudinal al pie del talud y extenderla unos cuantos metros, a fin de almacenar el lixiviado generado y permitir así su evaporación en los periodos secos mientras se estabiliza la masa de residuos.

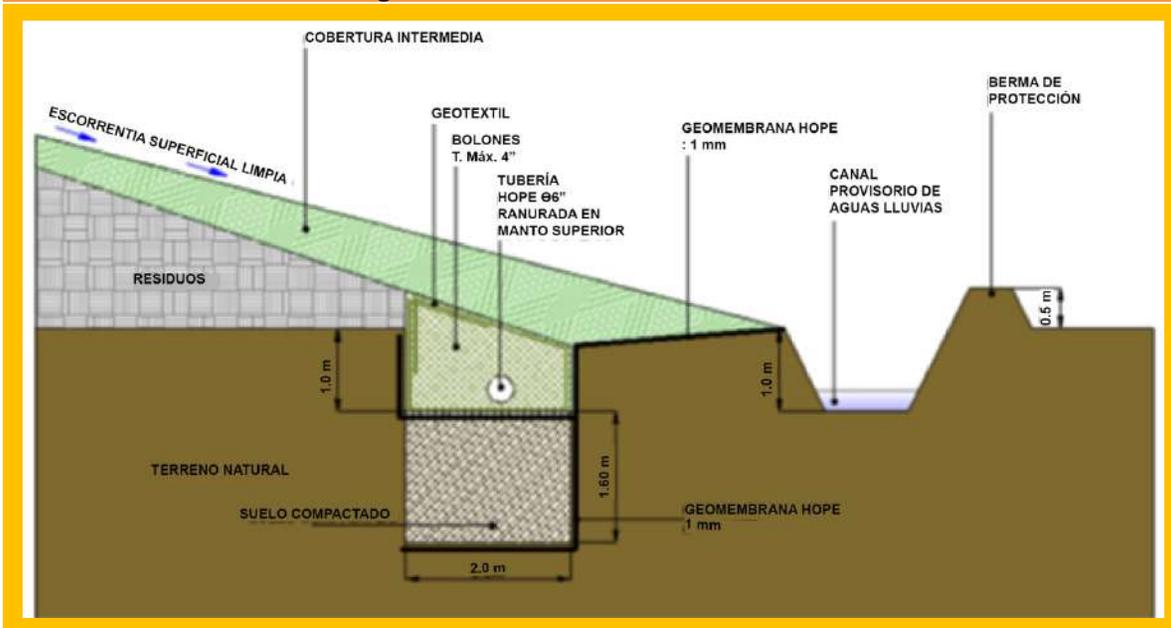
El sistema de captación de lixiviados estará conectado a un sistema de almacenamiento consistente en estanques o piscinas cuya base y paredes estarán debidamente impermeabilizadas para evitar infiltraciones.

En las figuras siguientes se presenta un ejemplo de estos sistemas.



Fuente: Agencia de Residuos de Cataluña (ARC), Catalunya

Figura 5.8: Transversal del Dren Basal



Fuente: Diagnóstico para la gestión integral de residuos sólidos en Chiloé, Chile.

Figura 5.9: Sistema de Captación de Lixiviados



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

El sistema de almacenamiento consiste en estanques o piscinas cuya base y paredes estarán debidamente impermeabilizadas para evitar infiltraciones. La localización de las piscinas de almacenaje, deberá ser en el sector o nivel más bajo de la base de la celda o botadero clausurado. La capacidad de piscinas deberá ser calculada a detalle mediante modelos matemáticos. Este volumen está en función al balance hídrico realizado para la situación con proyecto y atendiendo a la información del caudal de lixiviados, con la basura cubierta y compactada. Las piscinas de almacenamiento deben contar con su correspondiente diseño estructural.

Se recomienda la medición de los caudales de lixiviado diariamente para relacionarlos con las lluvias de la región y con las acciones posteriores de cierre del botadero.

Figura 5.10: Sistema de Almacenamiento de Lixiviados



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Cada lixiviado tiene una naturaleza y composición diferente dependiendo del tipo de residuo que lo genera, de las condiciones climáticas y de la edad del depósito controlado. Por lo general, los lixiviados presentan altos niveles de contaminación, principalmente debido a:

- ♻ Elevadas concentraciones de materia orgánica
- ♻ Concentraciones de nitrógeno, principalmente en forma de amonio
- ♻ Altas concentraciones en sales, principalmente cloruros y sulfatos
- ♻ Presencia de metales pesados (normalmente baja)

Otra característica importante de los lixiviados es que su calidad va cambiando a lo largo de la vida del depósito controlado. En general, en el lixiviado según va pasando el tiempo:

- ♻ Disminuye la biodegradabilidad de la materia orgánica
- ♻ Aumenta la concentración de amonio
- ♻ Aumenta la presencia de sales

Se recomienda efectuar inicialmente y como mínimo, los siguientes análisis fisicoquímicos a los lixiviados captados: pH, DBO, DQO, Sólidos Disueltos, Sólidos Totales, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Dureza, Alcalinidad, Cloruros, Metales pesados, Sulfatos.

La generación de lixiviados en un botadero después de ser cerrado irá disminuyendo de forma paulatina pero puede durar hasta más de 10 años.

5.2.2.5 Tratamiento de lixiviados

Una vez el botadero es cerrado, los lixiviados continúan siendo captados y almacenados en piscinas y deberán ser tratados o manejados por algún sistema. La selección del proceso más adecuado para el manejo o tratamiento del lixiviado varía en función de las características del propio lixiviado, de su composición química. Así, los parámetros de concentración de amonio, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, conductividad y cloruros son factores importantes que determinan cuál es la tecnología más adecuada para aplicar en el tratamiento de estos lixiviados.

También debe considerarse las características del medio receptor del lixiviado una vez tratado, así como los límites legales de vertido, y valorar la posibilidad de su uso en la celda como aguas de riego. Así mismo y además de los factores técnicos y legales hay que valorar los aspectos económicos y los costos de inversión y operación.

Se debe realizar un estudio de viabilidad tecnológica y seleccionar la mejor tecnología disponible. Dada la complejidad química de los lixiviados, normalmente su tratamiento adecuado implica una combinación de distintas tecnologías.

El siguiente cuadro, presenta las tecnologías disponibles a nivel internacional para el tratamiento de los lixiviados.

Cuadro 5.1: Tecnologías para tratamiento de lixiviados			
Tratamientos Térmicos	Tratamientos Biológicos	Tecnologías de Membranas	Tratamientos Físico-químicos
Secado	Lodos Activados	Ósmosis inversa	Stripping Amoniac
Evaporación	SBR	Ósmosis directas	Carbón activo
Evapocondensación	Lechos Bacterianos	Filtración	Oxidación
	Biodiscos	Ultrafiltración	Ozonización
	Lagunaje		Precipitación
	MBR		Coagulación Floculación
			Electrodialisis

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

Debido el contexto económico de nuestro país, podrán establecerse acciones de recirculado del lixiviado, así como ocasionalmente, en casos particulares se podrá realizar mezclas de lixiviado con tierra (“queques”) en una proporción de 3:1, esta mezcla será depositada en celdas (bancos de “queques”) adecuadamente impermeabilizadas, donde se deberá realizar el volteo y esparcido continuo con la maquinaria apropiada para favorecer el secado de los “queques” para su reincorporación al relleno sanitario.

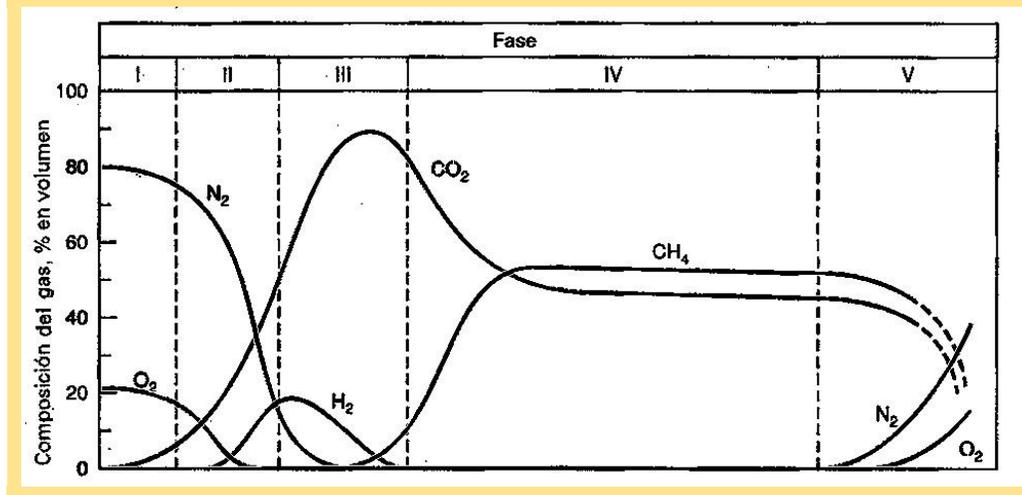
5.2.2.6 Sistemas de captación de biogás y quema o recuperación energética

Un relleno sanitario o un botadero se comportan como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia. La aerobia es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados, es consumido rápidamente. La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H₂S), amoniac (NH₃) y mercaptanos.

La emisión de gases depende principalmente de la edad del relleno y del tipo de residuos depositados. Los parámetros que condicionan de forma prioritaria la generación de biogás son, el contenido de humedad, contenido de materia orgánica, la compactación, la granulometría, altura de las capas, el espesor de la cobertura diaria y la existencia de recirculación de lixiviados.

El biogás de un relleno sanitario o botadero generalmente está compuesto entre un 30% a 60% en volumen por metano, y entre un 20% a 40% en volumen por dióxido de carbono. Otros gases solamente están presentes en pequeñas cantidades. El nitrógeno y el oxígeno, se presentan en porcentajes elevados en las fases iniciales de producción de biogás, cuando la producción de metano y dióxido de carbono se encuentra en niveles bajos, luego al aumentar los porcentajes de metano y dióxido de carbono, tanto el oxígeno como el nitrógeno tienden a valores cercanos a cero. Finalmente, cuando los procesos de degradación de la materia orgánica provocan el descenso de la generación de metano y dióxido de carbono, nuevamente aumenta la presencia de nitrógeno y oxígeno. Lo anteriormente descrito se presenta en la siguiente gráfica:

Figura 5.11: Composición de los Gases en cada fase de Descomposición



Fuente: Congreso Internacional de la Red Girasol, 2010

Al cerrar el relleno sanitario o botadero, hay que controlar los gases durante todo el tiempo que dure su generación, esto para garantizar la seguridad y evitar concentraciones de gas metano en la celda que podrían producir explosiones. Los sistemas típicos para controlar el gas incluyen: pozos de extracción y combustión del gas de forma individual o pozos de captación con tuberías de recogida y transmisión a instalaciones de antorchas para la quema de gases o en rellenos muy grandes para la recuperación energética.

Los sistemas para controlar el gas van desde:

- ♻️ Pozos de extracción activa del gas por bomba de aspiración conjunta, conducción conjunta del gas y combustión en instalaciones de antorchas para la quema de gases o en rellenos muy grandes para su recuperación energética. En este caso, se realizan perforaciones con equipo de perforación en la masa de residuos y se ubican tuberías de polietileno de 6" drenante de grava a su alrededor.
- ♻️ Pozos de venteo pasivo que pueden incluir quemadores para la combustión del gas metano. Las opciones más simplificadas pasan por instalar malla olímpica rellena con piedra manzana en una sección circular de 0,6 m de diámetro. Estos captadores pueden ser construidos mediante abertura de calicatas de profundidad 3m.

Generalmente, el sistema utilizado para controlar el gas durante su etapa de explotación (si es que este ha existido), se usa para controlar los gases después del cierre. En el caso de botaderos controlados puede ser que existan algunos captadores sencillos que hayan sido instalados durante su actividad y que se puedan usar para el mismo fin durante el cierre técnico. En botaderos a cielo abierto, normalmente no existirán estos captadores, por lo que si se identifica la presencia de gas, se deberían perforar pozos para la captación de este gas que en función de la profundidad del botadero pueden ser instalados mediante calicatas.

Los factores de diseño más importantes para la instalación de captadores de biogás, son: la selección de materiales, la ubicación y tipo de chimeneas de drenaje, la selección y colocación de válvulas y de tuberías de recogida en la cobertura final. Los materiales utilizados en la fabricación de las tuberías deben ser flexibles, para soportar los movimientos cuando el terreno se asienta, y suficientemente fuertes como para soportar la carga de las instalaciones de extracción y recogida del gas y el paso de vehículos o maquinarias sobre la superficie.

El número de chimeneas depende de factores tales como la profundidad usada en la captación, la altura del relleno, y el tipo de cobertura, entre otros, por lo que previamente a su instalación se debe

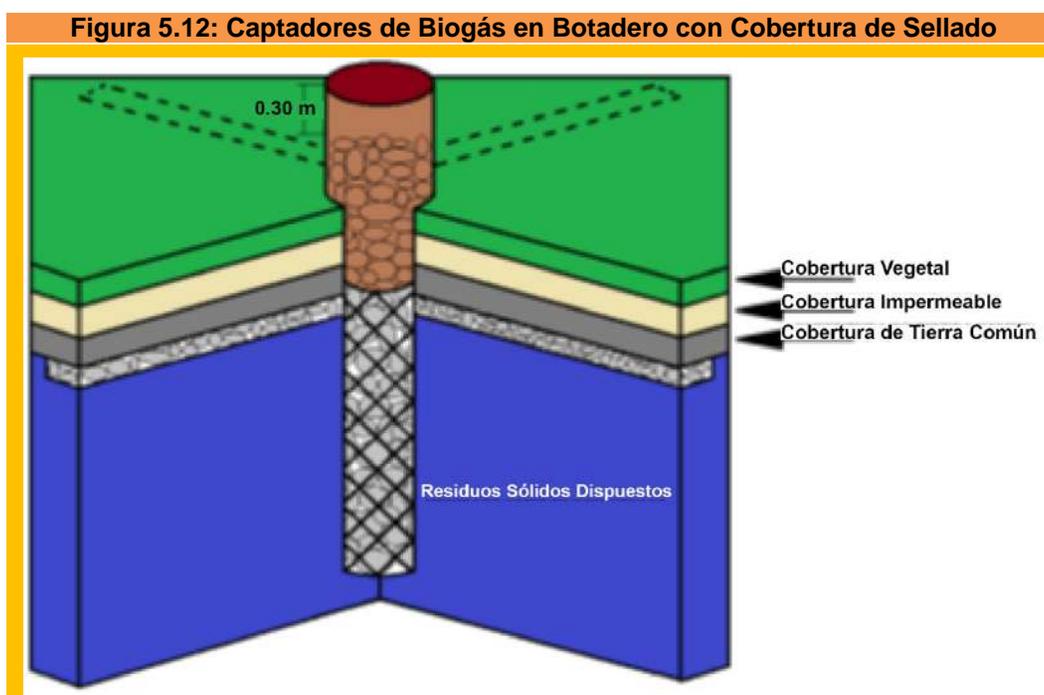
determinar el radio de influencia para la captación de los gases que puede de forma aproximada estar entre 25 a 35 m.

