

ANEXO 4

GUÍA PARA LA CLAUSURA Y REMEDIACIÓN DEL BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS

1. Categorización del Botadero y Toma de Decisión: Clausura o Conversión

Aun cuando la mayoría de las municipalidades de un país no cuentan con disposición final adecuada de residuos o no disponen de rellenos sanitarios, conviene primero hacer la siguiente pregunta: ¿existe o no un sitio de disposición final? Si la respuesta es negativa, no será necesario realizar ninguna actividad al respecto. Pero para estar seguros de esta opción, es necesario saber si no se empleaban antes sitios de disposición final que hayan sido abandonados³. Si este fuera el caso, también se deberán tomar las medidas que se describen a continuación.

Si el municipio dispone de un sitio de disposición final, la autoridad competente deberá verificar la categoría a la cual pertenece y si corresponde entonces su clausura o conversión.

¿Qué entendemos por clausura o conversión de un botadero?

1.1 Clausura de un botadero

Suspensión definitiva de la disposición final de los residuos sólidos en un botadero. Conlleva a un proceso gradual de saneamiento, restauración ambiental del área alterada debido a la presencia del botadero y las actividades a realizarse después de la clausura (post-clausura).

1.2 Conversión de un botadero

Proceso de transformación de un botadero a un sistema de disposición final técnico, sanitario y ambientalmente adecuado, el cual puede ser un relleno controlado o un relleno sanitario.

1.3 Saneamiento ambiental

Método que utiliza principios de ingeniería para la conformación, compactación y sellado de los residuos sólidos, así como para la construcción de sistemas de control necesarios para minimizar los impactos al ambiente y a la salud de la población durante la estabilización de los residuos sólidos.

³ También podría haber existido el vertido de residuos a corrientes de agua o al mar. De ser así, las medidas a implementar serán de otro tipo.

2. Evaluación del Riesgo Ambiental del/los Botaderos - Categorización del/los botaderos

La Evaluación de un botadero conlleva al conocimiento de las condiciones y características actuales en que se encuentra el botadero y el impacto o riesgo, que está ocasionando a su entorno (medioambiente natural y construido, a la salud y a las actividades humanas). Los criterios a considerar para la evaluación de un botadero son:

- a) Características generales del sitio
- b) Características geofísicas del sitio
- c) Impactos ambientales que ocasiona
- d) Aspectos socioeconómicos y de salud asociados

Entre las características generales del sitio se encuentran las siguientes: ubicación geográfica, área que ocupa, tenencia del sitio, actividad (activo, es decir, siguen depositándose residuos o inactivo, ya no recibe), tiempo de operatividad, condiciones de operatividad- si la tuviere-, número aproximado de usuarios que lo utiliza, accesibilidad, distancia a poblados más cercanos, tiempo de vida útil, uso de suelo actual y potencial, entre otros.

Entre las características geofísicas del sitio se encuentran: topografía (pendiente, relieve), edafología y geología (tipo y características del suelo y la geología, y entre ellas la más importante es la permeabilidad), climatología (temperaturas ambientales máximas y mínimas, precipitación pluvial y vientos predominantes (dirección y magnitud). Hidrología (presencia de corrientes de aguas superficiales y subterráneas, distancia a los cuerpos y tomas para consumo humano (manantiales, ríos, pozos, canales o infraestructuras de irrigación u obras hidráulicas, océano), profundidad de la napa freática, zonas de inundación. Geodinámica y dinámica hidromorfológica (si es zona de fallas, sísmica, de agrietamiento, desprendimiento o desplazamientos de suelo, por huaycos, derrumbes, avalanchas, aluviones).

En los impactos ambientales que ocasiona, se debe considerar: impactos al suelo (volumen, características y tipos de residuos acumulados, quema de residuos, lixiviados); al aire (presencia de humo, ruidos, biogás); al agua (presencia y niveles de lixiviado, contaminación de aguas superficiales y subterráneas); a la fauna (presencia y tipo de vectores, impactos a especies endémicas o frágiles); a la flora (marchitez, daños) e impactos al patrimonio natural y cultural (cercanía a sitios históricos, religiosos, turísticos, reservas naturales, etc.).

