



**MINISTERIO DE
DESARROLLO PRODUCTIVO,
RURAL Y AGUA**

**VICEMINISTERIO
DE RECURSOS HÍDRICOS,
RIEGO, AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO BÁSICO**

Guía para el

CIERRE TÉCNICO Y/O REHABILITACIÓN

de Botaderos



Guía para el

CIERRE TÉCNICO Y/O REHABILITACIÓN

de Botaderos

Ministerio de Desarrollo Productivo, Rural y Agua

Viceministerio de Recursos Hídricos, Riego, Agua Potable y Saneamiento Básico

Autoridades:

Oscar Mario Justiniano Pinto, Ministro de Desarrollo Productivo, Rural y Agua

Viviana Mariscal Montaña, Viceministra de Recursos Hídricos, Riego, Agua Potable y Saneamiento Básico

Redacción:

Marcela Joffre Pereira, Dirección General de Gestión Integral de Residuos

Sergio Mauricio Morales, Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia

Reider Hipolito Cari, Consultor externo Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia

Aportes y revisión:

Marco Antonio Quispe Villca, Dirección General de Gestión Integral de Residuos

Mariana Daza von Boeck, Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia

Diseño y Diagramación:

María Emilia Barea Schmidt, Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia

Mateo Merino Aguilar, Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia

Fotos en portada e interiores:

Proyecto Basura Cero en Bolivia, Helvetas Bolivia

Esta es una publicación realizada con el apoyo del Proyecto Basura Cero en Bolivia de la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI), que implementa Helvetas Swiss Intercooperation en asociación con Swisscontact y la Fundación Aguatuya.

Esta publicación debe estar citada como:

MDPRA/VRHRAPSB/DGGIR/ Guía para el Cierre Técnico y/o Rehabilitación de Botaderos, 2026.

La Paz, noviembre 2024

Segunda edición: Mayo 2026

Prólogo

El Estado Plurinacional de Bolivia, desde la Ley N° 755, de Gestión Integral de Residuos, ha optado como política motivar y profundizar acciones en la prevención, aprovechamiento, y la disposición final ambientalmente segura de los residuos.

En ese marco, planteamos acciones estratégicas que permitan al Estado Boliviano la consolidación de la gestión integral de residuos, mejorando las condiciones de aprovechamiento, generando oportunidades para la transformación de sitios contaminados a sitios más sostenibles brindando mejores condiciones de vida para las poblaciones aledañas.

Esta guía se constituye en un instrumento de gestión para todos los municipios del país que aún no han iniciado estos procesos. Su contenido ha sido elaborado con base en las experiencias probadas en distintos municipios, por lo que su estructura técnica responde y se adapta a las necesidades y condiciones locales.

Esperamos que este documento sea empleado por autoridades y técnicos municipales y que al mismo tiempo sea un material que fortalezca las capacidades técnicas municipales destinadas a transitar hacia una gestión de residuos más eficiente.

Oscar Mario Justiniano Pinto

Ministro de Desarrollo Productivo, Rural, y Agua





Macrocela de residuos en el botadero rehabilitado a relleno sanitario - municipio Boyuibe, Helvetas, 2024



Macrocelda de residuos - Botadero rehabilitado Municipio de Cuevo, Helvetas 2024

Índice de acrónimos

ASDI	Agencia Sueca de Desarrollo Internacional
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CC	Capacidad de Campo
CH₄	Gas Metano
cm	Centímetro
CO₂	Dióxido de Carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CPE	Constitución Política del Estado
D	Diámetro
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días
DGGIR	Dirección General de Gestión Integral de Residuos
DP	Derecho Propietario
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DS	Decreto Supremo
Geotextil N.T.	Geotextil No Tejido
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos
GPS	Global Positioning System
H	Altura
H°A°	Hormigón Armado
H°C°	Hormigón Ciclópeo
Hab	Habitantes
HDPE	Polietileno de Alta Densidad
H₂S	Ácido Sulfhídrico
IBNORCA	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad
ISWA	International Solid Waste Association
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetros
m	Metros
mm	Milímetro
NB	Norma Boliviana
NH₃	Amoniaco
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PMP	Porcentaje de Marchitamiento Permanente
PPC	Producción Per Cápita
PV	Peso Volumétrico
PVC	Polyvinyl Chloride
RM	Resolución Ministerial
seg	Segundos
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical
t	Tonelada
Tubo F.G.	Tubería de fierro galvanizado
UTM	Universal Transverse Mercator
ha	Hectáreas

Tabla de contenidos

1	Introducción.....	16
2	Marco legal para el cierre técnico y/o rehabilitación de botaderos	17
3	Marco conceptual	21
	3.1. Clasificación de los botaderos a cielo abierto	22
4	Cierre técnico definitivo y/o rehabilitación de botaderos	24
	4.1. Cierre técnico definitivo	24
	4.2. Rehabilitación de botaderos en rellenos sanitarios	24
5	Procedimiento para el cierre técnico y/o rehabilitación de botaderos	26
	5.1. Evaluación y categorización del botadero	26
	5.2. Diagnóstico de botadero.....	37
	5.2.1. Aspectos generales.....	37
	5.2.2. Aspectos demográficos y socioeconómicos	38
	5.2.3. Aspectos ambientales	38
	5.2.4. Aspectos legales.....	39
	5.2.5. Aspectos técnicos de campo.....	39
6	Elaboración del proyecto técnico	44
7	Saneamiento ambiental	45
8	Implementación del proyecto técnico	46
	8.1. Acciones previas.....	46
	8.1.1. Componentes transversales.....	47
	8.2. Ejecución de la alternativa de cierre y/o rehabilitación a relleno sanitario	50
	8.2.1. Cierre con traslado de los residuos a un relleno sanitario	50
	8.2.2. Cierre técnico in situ de botaderos.....	51
	8.2.3. Rehabilitación del botadero a relleno sanitario	58
9	Mantenimiento del botadero.....	66
10	Prevención de incendios	68
11	Monitoreo del botadero cerrado y/o rehabilitado.....	71
12	Pos clausura	73
	Bibliografía	74

Índice de figuras

Figura 1.	Línea de tiempo para el cierre de botaderos.....	19
Figura 2.	Cierre técnico in situ de Mallasa, La Paz.	24
Figura 3.	Relleno Sanitario de Boyuibe y área de cierre del botadero antiguo.....	25
Figura 4.	Macroelda relleno sanitario de Villa Ingenio, El Alto.....	25
Figura 5.	Procedimiento para el cierre de botaderos.....	26
Figura 6.	Pasos para categorizar botaderos por nivel de riesgo.....	27
Figura 7.	Identificación de alternativas para el cierre y/o rehabilitación según categoría de riesgo.....	36
Figura 8.	Diagrama de flujo para la selección de alternativas de cierre de botaderos.....	37
Figura 9.	Diferencia de áreas de influencia de botaderos	38
Figura 10.	Coeficiente de permeabilidad k (cm/s).....	41
Figura 11.	Recomendaciones técnicas para la protección de acuíferos	41
Figura 12.	Componentes del proyecto técnico.....	44
Figura 13.	Ejes para la implementación del proyecto.....	46
Figura 14.	Letrero de obra referencial	47
Figura 15.	Cerco perimetral con malla olímpica.....	48
Figura 16.	Cerco perimetral con alambre de púas.....	48
Figura 17.	Tipos de inclinación de terrenos.....	51
Figura 18.	Inestabilidad de un botadero que pasa por el pie del talud con un suelo de fundación rígida.	52
Figura 19.	Inestabilidad de un botadero que pasa por debajo del pie del talud con un suelo de fundación blando.....	53
Figura 20.	Peligros durante la ejecución de taludes.....	53
Figura 21.	Captación de lixiviados.....	54
Figura 22.	Criterios de precipitación y evapotranspiración para la selección de sistemas de almacenamiento de lixiviados.	55

Figura 23.	Captadores de biogás en una macrocelda de residuos	57
Figura 24.	Características mínimas para la capa final (sellado de la celda)	58
Figura 25.	Módulos referenciales.	59
Figura 26.	Celda o Macrocela de cierre técnico; estudio de caso Municipio de Cuevo	60
Figura 27.	Celda o macrocelda de operación de Lagunillas.....	61
Figura 28.	Geometría de prismoides.....	62
Figura 29.	Celda/macrocela y unidad de almacenamiento de lixiviados de Cuevo	63
Figura 30.	Captadores de biogás referenciales.....	64
Figura 31.	Cerco perimetral y cunea pluvial de Cuevo.....	64
Figura 32.	Niveles de incendios en disposición final	68
Figura 33.	Control de propagación de incendios.....	69
Figura 34.	Métodos de control y eliminación de incendios.....	70
Figura 35.	Uso futuro: Pos Clausura.....	73

Índice de tablas

Tabla 1.	Normas técnicas referenciales.....	19
Tabla 2.	Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo A.....	28
Tabla 3.	Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo B.....	30
Tabla 4.	Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo C.....	32
Tabla 5.	Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo R.....	34
Tabla 6.	Rangos para la categorización de Botaderos por nivel de riesgo.....	35
Tabla 7.	Estudios y análisis previos requeridos.....	39
Tabla 9.	Parámetros de monitoreo del aire.....	72
Tabla 10.	Parámetros de monitoreo del suelo.....	72

1. Introducción

El crecimiento poblacional, así como los hábitos de consumo y producción, están generando un incremento en cantidad y variedad de los residuos, aumentando el porcentaje de aquellos que no son biodegradables y otros que en nuestro país no son reciclables. Por otra parte, la falta de gestión integral de residuos y un manejo inadecuado en todo nivel constituyen en la actualidad los problemas socio ambientales más significativos, por la cantidad de recursos económicos, energéticos y tecnológicos que son necesarios invertir; lo que afecta paulatinamente a la calidad de vida, salud pública y el medio ambiente, generando contaminación de suelos, aire, aguas superficiales y/o subterráneas.

Además, la ausencia de políticas municipales e institucionales, ausencia de cumplimiento y seguimiento a los programas, planes, y normativas, debilidades en los servicios de aseo, sumado a la falta de corresponsabilidad ciudadana con los residuos, son la principal causa de generación de basurales en ríos, canales, calles, terrenos baldíos, parques, entre otros.

El cierre técnico definitivo del botadero y saneamiento del sitio 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 generen impactos negativos al medio ambiente y la salud de la población, logrando la integración del sitio con el entorno.



2. Marco legal para el cierre técnico y/o rehabilitación de botaderos

El ordenamiento jurídico establecido y vigente en el país para el cierre técnico y/o rehabilitación de botaderos deben ser aplicadas y de cumplimiento obligatorio por las Entidades Territoriales Autónomas.

Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, enero 2009.

En los artículos pertinentes establece:

Artículo 33 :

Determina que las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable protegido y equilibrado.

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.
27. Aseo urbano, manejo y tratamiento de residuos sólidos en el marco de la política del Estado.

En ese sentido, en el marco de sus competencias el cierre, saneamiento y rehabilitación de botaderos es responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Municipales, pudiendo realizarse de manera directa, desconcentrada o terciarizada buscando preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y fauna silvestre manteniendo el equilibrio ecológico y el control de la contaminación ambiental.

Ley N° 1333 de Medio Ambiente.

En el marco de la protección y conservación del medio ambiente, establece en su artículo 17 la obligación del Estado y la sociedad de garantizar un medio ambiente sano al cual tiene derecho toda persona y ser viviente; asimismo señala en el artículo 19 los objetivos del control de calidad ambiental, concordantes con el artículo precedente:

- i. Preservar, conservar, mejorar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales a fin de elevar la calidad de vida de la población.
- ii. Normar y regular la utilización del medio ambiente y los recursos naturales en beneficio de la sociedad en su conjunto.

- iii. 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.
- iv. 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.

Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos.

Aprobada el 28 de octubre de 2015 tiene por objeto “establecer la política general y el régimen jurídico de la Gestión Integral de Residuos en el Estado Plurinacional de Bolivia, priorizando la prevención para la reducción de la generación de residuos, su aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra, así como el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado”. Así mismo, en su Artículo 9 establece como política de estado el “Cierre de botaderos y remediación de sitios contaminados generados por la gestión inadecuada de los residuos, y la implementación de rellenos sanitarios para la disposición final ambiental y sanitariamente segura de los mismos.”

La disposición adicional segunda establece: “Los botaderos y áreas contaminadas por residuos deben ingresar a procesos de clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental, en cumplimiento con la normativa vigente y protección a la salud, en un plazo máximo de cinco (5) años, de acuerdo a la planificación que emita el Ministerio cabeza de sector”.

Decreto Supremo N° 2954 Reglamento a la Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos.

Los artículos que se refieren específicamente a los botaderos son los siguientes:

Artículo 36:

(Condición a la gestión de financiamiento). El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, podrá condicionar la gestión de financiamiento a proyectos de gestión integral de residuos de las Entidades Territoriales Autónomas, cuando no cumplan las siguientes condiciones:

“...c) Proceso de implementación de clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental de botaderos”.

Artículo 37:

(Sistema de Información de la Gestión Integral de Residuos - SIGIR).

“..II. El SIGIR estará estructurado, mínimamente con la siguiente información: ...

...i) Cantidad de botaderos en operación y en proceso de clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental”.

Artículo 76:

(Clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental de botaderos).

- i. La clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental de botaderos, debe realizarse de acuerdo a normativa técnica vigente emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- ii. El mantenimiento y control de los botaderos cerrados debe realizarse durante los siguientes diez (10) años como mínimo, a partir de la fecha oficial de cierre.
- iii. Los Gobiernos Autónomos Departamentales, deben realizar el control y la evaluación

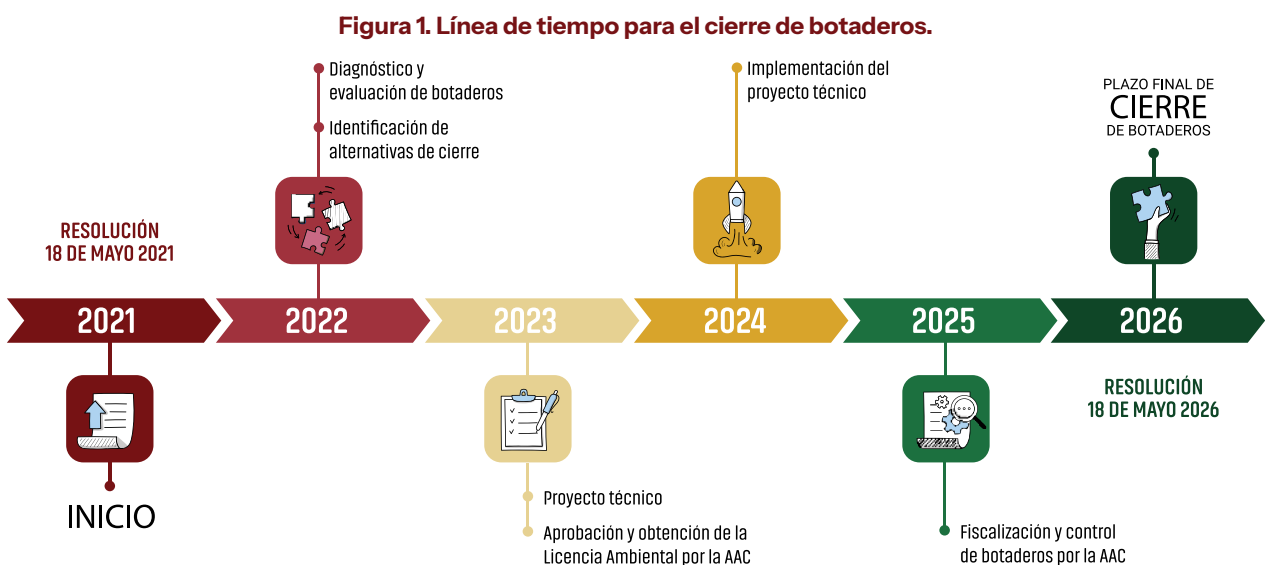
de cumplimiento de los procesos de clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental, debiendo registrar en el SIGIR, la información generada por las acciones realizadas.

Artículo 77:

(Prohibición de asentamientos humanos, viviendas y urbanizaciones). Se prohíbe la construcción de edificaciones sobre rellenos sanitarios, botaderos cerrados y áreas de influencia hasta un radio de un mil (1.000) metros perimetrales al polígono.

Resolución Ministerial 269/2021, Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos.

Establece el procedimiento y los instrumentos que los municipios deben generar para el cierre de estos sitios.



Fuente: Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos en el Estado Plurinacional de Bolivia, RM N° 269/2021

Así mismo, se incluye la alternativa de rehabilitación para convertirlo en relleno sanitario como opción técnica válida que implica recuperar o restituir la capacidad de un sitio de disposición final utilizado como botadero para servir como relleno sanitario con el objetivo de continuar con la disposición final de residuos de una forma segura desde un punto de vista ambiental y de salud.

Otros documentos referenciales.

Las normas técnicas sobre saneamiento básico para la optimización de parámetros en la gestión de residuos, se detallan a continuación:

Tabla 1. Normas técnicas referenciales.

Número	Descripción
NB - 742	Terminología sobre residuos sólidos y peligrosos.
NB - 743	Determinación de parámetros e indicadores de diseño sobre residuos sólidos municipales.
NB - 744	Preparación de muestras para su análisis de laboratorio.

NB - 745	Determinación de humedad.
NB - 746	Determinación de cenizas.
NB - 747	Determinación de pH – método de potenciómetro.
NB - 748	Determinación de nitrógeno total.
NB - 749	Determinación de azufre.
NB - 750	Determinación de poder calorífico superior.
NB - 751	Determinación de materia orgánica.
NB - 752	Determinación de relación carbono – nitrógeno.
NB - 753	Prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NB - 754	Residuos sólidos – Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos sólidos considerados peligrosos.
NB - 755	Residuos sólidos – Parte 1: Basureros diferenciados – Requisitos que deben cumplir para su diseño y ubicación en vías y áreas públicas.
NB - 756	Residuos sólidos – Recipientes para el almacenamiento de residuos sólidos domésticos y asimilables a domésticos – Requisitos.
NB - 757	Medio ambiente – Características que deben reunir los sitios para ubicar sistemas de disposición final de residuos sólidos municipales.
NB - 758	Residuos sólidos – Características, listados y definición de residuos peligrosos.
NB - 759	Medio ambiente – Características que deben reunir los sitios para ubicar sistemas de disposición final de residuos peligrosos (excepto para residuos radioactivos).
NB - 760	Medio ambiente – Requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario.