Previa a la construcción de sistemas de drenaje para la conducción de biogás provenientes del sitio, se debe realizar el monitoreo de posibles fugas de biogás empleando detectores de metano.

Para la instalación de sistemas de drenaje de biogás se podrán aprovechar las rutas de fuga de biogás, la instalación de chimeneas de captación de biogás relativamente cortas mediante el uso de calicatas y la perforación de pozos. Se podrá implementar sistemas de captación vertical y horizontal de biogás, según las necesidades y características topográficas del sitio y las características físicas de los residuos.

La captación puede ser activa o pasiva y puede contemplar diferentes opciones según el caso. En nuestro país, generalmente se construirán sistemas de captación pasiva de diferentes tipos.

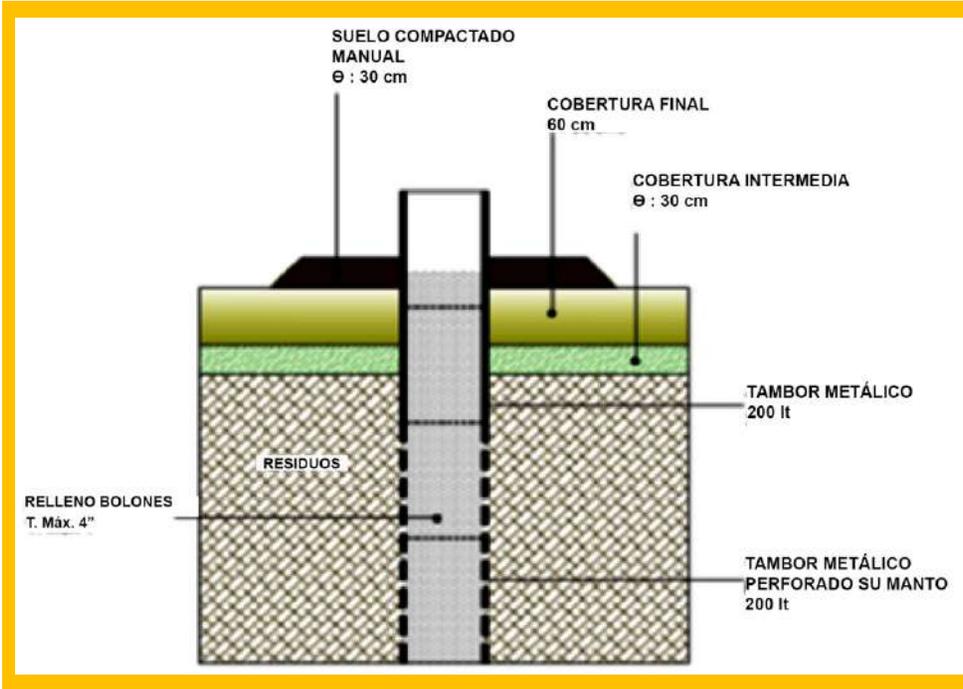
En las siguientes figuras, de forma referencial, se presenta esquemáticamente modelos que pueden ser utilizados en botaderos pequeños y/o medianos.



Fuente: Plan de saneamiento y cierre del botadero municipal de Santibáñez, Manejo de Residuos Sólidos en el Eje Conurbano del Departamento de Cochabamba

En el esquema anterior la construcción es de malla olímpica rellena con piedra manzana en una sección circular de 0.6 m de diámetro. Los ductos verticales responden al movimiento preferencial del biogás que es vertical; sin embargo, para lograr la mejor captación, pueden construirse captadores horizontales conectados a 90° uno del otro con el captador vertical. Para el efecto, este sistema se conformará mediante la excavación longitudinal de 3 a 5 m de largo dentro de la celda conformada con una profundidad de 0,20 m y un ancho de 0,40 m relleno con piedra manzana. Los ductos horizontales deberán estar dirigidos hacia el captador vertical.

Figura 5.13: Captadores de biogás en botadero con cobertura de sellado



Fuente: Alcances al Diseño, Operación, Cierre y Sellado de Vertederos, Diseño Cierre del Relleno Sanitario de Castro: ubicación chimenea de venteo de biogás, Congreso Internacional de la Red Girasol, 2010

Figura 5.14: Captadores de biogás con tecnología para opciones simplificadas

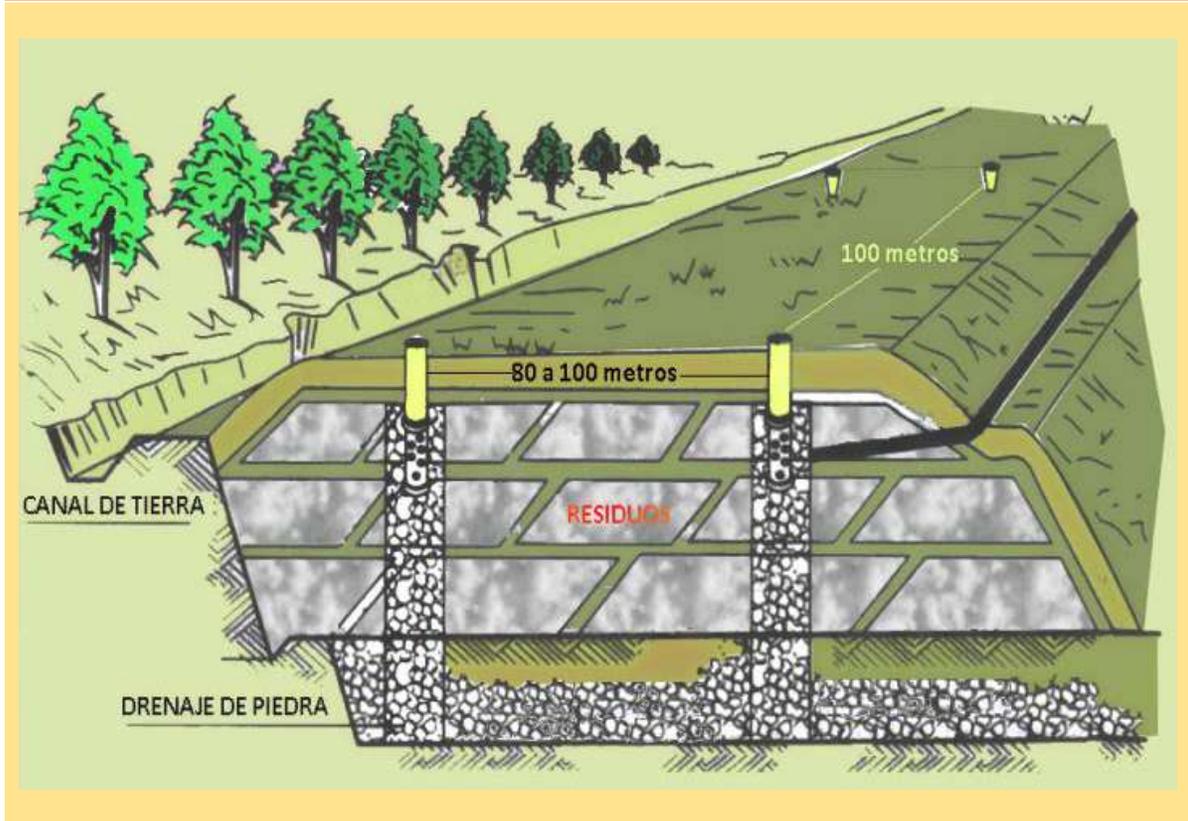
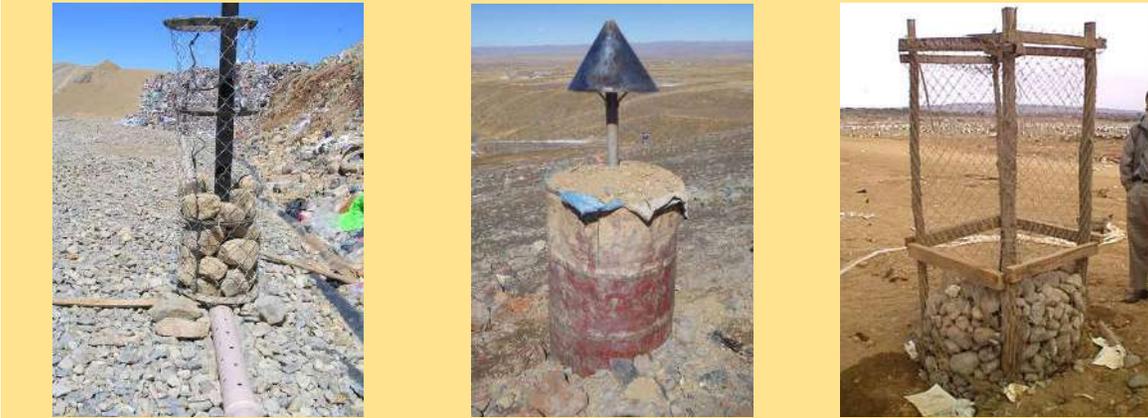


Figura 5.14: Captadores de biogás con tecnología para opciones simplificadas



Fuente: J. Jaramillo "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales" (1991) figura y MMAyA/VAPS/DGGIRS (fotos)

En todos los casos, los ductos verticales concluirán por encima del nivel de cobertura final, ya sea en un quemador para opciones simples o en un sistema de captación hacia una antorcha de combustión. En cualquier caso se debe realizar la combustión o quema del biogás con el objetivo de convertir el gas metano a dióxido de carbono, reduciendo así los niveles de emisión de gases de efecto invernadero y en consecuencia la contribución al cambio climático. Se procederá a sellar el perímetro de cada chimenea con una capa de suelo compactado manualmente de 30cms de espesor y 1,0m de ancho o incluso en algunos casos puede ser recomendable el uso de geomembrana de PEAD para sellar el perímetro de las chimeneas para favorecer la circulación de gases para su venteo.

Como en sistemas pasivos de venteo, la producción de los gases es intermitente, es importante instalar un quemador en la chimenea, y en caso de ser posible, por costos y por seguridad, en botaderos saneados pequeños, se recomienda pasarle un mechero encendido para quemar el gas que se esté produciendo y saliendo cada dos o tres días⁴.

Siempre que sea posible se deberá optar por sistemas de extracción activa con bomba de aspiración conjunta y combustión en antorcha por ofrecer mayor seguridad en el predio.

Figura 5.15: Ejemplo de pozo de captación profundo y combustión conjunta



Pozo y captación

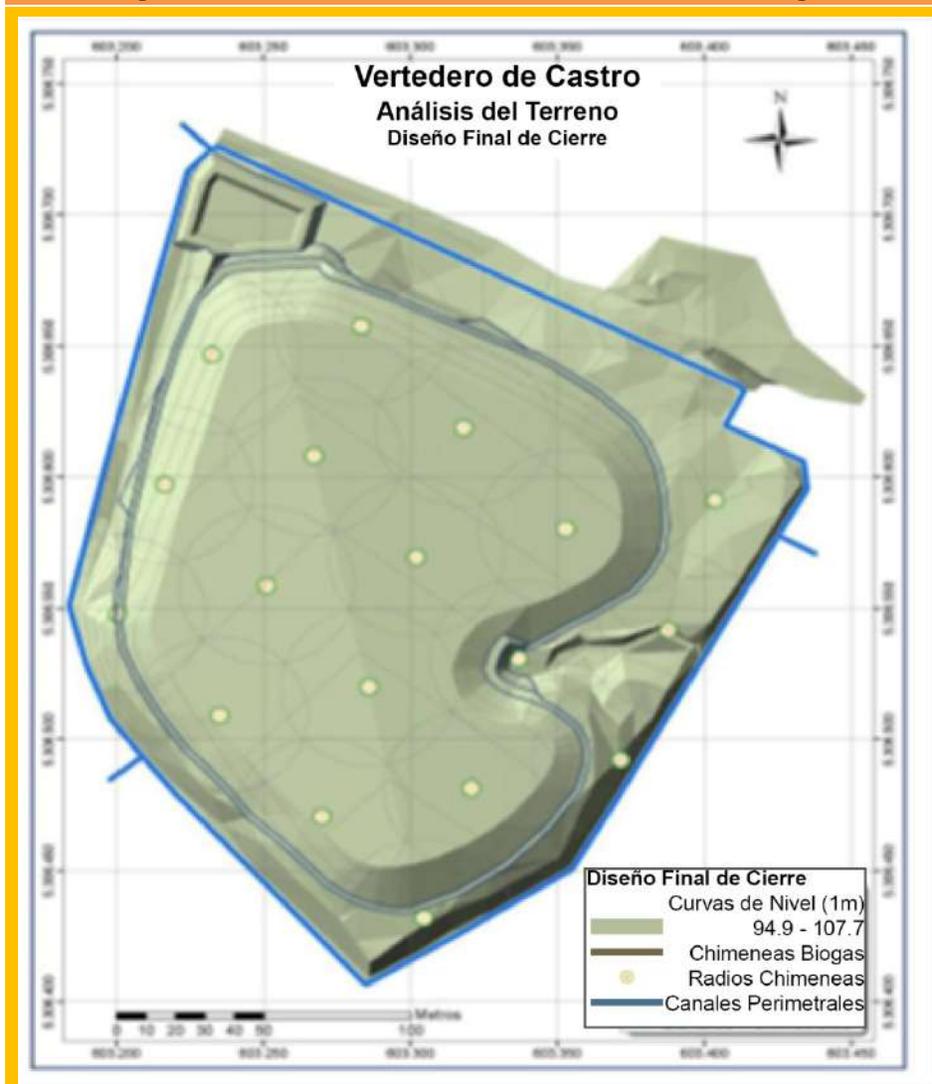
Conducción

Bomba de Aspiración y antorcha de Combustión

Fuente: Agència de Residus de Catalunya. Cierre técnico del relleno de Serrallarga, Lleida; Cataluña (España)

⁴ Guía ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a cielo abierto, Ministerio de Medio Ambiente, 2002, Colombia

Figura 5.16: Ubicación de chimeneas de venteo de biogás



Fuente: Presentaciones Conferencia Red Girasol

La generación de biogás en un botadero después de ser cerrado puede durar hasta 10 años, por lo que las chimeneas de captación de gases deben operar varios años después de cerrado el botadero.