Entre los aspectos socio-económicos y de salud asociados se debe tomar en cuenta: presencia de grupos humanos en o cerca al área del botadero, actividades socio-económicas que se generan, actividades socio-económicas que se ven afectadas por su presencia (turismo, agricultura, pesquería, etc.), grupos humanos potencialmente afectados y daños a la salud asociados a la presencia de botaderos de los grupos humanos identificados.

Entre los métodos de toma de datos se podrá utilizar listas, fichas, guías y/o matrices de evaluación, entre otros. También se hará acopio de toda la información relevante al tema que se tenga sobre la zona.

La evaluación de un botadero deberá realizarla un equipo multidisciplinario de técnicos, conformado por especialistas en medioambiente, geología, hidrología, civiles, profesional de la salud, etc., y refrendarla el ingeniero sanitario o especialista responsable de la evaluación del botadero.

3. Control de Riesgos: Incendios en Botaderos

Dado que la descomposición de los residuos sólidos produce metano y como este es un gas combustible, se deberá evitar la quema de papel, cartón, plásticos y de todo material combustible. Asimismo, no se debe fumar ni hacer fuego en el área circundante como medida preventiva.

Con el control de incendios, se apagarán los incendios en el sitio, para lo cual se debe evitar el uso del agua. Se prefiere el aislamiento y el desgaste natural o ahogamiento del oxígeno mediante el cubrimiento rápido con material de cubierta.

En situación de emergencia, se deberán tener en cuenta acciones generales de respuesta inmediata tales como:

- Establecer comunicación y coordinación con el jefe de seguridad o responsable general de manejo de desastres.
- Mantener el control de acceso a la zona.
- Aproximarse con cuidado, evaluando las condiciones del entorno como piso, techo de las infraestructuras existentes y considerando la seguridad de las personas ubicadas en las cercanías del lugar siniestrado y de quienes atienden la emergencia.

Por la magnitud en que se presentan, se puede clasificar en pequeños y grandes incendios.

3.1 Acciones de respuesta ante pequeños incendios

Una vez detectado el foco del incendio y según su magnitud, se debe apagar tapándolo con tierra en abundancia, la que se puede echar con palas después de transportarla en carretilla o, mejor aún, con un cargador. Una vez tapado el incendio, se debe compactar (en exceso) con un pisón de mano, con un pisón de barril (es lo mejor) o con un bulldozer.

Cuando se menciona en el párrafo anterior, “tierra en abundancia” quiere decir que es en cantidad de por lo menos 80 centímetros por encima del incendio y de tal manera que no quede ninguna llama. Cuando se menciona “compactar en exceso” se desea indicar que se deben dar, por lo menos, cinco pasos de bulldozer o un equivalente con pisón de mano. La compactación se hará hasta tener la certeza de que el humo que sale es solamente vapor

de agua; después de una hora aproximadamente, se debe volver a compactar de nuevo, hasta estar seguros de que no habrá nuevos incendios.

Estos focos se someterán, durante por lo menos ocho días, a un control estricto y continuo porque los nuevos incendios son constantes; cada vez que se tenga duda o que se observe humo, es necesario repetir la operación – colocar tierra, compactar y controlar los nuevos incendios.

Otro método, quizá un poco más difícil que el de apagar con tierra, es apagar con agua. Esta se dirige hacia la base de las llamas del incendio (agua en abundancia), hasta tener la certeza que se apagó el fuego. Es necesario mover la basura incendiada después de humedecida, para cerciorarse de que realmente está apagada y suficientemente enfriada.

Al agua que se utiliza en este tipo de actividad se le puede añadir jabón en polvo, en una concentración de 1 kilogramo de jabón por metro cúbico de agua.