Fuente: Ilnorca, 2024

De la Tabla 1, las principales normas técnicas referenciales relacionadas con la disposición final de los residuos son la NB 757 y NB 760, esto respecto a si se aplica un cierre técnico del botadero con rehabilitación a relleno sanitario.



Botadero del municipio de Colcha K, Potosí

3. Marco conceptual

Biogás. Gas combustible que se forma a partir de la descomposición de materia orgánica, compuesto principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), pero suele tener otros compuestos, los cuales actúan como impurezas.

Botadero. Lugar de disposición final de residuos que no cumple con normas técnicas, ni disposiciones ambientales vigentes, creando o pudiendo crear riesgos sanitarios o ambientales.

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.

Celda. Es el bloque unitario de construcción de un relleno sanitario.

Cierre técnico de botadero. Sellado de un botadero cumpliendo las condiciones establecidas en la normativa técnica correspondiente.

Clausura. Suspensión definitiva de un sitio de disposición final o instalación de tratamiento de residuos, por no cumplir con los requisitos que establezca la normativa técnica correspondiente.

Disposición final. Etapa de la gestión operativa de los residuos que consiste en depositar de forma permanente los residuos en un espacio físico.

Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS). Sistema conformado por procesos de planificación, desarrollo normativo, organización, sostenibilidad financiera, gestión operativa, ambiental, educación y desarrollo comunitario para la prevención, reducción, aprovechamiento y disposición final de residuos, en un marco de protección a la salud y el medio ambiente.

Jerarquización de la gestión los residuos sólidos. Se define como la priorización de acciones dentro de la gestión integral de los residuos sólidos: para reducir la generación de residuos, maximizar el aprovechamiento de los residuos y minimizar la disposición final de los residuos.

Lixiviado. Líquido resultante de la descomposición del residuo orgánico dispuesto en el sitio de disposición final, así como de la infiltración del agua pluvial a través de los residuos y que puede generar contaminación.

Manejo adecuado. Son aquellas acciones realizadas por el generador, mediante el almacenamiento, separación y entrega de sus residuos a un operador autorizado, o su recolección y transporte hacia las instalaciones de tratamiento y/o disposición final cuando corresponda, en el marco de la normativa vigente.

Plan de cierre de las instalaciones de disposición final. Se entiende que el cierre comprende las actividades preliminares, y el post cierre a las actividades después del cierre, por lo que el plan debe confrontar las siguientes cuestiones, un diagnóstico de la situación actual y proyecto de cierre.

Plan de Pos Cierre. Conjunto de actividades ejecutadas posterior al cierre de un relleno sanitario, para el mantenimiento de las instalaciones relacionadas con el sitio de disposición final.

Riesgo. Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición aun material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organis-

mos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

Recuperador o reciclador. Persona natural o jurídica que realiza actividades de recuperación de residuos en vías o áreas públicas para su aprovechamiento.

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.

Relleno sanitario. Instalación o infraestructura que cumple con las condiciones técnicas, sanitarias y ambientales empleada para la disposición final de residuos donde se realiza el esparcimiento, acomodo y compactación de los mismos sobre una base impermeable, la cobertura con tierra u otro material inerte, el manejo y tratamiento de lixiviados y gases y, el control de vectores con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

Remediación. Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

Residuos sólidos. Materiales en estado sólido o semisólido de características no peligrosas, especiales o peligrosas, generados en procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuyo generador o poseedor decide o requiere deshacerse de estos, y pueden ser susceptible de aprovechamiento o requieren sujetarse a procesos de tratamiento o disposición final.

Sitio contaminado. Área, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido modificado en sus características naturales por efecto de residuos que, por sus cantidades y características, representan un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes de las personas.

Vector. Cualquier material u organismo que pueda servir como vehículo transmisor de enfermedades a humanos o animales.

3.1. Clasificación de los botaderos a cielo abierto.

La Planificación Nacional para el Cierre de Botaderos, establece las condiciones bajo las cuales se pueden presentar los botaderos a cielo abierto, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Botaderos a cielo abierto - Tipo A. - Son sitios de disposición de residuos municipales mezclados o diferenciados y que son utilizados en ciudades capitales y algunas ciudades intermedias con poblaciones variables en áreas municipales fuera del radio urbano con población mayores a 100.000 habitantes.
- Botaderos a cielo abierto de áreas urbanas intermedias - Tipo B. - Al igual que en el caso anterior, se considera que este tipo de botaderos son sitios de disposición de residuos municipales mezclados y que son utilizados en ciudades con poblaciones entre 10.000 a 100.000 habitantes en áreas fuera del radio urbano.
- Botaderos a cielo abierto de áreas urbanas menores - Tipo C. - Se considera que este tipo de botaderos son sitios de disposición de residuos municipales mezclados y que son utilizados en ciudades con poblaciones entre 2.000 a 10.000 habitantes en áreas general-

mente comunitarias cedidas o privadas fuera del radio urbano.

- Botaderos a cielo abierto en áreas rurales - Tipo R. - Este tipo de botaderos se encuentra frecuentemente en áreas concentradas con población menor a 2.000 habitantes; son más pequeños en superficie y cantidad de residuos dispuestos que en la categoría anterior y también presentan residuos que contienen bajo porcentaje de materia orgánica y mucho material no biodegradable, son botaderos de escombros o son mixtos y frecuentemente los residuos son quemados sin ningún control.



4. Cierre técnico definitivo y/o rehabilitación de botaderos

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. El cierre técnico integra también las actividades de mantenimiento y monitoreo post-cierre técnico.

4.1. Cierre técnico definitivo.

Puede realizarse de dos maneras:

Traslado de los residuos del botadero al relleno sanitario.

El traslado de los residuos del botadero al relleno sanitario consiste en extraer los residuos y el suelo contaminado para disponerlos en un nuevo relleno sanitario o en una celda construida con la finalidad de depositar estos residuos.

Si bien la alternativa de traslado de residuos es más simple en términos de actividades a realizar, esta condicionada a la cantidad de residuos depositados, la distancia de traslado y los posibles impactos que se podrían generar durante la propia excavación.

Cierre técnico in situ.

Consiste en la suspensión definitiva de la disposición final de los residuos en un botadero, para eliminar los impactos ambientales negativos que pudiera estar causando.

Figura 2. Cierre técnico in situ de Mallasa, La Paz.



Fuente: Helvetas, 2024

4.2. Rehabilitación de botaderos en rellenos sanitarios.

Se trata de una modalidad establecida en la planificación para el cierre técnico de botaderos y consiste en recuperar o restituir la capacidad de un sitio de disposición final utilizado como botadero y convertirlo en un relleno sanitario, con el objetivo de continuar con la disposición final

de los residuos de forma segura desde el punto de vista ambiental y de salud. En lo operativo se enfoca en confinar en una celda los residuos dispuestos en el botadero para mitigar los impactos ambientales y posteriormente rehabilitar el sitio como nuevo relleno sanitario a través de la disposición de los residuos generados en una celda construida para este fin.

De ser posible, un relleno sanitario podrá ser implementado en sinergia con el cierre del botadero en un mismo predio, esto con la finalidad de optimizar el uso de espacios y recursos técnicos y financieros.

Figura 3. Relleno Sanitario de Boyuibe y área de cierre del botadero antiguo.



Fuente: Helvetas, 2024

Figura 4. Macrocela clausurada en el relleno sanitario de Villa Ingenio, El Alto.

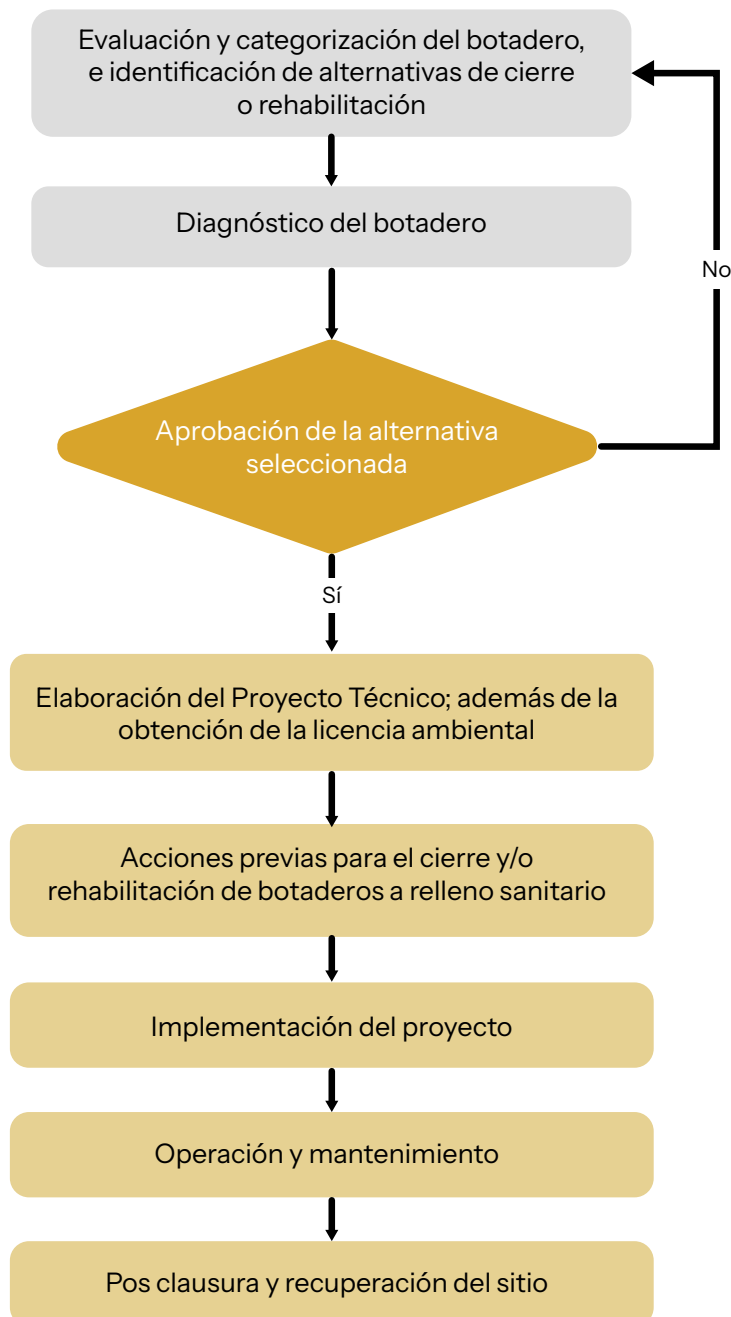


Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y agua, 2024

5. Procedimiento para el cierre técnico y/o rehabilitación de botaderos

Para implementar las acciones y los procesos para el cierre, rehabilitación y saneamiento de botaderos se deben tener en cuenta las siguientes etapas:

Figura 5. Procedimiento para el cierre de botaderos.



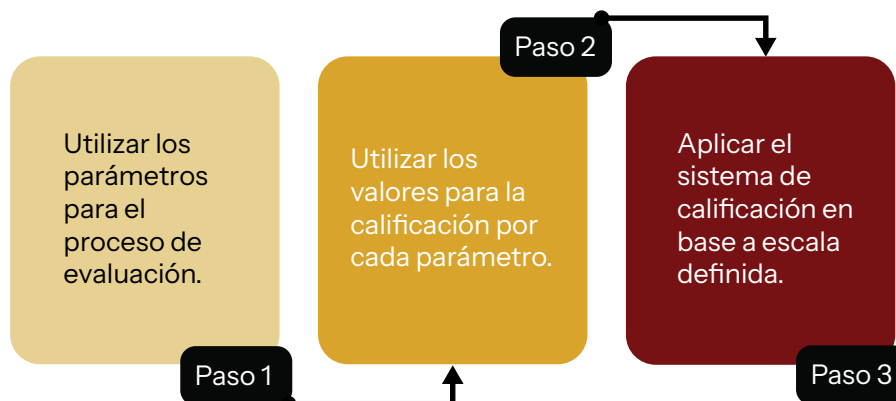
Fuente: Elaboración Propia, 2024

5.1. Evaluación y categorización del botadero.

Para la evaluación y categorización del botadero se deberán considerar las características y los impactos más importantes que ocasionan al medio ambiente y al ser humano.

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

Figura 6. Pasos para categorizar botaderos por nivel de riesgo



Fuente: Elaboración propia, 2024

En base a los criterios señalados se establece:

- Impacto del factor (a): comprende el valor asignado de acuerdo con las particularidades de cada parámetro evaluado, puede variar en la escala de 3 a 1.
- Importancia del factor(b): La importancia del parámetro puede variar en la escala de 3 a 1.
- 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 Impacto por el valor de Importancia del Parámetro.

A continuación, se presenta un cuadro de apoyo por tipo de botadero considerado en la Resolución Ministerial N° 269/21 para la evaluación o valoración de impactos ambientales, ocasionados por la operación del botadero:



Tabla 2. Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo A.

Datos del botadero				
Nombre del sitio:				Categoría del botadero:
Departamento:		Municipio:		A
Coordenadas				
Norte:		Este:		
Cuenta con EDTP para la operación o cierre del sitio (marque con una X):	SI:		NO:	
Valoración del botadero				
Parámetros	Factores de valoración			
Aspectos generales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Área ocupada por los residuos:	> 50 Ha	3	3	
	entre 10 y 49,99 Ha	2	2	
	< 10 Ha	1	1	
Cantidad de residuos dispuestos diariamente (T/día):	> 100	3	3	
	entre 50 y 99,99	2	2	
	< 49,99	1	1	
Disponen residuos de establecimientos de salud en el lugar:	Si	3	3	
	No	1	1	
Disponen residuos peligrosos en el lugar:	Si	3	3	
	No	1	1	
Años de operación (años):	> 10	3	3	
	de 3 a 9.9	2	2	
	< 3	1	1	
Subtotales:				0
Aspectos espaciales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Ubicación a centros poblados (metros):	< 500	3	3	
	entre 500 y 999	2	2	
	> 1000	1	1	
Ubicación a cuerpos de agua superficial (metros):	< 300	3	3	
	entre 300 y 499	2	2	
	> 500	1	1	
Ubicado en áreas inundables:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de pozos de agua potable:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de recarga hídrica o cabecera de cuenca:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en sitios de patrimonio histórico, arqueológico, turístico:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en áreas de reserva o protección natural:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicados cerca (menos de 500 metros) o en áreas geológicas vulnerables:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicados cerca de un aeropuerto (menos de 4 000 m)	Si	3	3	
	No	0	0	
Subtotales:				0

Aspectos técnicos	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Impermeabilización de la celda de disposición final:	Si	1	1	
	No	3	3	
Manejo de lixiviados:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de biogás o venteo pasivo:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de Residuos:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Aspectos sociales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Presencia de segregadores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Conflictos sociales:	Si	3	3	
	No	1	3	
Crianza de animales en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Presencia de vectores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	2	
Presencia de Olores desagradables:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Puntuación total:				0

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 3. Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo B.

Datos del botadero					
Nombre del sitio:				Categoría del botadero:	
Departamento:		Municipio:		B	
Coordenadas					
Norte:		Este:			
Cuenta con EDTP para la operación o cierre del sitio (marque con una X):	SI:		NO:		
Valoración del botadero					
Parámetros		Factores de valoración			
Aspectos generales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación	
		(a)	(b)	(a*b)	
Área ocupada por los residuos:	> 10 Ha	3	3		
	entre 5 y 9,99	2	2		
	< 5 Ha	1	1		
Cantidad de residuos dispuestos diariamente (T/día):	> 50	3	3		
	entre 10 y 49,99	2	2		
	< 10	1	1		
Disponen residuos de establecimientos de salud en el lugar:	Si	3	3		
	No	1	1		
Disponen residuos peligrosos en el lugar:	Si	3	3		
	No	1	1		
Años de operación (años):	> 10	3	3		
	de 3 a 9.9	2	2		
	< 3	1	1		
Subtotales:				0	
Aspectos espaciales		Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
			(a)	(b)	(a*b)
Ubicación a centros poblados (metros):	< 500		3	3	
	entre 500 y 999		2	2	
	> 1000		1	1	
Ubicación a cuerpos de agua superficial (metros):	< 300		3	3	
	entre 300 y 499		2	2	
	> 500		1	1	
Ubicado en áreas inundables:	Si		3	3	
	No		1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de pozos de agua potable:	Si		3	3	
	No		1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de recarga hídrica o cabecera de cuenca:	Si		3	3	
	No		1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en sitios de patrimonio histórico, arqueológico, turístico:	Si		3	3	
	No		1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en áreas de reserva o protección natural:	Si		3	3	
	No		1	1	
Ubicados cerca (menos de 500 metros) o en áreas geológicas vulnerables:	Si		3	3	
	No		1	1	
Ubicados cerca de un aeropuerto (menos de 4 000 m)	Si		3	3	
	No		0	0	
Subtotales:				0	

Aspectos técnicos	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Impermeabilización de la celda de disposición final:	Si	1	1	
	No	3	3	
Manejo de lixiviados:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de biogás o venteo pasivo:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de Residuos:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Aspectos sociales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Presencia de segregadores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Conflictos sociales:	Si	3	3	
	No	1	3	
Crianza de animales en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Presencia de vectores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	2	
Presencia de Olores desagradables:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Puntuación total:				0

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 4. Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo C.