En determinados botaderos grandes donde la disposición final de residuos sólidos ha sido reciente y en cantidad, podría ser rentable la implementación de un sistema de captación activa de biogás, mediante la perforación de pozos en profundidad para su conversión a energía eléctrica u otros similares. Existen modelos matemáticos que permiten identificar las cantidades de generación de biogás a partir del volumen de residuos depositados y la antigüedad de éstos.

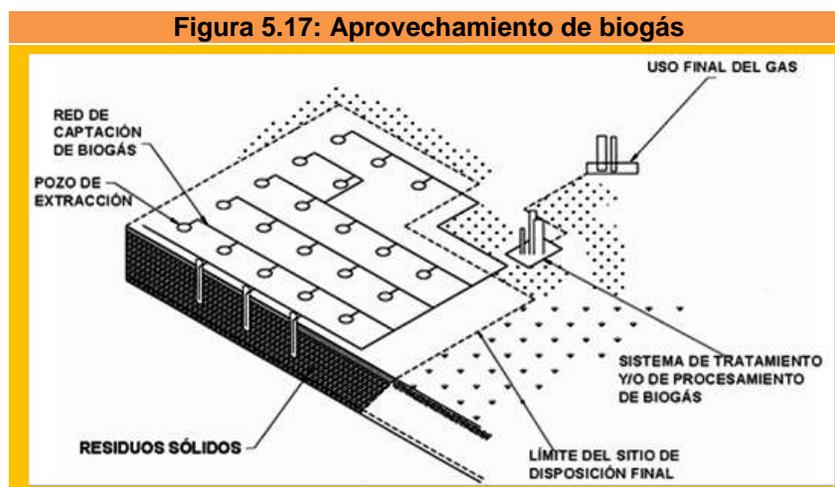
En botaderos de gran magnitud, en caso de pretender el aprovechamiento de biogás para generación de energía se debe prever la siguiente infraestructura:

- ✓ Pozo de extracción
- ✓ Soplador/compresor: Equipo: Motor eléctrico de 300 hp para manejar un compresor de tipo tornillo, que tiene como función: Soplador del biogás de dos etapas.
- ✓ Quemador
- ✓ Planta de tratamiento: Equipo: Motor de 400 hp para manejar un compresor de tornillo. Función: Sistema de enfriamiento de freón.

En el cuadro siguiente, se presenta el tipo y requerimientos para el tratamiento del biogás.

Cuadro 5.2: Tipo y requerimiento técnicos para el tratamiento de biogás			
Aprovechamiento del biogás/tratamiento del biogás	Necesidades de Tratamiento		
	Desulfuración (H ₂ S)	Secado (H ₂ O)	Descarboxilación (CO ₂)
Uso			
Térmico/Generación	Si	No	No
Calderas de gas	Si	No	No
Celdas de energía	Si	Si	Si
Combustible	Si	Si	Si
Suministro a la red de gas natural	Si	Si	Si

Fuente: Rehabilitación y Clausura del Sitio no Controlado, SEDESOL, México, 2005



Fuente: Rehabilitación y Clausura del Sitio no Controlado, SEDESOL, México, 2005

5.2.2.7 Estabilización física del botadero

Para elaborar el diseño geométrico al que se quiere llegar, se deberá partir de un estudio topográfico del botadero, de forma de garantizar la integración en el paisaje y la estabilización física o estructural del botadero una vez cerrado.

La estabilidad mecánica del conjunto formado por el sistema de cobertura y la masa de residuos deberá ser justificado mediante los cálculos correspondientes.

La forma de la(s) celda(s) a cerrar dependerá(n) de la topografía del terreno previsto para ese uso. Lo más importante es que el diseño asegure la estabilidad del conjunto. Es importante tener en cuenta que el material biodegradable, la humedad y la pérdida de material por causa de su descomposición, bajan la estabilidad del botadero.

Los taludes de la celda, se deben conformar de tal manera que no causen erosión y puedan darle buena estabilidad al relleno. Estos pueden ser desde horizontales hasta 3:1 (H:V), dependiendo del tipo de suelo. Si se ubican muros de contención frontales la pendiente de los taludes puede ser un poco mayor (2,5:1, 2:1).

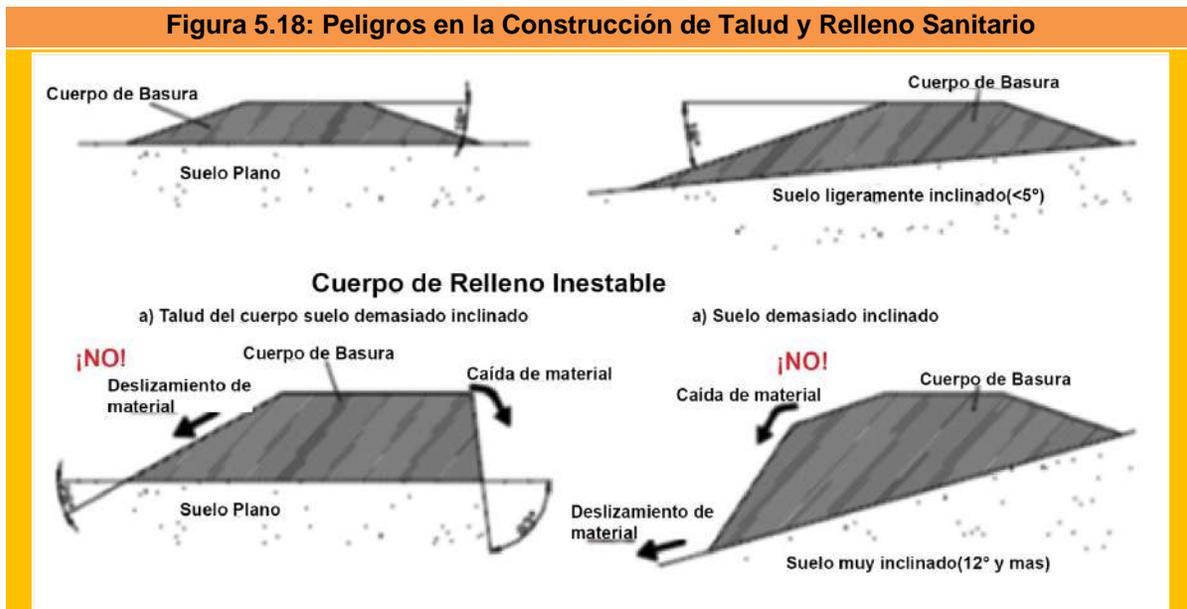
Se deben tomar en consideración dos tipos de inclinación: 1) La inclinación del terreno, si el saneamiento del botadero se realiza en un área inclinada (como en una quebrada seca), y 2) la inclinación del talud del conjunto de los residuos.

Existen dos criterios importantes para optimizar la inclinación del talud: si el talud es muy inclinado, el volumen disponible crece proporcionalmente, pero baja la estabilidad de los residuos confinados y en consecuencia, hay más peligro de caídas del material.

No se debe utilizar un terreno demasiado inclinado para no arriesgar la seguridad estática del cuerpo de residuos que podría caerse completamente o parcialmente. Se considerará el perfilamiento de los taludes, incluyendo bermas que mejoran la estabilidad de la masa de residuos, preparando el terreno en forma de terrazas, a fin de obtener un relleno a varios niveles planos. El material excavado durante la preparación de las terrazas se puede utilizar después como material de cobertura.

Las terrazas deben tener una pendiente del 2% hacia los taludes interiores para conducir las aguas de lixiviado a los drenajes, y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar mayor estabilidad a la obra⁵.

Los peligros de la construcción de un talud demasiado inclinado y del relleno sanitario sobre un terreno muy inclinado, se presentan a continuación:⁶



Fuente: Guía de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales -Eva RöbenDED/ Ilustre Municipalidad de Loja, 2002

⁵Guía Básica para el Manejo Ambiental de Rellenos Sanitarios, Programa Nacional de Competitividad, Costa Rica

⁶Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Eva Röben, DED/ Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador 2002

Si se disponen residuos en un terreno inclinado, se recomienda no elegir terrenos con una inclinación mayor de 12%, lo que equivale a una pendiente $> 1:4.5$. Además se recomienda preparar el terreno en forma de terrazas, a fin de obtener a varios niveles planos. El material excavado durante la preparación de las terrazas se puede utilizar después como material de cobertura.



Fuente: Guía de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales -Eva RöbenDED/ Ilustre Municipalidad de Loja, 2002

Peinado de taludes

Consiste en el colocado de la capa de sellado en los taludes y perfilado de la pendiente final del talud que idealmente deberá tener una inclinación de 2.5 H: 1V a 3H: 1V.

Nivelación de Banquinas y Asentamientos

Las banquetas serán niveladas superficialmente, confiriéndoles una inclinación media del 4%, que favorece la evacuación de agua longitudinalmente y la infiltración de las retenciones de agua a producirse en las banquetas para el aprovechamiento por la vegetación.

Acordonado de Banquinas

Con el fin de contener las aguas de drenaje y evitar la erosión de los taludes en caso de flujos importantes, al extremo de las banquetas se debe colocar un cordón de tierra que cumple dicha función. Este acordonado además sirve para la retención de semillas vegetales de los taludes superiores que llegan a las banquetas producto del arrastre por aguas pluviales. Este acordonamiento solo se efectúa con carácter preventivo.

Instalación de Drenajes en las Banquinas

Para permitir el fácil escurrimiento de aguas superficiales, se deben formar y mantener los drenajes en las banquetas que conduzcan las aguas superficiales hacia los canales de drenaje pluvial. Preferentemente los drenajes formados al pie de talud deberán ser de tierra ya que la impermeabilización de los mismos produce gran pérdida de material reproductivo (semillas, estolones, etc.) que desciende desde los taludes por arrastre de aguas pluviales.

5.2.2.8 Corte y Transporte de Tierra

Estas actividades serán realizadas con la maquinaria necesaria para este tipo de trabajos, dependiendo de la magnitud del botadero se puede requerir tractor de orugas, pala cargadora y volquetas. Los sitios de descarga de la tierra extraída serán principalmente la cubierta superior, lugares de asentamientos y deformaciones.

Figura 5.20: Ejemplos de estabilización y conformación de banquinas



Relleno de municipio de Serrallarga, Cataluña.

Relleno de Navarro

Fuente: Obras de cierre de los rellenos de Serrallarga y Navarro

5.2.2.9 Cobertura Final de la Celda

El propósito de la cubierta final de un sitio de disposición final es aislar a los residuos para evitar la entrada de lluvia en las celdas de forma de ir reduciendo poco a poco la generación de lixiviados y biogás. Un sistema de cobertura final debe ser construido tomando en cuenta las condiciones descritas en la NB-760, para que cumpla con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja.

En la medida de lo posible, el material de cobertura será extraído del mismo predio o de sectores aledaños al sitio de disposición final.

La cobertura de los residuos deberá considerar los siguientes aspectos:

- ♻️ Cuantificar la extensión del área total a ser cubierta empleando instrumentos topográficos.
- ♻️ Disponibilidad del material de cobertura, a través del cálculo de volúmenes de material a utilizar y así localizar el banco de préstamo de material arcilloso.
- ♻️ La selección del material idealmente con un coeficiente de permeabilidad de 10^{-6} cm/s, que cuente con características detalladas en la NB-760, y se encuentre cercano al sitio.
- ♻️ La altura que los residuos sólidos depositados han alcanzado dentro del sitio.
- ♻️ La compactación que la basura ha tenido a lo largo del tiempo en que se ha ido depositando, en toda la superficie del sitio.
- ♻️ Los ángulos de inclinación que presentan los taludes de la conformación final de residuos sólidos depositados en el sitio.

La cobertura final estará conformada básicamente por tres capas: una capa de soporte, una capa de barrera hidráulica (capa impermeable) y una capa vegetal. La capa superficial o vegetal promueve la evapotranspiración y ayuda a controlar la erosión por el viento y el agua, es el soporte de la vegetación. Debajo de la capa superficial se encuentra la capa impermeable, que consta de un suelo de baja permeabilidad o de capas de material sintético que impide la infiltración del agua proveniente de la capa superficial que no se perdió en la escorrentía o evapotranspiración, y por debajo, encima de los residuos tenemos la capa de soporte o asentamiento que permite asentar a los residuos y preparar la cubierta para el resto de capas.

En función del tipo de botadero y de su volumen, es conveniente incluir capas para el drenaje de gases previo a la capa de impermeabilización y para el drenaje de aguas previo a la capa vegetal.

De forma ideal y referencial, el orden previsto de las capas de cobertura es el siguiente:

Cuadro 5.3: Construcción de la Capa Final

Capas necesarias	Material	Necesidad Según Tipo de Botadero		
		Botaderos medianos/grandes con disposición de residuos biodegradables	Botaderos sin disposición de residuos biodegradables	Botaderos manuales, pequeños, o muy pequeños
Capa de soporte o de asentamiento de espesor de 0,3 -0,5m	Tierra de cobertura	Si	Si	Si
Capa de drenaje de gas, con espesor mayor a 50 cm	Piedra bola, grava o equivalente *	Si	No	Si el material está disponible y si es económicamente posible
Capa impermeable de material arcilloso espesor 0,4 m– 0,6 m	Limo arcilloso o arcilla de impermeabilidad suficiente**	Si	Si	Si
Capa de drenaje de aguas de lluvia espesor: 0,3 m	Capa de gravas permeabilidad superior o igual 10^{-3} cm/s ***	Si entreverado con piedra o grava	No	No
Capa vegetal espesor 0,7- 0,8m	Suelo natural enriquecido con humus o compost	Si	Si	Si

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS en base Real Decreto 1481/2001(España)

* Puede usarse un material sintético tipo geodren o geocompuesto drenante

** Si no se dispone de arcilla con suficiente impermeabilidad, puede optarse por materiales sintéticos, como geocompuesto bentonítico o lámina de geomembrana de polietileno con geotextil de protección.

*** Puede usarse un material sintético tipo geodren o geocompuesto drenante

Para algunos botaderos pequeños, se podrá plantear un sistema mínimo de cobertura final para el sellado, siempre que cuente con la correspondiente justificación técnica y aprobación por las autoridades ambientales. Este sistema consiste en la colocación de una capa de suelo con un espesor mínimo de 60 cm. con características de franco arcilloso de suficiente impermeabilidad y posteriormente una capa vegetal para la siembra.

En todo caso, cualquier modificación de las especificaciones del cuadro anterior deberá ser propuesta y justificada técnicamente para la aprobación de la autoridad ambiental correspondiente.

Capa de Soporte o de asentamiento

La capa de soporte es la capa de tierra común colocada sobre la última capa de cobertura de los residuos sólidos. Esta capa es compactada por el paso sucesivo del equipo pesado de compactación.