Previo a la utilización de tierra o agua, se podría utilizar extintores si se tiene en cuenta que el extintor es el primer elemento que se usa en los primeros minutos de iniciación de un fuego; además, de él depende que la propagación del fuego se aborte o no. Para el caso de incendios pequeños en botaderos, uno de los extintores apropiados sería el de Polvo ABC (polivalente) de 6 kg de masa total (suma de las masas de los agentes extintor e impulsor y la del recipiente). El agente extintor es polvo polivalente antibrasa ABC a base de fosfatos que extingue fuegos de las clases A (sólidos), B (líquidos) y C (gases) con las eficacias adecuadas según el tamaño y clase de fuego que es capaz de extinguir. El extintor no es apto para tipos de fuego en presencia de tensiones superiores a 35.000 voltios. El polvo ABC (agente extintor) no es tóxico ni corrosivo. Tampoco daña la capa de ozono como sí lo hace el halón. Por medidas de seguridad, el extintor debe permanecer en la caseta de vigilancia o en lugar seguro muy próximo al botadero.

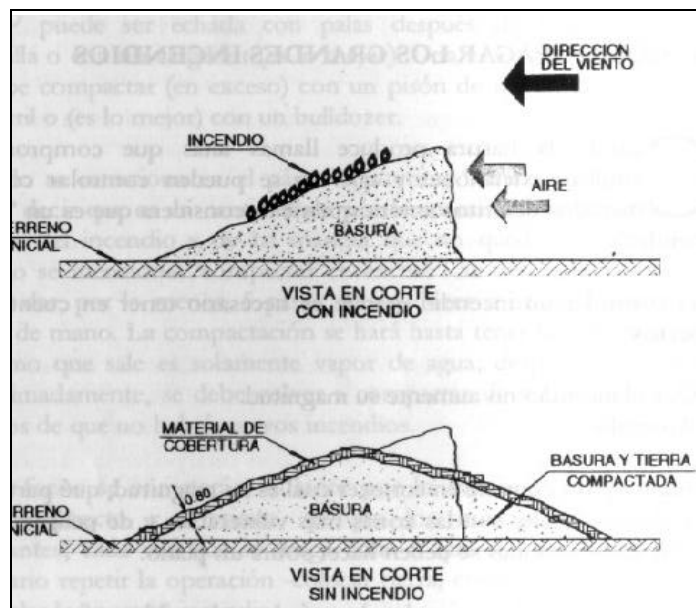


Figura 1. Control de la dirección del aire

Para evitar que el área del incendio continúe aumentando, ésta se debe aislar, colocando material de cobertura suficiente, con un bulldozer, entre el material que se está quemando y el que no se ha incendiado. Un método se aprecia en la figura siguiente:

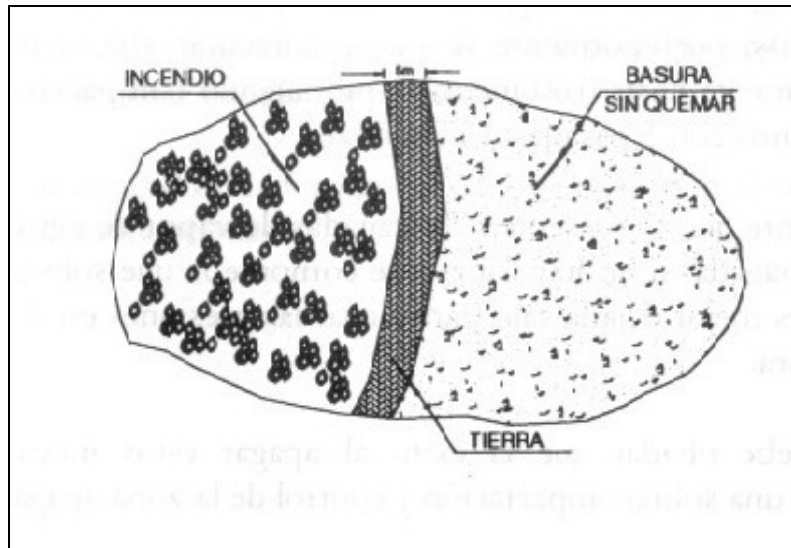


Figura 2. Método para aislar incendios

Una vez “aislado el fuego” se inicia la etapa de apagado.