Datos del botadero				
Nombre del sitio:				Categoría del botadero:
Departamento:		Municipio:		C
Coordenadas				
Norte:		Este:		
Cuenta con EDTP para la operación o cierre del sitio (marque con una X):	SI:		NO:	
Valoración del botadero				
Parámetros	Factores de valoración			
Aspectos generales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Área ocupada por los residuos:	5 Ha	3	3	
	entre 2 y 4,99 Ha	2	2	
	< 2 Ha	1	1	
Cantidad de residuos dispuestos diariamente (T/día):	> 10	3	3	
	entre 5 y 9,99	2	2	
	< 5	1	1	
Disponen residuos de establecimientos de salud en el lugar:	Si	3	3	
	No	1	1	
Disponen residuos peligrosos en el lugar:	Si	3	3	
	No	1	1	
Años de operación (años):	> 10	3	3	
	de 3 a 9.9	2	2	
	< 3	1	1	
Subtotales:				0
Aspectos espaciales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Ubicación a centros poblados (metros):	< 500	3	3	
	entre 500 y 999	2	2	
	> 1000	1	1	
Ubicación a cuerpos de agua superficial (metros):	< 300	3	3	
	entre 300 y 499	2	2	
	> 500	1	1	
Ubicado en áreas inundables:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de pozos de agua potable:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de recarga hídrica o cabecera de cuenca:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en sitios de patrimonio histórico, arqueológico, turístico:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en áreas de reserva o protección natural:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicados cerca (menos de 500 metros) o en áreas geológicas vulnerables:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicados cerca de un aeropuerto (menos de 4 000 m)	Si	3	3	
	No	0	0	
Subtotales:				0

Aspectos técnicos	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Impermeabilización de la celda de disposición final:	Si	1	1	
	No	3	3	
Manejo de lixiviados:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de biogás o venteo pasivo:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de Residuos:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Aspectos sociales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Presencia de segregadores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Conflictos sociales:	Si	3	3	
	No	1	3	
Crianza de animales en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Presencia de vectores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	2	
Presencia de Olores desagradables:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Puntuación total:				0

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 5. Planilla de categorización de nivel de riesgo de botaderos tipo R.

Datos del botadero				
Nombre del sitio:				Categoría del botadero:
Departamento:		Municipio:		R
Coordenadas				
Norte:		Este:		
Cuenta con EDTP para la operación o cierre del sitio (marque con una X):	SI:		NO:	
Valoración del botadero				
Parámetros	Factores de valoración			
Aspectos generales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Área ocupada por los residuos:	> 2 Ha	3	3	
	entre 1 y 1,99 Ha	2	2	
	< 1 Ha	1	1	
Cantidad de residuos dispuestos diariamente (T/día):	> 5	3	3	
	entre 2 y 4,99	2	2	
	< 2	1	1	
Disponen residuos de establecimientos de salud en el lugar:	Si	3	3	
	No	1	1	
Disponen residuos peligrosos en el lugar:	Si	3	3	
	No	1	1	
Años de operación (años):	> 10	3	3	
	de 3 a 9.9	2	2	
	< 3	1	1	
Subtotales:				0
Aspectos espaciales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Ubicación a centros poblados (metros):	< 500	3	3	
	entre 500 y 999	2	2	
	> 1000	1	1	
Ubicación a cuerpos de agua superficial (metros):	< 300	3	3	
	entre 300 y 499	2	2	
	> 500	1	1	
Ubicado en áreas inundables:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de pozos de agua potable:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en zonas de recarga hídrica o cabecera de cuenca:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en sitios de patrimonio histórico, arqueológico, turístico:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicado cerca (menos de 500 metros) o en áreas de reserva o protección natural:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicados cerca (menos de 500 metros) o en áreas geológicas vulnerables:	Si	3	3	
	No	1	1	
Ubicados cerca de un aeropuerto (menos de 4 000 m)	Si	3	3	
	No	0	0	
Subtotales:				0

Aspectos técnicos	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Impermeabilización de la celda de disposición final:	Si	1	1	
	No	3	3	
Manejo de lixiviados:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de biogás o venteo pasivo:	Si	1	1	
	No	3	3	
Quema de Residuos:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Aspectos sociales	Indicador	Impacto	Importancia del factor	Ponderación
		(a)	(b)	(a*b)
Presencia de segregadores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Conflictos sociales:	Si	3	3	
	No	1	3	
Crianza de animales en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	3	
Presencia de vectores en el sitio:	Si	3	3	
	No	1	2	
Presencia de Olores desagradables:	Si	3	3	
	No	1	2	
Subtotales:				0
Puntuación total:				0

Fuente: Elaboración propia, 2024

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 categorización por nivel de riesgos de botaderos. Señalar que el nivel central aplicó la metodología de evaluación a fin de contar con el inventario nacional de botaderos.

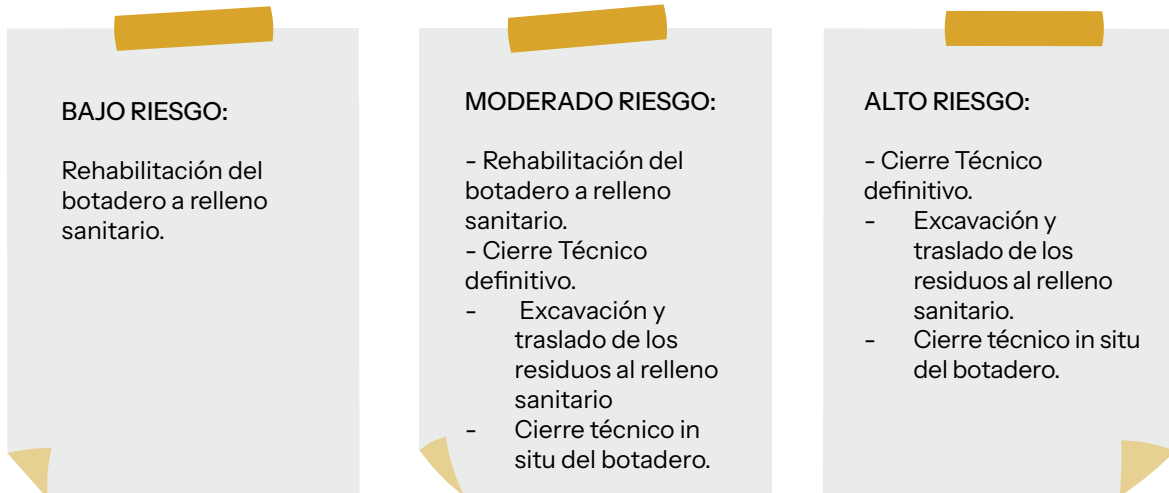
Tabla 6. Rangos para la categorización de Botaderos por nivel de riesgo.

Valor de puntuación	Categoría
Cuando el puntaje obtenido sea mayor a 121	Alto riesgo
Cuando el puntaje obtenido este entre 80 y 120	Riesgo moderado
Cuando el puntaje obtenido sea menor a 79	Bajo riesgo

Elaboración propia, 2024

Una vez se ha realizado la categorización del botadero y con base al puntaje obtenido se pueden aplicar una de las siguientes alternativas de solución:

Figura 7. Identificación de alternativas para el cierre y/o de rehabilitación según categoría de riesgo



Elaboración propia, 2024

Un botadero de alto riesgo debe someterse directamente al cierre definitivo, por su parte, los botaderos de riesgo moderado y bajo podrán ser rehabilitados.

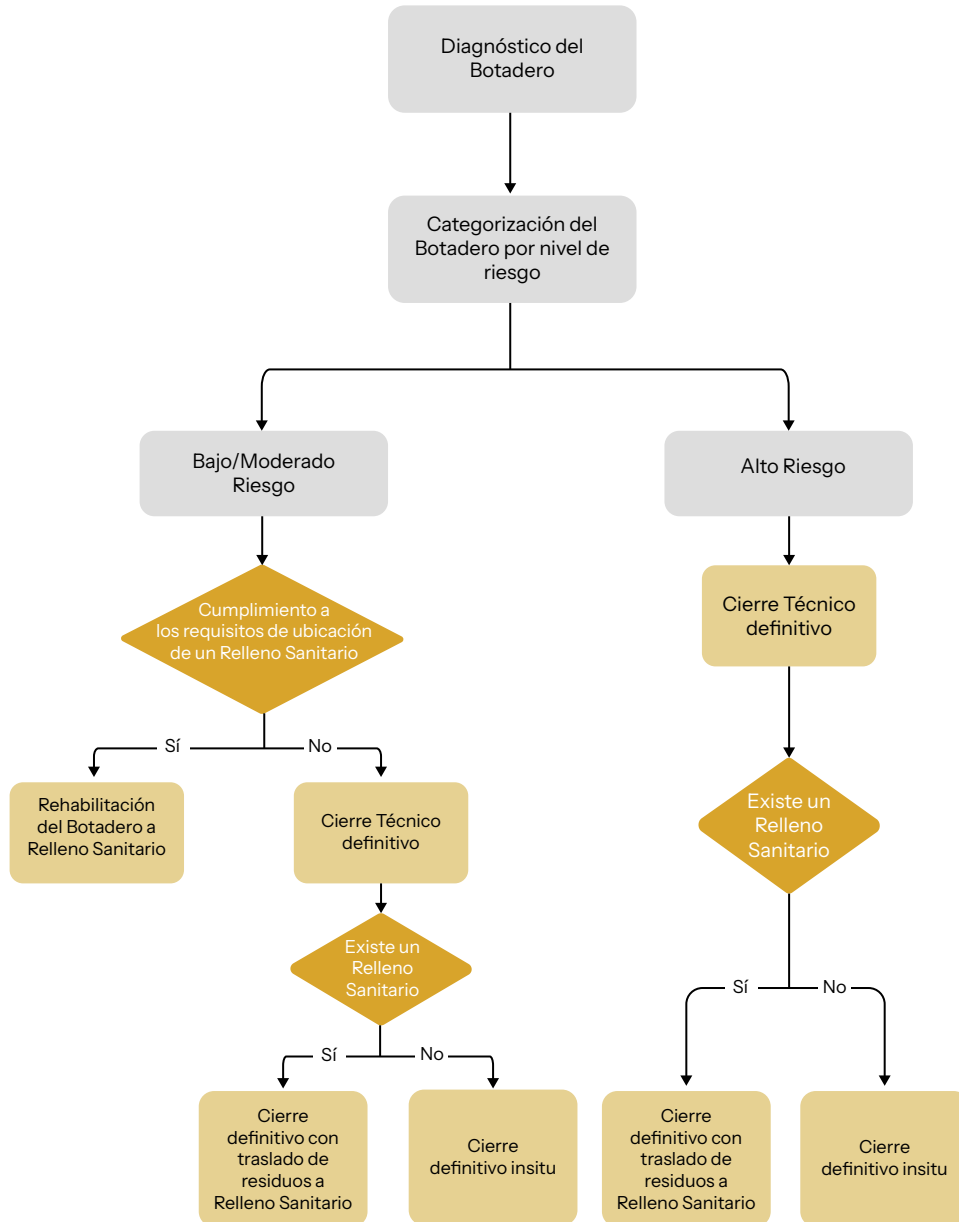
Para cada alternativa es importante seleccionar el método apropiado basado en estudios complementarios como por ejemplo topografía, geología, hidrología, entre otros, así como la capacidad técnica e instalada del gobierno municipal.

Se deben considerar en el análisis las inversiones relacionadas con la estabilización de los residuos, la clausura y saneamiento ambiental, ya que estas acciones se necesitarán independientemente del uso futuro. En general, se recomienda la rehabilitación cuando la vida útil restante del sitio es mayor a 10 años y se cuente con el espacio suficiente para disponer los residuos a ser generados.

Antes de proponer y seleccionar el método de operación para la rehabilitación del sitio se requiere evaluar las características y condiciones de los residuos depositados en el terreno con la finalidad de que se efectúe el menor movimiento de residuos y aprovechar al máximo el volumen disponible.



Figura 8. Diagrama de flujo para la selección de alternativas de cierre de botaderos.



Fuente: Elaboración propia, 2024

5.2. Diagnóstico del botadero.

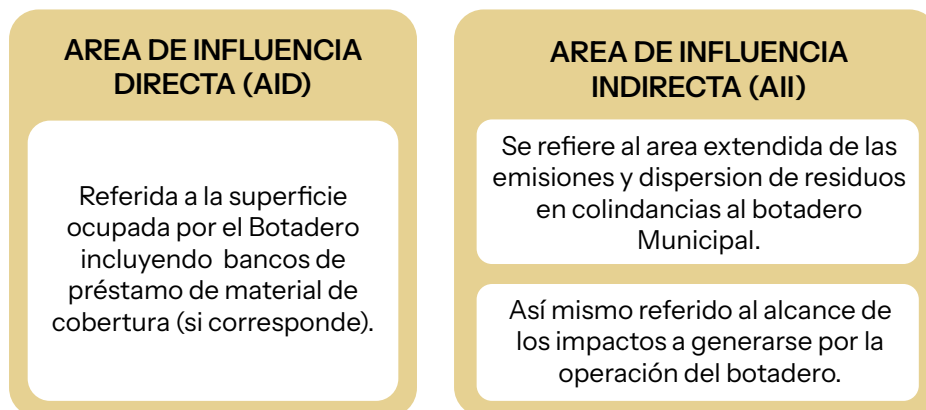
Para realizar el cierre técnico y/o rehabilitación de botaderos se requiere realizar de forma previa un diagnóstico que mínimamente debe incluir lo siguiente.

5.2.1. Aspectos generales.

Información General. Referido a la ubicación geográfica del botadero, criterios de accesibilidad y proximidad a centros poblados, análisis temporal y espacial del sitio delimitando zonas inactivas y activas, años de funcionamiento, cantidad, tipo y composición de residuos dispuestos.

Identificación del área de influencia directa e indirecta. La identificación del área de influencia directa e indirecta se puede identificar de la siguiente manera:

Figura 9. Diferencia de áreas de influencia de botaderos.



Fuente: Elaboración propia en base a R.A. VMABCCGDF 028/ 2018, 2024.

Flora y fauna. Se debe considerar que para el cierre y/o rehabilitación de botaderos se requerirá de movimiento de tierras y afectaciones al medio biótico, por lo que, se deberá identificar las variedades de fauna nativa e introducida. Así mismo identificar las unidades de cobertura vegetal y tipos de vegetación.

Barreras naturales (taludes, bosques). Las barreras naturales son importantes para prevenir la dispersión de los residuos y de las emisiones de botaderos (malos olores, gases, dispersión de materiales livianos, etc.) y mitigar el efecto visual y paisajístico del área seleccionada. En ese sentido se deberá identificar la existencia de las mismas.

Climatología. Es todo lo referente al clima de la zona de influencia del botadero y deberá contener al menos la siguiente información:

- Temperaturas
- Precipitación
- Evapotranspiración
- Dinámica de vientos
- Identificar acuíferos, redes superficiales y subterráneas
- Zonas de inundación

5.2.2. Aspectos demográficos y socioeconómicos.

Población beneficiada. Se debe determinar y proyectar la población existente en las zonas o áreas aledañas al sitio de disposición final.

Actividades socioeconómicas. Se debe identificar las actividades socioeconómicas que se desarrollen en el área influencia (por ejemplo, segregación y crianza de animales).

Mapeo de actores. Con base a la problemática asociada a los botaderos a cielo abierto es necesario identificar a los actores que tienen relevancia al momento de implementar medidas de cierre y/o rehabilitación de botaderos. (por ejemplo, afectados directos e indirectos).

5.2.3. Aspectos ambientales.

Impactos ambientales. La identificación de impactos ambientales deberá realizarse relacionando la ubicación y operación del sitio con los diferentes factores ambientales y sus atributos, considerando:

- Impactos al aire (emisión de gases, quema de residuos)
- Impactos agua (contaminación por lixiviados a cuerpos de agua)
- Impactos al suelo (contaminación por residuos y lixiviados)
- Impactos relacionados al ruido
- Impactos socioeconómicos (patrimonio natural y cultural)
- Afectaciones en el ecosistema (flora y fauna)
- Afectación a la salud (enfermedades, presencia de vectores)

5.2.4. Aspectos legales.

Propiedad de terreno. Se debe contar con un análisis legal referente a la propiedad de terreno (público, privado, comunitario).

Necesidad de servidumbre para acceso. Comprende la identificación y valoración de las vías de acceso hacia el terreno desde el punto de vista de usos y costumbres por parte de las comunidades colindantes.

Estado jurídico de los predios. Comprende la verificación legal de los documentos en los estratos judiciales que corresponde a derechos reales, de manera de verificar si los predios no tienen gravamen o hipoteca, los impuestos prediales, la función social que cumplen los predios.

5.2.5. Aspectos técnicos de campo.

Para la aplicación de los estudios y análisis requeridos es necesario considerar lo establecido en las guías de estudios de diseño técnico de preinversión (mayores, mediano y menores) según corresponda.

El cuadro siguiente detalla los estudios y análisis previos requeridos:

Tabla 7. Estudios y análisis previos requeridos.

Estudios y Análisis	Botadero
Topográfico	X
Geológico	X
Geotécnico	X
Hidrogeológico	X
Hidrológico	X

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS.

Topografía. Una vez definido el sitio, se desarrollará el levantamiento topográfico y se solicitará el plano con el terreno original a una escala de 1:250 ó 1:500, con las elevaciones representadas con curvas de nivel por cada metro y acotadas cada metro. Todo informe topográfico deberá anexar información y los planos respectivos propios del área levantada. En ese sentido se recomienda, que el estudio topográfico presente los siguientes resultados:

- Memoria descriptiva del levantamiento topográfico de la zona elegida para la disposición final de los residuos, para identificar las dificultades en cuanto a la accesibilidad al terreno.
- Plano de ubicación: Este plano además deberá incluir las vías de acceso al área elegida, cercanía a centros poblados, actividades humanas próximas y/o áreas de interés para el proyecto del botadero.
- Plano topográfico: En el que se deberá incluir una ficha de datos técnicos conteniendo

coordenadas UTM de los vértices del área en Datum WGS 84.

- Plano perimétrico: Debe contener el cuadro de datos técnicos con la siguiente información: medida de los ángulos interiores de todos los vértices del polígono, lados del polígono debidamente acotados y área del polígono.

Se recomienda generalmente un rango de pendiente moderada-fuerte como ideal; considerando la siguiente escala: De 0 a 1% (casi plano); de 1 a 3% (pendiente suave); de 3 a 6% (pendiente moderada); de 6 a 12% (pendiente fuerte) y de 12 a 24% (escarpada).

Estudio Geotécnico. Debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial. Se deberá definir de manera precisa, la estratigrafía del sitio. Para ello se realizará un sondeo por cada cinco hectáreas, con una profundidad mínima de 10 m por debajo de la cota inferior del área de disposición final de residuos o hasta llegar a un estrato de material consolidado impermeable.