El espesor será de aproximadamente 50cm. Se recomienda construir esta capa en dos etapas, cada una de 20 - 30 cm de espesor, con un intervalo de aproximadamente un mes para tratar de cubrir los asentamientos que se produzcan en esta primera capa.

La inclinación final que debe tener la cubierta superior es del 2% como mínimo, para permitir el drenado de las aguas superficiales.

Se debe dirigir las pendientes de esta capa hacia el sistema de drenaje perimetral de las celdas

Capa de drenaje de gases

Esta capa se dispone para favorecer la captación del biogás y evitar asentamientos diferenciales que afecten a la estabilidad de la masa de residuos.

Esta capa será imprescindible y de especial importancia en el caso de usar geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) como capa de impermeabilización, para evitar bolsas de gas en la superficie.

En caso de no contar con material natural puede usarse material sintético tipo geocompuesto drenante o geodren.

Capa impermeable

Luego de la cobertura con tierra común, se recomienda realizar cubrimiento con material de cobertura de textura limo-arcilloso bien compactado a fin de impermeabilizar el sitio evitando que el agua alcance los residuos enterrados y minimizar así la cantidad de residuos generados. Se recomienda que la capa de impermeabilización sea de 40 a 90cm, en función del tipo de relleno. Esta debe tener, en condiciones ideales, una permeabilidad de 10^{-6} cm/s a 10^{-7} cm/s. Las condiciones de compactación e impermeabilidad deben lograrse con una masa homogénea, con un contenido de humedad del 2% al 3% por encima de la humedad óptima y un alto grado compactación.

En caso de no disponer de material natural con la suficiente impermeabilidad, se pueden usar materiales sintéticos. Los materiales sintéticos nos permitirán alcanzar niveles altos de impermeabilidad. Los materiales sintéticos pueden ser:

- ✓ Geocompuesto bentonítico; que se trata de un material tipo Sándwich de bentonita de unos 3-4cm
- ✓ Geomembrana de PEAD de 1-1,5mm. En condiciones óptimas, la geomembrana debería estar precedida por debajo y por encima de un geotextil de protección de 200gr. En el caso de usar geomembrana, hay que cuidar su colocación especialmente en el sellado entre láminas. También en este caso, la capa de drenaje de gases es imprescindible para garantizar la salida de estos hacia los captadores de venteo y evitar la formación de gases que podrían generar bolsas en la superficie y afectar a la estabilidad de la masa de residuos.

Capa de drenaje de aguas de lluvia

Esta capa debe permitir captar las aguas de lluvia que hayan logrado traspasar la capa vegetal, de forma de garantizar su drenaje.

Es muy importante colocar una capa de geotextil filtrante entre las gravas y la capa vegetal con el objetivo de impedir la colmatación de las gravas y garantizar su papel drenante a lo largo del tiempo.

Las aguas drenadas deben ser desviadas a los drenajes externos de pluviales.

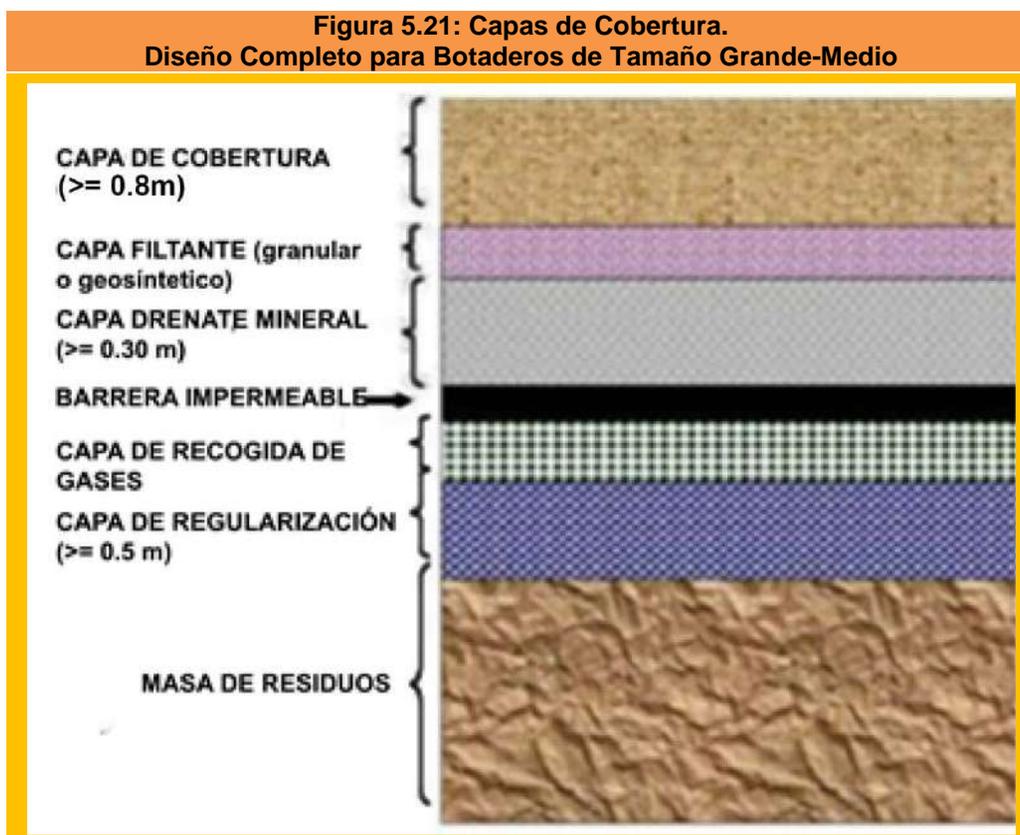
Se puede valorar la posibilidad del uso de materiales sintéticos como son el geodren o geocompuesto drenante.

🌱 Capa Vegetal

La capa superficial o vegetal promueve la evapotranspiración y ayuda a controlar la erosión por el viento y el agua y es el soporte de la vegetación. Se colocará después la capa impermeable. Posteriormente, se recubrirá con la tierra fértil y se adaptan especies vegetativas nativas.

Se recomienda poner una primera capa de tierra de 50cm y una segunda de 30cm de tierra enriquecida con humus o compost.

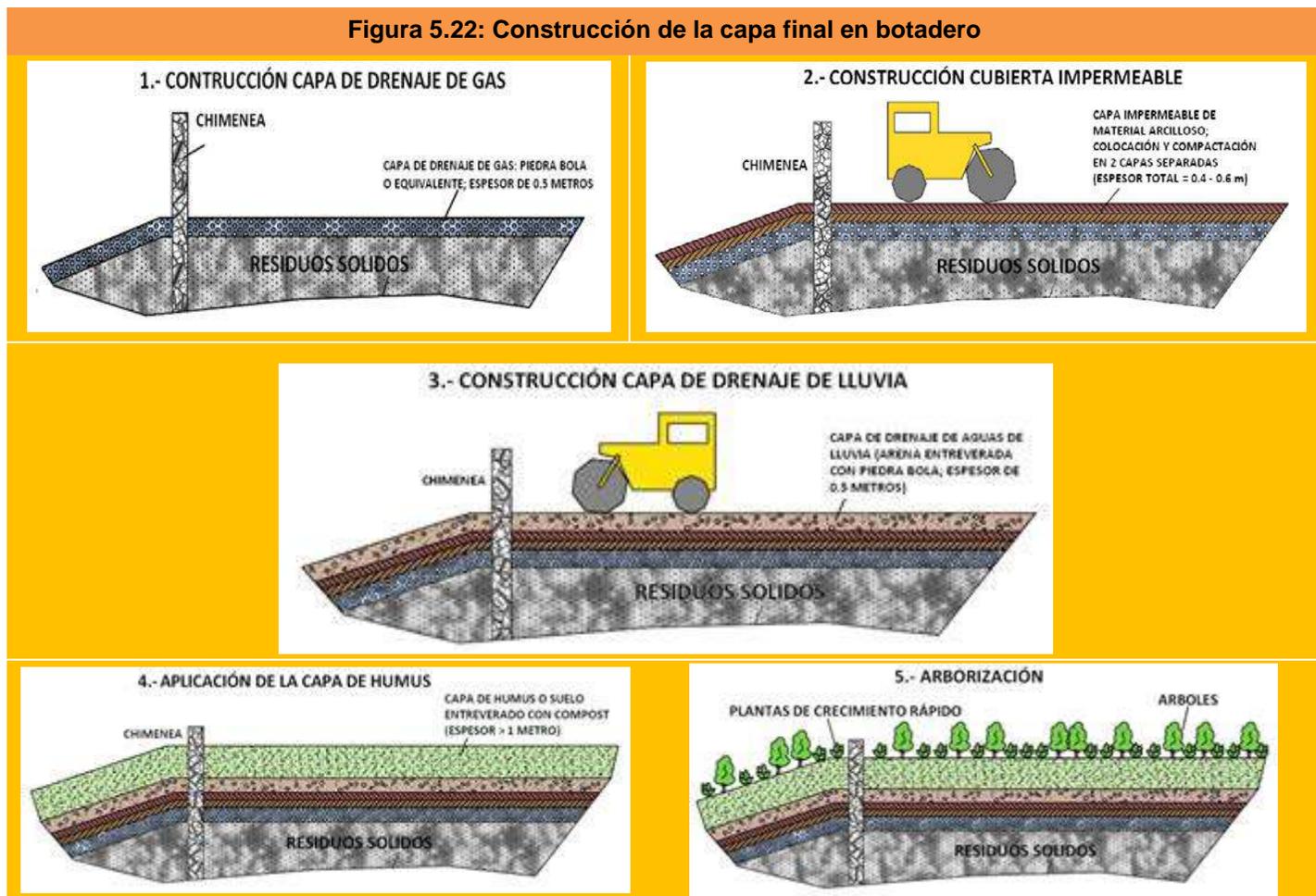
La capa vegetal será extendida sobre la capa impermeable compactada o sobre la capa drenante en función del tipo de cobertura. Se deberá incorporar en la misma una fertilización orgánica antes de iniciar el sembrado y su espesor dependerá de las especies a ser sembradas sobre la misma. Preferentemente, éstas deberán ser especies de escasa profundidad radicular y de desarrollo vegetativo agresivo para facilitar su expansión sobre la capa vegetal de las celdas. Las especies vegetales implantadas deben ser resistentes a deficiencias hídricas y nutricionales, tolerantes a temperaturas extremas y permitir una alta tasa de evapotranspiración.



Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS con base en Real Decreto 1481/2001(España)

Las figuras siguientes muestran el proceso de cubierta final.

Figura 5.22: Construcción de la capa final en botadero



Fuente: Guía de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales -Eva RöbenDED/ Ilustre Municipalidad de Loja, 2002

🌱 Forestación del predio

La forestación de los predios del botadero tiene diversos fines dependiendo del sitio donde se realiza esta actividad, los cuales son:

- a) Forestación en taludes: Aminora los efectos erosivos de las lluvias y escorrentías, mejora la estabilidad de los taludes.
- b) Forestación perimetral: Tiene como objetivo principal, cumplir con la NB 760 respecto al área de amortiguamiento además de servir como cortina rompevientos.
- c) Forestación en bordes talud-banquina: Mejora la estabilidad en la orilla de la banquina y además agrega un diseño paisajístico al lugar
- d) Forestación de la superficie

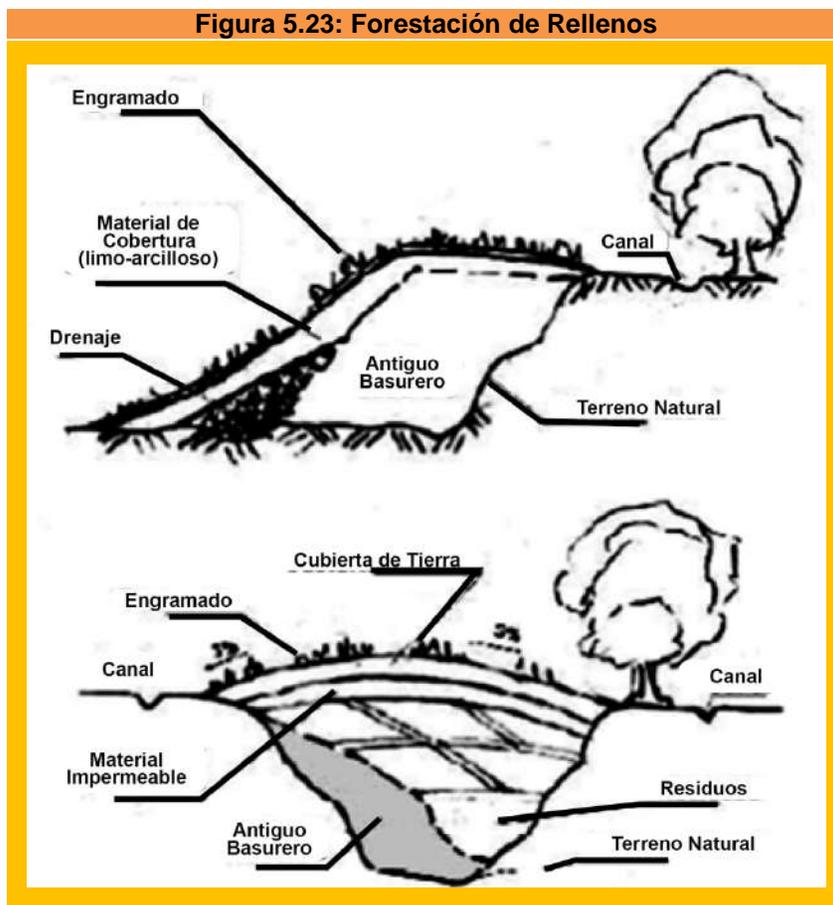
Las especies deben ser de escaso desarrollo radicular para no provocar problemas en la capas de sellado y deben estar a las condiciones difíciles del lugar.

De manera general, la forestación comprende básicamente los siguientes pasos:

1. Obtención de los plantines: idealmente los plantines forestales y arbustivos a ser implantados dentro el botadero deberán ser producidos *in situ*, esto significa, implementar un pequeño vivero dentro el botadero para la obtención de los plantines, caso contrario podrán ser obtenidos del mercado.

2. Hoyadura: Cavar los hoyos donde se realizara la plantación cuyas dimensiones dependerán de las especies que serán utilizadas y de la edad de los plantines.
3. Abonado base: Una vez realizados los hoyos se deberá realizar la fertilización orgánica (estiércol, lama, humus, etc.) combinada con suelo blando.
4. Plantación: Se realizara preferentemente en días nublados a primeras horas de la mañana, apisonando adecuadamente la tierra alrededor de las raíces del plantin.
5. Riego: Inmediatamente luego de la plantación se realiza un riego hasta alcanzar capacidad de campo.
6. Labores culturales: Comprenden los cuidados necesarios para que la planta desarrolle adecuadamente y sea autosostenible en el tiempo.