Existen varios métodos o mejor aún, una combinación de métodos para apagar estos incendios que se mencionan a continuación:

- a) Utilizando tierra.- Es el mejor método. En un cargador o en volquetas, se transporta tierra hasta el sitio más cercano que permita el incendio; con un bulldozer se riega muy lentamente y con mucho cuidado, para no quemar la máquina y lógicamente, al operador, se dispone el material sobre la zona del incendio, hasta apagar un tramo; inmediatamente se compacta con el mismo bulldozer. Esta operación es de penetración, es decir, lentamente se le va quitando espacio al incendio: 0,50 metros, otros 0,50 metros, otros 0,50 metros y así sucesivamente. Una vez controlado el incendio, se sobrecompacta, por lo menos con cinco pasadas del bulldozer y permanentemente se controla cualquier otro nuevo incendio. Este aspecto es muy normal en estos procedimientos, porque la basura tapada y compactada queda con una temperatura muy alta y posiblemente en proceso de pirolisación.

La capa inicial de tierra, sobre el incendio, puede ser del orden de 0,20 metros; posteriormente se puede aumentar a 0,40 metros y preferiblemente hasta 0,60 metros y procurando compactar a zona por lo menos con cinco pasadas del bulldozer.

Es frecuente que se presenten “bocanadas de vapor de agua” sobre la zona apagada; si no hay llama y se comprueba que solo es vapor de agua, es mejor dejarla salir para aliviar las presiones en el interior de la basura.

No se debe olvidar que el éxito al apagar estos incendios es mantener una sobrecompactación y control de la zona apagada.

- b) Utilizando basura antigua (mientras más antigua mejor).- Cuando no hay tierra, se puede utilizar basura antigua para “ahogarlo”, tal como con la tierra, pero aumentando la capa de 0,20 metros a por lo menos 0,60 metros y la compactación de cinco pasadas a por lo menos siete pasadas. Con este método, es más fácil que se presenten nuevos incendios. Por eso, se debe extremar el control y tapar en la primera oportunidad con 0,20 metros de tierra por lo menos.
- c) Utilizando agua para enfriar la basura.- Este no es un método único; se debe utilizar combinado con otro, por ejemplo, con el método de apagar con basura antigua y humedecerla. Después de controlado el incendio, al igual que en los otros métodos, se debe compactar la basura, como método para controlar nuevos incendios.

Al quemarse la basura, es muy frecuente que se formen depósitos de aire caliente en el interior del basurero. Esto es muy peligroso porque puede causar quemaduras de personas y de la maquinaria. Cuando se presente el incendio, la maquinaria debe moverse muy lentamente para compactar el área y no solamente para apagar el incendio, sino también para eliminar las áreas de vacíos interiores en la basura y evitar accidentes posteriores.

Después de apagado un incendio, el control estricto se debe hacer por lo menos durante un mes.

4. Definición de las acciones a ejecutar

De acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación, hay una serie de medidas que pueden tomarse. Cada acción deberá concordar con las condiciones específicas identificadas en el área de disposición final. Debe tenerse en cuenta que las condiciones económicas del municipio serán determinantes para aplicar las acciones definidas, ya que esta instancia local es la responsable de la implementación de las acciones.

Como resultado de la evaluación del sitio, se puede definir si una rehabilitación es factible o no. A continuación se presentan diferentes acciones que deberán ser tomadas en cuenta en la rehabilitación de botaderos.

5. Clausura o Cierre Definitivo del Botadero

Los botaderos de residuos sólidos no son una alternativa sanitaria ni segura para la disposición final de los residuos. Por ello, deben ser clausurados.

La clausura es un proceso integral y gradual, en el cual se consideran varios aspectos como son: la evaluación técnica y ambiental del área que ocupa y sus alrededores. La información a partir de la cual se tomó la decisión de clausura ofrece valiosa información sobre las acciones que se deben seguir. Como es obvio, paralelamente al proceso de cierre, se debe implementar sistemas sustitutos, si no los hubiere, en donde se disponga la basura para una disposición final de manera sanitaria.