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad, ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas. Los planos geológicos serán a escala suficiente y deberán incluir información en planta y en profundidad presentando diferentes cortes geológicos del área a ser implementada.

Estudio Geológico. Se realiza con el objeto de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial y/o la evaluación de un especialista geólogo.

Tipo de suelo. Este análisis se realiza para conocer la clasificación del suelo. Las intervenciones podrán ser realizadas de preferencia sobre un terreno cuya base sean suelos areno-limo-arcillosos (arena gruesa gredosa, greda franco-arcillosa); también son adecuados los limo-arcillosos (franco-limoso pesado, franco-limo-arcilloso, arcillo-limoso liviano) y los arcillo-limosos (arcillo-limoso pesado y arcilloso). Es mejor evitar los terrenos areno-limosos (franco-arenosos) porque son muy permeables.

Granulometría. El análisis consiste en separar y clasificar por tamaños el material del suelo, para determinar el diámetro efectivo de las partículas, así como para saber si están bien o mal graduadas; es decir, si existen o no partículas de diferente tamaño; esto mediante la obtención del coeficiente de uniformidad del suelo. Los resultados pueden representarse mediante una curva granulométrica, que indica gráficamente el porcentaje acumulado en peso de las partículas que componen el suelo.

Compactación. El análisis de compactación tiene la finalidad de aumentar la densidad del suelo mediante la aplicación de una carga, disminuyendo con esto la porosidad. Para elegir el material de cubierta se deberá compactar en el laboratorio una muestra del suelo para obtener la humedad óptima de compactación, que es aquella con la que se logra, al ser compactado, la máxima densidad; es decir con la que se obtiene la menor relación de vacíos. Posteriormente debe determinarse la permeabilidad de la muestra compactada para determinar su nuevo coeficiente de permeabilidad. Ya en obra, el suelo se compactará por capas de un espesor y una humedad óptima establecida por los resultados obtenidos en el laboratorio.

Permeabilidad del suelo. Es la mayor o menor facilidad con que la percolación del agua ocurre

a través de un suelo. El coeficiente de permeabilidad (k) es un indicador de la mayor o menor dificultad con que un suelo resiste a la percolación del agua a través de sus poros. En otras palabras, es la velocidad con la que el agua atraviesa los diferentes tipos de suelo. En la siguiente figura se puede identificar el tipo de suelo y su relación con el coeficiente de permeabilidad.

Figura 10. Coeficiente de permeabilidad k (cm/s).

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

Fuente: Jaramillo, 2002

Profundidad del nivel freático. En condiciones ideales para el cierre y/o rehabilitación de un botadero, sería preferible seleccionar terrenos donde el nivel freático esté a una profundidad significativa, como 20 o 25 metros. Esta profundidad ofrece una barrera natural muy eficaz contra la posible contaminación de los acuíferos y reduce la necesidad de medidas adicionales de protección.

Sin embargo, en situaciones donde esto no sea viable, se deben aplicar cuidadosamente las recomendaciones técnicas para mantener la protección del acuífero, adaptando las medidas según las condiciones específicas del sitio.

Figura 11. Recomendaciones técnicas para la protección de acuíferos.

1. Evaluación del Tipo de Suelo

Permeabilidad del Suelo: Los suelos con baja permeabilidad (como arcillas compactas) ofrecen una mayor protección contra la infiltración de lixiviados hacia el agua subterránea. En suelos más permeables (como arenas o gravas), la distancia entre la base del relleno y el nivel freático debe ser mayor para evitar el riesgo de contaminación.

Espesor del Suelo: Un espesor adecuado de suelo impermeable o semipermeable actúa como barrera natural. La presencia de capas de suelo con diferentes propiedades puede influir en la recomendación de la distancia mínima.

2. Características Hidrogeológicas

Nivel Freático Fluctuante: Es importante considerar que el nivel freático puede variar estacionalmente. Un margen de seguridad debe contemplar estas fluctuaciones para evitar que el agua subterránea se acerque a la base del relleno en épocas de lluvias.

Velocidad de Flujo Subterráneo: En zonas donde el flujo de agua subterránea es rápido, la distancia entre el relleno y el nivel freático debe ser mayor para reducir el riesgo de lixiviados contaminantes alcanzando acuíferos importantes.

3. Recomendación de Altura Mínima

Suelos Impermeables (arcillas, limos): Una altura mínima de 1.5 a 2 metros puede ser suficiente, considerando que el suelo actuará como una barrera adicional.

Suelos Moderadamente Permeables (arenas finas, limos arenosos): Se recomienda una altura mínima de 2.5 a 3 metros.

Suelos Altamente Permeables (arenas gruesas, gravas): La altura mínima debe ser de al menos 3 a 4 metros y puede requerir medidas adicionales, como la instalación de barreras geomembranas.

4. Consideraciones Adicionales

Estudios Geotécnicos y de Hidrogeología Local: Cada sitio debe ser evaluado individualmente para determinar la distancia mínima adecuada. Esto incluye pruebas de permeabilidad, análisis del flujo subterráneo, y monitoreo estacional del nivel freático.

Implementación de Barreras Adicionales: En suelos con alta permeabilidad o donde no se puede mantener la distancia recomendada, se deben considerar barreras adicionales como geomembranas, sistemas de drenaje de lixiviados, y capas de compactación de suelo (arcillas).

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Dado que Bolivia presenta una gran variabilidad en tipos de suelo y condiciones geológicas, es fundamental no aplicar una regla generalizada. En lugar de eso, cada región debe ser evaluada en sus características específicas, utilizando normativas internacionales como referencia y adaptándolas según los resultados de los estudios locales.

Estudios Hidrogeológicos. El objetivo principal del estudio hidrogeológico es la localización de los mantos acuíferos, así como la información de escurrimiento, la velocidad, dirección de movimiento y los cortes estratigráficos de los suelos, de tal manera que se cuente con información acerca de la disponibilidad de tierra para cobertura y sus características geológicas. Las cuales ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta y la línea de máxima de excavación en la operación del sitio de disposición final.

Estudios geofísicos. Previo a la ubicación de piezómetros o pozos de monitoreo pueden llevarse a cabo estudios geofísicos que nos permitirán tener información de las características del suelo en profundidad. Existen varios métodos geofísicos, generalmente se utilizan sondeos eléctricos verticales.

- **Sondeo Eléctrico Vertical.** El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) consiste en determinar la resistividad del subsuelo a diferentes profundidades, para así inferir la composición litológica del mismo y/o el tipo de fluidos que contiene. El método de SEV presenta los cambios de resistividad de las rocas en profundidad bajo el centro de medición en un mismo punto. El dispositivo más utilizado es de tipo Schlumberger18, el cual consiste de un arreglo de cuatro electrodos. Al efecto se utiliza una fuente externa para generar corriente que se introduce al subsuelo a través de los electrodos A y B, esta corriente genera un campo de potenciales, la diferencia de potenciales se mide entre los electrodos M y N. La profundidad investigada está relacionada con la distancia de los electrodos A y B. La lectura de corriente (I) y la diferencia de potenciales (ΔP) permiten calcular la resistencia (R).

Para el Sondeo Eléctrico Vertical se recomienda al menos un punto por cada 5 ha de superficie y de una longitud de hasta 250 metros.

Estudios Hidrológicos. Un estudio hidrológico, es todo lo referente al agua que entra a una cuenca, ya sea agua superficial o subterránea, y el impacto que genera en su suelo (ejemplo

cuanto drena y cuanto escurre y llega al río); a continuación se describen los aspectos a considerar en un estudio hidrológico:

- **Precipitación pluvial.** La precipitación pluvial tiene influencia en el diseño de las obras, ya que el conocimiento de ésta en el sitio seleccionado será importante para el diseño de los drenajes, el cálculo de volumen de lixiviados que se generará potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento superficial y finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo. La precipitación pluvial se mide en mm, que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable.
- **Evapotranspiración.** Del agua que es precipitada sobre la tierra, una gran cantidad es regresada a la atmósfera, como vapor, a través de la acción combinada de la evaporación y la transpiración. La evapotranspiración, puede medirse a través de métodos directos e indirectos. Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para su determinación. Los segundos en forma directa y bajo la utilización de fórmulas empíricas, obtienen los consumos de agua a través de todo el ciclo vegetativo de la planta.

Para la hidrología del área, se debe identificar todos los acuíferos junto con la red de agua superficial y la dirección de flujo del agua. Una parte de los problemas de operación causados por la disposición de residuos son consecuencia de una deficiente captación de agua de escurrimiento; partiendo de esa base es muy importante que el sitio seleccionado esté lo más lejos posible de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua, y cuente con una adecuada red de drenaje pluvial para evitar escurrimientos dentro del área de disposición final.

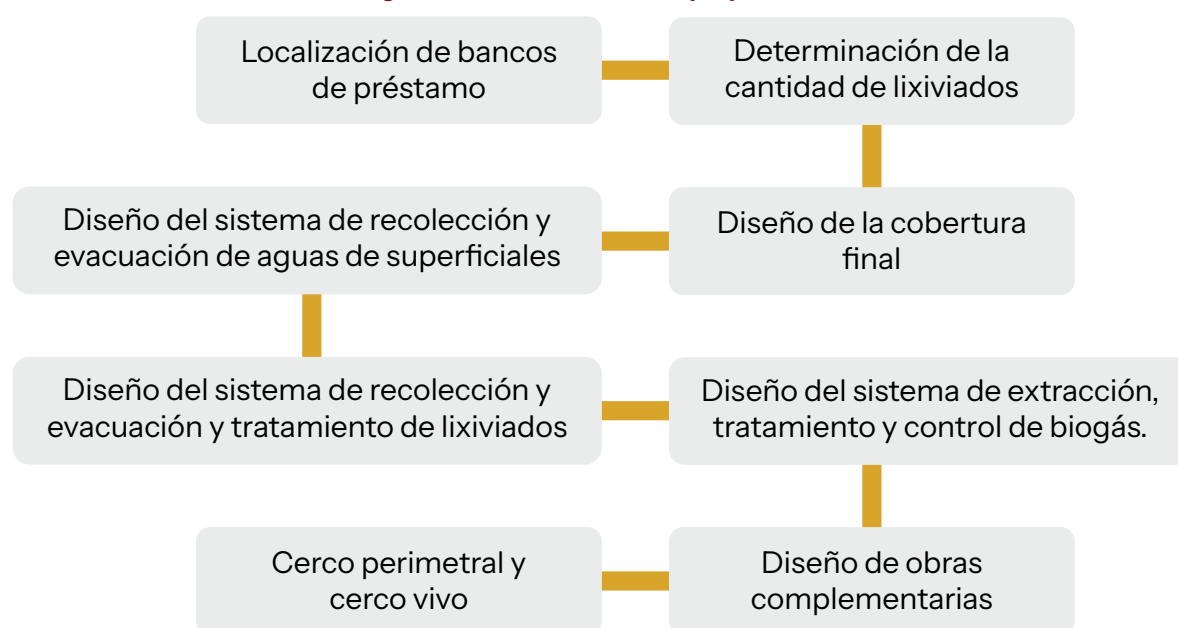


6. Elaboración del Proyecto Técnico

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.

Para el desarrollo de este acápite se debe considerar lo establecido en la presente guía y documentos técnicos relacionados. De manera referencial y en lo que sea aplicable, el Proyecto deberá presentar mínimamente lo siguiente:

Figura 12. Contenido mínimo proyecto técnico



Fuente: Elaboración propia, 2024

Con la información socioeconómica levantada sobre recicladores, se deberá proponer varias de las siguientes alternativas:

- Inclusión en programas de reciclaje desarrollados por las instituciones municipales o departamentales
- Reconocimiento y formalización de actividades de reciclaje
- Fomento de su fortalecimiento social y organizacional
- Creación de Asociaciones o microempresas de recicladores

7. Saneamiento ambiental

El saneamiento ambiental contempla acciones encaminadas al control y manejo de los residuos sólidos después del cierre técnico con el propósito de monitorear y controlar las acciones de mitigación de los impactos ambientales y de salud pública durante los procesos de cierre técnico del botadero.

El botadero que se encuentre en proceso de rehabilitación a relleno sanitario deberá cumplir con la presentación del manifiesto ambiental y la documentación que corresponda según la normativa ambiental vigente.

En caso de tratarse de un cierre técnico definitivo, éste deberá ser tramitado conforme a la categorización establecida en el Decreto Supremo N.º 3856, debiendo al efecto presentar el proyecto según la modalidad de intervención previamente definida.



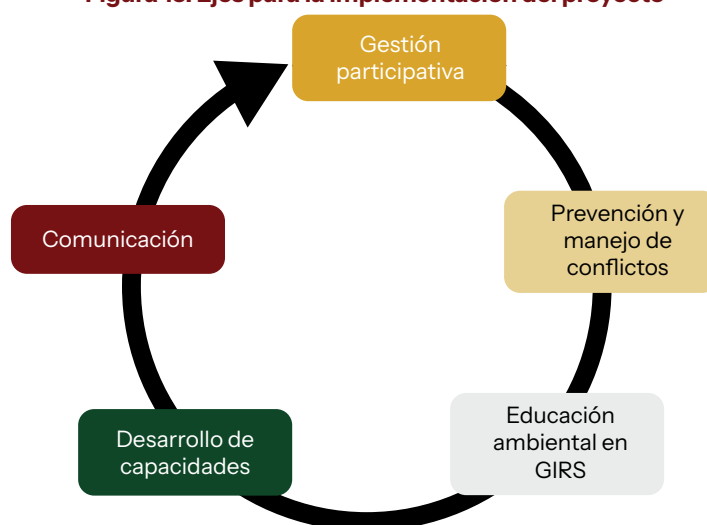
8. Implementación del proyecto técnico

8.1. Acciones previas.

Previa a la ejecución del proyecto de cierre técnico y/o rehabilitación del botadero se deben llevar a cabo acciones previas que son determinantes para la implementación del proyecto.

Difusión del cierre técnico y/o rehabilitación a relleno sanitario. Para una correcta implementación del proyecto se sugiere considerar acciones que se enmarquen en los siguientes ejes:

Figura 13. Ejes para la implementación del proyecto



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Es necesario contar con un canal de información a la población en general y las autoridades ambientales competentes, sobre el cierre técnico y/o rehabilitación 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.

Trabajo social con segregadoras de residuos. La disposición de residuos en botaderos por lo general conlleva a que personas de grupos vulnerables vean esta situación como una oportunidad para rescatar material que pueda tener algún valor. Esta práctica, si bien contribuye a reducir los residuos depositados, atenta contra la salud e integridad física de estas personas que se dedican a la segregación.

Posterior al cierre y/o rehabilitación del botadero no debe existir la presencia de estas personas. Sin embargo, es una práctica que actualmente se desarrolla y representa un ingreso económico, en este sentido, es importante brindar una alternativa a este grupo, formulando un plan de reubicación o reasentamiento.

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 apoyar en la organización de cooperativas o microempresas de servicios para la recolección diferenciada entre otros. Para mayor información se recomienda consultar la “Guía para la Formalización e Inclusión Social de Recicladoras y Recicladores de Residuos Urbanos Reciclables” aprobada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua mediante Resolución Ministerial Nro. 726 del 21 de diciembre de 2018.

8.1.1. Componentes transversales.

Letrero Informativo. Antes de empezar el cierre y/o rehabilitación del botadero, se debe dar la información correspondiente a la comunidad a través de medios de comunicación, indicando cuándo se inician las obras, en qué consisten, cuál debe ser la participación de los usuarios y cuál será su uso futuro. Asimismo, se debe colocar un cartel, que tenga como mínimo la siguiente información:

Figura 14. Letrero de obra referencial.

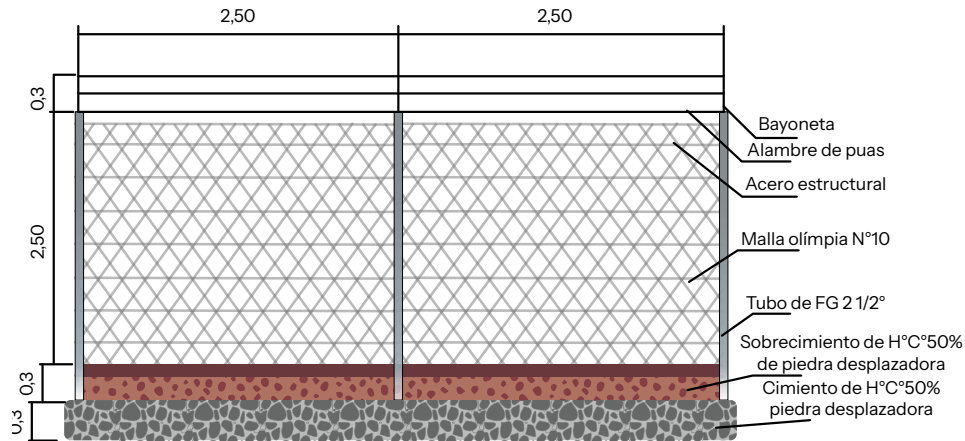


Fuente: Helvetas, 2021

Cerco perimetral y portón de acceso. El cerco perimetral delimita el predio, asimismo sirve de cortina rompe viento y aislamiento visual del botadero. Se puede construir con malla olímpica, postes prefabricados o materiales naturales (cañas, troncos, plantones y árboles nativos).

Por ejemplo, el cerramiento perimetral con la instalación de malla olímpica debe considerar como mínimo postes con una altura de 2,50 m, empotrados en dados de hormigón, y colocados como mínimo cada 2,50 m a 3 m entre sí.

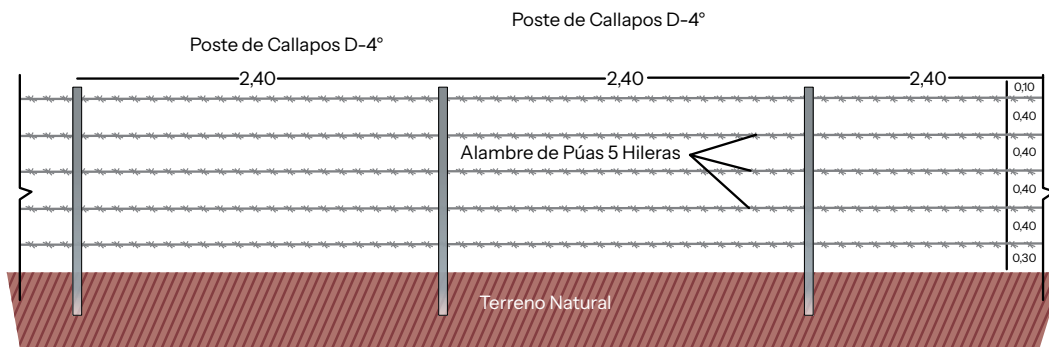
Figura 15. Cerco perimetral con malla olímpica.