Figura 5.23: Forestación de Rellenos



Fuente: J. Jaramillo "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales" (1991)

Figura 5.24: Ejemplos de Cubiertas con Materiales Sintéticos



Fuente: Cierre técnico del relleno de Serrallarga, Lleida; Cataluña, España

5.2.2.10 Diseño de la red o pozos de monitoreo de aguas subterráneas

A efectos de poder controlar la posible contaminación del botadero a las aguas subterráneas, se debe diseñar e implementar una red de control de piezómetros o pozos de monitoreo.

El comportamiento de los contaminantes en el medio subterráneo es un fenómeno complejo, dadas las características físico químicas del propio contaminante cómo por la heterogeneidad del medio. Disponer de puntos de control que permitan obtener muestras representativas de las aguas subterráneas, es un elemento clave para las tareas de caracterización y control de la posible contaminación.

Los puntos de muestreo, deben permitir evaluar la calidad del agua subterránea y estimar tanto las propiedades hidráulicas del acuífero como la dirección y velocidad del flujo subterráneo, para poder caracterizar la hidrogeología, definir el sector de contaminación y evaluar alternativas de restauración y/o contención de la contaminación.

La Norma Boliviana NB-760 indica que:

- ♻️ Se deberá contar por lo menos con dos pozos. Uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 100 m aguas arriba del relleno sanitario y otro a 100 m aguas abajo. Se instalarán siempre y cuando el nivel de agua freática este a menos de 25 m con respecto al nivel del terreno natural.
- ♻️ Los pozos deberán llegar hasta dos metros por debajo del acuífero, a fin de garantizar el monitoreo del acuífero en toda su sección.

Los pozos establecidos por la norma son mínimos siendo normalmente técnicamente necesario instalar varios puntos más de muestreo para garantizar la protección ambiental requerida. El diseño de la red variará en función de: 1) si el objetivo es corroborar que no existe contaminación, o 2) si se conoce o se estima de la existencia de esta contaminación.

La primera fase pasará por el diseño de la red, su ubicación y diseño constructivo. Para la ubicación se deberá realizar los estudios geofísicos e hidrogeológicos, previos, así como los inventarios de pozos cercanos, que permitan determinar la dirección de flujo de forma de ubicar los piezómetros en la dirección de flujo y aguas abajo del botadero. El diseño de la red contemplará:

- ✓ Número, ubicación, profundidad y tipo.
- ✓ Parámetros de análisis de las aguas.
- ✓ Método de perforación: helicoidal, rotación y percusión/rotopercusión.
- ✓ Se recomienda las siguientes características constructivas de los piezómetros: Tubería de PVC o material similar con diámetro interior mínimo de 110mm y tapón de fondo-distribución de los tramos filtrantes adaptados a las características hidrogeológicas del medio.
- ✓ El espacio anular correspondiente al tramo filtrante será de 5cm como mínimo constituido por grava silíceo rodada y lavada de diámetro entre 3 y 10mm. El resto de espacio anular será correctamente cementado.
- ✓ El piezómetro se deberá resguardar mediante arqueta y sistema de cierre adecuado.
- ✓ Se deberá purgar el piezómetro después de su instalación.
- ✓ La cota de fondo del piezómetro será siempre inferior a la profundidad de la celda. En cualquier caso, la profundidad de este deberá permitir el muestreo de las aguas subterráneas subyacentes.
- ✓ La boca del piezómetro será nivelada, referenciando a una cota geográfica absoluta.
- ✓ Se adjuntará su esquema constructivo, precisando características técnicas y columna litológica.

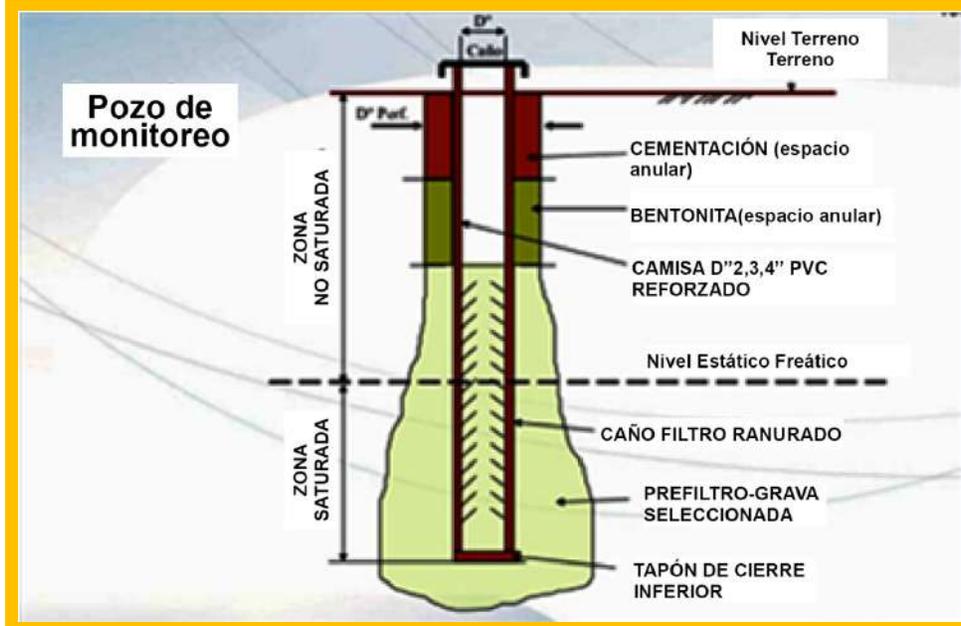
Posteriormente, se procederá a la instalación de los piezómetros mediante máquina de perforación y empresas especializadas.

Para la correcta instalación y uso de los piezómetros, es necesario conocer con exactitud la situación del nivel o niveles permeables que se quieren monitorear y ubicar, en

consecuencia, los tramos de muestreo de las aguas. Por esta razón hay que determinar con detalle el perfil litológico del sondeo, objetivo que puede lograrse mediante el estudio de la columna obtenida durante la perforación.

Finalmente, se deberá muestrear los piezómetros, de forma de obtener muestras representativas para su análisis. Para el purgado de los piezómetros y las condiciones de conservación de las muestras hasta su llegada a laboratorio, se deberán cumplir normas internacionales de referencia como ASTM u otras de reconocido prestigio. Los aspectos concernientes al monitoreo de aguas subterráneas se presentan en el Capítulo VI.

Figura 5.25: Esquema de un Pozo de monitoreo

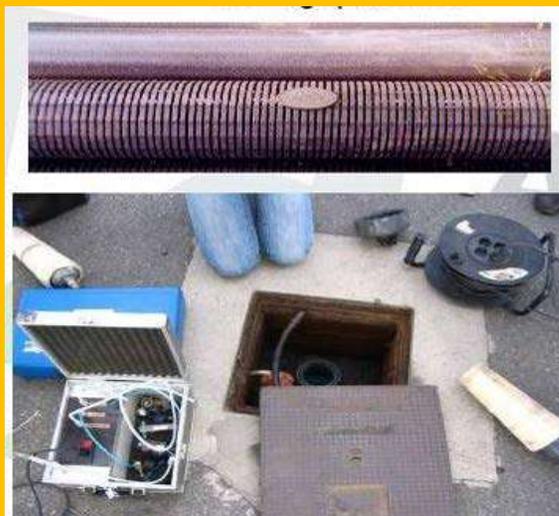


Fuente: Curso de Instituto Argentino de normalización y certificación

Figura 5.26: Instalación de piezómetros o pozos de monitoreo



Perforación de pozos



Tramo filtrante de piezómetro, arqueta final y muestreo de campo

Fuente: Vertedero de Castro, Chile. Congreso Internacional de la Red Girasol, 2010

5.2.2.11 Establecimiento del sistema de mantenimiento de obras y monitoreo ambiental post-cierre técnico

El proyecto de cierre técnico deberá considerar las actividades post-cierre técnico las cuales se enfocarán primordialmente al mantenimiento de las obras efectuadas en el cierre técnico y la implementación de sistemas de control o monitoreo ambiental, según se detalla en el Capítulo VI.

5.2.2.12 Control de incendios y de papeles y plásticos

Uno de los aspectos más importantes al momento de sanear un botadero es controlar los incendios y apagar todo conato de incendio, lo cual permitirá iniciar las labores de control de personal, cercado, manejo de gases, etc.⁷

En los botaderos hay gran cantidad de material con alto poder calorífico, fácilmente inflamable y/o explosivo. En ocasiones llegan residuos aún en combustión. Por otra parte, los segregadores voltean los residuos sólidos porque les deja al descubierto el material que no han podido recuperar posibilitando la aireación que contribuye a la generación de incendios. Hay que tener en cuenta además que durante la degradación de la materia orgánica también se produce gas metano inflamable.

Lo más importante para controlar los incendios es mantener un estricto control sobre los pequeños focos que se presentan y que se deben apagar prioritariamente. Si se observa humo o una pequeña llama y se apaga inmediatamente se puede evitar un gran incendio. Las medidas a tomar en este sentido son:

- ✓ Elaborar un plan de emergencias contra incendios
- ✓ Instalar extintores portátiles y tener operativo un extintor en el frente de trabajo
- ✓ Realizar cursos de capacitación a todo el personal
- ✓ Contar con un acopio de tierra en el frente de trabajo para poder recubrir residuos encendidos
- ✓ Prohibir fumar en todo el recinto, con excepción de zonas identificadas en el sector de oficinas y mantención
- ✓ Controlar periódicamente el funcionamiento del sistema de captación de gas
- ✓ No usar agua para la extinción de fuegos en el relleno sanitario

En caso de pequeños incendios los pasos a seguir son:

- ✓ Cubrimiento con tierra en abundancia (mínimo 80 cm. por encima de las llamas)
- ✓ Consolidación o compactación de los residuos con un pisón de mano, de barril o con un buldócer (por lo menos 5 pasos de tractor o su equivalente, con el pisón de mano), acción que se realiza hasta tener la certeza que el humo que sale sólo es vapor de agua, pasada una hora después de la compactación inicial se debe volver a compactar para evitar futuros incendios.
- ✓ Someter estos focos de pequeños incendios a estricto control durante los días siguientes y cada vez que se observe humo repetir las dos primeras operaciones.

Asimismo, es necesario al iniciar el saneamiento del botadero a cielo abierto, hacer limpieza de toda la zona y sus alrededores. Se debe recoger los materiales ligeros que se encuentren dispersos en los alrededores para lo que en forma manual los obreros con herramientas apropiadas (rastrillos, punzadores, etc.) recojan los papeles y plásticos y los lleven al sitio donde se está disponiendo sanitariamente los residuos.

⁷ Guía ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a cielo abierto, Ministerio de Medio Ambiente, 2002, Colombia

5.2.3 Uso final del sitio

Luego de efectivizar el cierre técnico y saneamiento del botadero, se debe esperar un tiempo prudente lo suficiente para que se establezcan la generación de lixiviados o gases, aproximadamente entre 10 a 15 años para destinar el sitio para un nuevo uso. Es decir, se deberá tener certeza de la estabilización efectiva de los residuos y la no generación de biogás y de lixiviados. De todas formas, las actividades a implementar para el uso final del suelo deben considerar:

- ✓ Iniciativas que garanticen la no erosión de la cubierta final a fin de garantizar la no infiltración del agua de lluvia.
- ✓ Iniciativas que no comprometan la estabilidad de la masa de residuos. No se debe permitir la construcción de edificaciones, viviendas, escuelas ni infraestructura pesada sobre la superficie del relleno, debido a su poca capacidad para soportar estructuras pesadas, además de los problemas que pueden ocasionar los hundimientos y la generación de gases.

El uso futuro de un relleno sanitario depende del clima, de su localización respecto al área urbana, de su extensión y de la configuración final del relleno, la altura y el grado de compactación, así como también de la capacidad económica para hacer frente a la conversión del área.

El terreno de un botadero cerrado se presta para desarrollar programas de recuperación paisajística y social como un parque, un campo deportivo o una zona verde.

Figura 5.27: Parque ambiental en antiguo botadero cerrado



Fuente: Clausura relleno de Serrallarga (Lleida, Catalunya, España). Establecimiento de un parque ambiental. Zona de picnic y aula ambiental. Agencia de Residuos de Cataluña

Figura 5.28: Integración en el paisaje de relleno sanitario



Fuente: Restauración e integración en el paisaje del relleno sanitario de la Vall d'En Joan, Cataluña, España. Área Metropolitana de Barcelona (www.amb.cat)

5.3 Rehabilitación de botaderos

Una alternativa que debe ser estudiada en forma detallada, consiste en la adecuación del botadero en un relleno sanitario, siempre y cuando el sitio cumpla con las condiciones básicas y normativa de orden nacional y local para la operación de un relleno sanitario, y cuente con la capacidad suficiente para la disposición de residuos durante una vida útil, que permita la recuperación de las inversiones necesarias.

Los procedimientos descritos en el capítulo precedente para el cierre técnico y saneamiento de botaderos, aplican en su totalidad para las áreas afectadas e impactadas ambientalmente, es decir para las áreas que hayan estado en operación como botadero. La conversión del sitio a relleno sanitario se aplica al área no impactada.

La rehabilitación de un botadero a relleno sanitario, podrá realizarse solo si el sitio cumple con la normativa vigente para ubicación de rellenos sanitarios y si no existen impactos ambientales ocasionados por el anterior botadero que impidan la coexistencia del antiguo botadero con el nuevo relleno sanitario.

La rehabilitación deberá incluir de forma previa, el cierre técnico de la celda en operación en forma de botadero para garantizar la correcta operación del sitio como

Los trabajos de campo previos efectuados con el fin de planificar el cierre del botadero serán útiles para planificar el nuevo relleno sanitario.

Esto significa contar con estudios topográficos (Planimetría, Altimetría, etc.), hidrogeológicos y geológicos del sitio; estudios de suelos y datos de caracterización, de los residuos sólidos, información referente a las cantidades de residuos sólidos a disponer, proyectadas para un periodo igual al de la vida útil del sitio.

Para detalles y especificaciones técnicas sobre el diseño, implementación y operación de rellenos sanitarios se puede ver la Guía para el diseño, construcción, operación y cierre de Rellenos Sanitarios y consultar la normativa técnica ambiental (NB 757 y NB 760).

5.4 Datos Complementarios

Como parte del plan de cierre, se debe incluir en el proyecto un cronograma de ejecución con todos sus componentes. Asimismo, se deben detallar las inversiones requeridas para la ejecución del proyecto, los costos operativos y de mantenimiento, monitoreo y control del botadero cerrado. Deberán evaluarse de incorporar estos costos en los costos operativos del servicio de aseo urbano o en su defecto figurar en los presupuestos anuales de los gobiernos municipales.