5.1 *Uso final del suelo*

Las acciones a implementar durante el proceso de clausura del botadero deberán concordar con el uso final del suelo. Existen experiencias vinculadas con la implementación de parques, zonas de recreación, áreas para estacionamiento, etc.

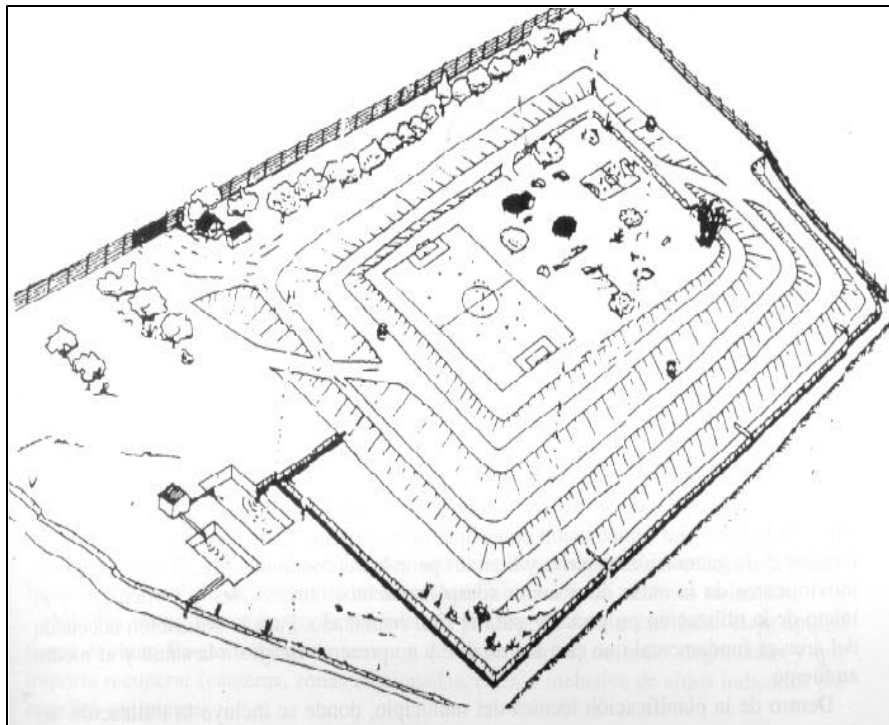


Figura 3. Uso futuro: recuperación de un botadero

Aún no se han hecho los cálculos de inversión para restaurar un área degradada. Esto depende de:

- El impacto que ha causado en la zona degradada.
- La necesidad de evacuar a la población que se encuentra asentada en el área del botadero
- El área degradada.
- Los sistemas de evacuación de gases y lixiviados a implementar.
- Las obras de sellado final.
- La infraestructura futura que se pretenda implementar.
- Los programas de vigilancia y monitoreo.

Las actividades a implementar para el uso final del suelo deben considerar iniciativas para mejorar el saneamiento ambiental del sitio, ya que es altamente probable que se presenten diversos riesgos como:

- Infiltración de agua pluvial
- Erosión de la cubierta final
- Fuga incontrolada de biogás
- Fuga incontrolada de lixiviados
- Contaminación de aguas subterráneas
- Poca estabilidad de los residuos sólidos depositados

Luego de efectivizar la clausura del botadero, deben pasar entre 6 y 10 años para realizar construcciones en el área del terreno.

5.2 Programa de adecuación de manejo ambiental

La elaboración del Programa de Adecuación de Manejo Ambiental, constará de dos momentos:

Como primer momento, con base en la información que permitió tomar la decisión de clausura del botadero, se analizarán diversas opciones para generar consensos entre las autoridades políticas y los responsables técnicos. Los consensos permitirán determinar las características generales de los estudios técnicos posteriores.