Fuente: Helvetas, 2024.

Otra alternativa de cerramiento perimetral puede ser realizada con alambre de púas y uso de callapos.

Figura 16. Cerco perimetral con alambre de púas.



Fuente: Helvetas, 2024.

Los postes, parantes de madera o postes de hormigón deberán ser fijados en el suelo de acuerdo a las distancias señaladas en los planos, y aproximadamente a 50 cm de profundidad, debiendo empotrarse firmemente mediante un compactado perfecto en todo su contorno (hincado).

La parte del poste empotrada al suelo debe ser impermeabilizada en toda su superficie, mediante una capa de alquitrán. El alambre de púas será instalado en el número de hileras o filas establecido en los diseños y planos, sujetas a los postes mediante alambre galvanizado o grapas confeccionadas especialmente para el efecto.

El cerco perimetral contará con un portón de entrada que permita el ingreso de la maquinaria y el equipo que serán utilizados durante la ejecución del cierre.

Caseta de vigilancia. Dependiendo de su accesibilidad y necesidad, se deberá disponer de una caseta de vigilancia para controlar la entrada y salida de vehículos y personas a la obra a fin de que no entorpezcan los trabajos que se estén ejecutando en el sitio.

Canal perimetral. El canal perimetral es de suma importancia, sobre todo en zonas de lluvia intensa para evitar que el agua superficial penetre en el botadero. Debe tener una sección uniforme y por lo general puede ser excavado sin recubrimiento de concreto u otro material aislante (el recubrimiento será definido en función a las características del lugar y garantizando una correcta evacuación de aguas de lluvia).

A medida que progrese la excavación se tendrá especial cuidado para evitar deslizamientos, si esto sucediese no se podrá fundar sin antes limpiar completamente el material que pudiera llegar al fondo de la excavación.

Los materiales que vayan a ser utilizados se apilarán convenientemente a los lados de esta, a una distancia prudente que no cause presiones sobre sus paredes; las excavaciones terminadas deberán presentar superficies sin irregularidades.

Red de pozos de monitoreo de aguas subterráneas. A efectos de poder controlar las aguas subterráneas cerca del área de influencia del botadero, se debe diseñar e implementar una red de control de piezómetros o pozos de monitoreo:

1. 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.
2. Los pozos deberán llegar hasta dos metros por debajo del acuífero, a fin de garantizar el monitoreo del acuífero en toda su sección.

El diseño de la red variará en función de:

1. Si el objetivo es corroborar que no existe contaminación
2. Si se conoce o se estima de la existencia de esta contaminación.

Para la ubicación de los pozos 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 de pozos contemplará lo siguiente:

1. Número, ubicación, profundidad y tipo.
2. Parámetros de análisis de las aguas.
3. Método de perforación: helicoidal, rotación y percusión/rotopercusión.
4. 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.
5. El espacio anular correspondiente al tramo filtrante será de 5cm como mínimo constituido por grava silícea rodada y lavada de diámetro entre 3 y 10mm. El resto de espacio anular será correctamente cementado.
6. El piezómetro se deberá resguardar mediante arqueta y sistema de cierre adecuado.
7. Se deberá purgar el piezómetro después de su instalación.
8. 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.
9. La boca del piezómetro será nivelada, referenciando a una cota geográfica absoluta.
10. Se adjuntará su esquema constructivo, precisando características técnicas y columna litológica.

Señalética requerida. Para dar cumplimiento a la legislación vigente respecto a criterios de seguridad industrial y salud ocupacional se recomienda implementar la señalética de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Función. – La señalética puede ser de orientación, información, dirección, identificación, regulación u ornamental.

- Forma. – La forma de las señales de seguridad puede ser triangular, circular, rectangular o cuadrada.
- Tipo de mensaje. – Las señales de tránsito pueden ser restrictivas, preventivas, informativas, turísticas y de servicios, y de mensaje cambiante.

En el caso de las señales de seguridad, la forma y el color de la señal también tienen un significado:

- Triangular: Advertencia o peligro.
- Circular: Prohibición o negación.
- Rectangular: Equipos de salvamento o socorro, balizamiento o equipos de lucha contra incendios.
- Cuadrada: Recomendación o indicación.
- Obligación: Blanco, azul, circular, indican que hay que utilizar protecciones.
- Peligro: Negro, amarillo, triangular, avisan del peligro.
- Auxilio: Blanco, rojo o verde, cuadradas o rectangulares, proporcionan información acerca de los equipos de auxilio.
- Prohibición: Negro, rojo, blanco, circular, prohíben las actividades que ponen en peligro la salud.

8.2. Ejecución de la alternativa de cierre y/o rehabilitación a relleno sanitario.

8.2.1. Cierre con traslado de los residuos a un relleno sanitario.

Las actividades para ejecutar esta alternativa se describen en los siguientes párrafos.

A. 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, excavadora o una pala de carga frontal. Los residuos removidos serán cargados en volquetas para su transporte al nuevo relleno sanitario.

B. Excavar y retirar la tierra de la base.

Luego de trasladar todos los residuos del sector, se procederá a realizar el retiro de toda la base de suelo donde se depositaron, 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 para luego ser cargado a las volquetas. Se recomienda que el trabajo sea también realizado con una oruga o retroexcavadora (dependiendo de la cantidad de residuos). Este mismo suelo puede servir como suelo para la cobertura de los residuos en la nueva celda o relleno sanitario.

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 existen suelos contaminados.

C. Nivelar y compactar el área liberada de residuos.

Efectuada la verificación de que el suelo del sector ya no contiene material contaminado, se descargará tierra de cobertura para rellenar el área excavada y reacondicionar el terreno de acuerdo con 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. Está cubierta se compactará de forma manual o mecánica y se cuidará de darle el perfil topográfico requerido.

D. Sembrar pasto o grama o vegetación propia del lugar.

Con el propósito de darle una mejor apariencia al sitio y al mismo tiempo evitar la erosión, se recomienda que estas áreas sean transformadas en zonas verdes con pasto y/o vegetación del lugar.

8.2.2. Cierre técnico in situ de botaderos.

Consiste en confinar los residuos mediante la construcción de obras destinadas a evitar la generación de lixiviados y gases, para la captación y tratamiento cuando corresponda. Deben construirse todas las obras destinadas a mantener los residuos aislados mediante una cobertura impermeable sin causar ningún tipo de contaminación ni peligro sanitario, las emanaciones de biogás y lixiviados deben ser captadas y tratadas, 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 por realizarse 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.

A. Habilitación de vías internas y de acceso.

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

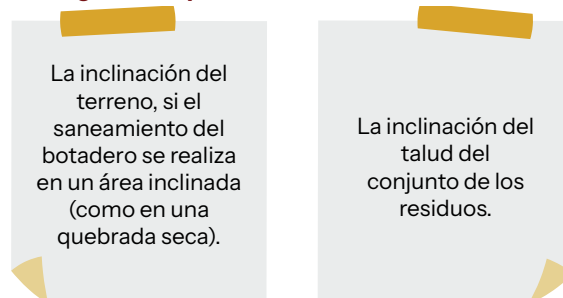
B. Conformación de la celda o macrocelda de cierre.

Para elaborar el diseño geométrico, al que se quiere llegar, se deberá partir de un estudio topográfico del botadero, a fin 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 (estabilidad de taludes).

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 la descomposición, reducen 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, los taludes pueden ser desde casi planos hasta tener una pendiente máxima de 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).

Figura 17. Tipos de inclinación de terrenos.



Fuente: Elaboración propia, 2024

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 deslizamiento.

No se debe utilizar un terreno demasiado inclinado para no arriesgar la seguridad estática del cuerpo de residuos que podría deslizarse completa 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.

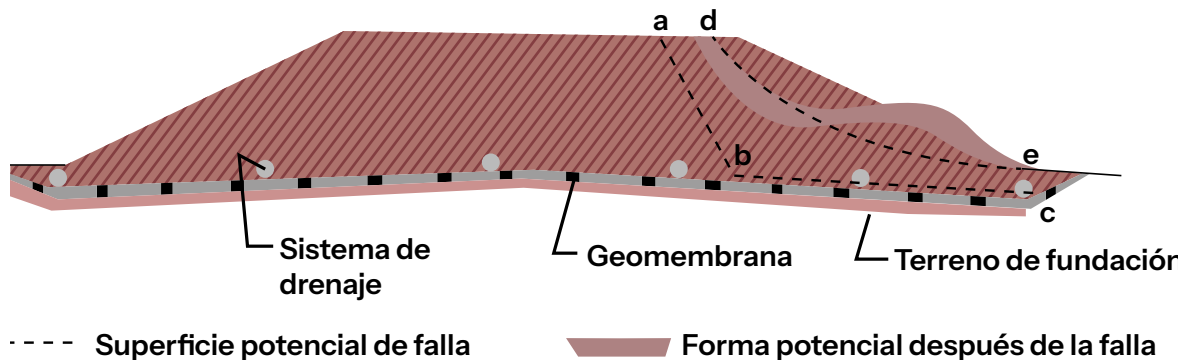
C. Estabilidad de taludes.

El proyecto de un cierre técnico y/o rehabilitación a relleno sanitario debe verificar la existencia de fenómenos de inestabilidad en la estructura global o parcial del terreno con el propósito de asegurar, a tiempo indefinido, la integridad y la continuidad de los sistemas de aislamiento de los residuos, salvaguardando de tal forma el medio ambiente.

Las siguientes figuras ilustran dos tipos de situaciones de estabilidad en botaderos. En la primera figura, la masa de residuos descansa sobre una base firme como roca o un área compactada. El botadero tiene un estrato, con un sistema de recolección de lixiviados y sin nivel de lixiviados dentro del relleno.

En ese sentido una inestabilidad en la masa de residuos podrá deslizarse a lo largo de la interfase (superficie potencial de falla), o si el talud esta más inclinado al de diseño de taludes 3H:1V.

Figura 18: Inestabilidad de un botadero que pasa por el pie del talud con un suelo de fundación rígida.



Fuente: Elaboración propia en base a Angelone, S. 2010

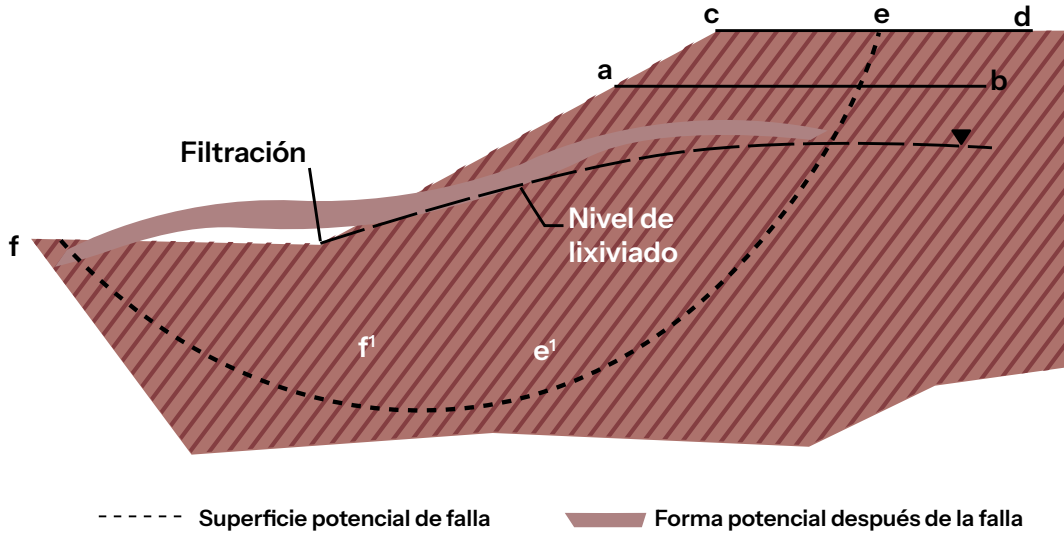
Si el sistema de lixiviados falla, el nivel piezométrico de lixiviados aumentará, disminuyendo el factor de seguridad. En este caso, la superficie de falla potencial incluye la fundación del relleno sanitario.

Si los esfuerzos de corte son porcentualmente mayores que la resistencia del suelo de fundación, existiran movimientos en el pie y en la cresta de talud, impactando la estabilidad de las paredes de los taludes,obstruyendo o modificando la pendiente del sistema de captación de lixiviado o superficies de drenaje de aguas de lluvia.

El recubrimiento del botadero también puede fallar, por el deslizamiento a lo largo de una superficie plana paralela al recubrimiento. Un recubrimiento inicialmente seguro y seco, puede fallar tiempo después por saturación.

La saturación incrementa el peso unitario del recubrimiento y disminuye la resistencia friccio- nante a lo largo de la interface. La fuente más común de saturación son las precipitaciones, grietas en recubrimiento y mal drenaje, pero la saturación también puede ser causada por un incremento del nivel de lixiviados dentro del relleno sanitario.

Figura 19. Inestabilidad de un botadero que pasa por debajo del pie del talud con un suelo de fundación blando.

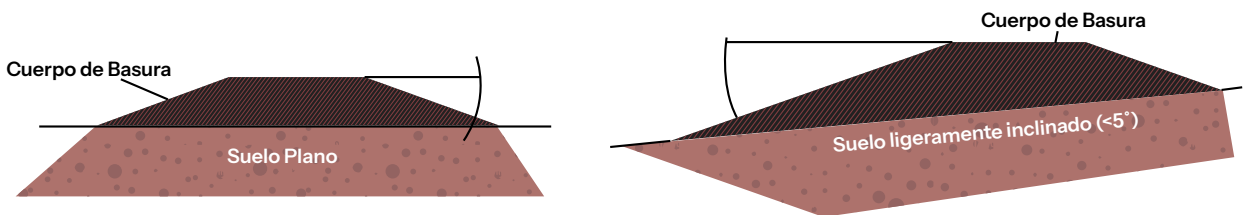


Fuente: Elaboración propia en base a Angelone, S. 2010

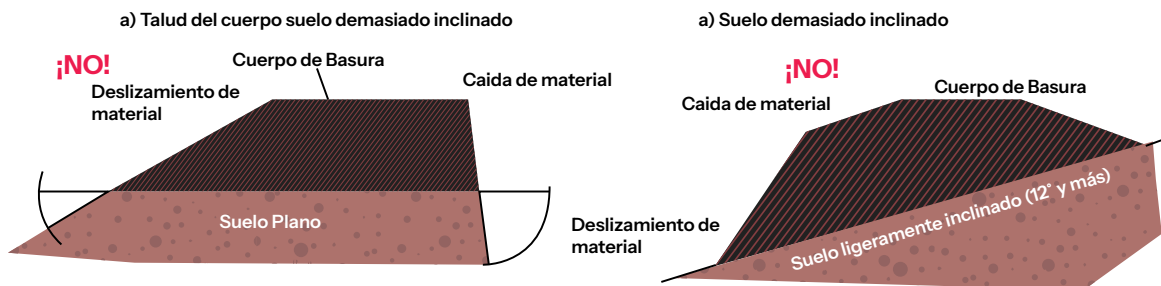
Las terrazas deben tener una pendiente del 2% hacia los taludes interiores para conducir los lixiviado a los drenajes, y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar mayor estabilidad a la obra.

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

Figura 20. Peligros durante la ejecución de taludes.



Cuerpo de Relleno Inestable



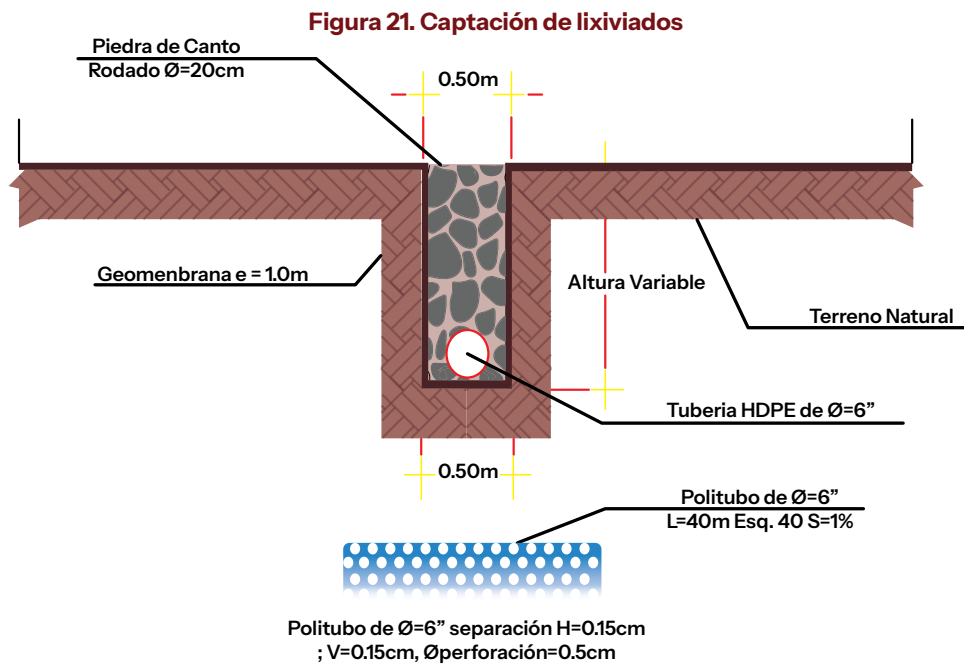
Fuente: Elaboración propia en base a Angelone, S. 2010

D. Construcción del sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.

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 la precipitación, la evaporación, el escurrimiento superficial de aguas, la humedad o agua proveniente de los residuos (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, generación y 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 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.