5.5 Anexos de Planos

El proyecto deberá ir acompañado de los planos respectivos para cada uno de los rubros señalados a continuación, de forma de garantizar la ejecución de las obras de forma detallada:

- ✓ Vías de acceso
- ✓ Sistema de Drenaje Pluvial
- ✓ Servicios básicos
- ✓ Sistema de captación, conducción y almacenamiento de lixiviados
- ✓ Tratamiento de lixiviados
- ✓ Estabilización física del botadero
- ✓ Sistemas de captación de biogás y quema o recuperación energética
- ✓ Drenajes en las Banquinas
- ✓ Cobertura Final de la Celda
- ✓ Red o pozos de monitoreo de aguas subterráneas
- ✓ Sistema de mantenimiento de obras y monitoreo ambiental post-cierre técnico
- ✓ Control de incendios y de papeles y plásticos.

CAPITULO VI: MANTENIMIENTO Y MONITOREO POST – CIERRE TÉCNICO DEL SITIO

CAPÍTULO VI: MANTENIMIENTO Y MONITOREO POST – CIERRE TÉCNICO DEL SITIO

6.1 Post – Cierre técnico

Las acciones de mantenimiento de las obras y de control y monitoreo de los vectores ambientales después del cierre técnico, se conocen como actividades de Post-cierre técnico.

El proyecto de cierre técnico deberá considerar las actividades post cierre técnico las cuales se enfocarán primordialmente al mantenimiento de las obras efectuadas en el cierre técnico y la implementación de sistemas de control o monitoreo ambiental.

Estas actividades deberán ser informadas a las autoridades competentes de forma periódica mediante los correspondientes informes técnicos.

Entre las actividades más importantes a cumplir en la etapa de post cierre técnico se tienen:

- ✓ Organización encargada de la ejecución de la post cierre técnico
- ✓ Inspecciones rutinarias
- ✓ Actividades de mantenimiento de la infraestructura (cobertura, asentamientos, banquetas, sistema de captación y tratamiento de lixiviados, de captación y tratamiento de gases, sistemas de drenaje pluvial, etc.)
- ✓ Supervisión ambiental
- ✓ Actividades de monitoreo ambiental de aguas superficiales, aguas subterráneas y aire.
- ✓ Previsión de elaboración de informes.

6.2 Mantenimiento de las obras de cierre técnico del botadero

La infraestructura civil del botadero debe ser mantenida en condiciones adecuadas de operabilidad a lo largo del periodo de cierre y mantenimiento post-cierre.

Anualmente, debe ejecutarse un programa de mantenimiento preventivo de las construcciones civiles: sistema de canales de conducción de aguas pluviales, sistema de control hídrico de quebradas y torrenteras, cerca perimetral, vías de acceso externas e internas, etc. Es decir todas las obras civiles que se encuentren dentro los predios del botadero.

Las actividades de mantenimiento del botadero, en función del tamaño y magnitud de éste, se ejecutaran durante un periodo de 10 -15 años y tendrán carácter preventivo y ocasionalmente correctivo.

6.2.1 Mantenimiento de las vías de circulación

Para los caminos interiores, que son las arterias vitales para lograr un adecuado mantenimiento del sitio, se debe garantizar que estén siempre transitables. El mantenimiento deberá considerar las labores de rellenado de agrietamientos, el riego de caminos con agua tratada y la limpieza de cunetas para evitar el azolvamiento.

6.2.2 Mantenimiento de la cobertura final

Se debe tener en cuenta que el mantenimiento de largo plazo tiene el objetivo de resolver problemas provocados por las lluvias y el viento, como las depresiones y erosiones. Es importante que dichos problemas se reparen a la brevedad posible para evitar que los residuos queden al descubierto y que puedan provocar problemas ambientales.

Debido a las precipitaciones pluviales como también a las corrientes de aire fuertes, la cobertura final podría sufrir deterioros con el pasar del tiempo, es por eso que se debe de realizar trabajos manuales que consistirán en el rellenado de grietas y depresiones a fin de contrarrestar los daños producidos por estos fenómenos naturales en taludes y plataforma que producen asentamientos y agrietamientos.

6.2.3 Mantenimiento de la cobertura vegetal en la celda

Con el fin de preservar la cobertura vegetal en taludes y banquinas de la celda, fruto de la experiencia en la parquización se recomienda extender sobre la capa vegetal un manto de restos de poda que sirve de protección en la época seca y al mismo tiempo se incorpora materia orgánica al suelo. Esta práctica garantiza el prendimiento y sostenibilidad de la parquización en el tiempo.

Para este fin, los restos de poda recolectados en la limpieza de la ciudad son trasladados hasta el botadero deberán ser acopiados en un área específica para tal fin hasta que se disponga su utilización. Alternativamente deberá implementarse proyectos de compostaje utilizando los restos de poda y otros materiales de residuos sólidos orgánicos disponibles que vea por conveniente el operador, de forma de obtener compost que pueda ser usado para la revegetación del lugar así como el mantenimiento de ésta.

6.2.4 Mantenimiento de áreas verdes

Debe considerarse la provisión de equipos y material auxiliar, como ser: bombas, mangueras y aspersores destinados al riego. El riego en lo posible deberá ser tecnificado (goteo o aspersión) de manera que se logre el máximo aprovechamiento del agua, y se minimice la infiltración del exceso de agua hacia capas más profundas resultando en un incremento de la generación de líquidos lixiviados, caso contrario los encargados del regado deberán tener la capacitación y el criterio suficientes para aplicar una lámina de riego apenas suficiente para alcanzar la capacidad de campo en los primeros 0,2 a 0,3 m de profundidad.

Se deberá realizar una vez al año, una fertilización orgánica (estiércol, compost, humus, etc.) en las áreas parquizadas. Esta fertilización preferentemente deberá ser realizada con las primeras lluvias de la época lluviosa.

6.2.5 Mantenimiento del sistema de drenaje de aguas superficiales

El control de drenajes en el botadero comprende la entrada y salida de aguas superficiales. Por lo tanto, los canales de conducción de aguas superficiales deben ser mantenidos realizando su limpieza, reparación de geomembranas que hayan sufrido desgarros y/o fisuras en los canales de cemento y piedra.

6.2.6 Asentamiento en celdas

Las depresiones en este tipo de obras de cierre técnico son comunes debido a la compactación natural que sufren los residuos con el paso del tiempo, por lo que tiende a formarse en la superficie de la cubierta final depresiones (hundimientos, agrietamientos). Las acciones a tomar tienen como objetivo evitar la acumulación de agua pluvial en estas depresiones y su posterior infiltración.

Durante el tiempo en que las emisiones de gases se vayan reduciendo, las obras de mantenimiento estarán referidas al control y reparación de la cobertura final, la cual por efecto de la reducción de volumen de los residuos sólidos en proceso de degradación, promoverán la variación de las pendientes en la capa de cobertura final.

Los asentamientos se podrán controlar, mediante levantamientos topográficos dejando mojones o estacas de señalamiento en los puntos para realizar el seguimiento de los mismos, de este modo se generará una base de datos de seguimiento para evaluar la biodegradación.

6.2.7 Adecuación y mantenimiento de taludes y banquinas

Debido al proceso de degradación de los residuos sólidos confinados (residuos orgánicos), los taludes y banquinas de la celda experimentan deformaciones en grados variables. Los mismos deberán ser solucionados de acuerdo a su magnitud, manualmente o con apoyo de maquinaria pesada manteniendo las pendientes de construcción para evitar deslizamientos y erosiones.

La estabilidad de taludes está considerada como uno de los factores de mayor importancia para el cierre técnico y saneamiento de los botaderos y deberá estar acorde al tipo de residuos sólidos depositados en el sitio y el diseño conceptual de la superficie final del lugar.

Los tipos de fallas y causas más frecuentes presentadas en los taludes (superficies inclinadas respecto a la horizontal), se presentan en la siguiente tabla:

Cuadro 6.1: Fallas vs Causas de Movimientos de Tierras	
Tipo de Falla	Causas
Deslizamiento	Partículas de material se deslizan superficialmente hacia abajo. Falta de presión normal dentro del confinamiento (falla en la compactación).
Movimiento del cuerpo del talud	Movimientos bruscos que afectan una masa considerable del talud, con superficies de falla que penetran profundamente en el cuerpo.
Erosión	Fallas causadas por el viento o agua.
Licucación	Cuando en la zona de deslizamiento, el suelo pasa rápidamente de un estado más o menos firme a una condición de suspensión con pérdida casi total de la resistencia al esfuerzo cortante. Se presenta cuando se da un incremento del contenido del material.

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

En taludes con notorios signos de erosión (cárcavas) se deberá realizar seguimiento de los mismos y de acuerdo a la evaluación del riesgo que representen se deberán realizar obras mayores de estabilización que garanticen la estabilidad de los mismos.

6.2.8 Mantenimiento del sistema de captación de lixiviados

Como medida de control de la eficacia del sellado, debe realizarse semestralmente el monitoreo de la aguas superficiales que son evacuadas en la parte baja de la zona de intervención.

Es necesario que todo el sistema de recolección, cámaras de inspección, mangueras y piscinas de almacenamiento de lixiviados, sea controlado efectivamente. Como resultado del asentamiento de la celda, es previsible que muchos de los canales y sistemas internos de conducción de lixiviados se vean afectados. Por lo cual, deberá reparar de manera inmediata cualquier falla detectada.

Se deberá limpiar rutinariamente los sólidos en suspensión de las cámaras de inspección para evitar taponamientos de los ductos que ocasionen rebalses y fugas.

6.2.9 Mantenimiento de piscinas de almacenamiento de lixiviados

En las piscinas de acumulación de lixiviados, se debe verificar la estabilidad de los taludes, el nivel de llenado, y realizar el mantenimiento superficial de las capas de geomembrana que cubren la base de las piscinas de almacenamiento de lixiviados.

En caso de amenazas de importancia que comprometan la estabilidad de las piscinas, deberán realizarse obras mayores (muros de gaviones, soportes de llantas u otros) de modo que se garantice la estabilidad de éstas.

6.2.10 Mantenimiento del sistema de captación de biogás

Consiste en la revisión visual y limpieza manual rutinaria del sistema de captación (captadores verticales ya sean de captación pasiva que es lo más habitual en nuestro medio o de captación activa, red de conducción (si existe) y quemadores de biogás (individuales o colectivo) instalados para verificar su buen funcionamiento.

También se deberá inspeccionar debidamente el sitio para la detección de fugas en las capas superficiales para su inmediato sellado.

6.3 Actividades de monitoreo ambiental Post – Cierre Técnico

El monitoreo y el seguimiento está encaminado a realizar una observación continua en el tiempo y espacio, a las variables ambientales y sus indicadores, que muestran y determinan el comportamiento y evolución de los aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos de un sistema de disposición final de residuos sólidos y de su área de influencia. Se constituye en el instrumento que permita comprobar a la autoridad ambiental, a la comunidad y al dueño del proyecto el cumplimiento o no de los estándares establecidos en la normativa ambiental vigente.

6.4 Programa de control y monitoreo ambiental

El establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental en un sitio donde se ha realizado el cierre técnico debe ser un instrumento de vigilancia de las condiciones que pueden afectar a la salud pública o al medio ambiente. Su aplicación y alcance dependerá de la gravedad de impactos identificados y de la magnitud del botadero objeto del cierre.

En el cuadro siguiente, se presentan los principales aspectos sujetos a control y monitoreo en los botaderos.

Cuadro 6.2: Aspectos Sujetos de Control y Monitoreo		
Descripción	Aspectos Relevantes	Frecuencia
Inspección de la cobertura	Erosión de la cobertura	2 veces al año posterior a la época de lluvias
Formación de charcos		2 veces al año al iniciarse la época de lluvias y al terminar
Generación de lixiviado	Control de la generación de lixiviado	Cada 2 meses, de 1 a 2 semanas con herramientas y recipientes
Inspección de canal perimetral	Obstrucción	1 vez al año antes de la época de lluvias
Inspección de la cerca perimetral	Daños o deterioros de la cerca perimetral	1 vez al mes

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

6.4.1 Monitoreo de aguas subterráneas

Los programas de monitoreo debe incluir evaluaciones frecuentes de las aguas subterráneas; la frecuencia semestral rutinaria es la recomendada y suficiente para establecer la presencia de cualquier tendencia, identificar cualquier cambio estadísticamente significativo y detectar aquellos

parámetros con valores mayores a los permisibles en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley N°1333.

El programa de monitoreo de acuíferos, tiene por objetivo, conocer en forma precisa las condiciones de calidad aguas abajo y arriba del botadero; con esto se asegurará que el acuífero no ha sido contaminado por lixiviados generados por los residuos sólidos.

De acuerdo a la Norma Boliviana NB 760, el sistema de monitoreo debe contar por lo menos con dos pozos de muestreo que se ubiquen uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 100 metros de aguas arriba del botadero y el segundo a 100 metros aguas abajo. Se instalará siempre y cuando el nivel de agua freática esté a menos de 25 metros con respecto al nivel del terreno natural. Estos requisitos se deberán considerar como mínimos, pues para aquellos botaderos de cierta magnitud, podrá ser necesario añadir algunos pozos de control, de forma de garantizar el monitoreo de las aguas subterráneas que salen del botadero.

Los pozos de monitoreo del relleno sanitario deben llegar hasta dos metros por debajo del acuífero, a fin de monitorear el acuífero en toda su sección.

Los parámetros a determinar tanto en el acuífero como la frecuencia de muestreo se indica a continuación:

Cuadro 6.3: Frecuencia de Muestreo de Parámetros de Calidad de las Aguas Subterráneas	
Parámetro	Frecuencia
PH	Semestral
Conductividad eléctrica	Semestral
Oxígeno Disuelto	Semestral
Metales pesados	Semestral
DQO, DBO	Semestral
Amoniaco	Semestral
Nitritos	Semestral
Nitratos	Semestral

Fuente: NB 760 Requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo

Se recomienda incluir en el primer muestreo y si se considera necesario, una vez al año, los parámetros relativos a compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles (VOC's y SVOC's) e Hidrocarburos (TPH) de forma de identificar la posible contaminación de este grupo de contaminantes.

6.4.2 Monitoreo de las aguas superficiales

Este debe ser un componente de rutina cuando se conoce o sospecha que el lixiviado está afectando las aguas superficiales de los alrededores; el monitoreo será imprescindible el primer año del cierre técnico y esporádicamente en etapas posteriores cuando se tenga sospecha sobre la calidad del agua superficial.