En un segundo momento deberán elaborarse los estudios técnicos del proyecto de clausura, el cual debe contener la siguiente información:

- a) Recopilación y procesamiento de resultados e informes de los estudios previos.
- b) Elaboración del diagnóstico ambiental de las condiciones actuales del botadero, para establecer las medidas de control y mitigación de impactos y riesgos ambientales y a la salud pública.
- c) Elaboración del proyecto ejecutivo para la clausura.
- d) establecimiento de alternativas de solución para recicladores, mediante un análisis sobre diversas alternativas.
- e) notificación a los usuarios del botadero de la ubicación del relleno sanitario.

- f) eliminación de la fauna nociva, antes de iniciar el movimiento.
- g) compactación y sellado de los residuos sólidos mediante un programa de fumigación y eliminación de roedores, insectos y aves.

El desarrollo de estudios básicos fundamentará el diseño de clausura y saneamiento del botadero. Las actividades que deben incluirse en los estudios técnicos son:

- a) Revisar los planos de clausura
- b) Preparar la calendarización final de las actividades de clausura
- c) Informar a la institución reguladora
- d) Notificar a los usuarios del botadero

En la fase de clausura se realizará el movimiento, compactación y sellado de residuos sólidos. De acuerdo con el nivel de especificación que se tenga del proyecto de clausura, podrían llevarse a cabo las siguientes actividades:

- a) Levantamiento de un cercado o estructura adecuada para limitar el acceso al botadero.
- b) Colocar un letrero donde se indique que el botadero está clausurado y donde se precise la localización del nuevo lugar para disponer los residuos sólidos municipales.
- c) Recolectar los materiales ligeros que se encuentren dispersos en el lugar.
- d) Conformer de acuerdo con la topografía final proyectada, los volúmenes de residuos depositados en el sitio, proporcionarles el grado de compactación que garantice su estabilidad a largo plazo y la cobertura con material seleccionado.

Las actividades consideradas como de post clausura, las cuales se enfocan primordialmente al saneamiento ambiental del sitio. Consisten en la construcción de sistemas de control ambiental, tales como:

- a) Construcción y/o terminación de las obras de drenaje y control de escurrimientos.
- b) Continuación de las obras de control de biogás y lixiviados, así como de monitoreo de aguas subterráneas y biogás.
- c) Instalación de dispositivos para la detección de asentamientos diferenciales (hundimientos).
- d) Instalación del espesor y características requeridas para el material de cubierta final sobre el sitio de disposición final clausurado.
- e) Colocación de la cubierta vegetal indicada en el proyecto de clausura.
- f) Construcción y/o adecuación de las instalaciones para mantenimiento y control del sitio clausurado (caseta de control, cerco perimetral).
- g) El propósito de la cubierta final en un sitio de disposición final es aislar a los residuos cercanos a la superficie del ambiente, para minimizar la migración de líquidos en las celdas y controlar el venteo del gas generado.
- h) Un sistema de cobertura final debe construirse para cumplir con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja.

La cobertura final debe colocarse sobre las áreas concluidas de las zonas que se van rehabilitando, con una pendiente suficiente como para limitar la infiltración de las aguas pluviales. Esta actividad deberá efectuarse de preferencia en forma progresiva según se concluya la operación de cada área de disposición.

Se deberá colocar una cubierta de suelo con una profundidad mínima de 50 cm sobre los desechos depositados. Se considerará como ideal una cobertura de 100 cm, si en la zona existe abundancia de material de cobertura. Adicionalmente y dependiendo del uso futuro de la zona del botadero recuperado, se colocará una capa de suelo capaz de sustentar la vegetación u otro elemento que se espera colocar en la etapa de recuperación.

Los suelos arcillosos son útiles para la cubierta final ya que son mejores para limitar la filtración de las aguas pluviales, especialmente en zonas lluviosas.