Funete: Elaboración propia, 2024

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

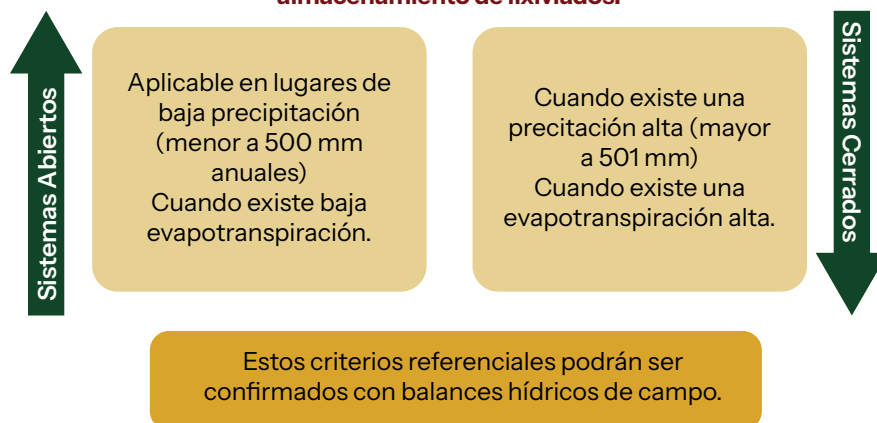
1. Ancho y altura variable. Referencialmente se sugieren como mínimo 0,5 m de alto y 0,5 m de ancho, además de 1,0 m de alto en terreno natural y 1-2 m de ancho.
2. Tubería de PVC o HDPE de 6" en el interior de la excavación, ranurada en su manto superior, junto con un relleno de piedra bolón de tamaño máximo 4".
3. 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 como mínimo de espesor.
4. Una cámara de inspección de hormigón o prefabricada en HDPE 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.

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.

Una vez se haya proyectado el volumen de lixiviados a ser generado y considerando la intensidad de precipitación, se podrá optar por sistemas abiertos o cerrados de almacenamiento lixiviados. A continuación, se describen los requisitos referenciales de selección para los sistemas:

Figura 22. Criterios de precipitación y evapotranspiración para la selección de sistemas de almacenamiento de lixiviados.



Fuente: Elaboración propia, 2024

El sistema de almacenamiento consiste en estanques o piscinas cuya base y paredes estarán debidamente impermeabilizadas para evitar infiltraciones. La localización de las piscinas o geotanques de almacenaje deberá ser en el sector o nivel más bajo (preferentemente) 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 los residuos cubiertos y compactados. Las piscinas de almacenamiento deben contar con su correspondiente diseño estructural.

Se recomienda la medición de los caudales de lixiviados diariamente para relacionarlos con las lluvias de la región y con las acciones posteriores de cierre del botadero (para sistemas cerrados de almacenamiento de lixiviados se debe prever la implementación de una cámara de inspección entre el punto de salida de la macrocelda y el ingreso al sistema de almacenamiento).

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:

1. Elevadas concentraciones de materia orgánica
2. Concentraciones de nitrógeno, principalmente en forma de amonio.
3. Altas concentraciones en sales, principalmente cloruros y sulfatos.
4. 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 botadero. En general, en el lixiviado según va pasando el tiempo:

1. Disminuye la biodegradabilidad de la materia orgánica.
2. Aumenta la concentración de amonio.
3. Aumenta la presencia de sales.

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

Una vez cerrado el botadero, los lixiviados deben continuar siendo captados y almacenados, además de ser tratados o manejados por algún sistema. La selección del proceso más adecuado para el tratamiento del lixiviado varía en función a su composición química, por ejemplo, concentración de amonio, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, conductividad y cloruros; estos son factores importantes que determinan cuál es la tecnología más adecuada para aplicar en el tratamiento de estos lixiviados.

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.

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 como material de cobertura.

E. Construcción del sistema de captación de biogás

Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos en su interior, un botadero se comporta como un digestor anaerobio, que produce líquidos, 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, que es consumido rápidamente. La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el botadero 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), amoníaco (NH₃) y mercaptanos.

La emisión de gases depende principalmente de la edad del botadero 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.

Al cerrar el 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 en sitios de disposición final muy grandes para la recuperación energética.

Los sistemas para control de gas se realiza en:

1. 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 botaderos 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.
2. 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 3 m.

Los factores de diseño más importantes para la instalación de captadores de biogás, son la selección de materiales, ubicación y tipo de chimeneas de drenaje, 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 de la celda 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, en la siguiente fotografía se muestra la distribución de captadores en un macrocelda de residuos.

Figura 23. Captadores de biogás en una macrocelda de residuos.



Fuente: Helvetas, 2020

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 rellorando la excavación con piedra manzana. Los ductos horizontales deberán estar dirigidos hacia el captador vertical.

La generación de biogás en un botadero después de ser cerrado puede durar más de 10 años, por lo que las chimeneas de captación de gases deben operar varios años después de cerrado el botadero. En botaderos grandes donde la disposición final de residuos 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 aprovechamiento en cogeneración u otros similares.

F. Cobertura final de la celda

Cuando se cierra el botadero, hay que construir una capa final para poder restaurar el terreno, se debe construir una cubierta final más elaborada que las cubiertas diarias o intermedias.

El propósito de la cubierta final de un sitio de disposición final es aislar a los residuos más superficiales del ambiente, para minimizar la migración de líquidos en las celdas y controlar el venteo del biogás generado. 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, llegando 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.

Para la capa final, se recomienda construir de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia en base a NB 760, 1996

El material más apropiado para la construcción de la cubierta final es una tierra arcillosa o limosa, sin embargo, si no se encuentra este tipo de tierra en el sitio mismo o en un lugar cercano y fácilmente accesible, se recomienda utilizar el material de cobertura que se encuentre en el sitio en vez de hacer gastos demasiado onerosos para encontrar el material ideal.

8.2.3. Rehabilitación del botadero a relleno sanitario.

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 más adelante aplican en su totalidad para las áreas afectadas e impactadas ambientalmente, es decir para las áreas que hayan estado en operación como botadero.

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, información referente a las cantidades de residuos 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 (ya sean manuales, semimecanizados o mecanizados) y consultar la normativa técnica referencial.

El proyecto de rehabilitación de botadero a relleno sanitario contempla la implementación de los siguientes módulos referenciales:

Figura 25. Módulos referenciales.



M1:	Macrocela de cierre técnico
M2:	Macrocela de operación como Relleno Sanitario
M3:	Geotanque de Lixiviados y manejo del biogás
M4:	Vías de acceso, seguridad y obras de arte
M5:	Cerco perimetral y portón

Fuente: Helvetas, 2020

En resumen, para el cierre técnico que contempla una rehabilitación a relleno sanitario se requiere una celda o macrocela de cierre que debe ser dimensionada en función a la cantidad de residuos acumulados.

La rehabilitación demanda la habilitación de otra celda o macrocela destinada a la operación, cuyas dimensiones deben calcularse en base a la generación y potencial de vida útil del sitio.

Por otro lado, es importante implementar el cerco perimetral, portón y las vías de acceso para precautelar la seguridad del recinto y el acceso a los diferentes módulos.

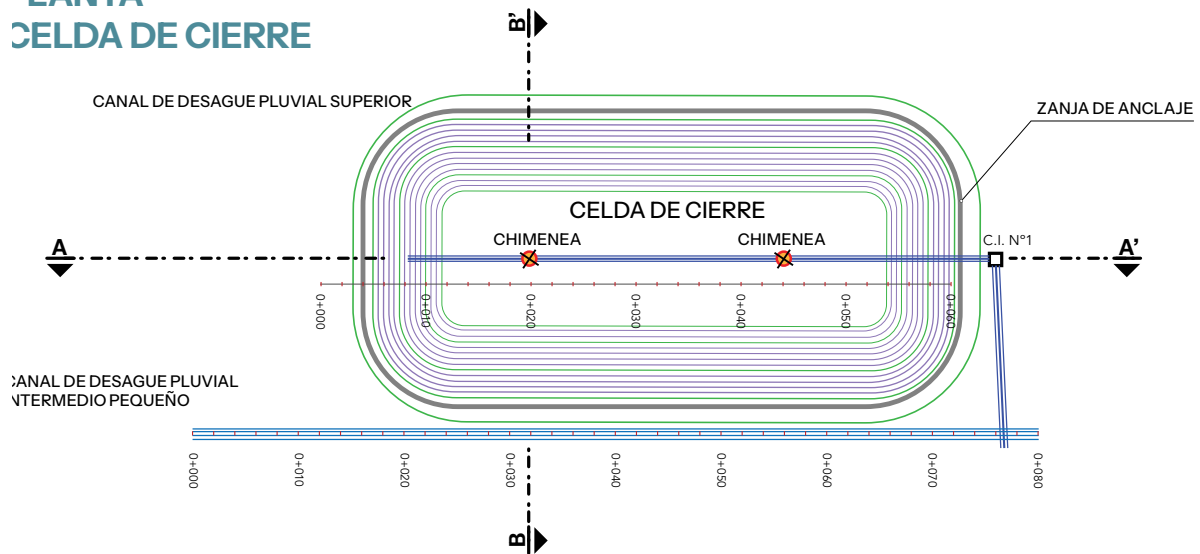
Finalmente, como parte de la correcta operación de un relleno sanitario y un cierre técnico de botaderos se deben controlar los subproductos (lixiviados y biogás) que se generan por la descomposición de los residuos.

A. Celda o macrocelda de cierre técnico

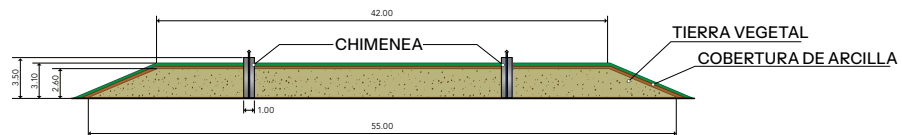
La ejecución de obras de cierre inicia con la excavación y traslado de residuos dispersos. Al momento de configurar la macrocelda de cierre técnico de los residuos que están acumulados en el botadero se debe seleccionar un espacio destinado al confinamiento de residuos y posteriormente realizar el traslado de los residuos dispersos al área seleccionada.

Figura 26. Celda o Macrocelada de cierre técnico; estudio de caso Municipio de Cuevo.

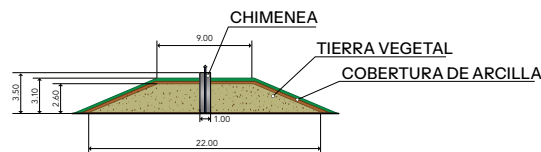
PLANTA CELDA DE CIERRE



SECCIÓN A-A'



SECCIÓN B-B'



Fuente: Helvetas, 2020

A través del acomodado y localización de los residuos en un solo punto se pueden habilitar áreas donde realizar otras intervenciones. Asimismo, la tierra liberada, donde los residuos estaban dispersos, puede ser reutilizada y empleada en la celda de cierre del botadero, realizando la limpieza correspondiente de las zonas anteriormente afectadas.

Un aspecto importante por considerar es que la celda de confinamiento de los residuos debe considerar un sistema de cobertura final conformado por una cobertura como mínimo de 30 cm, una capa impermeable de 20 cm y una carpeta vegetal de 30 cm.

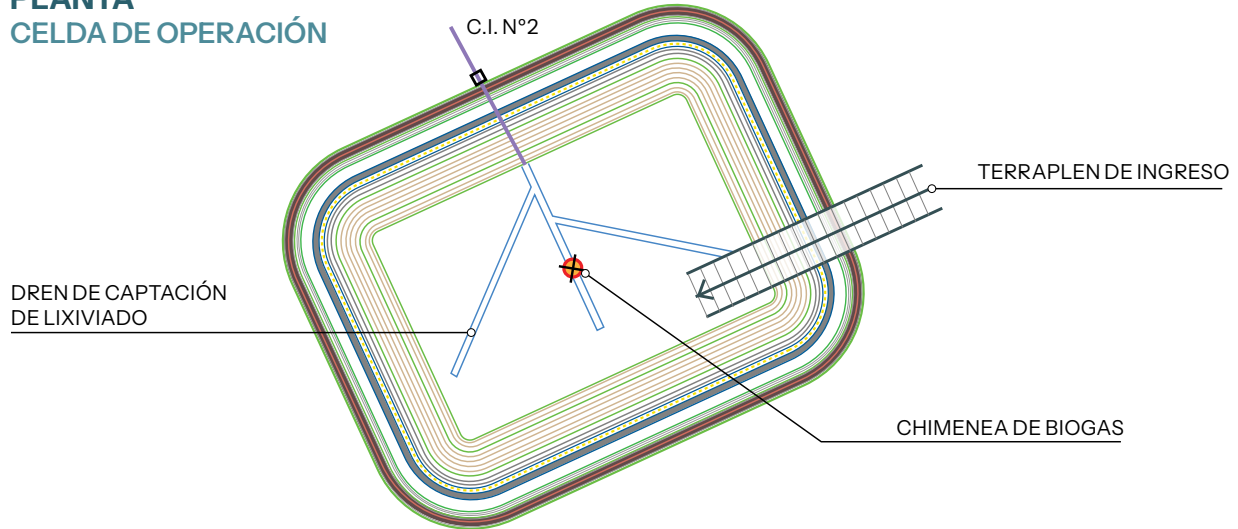
Este sistema de cobertura final (permite garantizar el aislamiento de los residuos confinados en la celda de cierre).

B. Celda o macrocelda de operación como relleno sanitario

Respecto a la habilitación de la celda de relleno sanitario se pueden emplear uno o los dos métodos (trinchera y área) para optimizar el terreno disponible en cada uno de los sitios.

Figura 27. Celda o Macrocelda de operación de Lagunillas.

**PLANTA
CELDA DE OPERACIÓN**



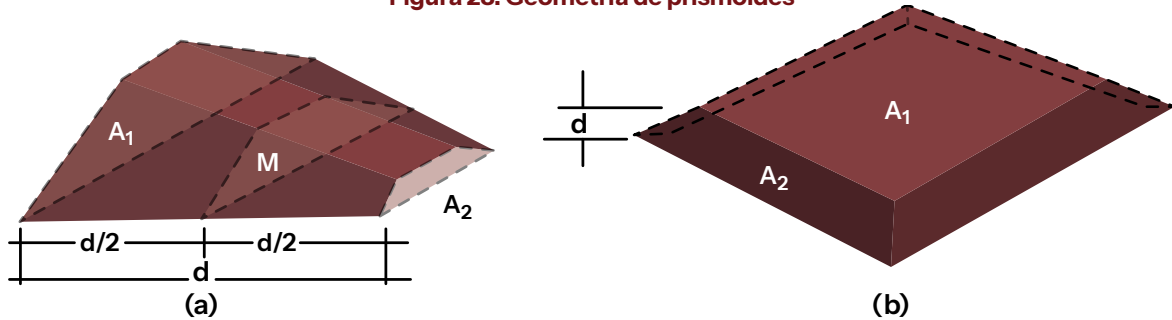
Fuente: Helvetas, 2020

Es necesario puntualizar que para la determinación del área de un relleno sanitario los valores determinados son solo referenciales puesto que la forma tipo prismoide para el método área y tronco-piramidal-invertida para el método trinchera o si se determina el método combinado, será complejo determinar el área requerida con mayor precisión por lo que se recomienda asociar y apoyar los diseños a formas geométricas como las mencionadas para obtener valores más reales.

Para determinar la capacidad volumétrica de la macrocelda es necesario calcular el volumen total disponible del terreno para recibir y almacenar los residuos y el material de cobertura que conforman la macrocelda que funcionara como relleno sanitario. En otras palabras, es el volumen comprendido entre la superficie de desplante y la superficie final del relleno. Para esta tarea es necesario considerar algunos criterios de cálculo como se detalla a continuación:

El prismoide se define como un sólido que tiene dos caras planas y paralelas de forma regular o irregular, unidas por superficies planas o alabeadas, en las que se puedan trazar rectas desde una hasta la otra cara paralela.

Figura 28. Geometría de prismoides



Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo, 2002

Para determinar su volumen puede emplearse la regla de Simpson, que es la misma que se emplea para el cálculo de áreas. Para el cálculo es necesario dividir la figura de forma que resulte un número de secciones equidistantes; tres es el número menor que cumple esta condición.

$$\text{Volumen} = \frac{d}{6} (A1 + A2 + 4M)$$

Esta fórmula representa la regla del prismoide, que puede usarse para hallar el volumen de cualquier prismoide, siempre que se pueda conocer el área de la sección media.

Donde:

- V = Volumen del área
- d = distancia entre secciones
- A1 = Área de la cara plana
- A2 = Área de la cara paralela
- M = Sección media (El Área de "M" no es el promedio de las áreas A1 y A2.)

Otra fórmula que se puede aplicar para el cálculo de volumen es la siguiente:

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

Donde:

- a = longitud del nivel de coronamiento
- b = ancho del nivel de coronamiento
- c = ancho del nivel de base
- d = longitud del nivel de base
- h = Profundidad de la trinchera (hasta 5 m)

Relación H/V = puede ser 1/3 o 1/2, se recomienda 1/3.