6.4.3 Monitoreo de lixiviado

El monitoreo tendrá la frecuencia recomendada en la Norma Boliviana, de manera semestral, durante los primeros 5 años después de cierre Técnico del sitio, posteriormente la frecuencia puede ser reducida.

6.4.4 Monitoreo de Biogás

Se debe elaborar un programa de monitoreo de biogás que especifique los parámetros a determinar así como la frecuencia de muestreo de acuerdo del siguiente detalle:

Cuadro 6.4: Monitoreo de Biogás			
Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Composición del biogás: CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N ₂	Cromatografía de gases	Cromatografía de gases	Bimestral
Explosividad y toxicidad	Exposímetro digital	Lectura directa en campo	Mensual
Flujo	Flujo metro	Lectura directa en campo	Mensual

Fuente: NB 760 Requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo

El nivel de generación de biogás al inicio del periodo de mantenimiento será elevado y considerando que la cantidad irá en descenso a lo largo del tiempo

6.4.5 Monitoreo del Aire

Se considera realizar mediciones mensuales los dos primeros años después del cierre técnico del sitio, posteriormente el control anual será suficiente.

Para el programa de monitoreo de partículas aerotransportable se debe tomar en cuenta las especificaciones detalladas a continuación:

Cuadro 6.5: Monitoreo del Aire			
Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Partículas totales en suspensión	Equipo para alto volumen	Muestreo de alto volumen	Mensuales
Partículas biológicas viables	Equipo de laboratorio para medición de colonias de bacterias en el aire	Incubación, conteo de colonias	Mensuales
Ruido	Sonómetro	Según el manual	Mensuales

Fuente: NB 760 Requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo

6.4.6 Monitoreo del suelo

El monitoreo está encaminado a la detección de metales pesados y compuestos orgánicos volátiles. Solo se realizaran cuando se tenga sospecha de contaminación y como forma de comprobación.

Cuadro 6.6: Monitoreo del Suelo	
Parámetro	Frecuencia
Metales pesados (Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Ag, Tl, V, Zn)	En caso de sospechar su presencia
Compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles.	En caso de sospechar su presencia.

Fuente: NB 760 Requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo

6.5 Contenido Mínimo de los Informes de Mantenimiento y Monitoreo

El contenido mínimo de los informes de monitoreo que serán presentados es el siguiente:

1. Introducción
2. Antecedentes
3. Descripción de las actividades cumplidas
4. Descripción de cada una de las actividades de mantenimiento y monitoreo, indicando:
 - Metodología
 - Resultados
 - Análisis
 - Actuaciones correctivas realizadas
5. Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO VII: ELABORACIÓN DEL MANIFIESTO AMBIENTAL

CAPÍTULO VII: ELABORACIÓN DEL MANIFIESTO AMBIENTAL

7.1 El Manifiesto Ambiental y el Reglamento General de Gestión Ambiental

Según el Reglamento General de Gestión Ambiental, el Manifiesto Ambiental es un instrumento de aplicación obligatoria y establece en sus partes salientes:

Artículo 56. El Manifiesto Ambiental es el instrumento mediante el cual el representante Legal de un proyecto, obra o actividad en proceso de implementación, operación o etapa de abandono, informa a la Autoridad Ambiental Competente del estado ambiental en que se encuentren el proyecto, obra o actividad y si corresponde proponer un Plan de Adecuación. El Manifiesto Ambiental tiene calidad de declaración jurada y puede ser aprobado o rechazado por la Autoridad Ambiental Competente de conformidad con lo prescrito en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental.

Artículo 57. La Declaratoria de Adecuación Ambiental (DAA) es el documento emitido por la Autoridad Ambiental Competente por el cual se aprueba, desde el punto de vista ambiental, la prosecución de un proyecto, obra o actividad que está en su fase de operación o etapa de abandono, a la puesta en vigencia del presente Reglamento. La DAA tiene carácter de licencia ambiental, se basa en la evaluación del manifiesto ambiental (MA), y fija las condiciones ambientales que deben cumplirse de acuerdo con el Plan de Adecuación y Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental propuestos. La DAA se constituirá conjuntamente con el M.A., en la referencia técnico-legal para los procedimientos de control ambiental. Este documento tiene carácter de Licencia Ambiental.

Artículo 59. La Licencia Ambiental es el documento jurídico-administrativo otorgado por la Autoridad Ambiental Competente al Representante Legal, que avala el cumplimiento de todos los requisitos previstos en la Ley y reglamentación correspondiente en lo que se refiere a los procedimientos de prevención y control ambiental.

7.2 El Manifiesto Ambiental y el Reglamento de Prevención y Control Ambiental

Por otra parte, de acuerdo al Reglamento de Prevención y Control Ambiental, se tienen los siguientes artículos pertinentes al objeto de la Guía:

Artículo 100. Los procedimientos de control de calidad ambiental (Anexo 4) de los proyectos, obras o actividades, que estén en proceso de implementación, operación o etapa de abandono al entrar en vigencia el presente Reglamento, se iniciaran con la presentación del Manifiesto Ambiental. Este es un instrumento técnico-legal que refleja la situación ambiental y cuando corresponda planteara un Plan de Adecuación Ambiental del proyecto, obra o actividad.

Artículo 103. El Manifiesto Ambiental contendrá como mínimo:

- ✓ Datos de la actividad, obra o proyecto;
- ✓ Descripción físico-natural del área circundante de la actividad, obra o proyecto;
- ✓ Generación y emisión de contaminantes;
- ✓ Legislación aplicable;
- ✓ Identificación de deficiencias y efectos;
- ✓ Plan de Adecuación Ambiental, cuando corresponda;
- ✓ Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental, cuando corresponda;
- ✓ Declaración jurada;
- ✓ Anexos;
- ✓ Análisis de Riesgo y Plan de Contingencias, cuando corresponda.

Artículo 104. El Plan de Adecuación Ambiental del Manifiesto Ambiental debe contener:

- ✓ Referencia a los impactos;
- ✓ Acciones o medidas de mitigación;
- ✓ Prioridad de las medidas de mitigación;
- ✓ Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental, de conformidad al Art. 32º del presente Reglamento.

Artículo 32. El Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental debe incluir:

- ✓ Los objetivos del Plan
- ✓ Detalle de los aspectos sobre los cuales se realizara el seguimiento ambiental
- ✓ La identificación de la información que responda a los objetivos
- ✓ Los puntos y frecuencias de muestreo
- ✓ El personal y los materiales requeridos
- ✓ Las obras e infraestructuras que deberán efectuarse para la realización del Plan
- ✓ Estimación del costo y el cronograma en que se efectuara el Plan
- ✓ Funciones y responsabilidades del personal
- ✓ Análisis o parámetros de verificación del cumplimiento del Plan
- ✓ La previsión de elaboración de informes

El cronograma deberá contemplar los periodos de la etapa de preparación del sitio, de la implementación, así como la operación del proyecto, obra o actividad.

Artículo 107. El Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental, será la referencia para efectuar el monitoreo en la fuente de impacto, en el ambiente circundante y en el receptor.

Se proveerá además un monitoreo de exposición cuando un proyecto, obra o actividad afecte o pueda afectar a los seres humanos vía ingestión, inhalación o contacto con la piel, y/o cuando dañe o pueda dañar la biota.

El monitoreo dentro del predio del proyecto, obra o actividad, correrá por cuenta del REPRESENTANTE LEGAL, asimismo el REPRESENTANTE LEGAL podrá efectuar monitoreos por cuenta propia fuera de su predio, voluntariamente, pero con la aprobación del respectivo Gobierno Municipal.

En todo proceso de monitoreo deberá emplearse técnicas e instrumentos concordantes con las normas que sean aceptadas por el MDSMA.

Artículo 134. El REPRESENTANTE LEGAL de un proyecto, obra o actividad que requiera de la presentación de M.A. debe recabar el formulario de Manifiesto Ambiental en el Organismo Sectorial Competente si es de competencia Nacional o departamental, o en el Gobierno Municipal si es local, de acuerdo a las competencias definidas en el Art.3º del presente Reglamento.

7.3 Preparación del Manifiesto Ambiental

De forma posterior a la elaboración del proyecto de cierre técnico, debe realizarse el Manifiesto Ambiental de Abandono o Manifiesto Ambiental de Operación, según corresponda a un proyecto de cierre técnico o a un proyecto de rehabilitación.

El Manifiesto ambiental de abandono o rehabilitación, debe elaborarse en el marco de señalado en el acápite 7.1 y 7.2, además de considerar lo siguiente:

- ✓ Métodos de control: de entrada, de bancos de material y de suministros
- ✓ Mantenimiento de vías en el perímetro interno del sitio
- ✓ Señalización informativa, preventiva y restrictiva

- ✓ Descripción de las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo de estructuras y obras complementarias
- ✓ Cronogramas de mantenimiento y monitoreo
- ✓ Programas de monitoreo ambiental
- ✓ Medidas de seguridad e higiene en el trabajo
- ✓ Planes de contingencia de incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos y derrames accidentales de combustibles, derrames de lixiviados, etc.
- ✓ Aspectos de comunicación interna y externa

El Plan de Contingencias deberá ser presentado de manera conjunta con el plan de operaciones para su aprobación y deberá ser actualizado anualmente.

El personal deberá estar preparado y entrenado a responder en forma rápida a cualquier contingencia. El equipo necesario estará disponible en forma permanente y en todos los turnos, en sitios fácilmente accesibles y vistos.

Los aspectos que debe incluir un Plan de Contingencias son:

- ✓ Organización del personal ante emergencias
- ✓ Identificar principales riesgos y peligros
- ✓ Asignación de roles ante emergencias
- ✓ Respuesta ante derrames, incendios, explosiones y accidentes
- ✓ Medidas de protección e higiene del personal en caso de accidentes

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcances al Diseño, Operación, Cierre y Sellado de Vertederos, Diseño Cierre del Relleno Sanitario de Castro: ubicación chimenea de venteo de biogás, Congreso Internacional de la Red Girasol, 2010
2. Cierre técnico del relleno de Serrallarga, Lleida; Catalunya, España. Agència de Residus de Catalunya
3. Curso de Instituto Argentino de normalización y certificación
4. Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia/2010, MMAyA/VAPSB/DGGIRS
5. Diagnóstico para la gestión integral de residuos sólidos en Chiloé, Chile
6. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Eva Röben, DED/ Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador 2002
7. Diseño y operación de Rellenos Sanitarios, Collazos Héctor, Escuela Colombiana de Ingeniería, 3ra Edición, Colombia, 2008.
8. Guía Básica para el Manejo Ambiental de Rellenos Sanitarios, Programa Nacional de Competitividad, Costa Rica
9. Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Jaramillo Jorge, Universidad de Antioquía, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Colombia, 2002.
10. Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, Fernández A, Sánchez O, ONUDI – LARE, 1997.
11. Guía para la Gestión del Manejo de Residuos Sólidos Municipales, Salazar D, PROARCA/SIGMA Argentina, 2004.
12. Guía Práctica para la Operación de Celdas Diarias en Relleno Sanitarios Pequeños y Medios, Meléndez C., PROARCA/SIGMA Argentina, 2004.
13. Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual, Sandoval Leandro, Ministerio del Ambiente, Perú, 2009.
14. Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Mecanizado, Sandoval Leandro, Ministerio del Ambiente, Perú, 2009.
15. Guía Ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a Cielo Abierto, Ministerio de Medio Ambiente, Colombia, 2002
16. Informe III, Planes de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, Ingeniería Básica, Evaluación de Impacto Ambiental, BID, Consorcio de Gestión Integral, Bolivia, 2012
17. Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el Estado de México, Hernández Barrios, Claudia P.; Wehenpohl, Gunther. México, D.F., Secretaria de Ecología, 2000.
18. Manual de Operación de Relleno Sanitario, Secretaria de Desarrollo Social, México, 2005

19. Normas Bolivianas NB757 -NB760, Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, IBNORCA, Bolivia, 1996.
20. Plan de saneamiento y cierre del botadero municipal de Santiváñez, Manejo de Residuos Sólidos en el Eje Conurbano del Departamento de Cochabamba
21. Programa Plurinacional de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Ministerio de Medio y Agua, Bolivia, 2011.
22. Relleno Sanitario para Grandes Conglomerados Urbanos, Sued J, Mennella, OPS/HPE/CEPIS, 1984
23. Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, 1996, D.S. 24176
24. Reglamento General de Gestión Ambiental, 1996, D.S. 24176
25. Reglamento de Prevención y Control Ambiental, 1996, D.S. 24176
26. Rehabilitación y Clausura del Sitio no Controlado, SEDESOL, México, 2005
27. Restauración e integración en el paisaje del relleno sanitario de la Vall d'En Joan, Catalunya, España. Área Metropolitana de Barcelona (www.amb.cat)
28. Sistema de Tratamiento de Lixiviado Relleno Sanitario, Ingeniería Ambiental; 2ed, Henry, J. G.; Heinke, Gary. W. Editorial Pearson. 1996.
29. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos, Colomer F., Gallardo Antonio, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2007
30. Cierre técnico del relleno de Serrallarga, Lleida; Catalunya, España. Agència de Residus de Catalunya
31. Decreto 7/1997 de enero, sobre la disposición de los desperdicios de los residuos en depósitos controlados. Catalunya. Agència de Residus de Catalunya
32. Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. España