En caso de que el diseño sea bastante irregular se debe utilizar softwares para simulación de los diseños previamente por ejemplo Civil3d, entre otros. Adicionalmente al prediseño o dimensionamiento del área requerida una vez realizado el diseño y la capacidad que tenga la celda o celdas de diseño (área disponible) debe realizarse una verificación en donde el área requerida debe ser igual o menor al área disponible

$$\text{Área requerida (prediseño)} \leq \text{Área Disponible (proyección en topografía)}$$

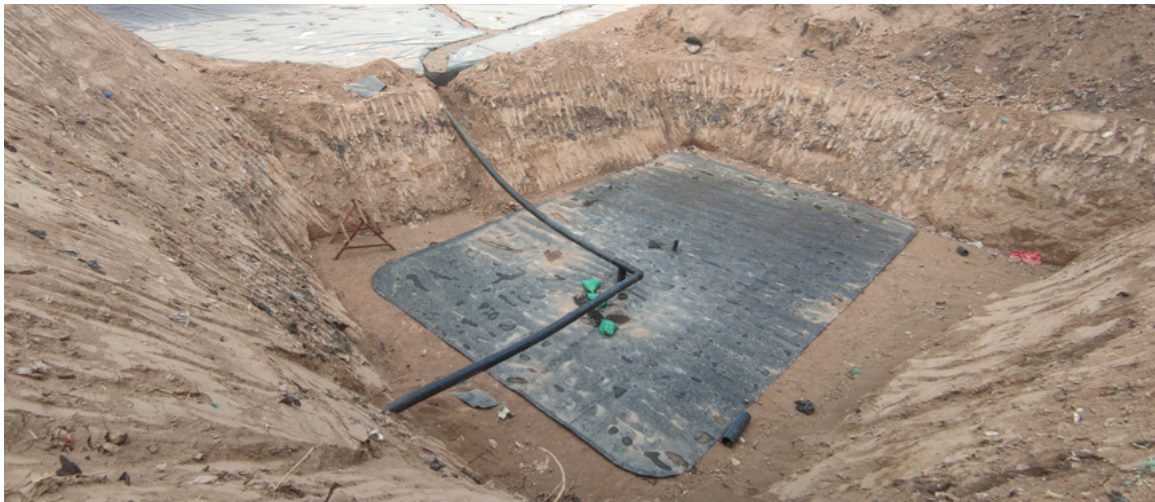
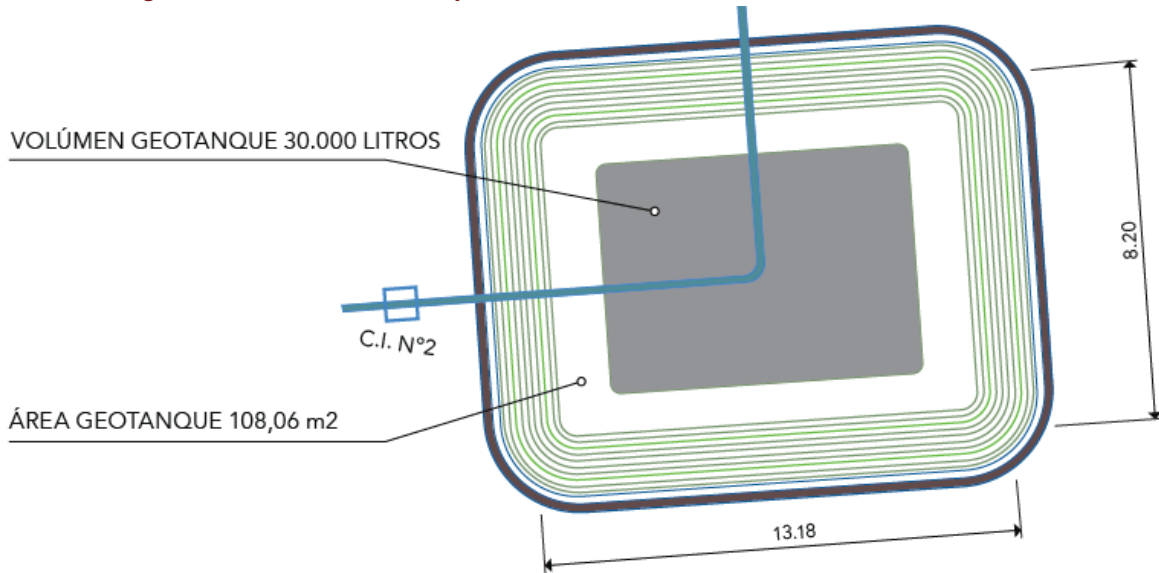
Para mayor información se puede aplicar lo establecido en la Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios, del tipo que corresponda (manual, Semimecanizado o mecanizado).

C. Almacenamiento de lixiviados y manejo de biogás

Uno de los aspectos más importantes al momento de operar adecuadamente un sitio de disposición final de residuos está relacionado con el control de los subproductos que se van a generar por la degradación propia de los residuos, tales como: lixiviados y biogás.

Por tanto, se debe implementar sistemas de drenaje, captación y almacenamiento de lixiviados que conducen estos líquidos a una unidad de almacenamiento para su posterior tratamiento de acuerdo a la modalidad de operación ya sea manual, Semimecanizado o mecanizado.

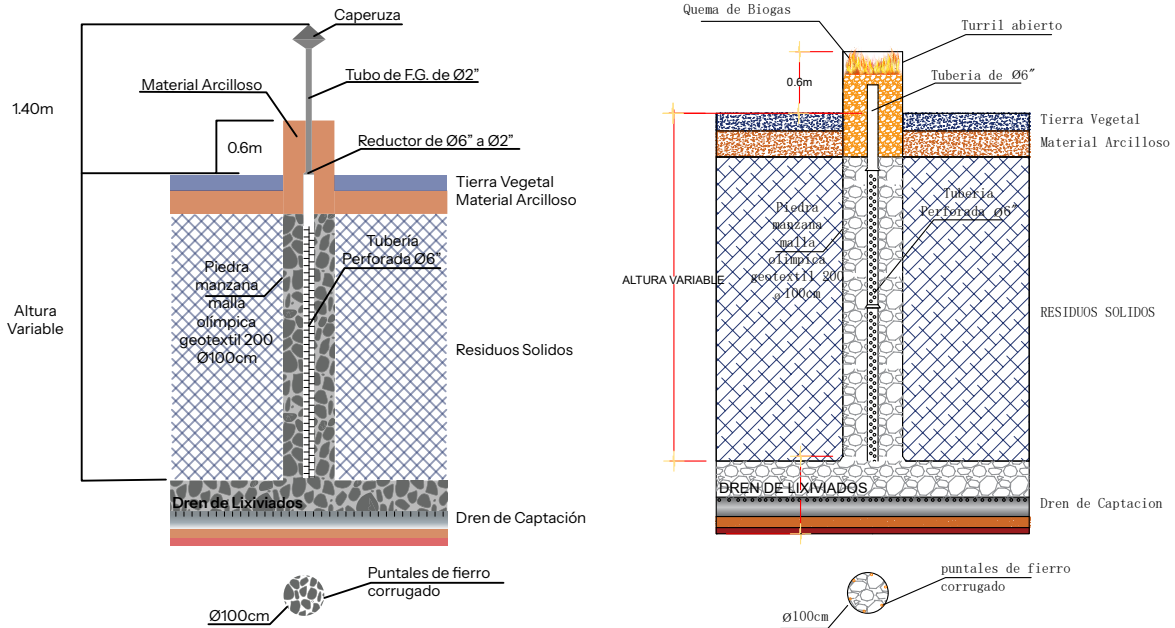
Figura 29. Celda/Macrocelda y unidad de almacenamiento de lixiviados de Cuevo



Fuente: Helvetas, 2020

Respecto al biogás, se debe implementar captadores pasivos tanto en la celda de cierre como en la celda de operación del relleno sanitario para centralizar el flujo de gases que se generan por la descomposición de los residuos; se recomienda una distancia equidistante entre captadores entre 25 a 35 m. 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.

Figura 30. Captadores de biogás referenciales.



Fuente: Helvetas, 2020

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.

Es importante mencionar que estos sistemas de captadores de biogás si bien son considerados pasivos pueden ser utilizados para la quema e incluso captación y quema centralizada.

D. Vías de acceso, seguridad, obras de arte, cerco perimetral y portón.

La ejecución de las acciones complementarias que garantizan la seguridad y el cuidado de las instalaciones comprende la señalización, el cercamiento, el establecimiento de vías, entre otras necesarias para el amortiguamiento.

Figura 31. Cerco perimetral y cuneta pluvial de Cuevo.



Fuente: Helvetas, 2020

E. Forestación del predio

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

- Forestación en taludes: Aminorar los efectos erosivos de las lluvias y escorrentías, mejora

la estabilidad de los taludes.

- Forestación perimetral: Tiene como objetivo principal, cumplir con la normativa técnica referencial respecto al área de amortiguamiento además de servir como cortina rompevientos.
- Forestación en bordes talud-banquina: Mejora la estabilidad en la orilla de la banquina y además agrega un diseño paisajístico al lugar
- Forestación de la superficie: Las especies deben ser de escaso desarrollo radicular para no provocar problemas en las 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 podrán 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 realizará 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 realizará 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.



9. Mantenimiento del botadero

La infraestructura civil del botadero debe contar con mantenimiento para que las condiciones de operabilidad sean adecuadas a lo largo del cierre y mantenimiento pos cierre.

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

A. Limpieza General.

Es importante mantener limpias las áreas adyacentes al frente de trabajo diario, debido al material disperso. Cuando se dejan acumular papeles arrastrados por el viento, el sitio adquiere mal aspecto.

B. Mantenimiento del sistema de captación, almacenamiento y/o tratamiento de lixiviados

Respecto a los sistemas de captación, almacenamiento y/o tratamiento de lixiviados es necesario realizar el mantenimiento de estos sistemas considerando, limpieza de tuberías de captación (a la salida de las celdas), limpieza de residuos que por acción del viento queden en las unidades de almacenamiento y/o tratamiento de lixiviados; así mismo al menos una vez al año evacuar material sedimentado en estas unidades.

C. Vías de acceso y camino interno.

La vía de acceso y el camino interno al frente de trabajo, a las redes de drenaje pluvial y a la superficie terminada del relleno deben mantenerse en adecuadas condiciones de operación. El mantenimiento deberá considerar las labores de rellenado de agrietamientos y el riego de caminos.

D. Drenaje perimetral.

Se debe conservar en buen estado el drenaje pluvial periférico (canal en tierra y cunetas de la vía de acceso) y la superficie del relleno.

Con el tiempo, estos canales se van obstruyendo por la erosión de los taludes de tierra, por el material que se arrastra en las épocas de lluvia o es dispersado por el viento (papeles, plástico, etc.).

E. Drenaje de gases.

Debido a los asentamientos del relleno y al tránsito vehicular por encima de las celdas y terraplenes ya terminados, las chimeneas de gases se van deformando e inclinando; de ahí que sea necesario mantenerlas verticales a medida que se eleva el nivel del relleno con el fin de evitar su obstrucción y total deterioro.

F. Instalaciones.

La infraestructura y demás instalaciones como el cerco perimetral, el cartel informativo y la caseta de vigilancia, deben ser objeto de mantenimiento a fin de cuidar la imagen de la obra.

G. Cobertura final.

Con el transcurso del tiempo los residuos se descomponen (parte se transforma en gas y parte en líquido) por lo que la tierra de cubrimiento y la humedad penetran en los espacios vacíos del sitio de disposición final asentándolo.

Como este no es uniforme, se producen depresiones en la superficie de la obra, donde se acumula el agua de las lluvias; en consecuencia, se debe mantener nivelada toda la superficie del terreno y contar con buen drenaje que tenga una pendiente de 2 a 3%.

H. Áreas verdes.

Las áreas verdes son muy importantes dentro del botadero cerrado y/o rehabilitado ya que brindan una buena imagen del acceso y constituyen un elemento esencial en la estética del lugar y del paisaje, tal como lo es la barrera de amortiguamiento que se encuentra en la periferia del lugar. Su mantenimiento consistirá en los siguientes aspectos:

- Poda periódica de las especies arbóreas (una vez por año).
- Riego (por lo menos tres veces por semana).
- Aplicación de herbicidas y plaguicidas (por lo menos cada trimestre).



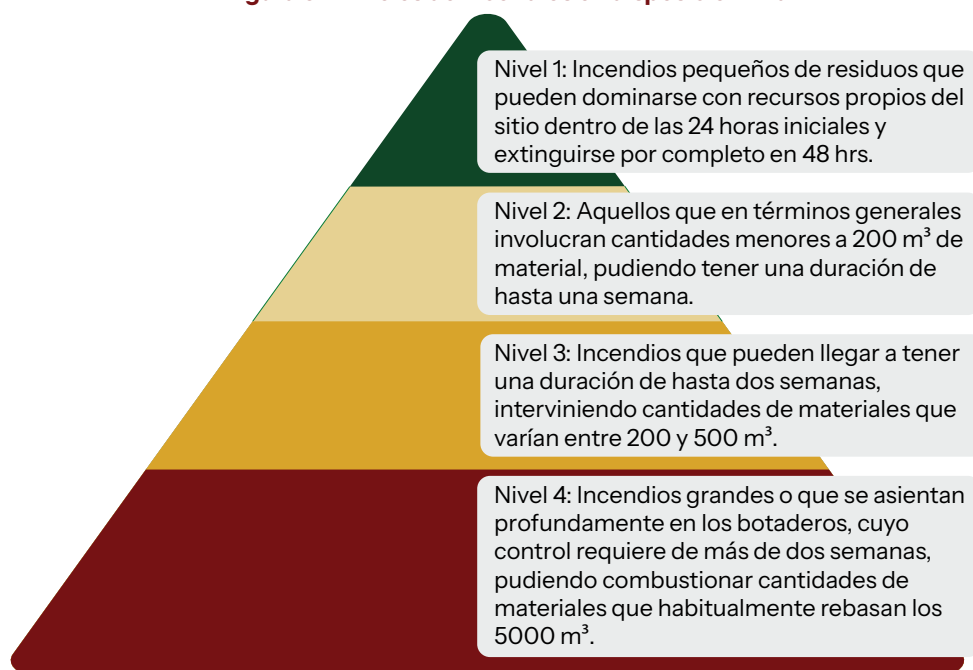
10. Prevención de incendios

Se debe tener presente que, en cualquier sitio de disposición final de residuos, existen grandes cantidades de materiales de diversas características. En consecuencia, pueden generar problemas significativos en términos de salud, ambientales, económicos e inquietud social; afectando particularmente a los asentamientos que se ubican en el área circundante, así como a las propias instalaciones e infraestructura del sitio y a las personas que realizan alguna actividad en su interior (segregadores, empleados, visitantes, etc.). Esta diversidad de materiales, además de la presencia de agentes combustibles pueden ser causales de incendios en sitios de disposición final de residuos; sin embargo también existen incendios que son provocados por personas, ya sea para reducir el volumen de los residuos o como forma de eliminación de estos.

Un incendio puede ser controlado rápidamente, eliminando el agente que lo provocó y evitando que se propague la combustión por la presencia del oxígeno del aire; ya que de otro modo la llama evolucionará y en pocos minutos se convertirá en un evento que requerirá de mayores recursos para su control.

La International Solid Waste Association (ISWA), clasifica a los incendios en los sitios de disposición final de la siguiente manera:

Figura 32. Niveles de incendios en disposición final.



Fuente: ISWA, 2020

Los incendios de nivel 2 y 3 pueden transformarse en incendios de nivel 3 o 4, si no se implementa un plan de respuesta inmediato y eficaz, por lo que es fundamental reconocer y categorizar al incendio que se trate. Para la prevención de la intensificación del incendio, es fundamental la ubicación e identificación de los residuos en combustión, la aplicación inmediata de una cubierta de material para evitar la entrada de oxígeno o la remoción del material en combustión.

En el caso de los incendios de nivel 4, es muy importante identificar el punto exacto del incendio y evaluar el alcance que pueda tener. La detección debe estar vinculada con la movilización de recursos para la extinción del incendio.

La aparición de incendios, se deben a situaciones multifactoriales; sin embargo, basta una fuente de ignición con el calor suficiente para encender el material inflamable y mantener la combustión, como pueden ser cenizas calientes, chispas, combustión espontánea, reacción química e incluso la provocación dolosa. Esta situación se potencializa en las temporadas de sequía, debido a condiciones climáticas caracterizadas por temperaturas muy elevadas, mínima humedad y vientos de regular presencia.

Incendio subterráneo. Los sitios de disposición final generalmente son ambientes anaeróbios, sumado a la infiltración de oxígeno/aire debe minimizarse en lo más posible.

Como identificarlo:

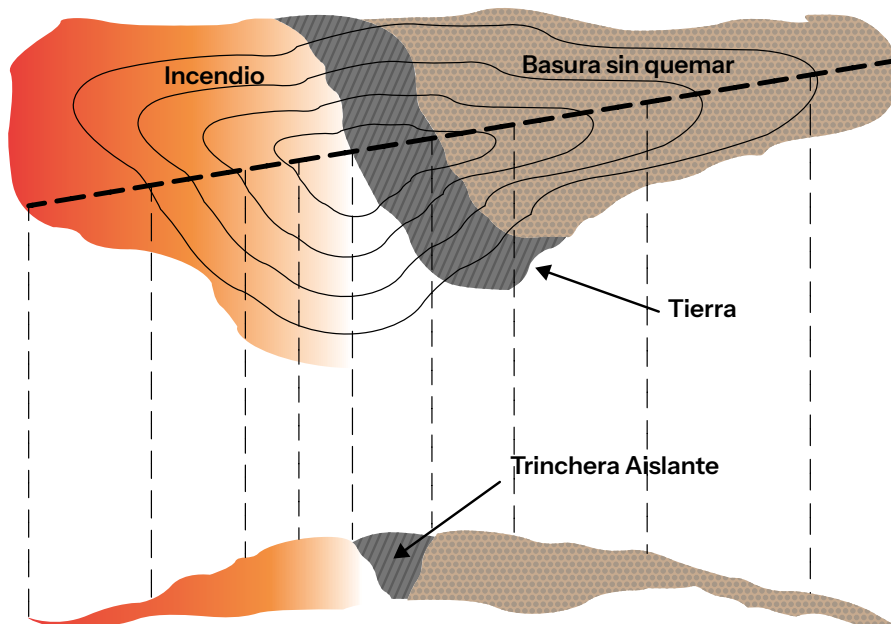
- Presentan depresión y hundimiento repentino.
- Se pueden observar grietas.
- Se aprecia la presencia de hoyos por el cual ventila el biogás.
- Se observan fisuras en el terreno que dan la impresión de un arroyo

Procedimiento para realizar la extinción del incendio. Previo a iniciar los trabajos, será necesario habilitar un frente temporal para el confinamiento de los residuos, en lo que se logra controlar y extinguir el incendio, lo más alejado de la zona en conflicto. Además, en caso de que en el sitio existan instalaciones para la combustión y el aprovechamiento de biogás, se deberán apagar los equipos de extracción del biogás y cerrar las válvulas de alimentación a estos.

Paralelamente se realizará un recorrido en torno a la zona afectada para precisar la magnitud del incendio, los sitios donde se hallan las principales fuentes de combustión. Se verificará la dirección del viento, las zonas más afectadas, las más vulnerables y las de mayor peligro (aquellas con mayores niveles de radiación).