ANEXO I: FICHA DE EVALUACION DE BOTADEROS

ANEXO I: FICHA DE EVALUACION DE BOTADEROS

1. RESPONSABLE DE LA EVALUACIÓN	1.6 FICHA No:																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">1.1 Nombre</td> <td style="width: 40%;">1.3 Especialidad</td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>1.2 Profesión</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.4 Institución</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.5 Otros participantes</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	1.1 Nombre	1.3 Especialidad		1.2 Profesión			1.4 Institución			1.5 Otros participantes																				
1.1 Nombre	1.3 Especialidad																													
1.2 Profesión																														
1.4 Institución																														
1.5 Otros participantes																														
	1.7 FECHA																													
2. INFORMACIÓN GENERAL																														
2.1 DENOMINACIÓN																														
2.2 UBICACIÓN																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3">2.2.1 Ciudad/Loc.</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.2.2 Departamento</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.2.3 Provincia</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.2.4 Distrito</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.2.5 Distancia al poblado más cercano</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.3 ÁREA OCUPADA</td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.4 SITUAC. ACTUAL</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2.5 VOLUMEN R.S.</td> <td>Total Acumulado</td> <td>Diario (que recibe)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="3">2.6 DIST. A ZONA DE GENERACIÓN R.S.</td> </tr> </table>	2.2.1 Ciudad/Loc.			2.2.2 Departamento			2.2.3 Provincia			2.2.4 Distrito			2.2.5 Distancia al poblado más cercano			2.3 ÁREA OCUPADA			2.4 SITUAC. ACTUAL			2.5 VOLUMEN R.S.	Total Acumulado	Diario (que recibe)			2.6 DIST. A ZONA DE GENERACIÓN R.S.			<p>2.7 CROQUIS DE LOCALIZACIÓN</p> <div style="border: 1px solid black; height: 150px;"></div>
2.2.1 Ciudad/Loc.																														
2.2.2 Departamento																														
2.2.3 Provincia																														
2.2.4 Distrito																														
2.2.5 Distancia al poblado más cercano																														
2.3 ÁREA OCUPADA																														
2.4 SITUAC. ACTUAL																														
2.5 VOLUMEN R.S.	Total Acumulado	Diario (que recibe)																												
2.6 DIST. A ZONA DE GENERACIÓN R.S.																														
2.8 PRINCIPALES USUARIOS	2.9 ACCESIBILIDAD																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">1)</td> <td style="width: 30%;">%</td> </tr> <tr> <td>2)</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>3)</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>4)</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>5)</td> <td>%</td> </tr> </table>	1)	%	2)	%	3)	%	4)	%	5)	%	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">2.9.1 Vía acceso</td> <td style="width: 50%;">2.9.2 Distancia:</td> </tr> <tr> <td>2.9.3 Material vial</td> <td>2.9.4 Estado c.</td> </tr> </table> <p>2.10 PROPIETARIO DEL TERRENO OCUPADO</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <p>Inspección en Registros Públicos</p>	2.9.1 Vía acceso	2.9.2 Distancia:	2.9.3 Material vial	2.9.4 Estado c.															
1)	%																													
2)	%																													
3)	%																													
4)	%																													
5)	%																													
2.9.1 Vía acceso	2.9.2 Distancia:																													
2.9.3 Material vial	2.9.4 Estado c.																													
2.11 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	2.12 VIDA ÚTIL Y USO POTENCIAL																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">2.11.1 Red de agua</td> <td style="width: 50%;">2.12.1 FECHA DE INICIO BOTADERO:</td> </tr> <tr> <td>2.11.2 Red de desagüe</td> <td>2.12.2 TIEMPO DE VIDA DEL BOTADERO</td> </tr> <tr> <td>2.11.3 Red de energía</td> <td>2.12.3 USO POTENCIAL DEL ÁREA OCUPADA</td> </tr> </table>	2.11.1 Red de agua	2.12.1 FECHA DE INICIO BOTADERO:	2.11.2 Red de desagüe	2.12.2 TIEMPO DE VIDA DEL BOTADERO	2.11.3 Red de energía	2.12.3 USO POTENCIAL DEL ÁREA OCUPADA																								
2.11.1 Red de agua	2.12.1 FECHA DE INICIO BOTADERO:																													
2.11.2 Red de desagüe	2.12.2 TIEMPO DE VIDA DEL BOTADERO																													
2.11.3 Red de energía	2.12.3 USO POTENCIAL DEL ÁREA OCUPADA																													
2.13 CONDICIONES DE OPERACIÓN																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">2.13.1 Autorización</td> <td style="width: 50%;">2.13.2 Otros documentos</td> </tr> <tr> <td>2.13.3 Operadores</td> <td>2.13.4 Personal</td> </tr> <tr> <td>2.13.5 Tipo operación</td> <td>2.13.6 Cant. Equipo</td> </tr> <tr> <td>2.13.7 Tipo transporte</td> <td>2.13.8 Nro. Camiones</td> </tr> </table>	2.13.1 Autorización	2.13.2 Otros documentos	2.13.3 Operadores	2.13.4 Personal	2.13.5 Tipo operación	2.13.6 Cant. Equipo	2.13.7 Tipo transporte	2.13.8 Nro. Camiones																						
2.13.1 Autorización	2.13.2 Otros documentos																													
2.13.3 Operadores	2.13.4 Personal																													
2.13.5 Tipo operación	2.13.6 Cant. Equipo																													
2.13.7 Tipo transporte	2.13.8 Nro. Camiones																													

3. CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS DE LA ZONA DEL BOTADERO

3.1 TOPOGRAFÍA

--

3.6 UBICACIÓN:

--

3.2 GEOLOGÍA

3.2.1 Tipo de suelo y permeabilidad

3.3 CLIMATOLOGÍA

Indicador	Enero/marzo	Abril/junio	Jul/Set.	Oct/Nov.
3.3.1 Temp. Máxima	°C	°C	°C	°C
3.3.2 Temp. Mínima	°C	°C	°C	°C
3.3.3 Precipitación	mm	mm	mm	mm
3.3.4 Viento predominante				

3.4 HIDROLOGÍA

3.4.1 Distancia a cuerpo(s) de agua 3.4.2 Profundidad de la napa freática 3.4.3. Distancia a Acuífero ó toma de agua
--

3.5 VULNERABILIDAD

- 3.5.1 Zona sísmica de fallas, agrietamiento
- 3.5.2 Zona de huaycos, derrumbes, avalanchas aluviones.
- 3.5.3 Zona inundable.

3.6 USOS DE SUELO

Norte		Este	
Sur		Oeste	

4. IMPACTO AMBIENTAL

4.1 TIPO DE PROCEDENCIA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

4.1.1 Orgánicos		%
4.1.2 Papel /cartón		%
4.1.3 Plástico		%
4.1.4 Vidrio		%
4.1.5 Hospitalarios		%
4.1.6 Industrial		%

4.2 PRESENCIA DE VECTORES

4.2.1 Perros
4.2.2 Roedores
4.2.3 Aves
4.2.4 Mosquitos
4.2.5 Otros

4.3 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

4.3.1 Polvo	
4.3.2 Gases	
4.3.3 Humo	
4.3.4 Olor	
4.3.5 Ruido	

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Las definiciones técnicas que se utilizan en la presente guía técnica, son aquellas establecidas en el Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia y otros documentos de consulta, tal como se detalla a continuación:

Aprovechamiento.- Cualquier proceso u operación cuyo objetivo principal sea la recuperación de los recursos incluidos en los residuos de forma que estos sirvan a una finalidad útil al sustituir a otros materiales.

Biogás.- Mezcla de gases (principalmente metano y gas carbónico), producto de la descomposición biológica en forma anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

Biodegradable.- Cualidad que tiene la materia de tipo orgánico, para ser metabolizada por medios biológicos y otros.

Botadero a cielo abierto.- Sitio de acumulación inapropiada e indebida de residuos que no cumplen con las disposiciones vigentes, creando o pudiendo crear riesgos sanitarios y/o ambientales.

Botadero Controlado.- Sitio de disposición final en el que se han implementado ciertas medidas de control, sin que éstas lleguen a las medidas de rigor técnico necesarias para que el sitio sea considerado como un relleno sanitario.

Celda.- Área definida de un relleno sanitario donde se esparcen y compactan los residuos durante el día siendo cubiertos al final del mismo.

Compostaje.- Descomposición biológica aerobia y termófila de los residuos orgánicos (de origen animal o vegetal), por acción de microorganismos bajo condiciones adecuadas que permitan la obtención de un producto final estable (compost) que pueda ser aplicado al suelo de forma beneficiosa. El compostaje se constituye en una forma de evitar la disposición de residuos orgánicos biodegradables en los sitios de disposición final lo cual reduce la generación de lixiviados en los mismos.

Compostaje domiciliario o autocompostaje.- Forma de aprovechamiento en origen mediante compostaje de los residuos orgánicos biodegradables (materia orgánica y restos vegetales), recogidos separadamente y generados en los propios domicilios.

Composición de los Residuos Sólidos.- Conjunto de residuos o materiales heterogéneos que componen la totalidad de residuos generados en cualquier fuente de generación, los cuales pueden expresarse en términos de porcentaje o peso.

Contaminación de Aguas: Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.

Cierre.- Sellado de un relleno sanitario por haber concluido su vida útil, cumpliendo las condiciones y requisitos establecidos en las normas técnicas correspondientes.

Disposición Final.- Proceso u operación efectuada para disponer los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente.

Equipo.- Comprende todos los mecanismos, unidades y maquinarias relacionados a garantizar la prestación de los servicios de aseo incluyendo para el aprovechamiento y tratamiento, bajo normas técnicas adecuadas a las condiciones socioeconómicas de la región.

Geocompuesto bentonítico. Dos geotextiles que tienen en medio una capa de bentonita (arcilla de alta impermeabilidad), mas flexible para su colocación que la geomembrana

Impermeabilización de Celda.- Capa de aislamiento construida en la base de la celda del sitio de disposición final, se instala con el objetivo de evitar la migración de lixiviados desde ésta al medio ambiente, principalmente suelos y aguas subterráneas. Se realiza con materiales naturales (arcilla) y/o artificiales (geomembrana).

Lixiviado.- Líquido resultante de la degradación del material orgánico dispuesto en el sitio de disposición final, el cual se infiltra y drena a través de los residuos sólidos y contiene materiales en solución y suspensión que pueden generar contaminación.

Material de Cobertura.- Material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario.

Monitoreo.- Actividad consistente en efectuar observaciones, mediaciones y evaluaciones de carácter continuo, en un sitio y periodo determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control.

Peso Volumétrico.- Peso de los residuos sólidos, contenidos en una unidad de volumen.

Planta de Clasificación.- Instalación donde los residuos reciclables, procedentes de la recolección diferenciada, son sometidos a procesos de separación, clasificación en fracciones homogéneas y generación de valor agregado, en condiciones óptimas de limpieza seguridad laboral y ambiental, de tal forma de facilitar su posterior comercialización o reinserción a la industria del reciclaje. Puede ser desarrollada a diferentes niveles, de acuerdo a los objetivos a alcanzar, el contexto municipal, los recursos disponibles, la cantidad y tipo de residuos.

Prevención de la generación.- Comprende las acciones encaminadas a evitar la generación de residuos a partir de un cambio de actitud tanto en el consumidor como en el productor. A nivel del consumidor implica una modificación de los hábitos de consumo, a nivel del productor implica la modificación de hábitos de producción como cambios en el proceso, operaciones y tecnología.

Producción Per Cápita.- Generación unitaria de residuos sólidos, en peso por persona y día.

Reciclaje.- Operación de aprovechamiento de residuos sólidos que consiste en transformar los residuos en materia prima secundaria para que ésta pueda ser usada en el proceso de fabricación del mismo producto o de otro. Incluye la transformación del material orgánico, pero no el aprovechamiento energético ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.

Recolección.- Operación consistente en recoger los residuos generados y transportarlos a las instalaciones de almacenamiento, transferencia, tratamiento, aprovechamiento y/o a un sitio de disposición final.

Recolección Diferenciada.- Operación de recolección de residuos que se realiza de forma diferenciada para cada tipo de residuo según sus características y naturaleza, con el objetivo de facilitar un tratamiento específico, incluido su aprovechamiento.

Reducción en origen.- Conjunto de acciones encaminadas a recuperar, reutilizar o compostar los residuos dependiendo su naturaleza en la fuente de generación, de manera que estos no sean

entregados al operador del servicio de aseo y por tanto disminuya la cantidad de residuos a disponer en rellenos sanitarios.

Relleno Sanitario.- Obra de ingeniería para la disposición final segura de residuos sólidos en sitios adecuados y bajo condiciones controladas para evitar daños al ambiente y la salud.

Residuos Sólidos.- Materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y aprovechamiento.

Residuos Sólidos domiciliarios.- Residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas, que son adecuados por su tamaño para ser recogidos por los servicios municipales convencionales.

Residuos sólidos asimilables a domiciliarios.- Son los residuos que se generan en industrias, empresas de servicios, establecimientos de salud y otros cuyas características físicas y químicas son similares a los generados en los domicilios.

Residuos comerciales.- Residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios.

Residuos Sólidos Especiales.- Residuos de características muy diversas que se generan en el medio urbano y cuyas formas de recolección y tratamiento varían sustancialmente. Son: vehículos y electrodomésticos desechados y cualquier máquina clasificada como chatarra; llantas y neumáticos desechados, se incluyen los desechos de su fabricación; residuos sólidos sanitarios no peligrosos, que por sus características son asimilables a domésticos; animales muertos; y escombros de demoliciones y/o construcciones civiles.

Residuos Sólidos Industriales.- Residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial.

Residuos Sólidos Industriales Asimilables a Domiciliarios.- Residuos industriales no peligrosos de iguales características a los que se generan a nivel domiciliario o institucional (plásticos, papel, vidrio, etc.) y que por sus características pueden ser tratados conjuntamente con los residuos domiciliarios.

Residuos Sólidos Peligrosos.- Residuos que presentan una o varias de las características peligrosas, que son: corrosividad, explosividad, inflamabilidad, patogenicidad, bioinfecciosidad, radiactividad, reactividad y toxicidad, y que conllevan riesgo potencial al ser humano y medio ambiente.

Reutilización.- Cualquier operación mediante la cual se vuelve a utilizar el residuo en el estado en que se encuentre.

Segregador.- Persona que remueve y recupera materiales de manera informal en cualquier fase del sistema de aseo urbano.

Selección en origen.- Operación de segregación o clasificación de las diferentes tipologías o fracciones de residuos en el lugar donde estos son generados con la finalidad de facilitar su recolección diferenciada y garantizar posteriormente su aprovechamiento de calidad.

Servicio de Aseo Urbano.- Servicio que consta de las operaciones de almacenamiento, barrido, recolección, transporte, transferencia, aprovechamiento y tratamiento, y disposición final de los residuos sólidos bajos normas técnicas en los asentamientos humanos.

Transporte.- Operación de traslado de los residuos desde el lugar de recolección hasta las plantas de aprovechamiento, tratamiento o sitio de disposición final.

Tratamiento.- Conjunto de operaciones encaminadas a la transformación física, química, térmica y/o biológica de los residuos para el aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos o para reducir la peligrosidad de los mismos.



En Bolivia, más del 90% de los municipios cuentan con botaderos a cielo abierto y el 37% de estos se encuentran próximos a cuerpos de agua superficial, generando riesgo de contaminación a fuentes de agua para consumo humano y riego.



La presente guía, tiene el propósito de difundir los criterios técnico-ambientales para realizar el cierre técnico o rehabilitación de los botaderos de manera gradual y promover la sustitución de estos por rellenos sanitarios en el marco de la normativa vigente.



MMAyA

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico
Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos
Calle Capitán Castrillo N° 434 Teléfonos: (591-2) 2116583 – 2115571 Fax: 2-116124
www.mmaya.gob.bo

La Paz, Bolivia 2012

Esta publicación se realizó con el apoyo de:



Agència Catalana
de Cooperació
al Desenvolupament



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat



Agència de
Residus de
Catalunya



Reciclado