Con el fin de controlar la propagación del incendio hacia zonas no afectadas, deberá aislarse mediante la habilitación de una trinchera, la cual se rellenará más allá del nivel de terreno natural, colocando abundante material de cobertura con un tractor de orugas, entre el material incendiado y el que está libre de combustión, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 33. Control de propagación del incendio.



Fuente: ISWA, 2020

Una vez identificadas las zonas de mayor riesgo (con mayores niveles de radiación), se procederá a realizar el “acamellonamiento” del material de cobertura, en áreas circundantes, tan cerca como la permita el propio incendio; colocándolo en la medida de lo posible a Sotavento, es decir, del lado anterior a la fuente de radiación, en el sentido de la dirección del viento.

El siguiente paso, será buscar el aislamiento de las zonas de mayor riesgo, colocando material de cobertura hacia los lados de ellas, tratando de formar una especie de “herradura” con dicho material.

Una vez aislados los puntos de mayor radiación, se procederá al apagado del incendio en los puntos de donde se genera, de acuerdo con los siguientes métodos:

Figura 34. Métodos de control y eliminación de incendios.

Aplicación de agua.

Este método es aceptable solo para extinguir incendios superficiales, ya que, si se trata de un fuego subterráneo, al fluir el agua al interior de los residuos, lo hace buscando zonas de menor resistencia entre estos, como a través de bolsones mal compactados, por lo que no es seguro que llegue a la zona de interés, donde se presenta la combustión de los residuos. Además, se requieren grandes volúmenes de agua, ya que se necesitan 5000 litros de agua para absorber la energía liberada por la combustión total de una tonelada de basura. El uso de espuma y surfactantes puede reducir este volumen considerablemente. Se debe tener en cuenta que el uso de grandes cantidades de agua para extinguir un incendio puede producir grandes cantidades de lixiviado contaminante.

Excavación y reacondicionamiento.

Para el caso de los incendios profundos, donde la aplicación de agua no es conveniente para extinguir el incendio, el método más apropiado suele ser la remoción y el reacondicionamiento de los residuos. El primer paso para controlar un incendio de esa manera es remover el residuo en combustión, exponiéndolo para su apagado con agua, para continuar con la aplicación de una capa de residuos de al menos 1 metro de espesor, la cual se construirá compactándolos en capas de 30 cm. Si el incendio no es tan profundo, se puede evitar la remoción de los residuos y solo colocar la capa de basura compactada, previo riego con agua de la zona en conflicto. Estas medidas disminuyen la cantidad de aire que puede alimentar el incendio, reducen su velocidad y la cantidad de humo resultante de la combustión, logrando un ámbito de trabajo menos riesgoso.

Supresión del ingreso de oxígeno.

Si se limita la cantidad de oxígeno que ingresa a la zona del fuego, es posible extinguir un incendio, pero en general es un proceso lento. Para ello se requiere aplicar una capa de material terreo de al menos 20 cm de espesor ya compactado con el tractor de carriles. Los trabajos de apagado del incendio, se orientarán.

Fuente: Elaboración Propia en base a ISWA, 2020

11. Monitoreo del botadero cerrado y/o rehabilitado

El monitoreo y el seguimiento en un sitio donde se ha realizado el cierre técnico de un botadero está encaminado a realizar una observación continua 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. A continuación se describen los aspectos más importantes a ser monitoreados:

Paisajismo. Con el fin de reducir el impacto ambiental y hacer que el cierre y/o rehabilitación sea aceptado por el público, el diseño del sitio debe ser compatible con su entorno y deberá considerar una franja entre 15 y 30 m. Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvo, ruido, y materiales ligeros (MINAM, 2023).

Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas. El control de la calidad de las aguas subterráneas sirve para demostrar que el sitio no está causando deterioro importante en el agua subterránea, situación que se verifica con los pozos de monitoreo.

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 deben llegar hasta dos metros por debajo del acuífero, a fin de monitorear el acuífero en toda su sección. para el caso de aguas superficiales, aumentar 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.

Se recomienda monitorear como mínimo, los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente (Reglamento en materia de contaminación hídrica).

Manejo y monitoreo de lixiviados. Los lixiviados pueden llegar a las fuentes de agua esencialmente a través de dos vías:

- Percolación lateral o vertical del lixiviado a través de las de las capas de suelo o en acuíferos.
- Escurrimiento superficial hasta las fuentes de agua.

Es importante realizar el control de la escorrentía superficial, la preparación del fondo que evite la contaminación de las aguas subterráneas y la eficiente recolección de los lixiviados durante los primeros 5 años después de cierre técnico del sitio, posteriormente la frecuencia puede ser reducida. por otro lado, efectuar aforo de lixiviados diariamente y mantener un registro; además de revisar los sistemas de drenaje de lixiviados, inspeccionar diariamente los estanques de lixiviados.

Manejo y monitoreo de gases. El drenaje de gases debe estar constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada, que funciona como chimenea, que atraviesan en sentido vertical tanto en la celda de cierre como en la celda de operación del relleno sanitario desde el fondo hasta la superficie.

Estas chimeneas deben construirse verticalmente a medida que avanza el relleno, logrando

buena compactación perimetral; Se recomienda instalarlas cada 30 m, con un diámetro de 0,60 m cada una. El mantenimiento de las chimeneas puede efectuarse mensualmente.

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:

Tabla 8. Parámetros de monitoreo del aire

Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Partículas totales en suspensión	Equipo para alto volumen	Muestro 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: Ibnorca, 1996

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.

Tabla 9. Parámetros de 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: IBNORCA 760



12. Pos clausura

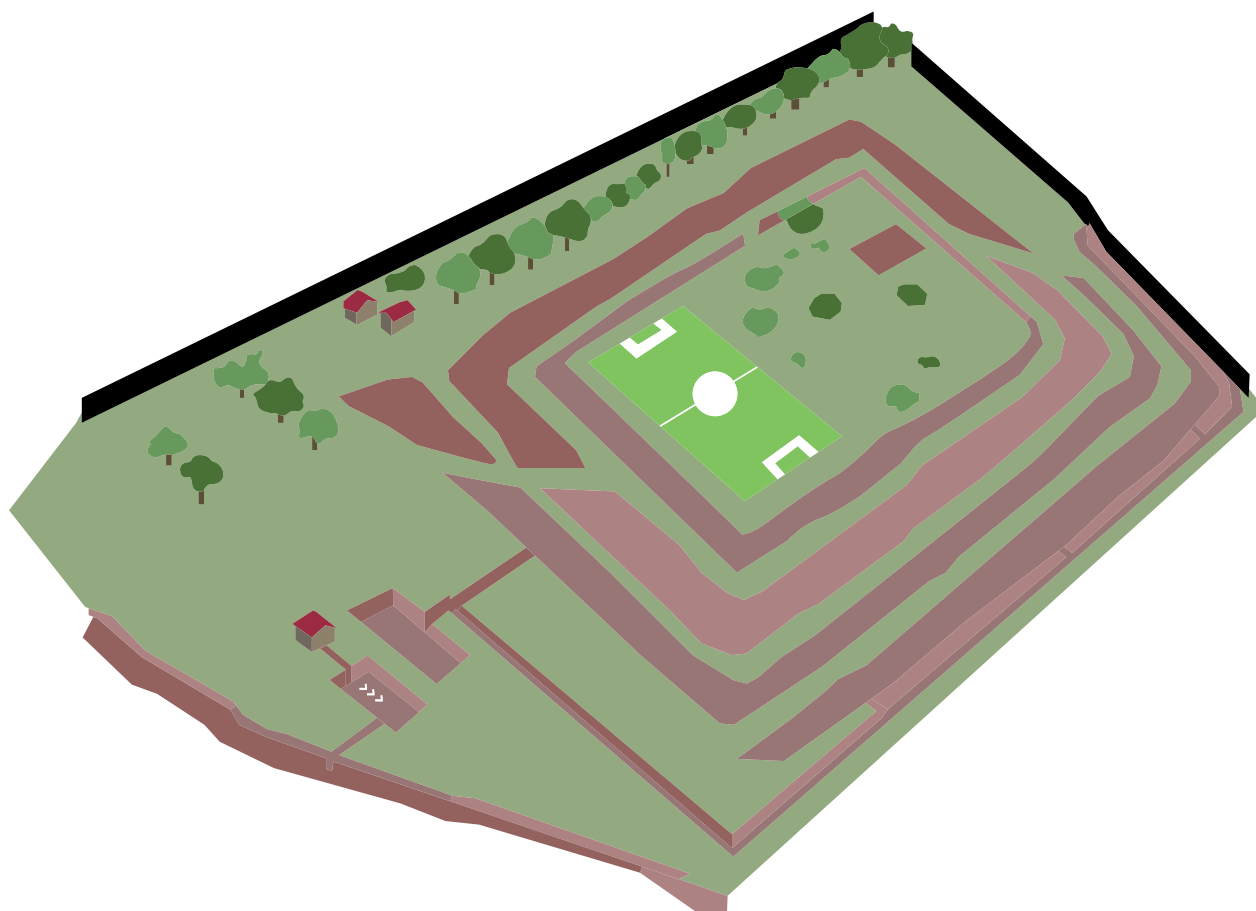
Se debe analizar las alternativas de uso futuro del botadero técnicamente cerrado, con base en su ubicación principalmente y en otros factores específicos para cada caso. Durante el monitoreo posterior al cierre se revisa la estabilidad de la masa de residuos, se realiza la captación de gases y lixiviado, el tratamiento de estos últimos y el manejo de las aguas pluviales, durante varios años.

Por lo general un botadero cerrado se utiliza como un lugar de esparcimiento y recreación, en ningún caso se debe construir sobre este, grandes infraestructuras ni deben ser considerados como áreas habitables.

Algunas alternativas que se pueden tomar en cuenta son las siguientes:

- Plantas de aprovechamiento de residuos
- Parques temáticos asociados al manejo de residuos
- Campos deportivos
- Campos de golf
- Campos para generación de energía solar
- Parques recreacionales y de esparcimiento
- Parques temáticos
- Jardines botánicos de plantas que no sean medicinales o comestibles
- Rutas para bicicleta y patinaje
- Estaciones de transferencia

Figura 35. Uso futuro: Pos Clausura



Fuente: Elaboración propia en base a Colomer, 2007.

Bibliografía

Angelone, S. (2010). Estabilidad de taludes. Recuperado el 27 de 05 de 2013, de [http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/ESTABILIDAD%20TALUDES%202010%20 color%20.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/ESTABILIDAD%20TALUDES%202010%20color%20.pdf)

Basilea, 2012. Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Deshechos Peligrosos y su Eliminación

Bid, 2012. Informe III, Planes de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, Ingeniería Básica, Evaluación de Impacto Ambiental, BID, Consorcio de Gestión Integral, Bolivia.

Browning, 1991, Understanding the Waste Cycle, Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum. Revista ingeniería de construcción.

CalRecovery Inc, 1997. "Guía de Rellenos Sanitarios en Países de Desarrollo" California, Estados Unidos de America

Colomer, 2007. Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos, Colomer F., Gallardo Antonio, Universidad Politécnica de Valencia, España.

CPE, 2009, Constitución Política del Estado del año 2009

CPTS, 2001. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles "Informe de Consultoría sobre la Evaluación de la Operación del Relleno Sanitario de Mallasa". Bolivia.

DANIDA, 2008. Rellenos Sanitarios para Poblaciones Menores a 10.000 habitantes, Cooperación Danesa en Bolivia.

DGAC, 2021. Reglamento sobre Operación de Aeródromos RAB-138, Direccion General de Aeronautica Civil. Disponible en: chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.dgac.gob.bo/wp-content/uploads/2023/03/RAB-138E5_para-public-1.pdf

DS - 2954. Decreto Supremo Nro. 2954 de Reglamento General a la Ley No 755 de Gestión Integral de Residuos. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

Estocolmo, 2009. Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

Fernández, I. Y., 2010. Tesis: Diseño y factibilidad de relleno sanitario manual para el municipio de la libertad. San Salvador, El Salvador.

HELVETAS Swiss Intercooperation, 2020. Diagnósticos Territoriales de los Municipios de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas. Disponible en: <https://www.helvetas.org/es/bolivia/quienes-somos/publicaciones>

HELVETAS, 2020. Planes de Cierre y Rehabilitación de los Botaderos a Cielo Abierto de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas. Disponible en: <https://www.helvetas.org/es/bolivia/quienes-somos/publicaciones>

Ibnoorca, 1996. Normas Bolivianas NB 757 – NB 760, Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, IBNORCA, Bolivia.

ICA, 2002. Fundación Ica “Algunas experiencia Municipales exitosas en el control de los residuos sólidos en México”.

Jaramillo, 2002. Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Universidad de Antioquía, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Colombia.

LEY 031, Ley Marco de Autonomías y Descentralización. “Andrés Ibáñez”, del 19 de Julio de 2010. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.planificacion.gob.bo/uploads/marco-legal/Ley%20N%C2%B0%20031%20DE%20AUTONOMIAS%20Y%20DESCENTRALIZACION.pdf>

Ley 1333, Ley General del Medio Ambiente Nro. 1333, del 27 de abril de 1992. Disponible en: chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://sea.gob.bo/digesto/CompendioII/N/129_L_1333_01.pdf

LEY 300, Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien, del 15 de octubre del 2012. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://mineria.gob.bo/juridica/20121015-11-39-39.pdf>

Ley 755, 2015. Ley Nro. 755 de Gestión Integral de Residuos. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

Melendez, 2004. Guía Práctica para la Operación de Celdas Diarias en Relleno Sanitarios Pequeños y Medios, Meléndez C., PROARCA/SIGMA Argentina.

MINAM, 2023. Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios mecanizados”; ministerio de Ambiente, Perú

MINAM, 2009. Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual, Sandoval Leandro, Ministerio del Ambiente, Perú.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2014. Guía para el Cierre Técnico de Botaderos, aprobado mediante resolución Ministerial 398 del 29 de septiembre de 2014. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2021. Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos, R.M. 269/2021 del 18 de mayo de 2021. Disponible en: <https://www.mmaya.gob.bo/marco-legal/resoluciones-ministeriales/>

MMAyA, 2014. Guía para el Diseño, Construcción, Operación, y Cierre de Rellenos Sanitarios, aprobado mediante resolución Ministerial 398 del 29 de septiembre de 2014. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

MMAyA, 2019. Guías para la preparación del estudio de Diseño Técnico de Pre inversión en Gestión Integral de Residuos Sólidos, Categorías Menores, Medianos y Mayores aprobado mediante Resolución Ministerial Nro. 007 del 15 de enero de 2019. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2018. Guía para el Diseño de Servicios de Aseo Urbano aprobado mediante resolución Ministerial 725 del 21 de diciembre de 2018. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2018. Guía para el fortalecimiento e Inclusión Social de Recicladoras y Recicladores de Residuos urbanos Reciclables aprobado mediante resolución Ministerial 726 del 21 de diciembre de 2018. Disponible en: <https://datos.siarh.gob.bo/biblioteca>

Morales, 2022. Cierre Técnico y Rehabilitación de Botaderos, Lecciones aprendidas y buenas practicas en los Municipios de Lagunillas, Cuevo y Boyuibe en el Chaco Boliviano; Helvetas Swiss Intercooperation Bolivia. Disponible en: <https://www.helvetas.org/es/bolivia/quienes-somos/publicaciones>

Morales, 2023. Open Dumps closure and rehabilitation in municipalities with less than 10,000 inhabitants in Bolivia; Academy Star. Modern Environmental Science and Engineering (ISSN 2333-2581)

MMAYA, 2021, Planificación Nacional para el Cierre técnico de botaderos, R.M. 269/2021 del 18 de mayo de 2021

MMAYA, 2011, Diagnostico Nacional de Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia, Ministerio de Medio Ambiente y Agua

OPS, 1998. Organización Panamericana de la Salud, “Diagnóstico de la situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América latina y el Caribe”, 2 da edición. Washington, D.C.

OPS, 2005 Organización Panamericana de la Salud, “Informe de la Evaluación Regional de los servicios de manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe” Washington, D.C.

ONUDI, 1997. Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, Fernández A, Sánchez O, ONUDI – LARE, 1997.

PLAN, 2016, Plan de Implementación de la Ley 755 aprobado mediante Resolución Ministerial Nro. 489 del 23 de diciembre de 2016 por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua

PNUMA, 2021. Hoja de ruta para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe, Programa para el Medio Ambiente ONU. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/noticias/el-pnuma-presenta-hoja-de-ruta-para-el-cierre-progresivo-de-los>

Proarca, 2004. Guía para la Gestión del Manejo de Residuos Sólidos Municipales, Salazar D, PROARCA/SIGMA Argentina.

P&D, 2004. The Urban Unit Urban Sector Policy and Management Unit, Design and Operation of Sanitary Landfill, P&D Department. India

R.M. 432, 2015, “Calsificación de residuos en Bolivia”, Resolución Ministerial Nro. 432 del 11 de noviembre del 2015 del Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Roben, 2002. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Eva Röben, DED/, Loja Ecuador, 2002.

Rushbrook P., 1998. A Technical Guide to Solid Waste landfills in Middle and Lower Income Countries. Rushbrook P., Pugh M.

Pearson, 1996. Sistema de Tratamiento de Lixiviado Relleno Sanitario, Ingeniería Ambiental; 2ed, Henry, J. G.; Heinke, Gary. W. Editorial Pearson.

Petts J. 1994. Eduljee G. Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities, Great Britain. Planning, Design, and Operation, Washington, EE.UU. 1998: Banco Mundial.

PNUMA, 2021. Hoja de ruta para el cierre progresivo de los basurales en América Latina y el Caribe, Programa para el Medio Ambiente ONU. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/noticias/el-pnuma-presenta-hoja-de-ruta-para-el-cierre-progresivo-de-los>

Superintendencia de Servicios, 2017. Informe Nacional 2015 respecto a la Disposición Final de Residuos Sólidos, Bogotá, Colombia.

Tchobanoglous, 2002. Handbook of Solid Waste Management, Second Edition – McGRAW – HILL. Disponible en: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071356237>

Wehenpohl, 2000. Manual para la Supervisión y Control de Rellenos Sanitarios, Wehenpohl Günther GTZ México