A continuación se propone un conjunto de pautas para asegurar una adecuada cobertura final de los botaderos, de abajo hacia arriba considerar:

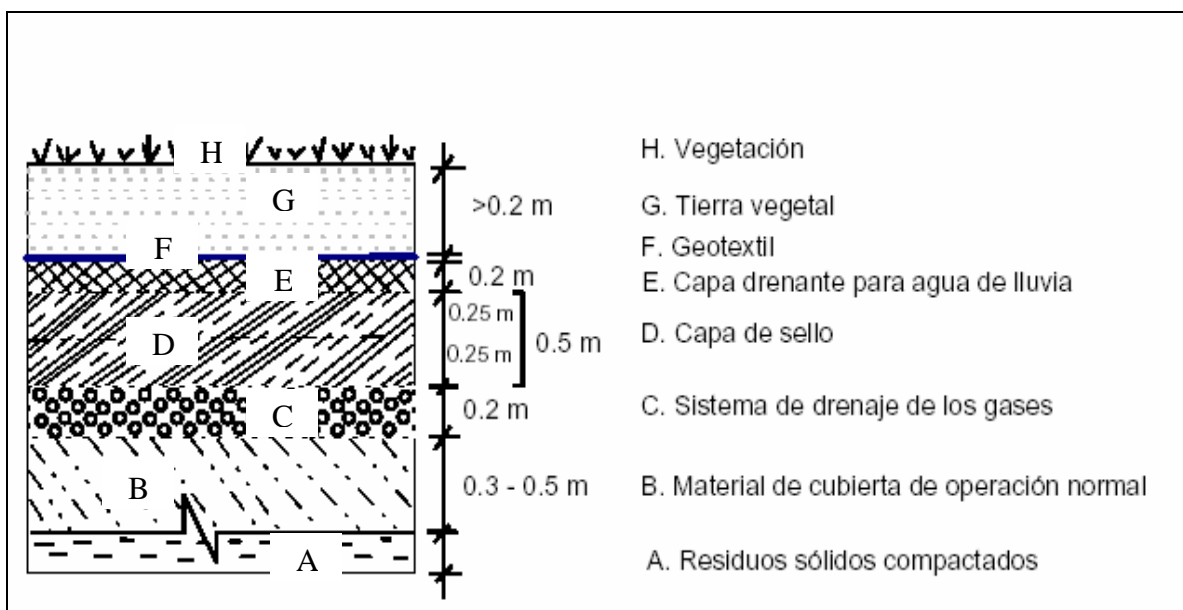


Figura 4. Diseño de cubierta final

- Residuos sólidos, debe ser bien compactada antes de usar el material de cobertura
- Material de cobertura de operación normal, se coloca un material con una capa superior a los $0,2$ m

- Sistema de drenaje de los gases. Con grava arenosa o escombros de construcción. Este material tiene una buena permeabilidad. Debe ser bien compactado. Se recomienda su uso cuando los residuos sólidos depositados han superado los 6,0 m.
- Capa de sello. Para colocar una barrera de baja permeabilidad. En este caso se debe colocar dos capas de material arcilloso c/u de 0,25 m con una permeabilidad de 1×10^{-6} cm/s.
- Segunda cubierta. Otra cubierta de 0,2 m de espesor mínimo de material grueso como capa drenante de aquellos líquidos (agua pluvial) que pasen de la cubierta superior. Se requiere para aquellos sitios cuya conformación final tenga pendientes mayores o iguales a 3%.
- Geotextil después de la capa drenant. Con el fin de evitar la saturación de los poros de la capa permeable y minimizar la erosión.
- Cubierta de tierra vegetal. Para proteger las capas inferiores del daño mecánico y, junto con la cubierta vegetal, protegerla contra la erosión. El espesor de esta capa depende del material disponible y del uso final que se planea dar al sitio. En cualquier caso, el espesor mínimo recomendado es de 0,2 m. En el caso de que se tenga planeado plantar árboles y/o arbustos, se puede requerir espesores de hasta 1 m. Debe evitarse que las raíces penetren y dañen las capas de clausura que se encuentran más abajo.

5.3 Proyecto de saneamiento ambiental

Las acciones encaminadas al control de los residuos sólidos después de la clausura, se conocen como saneamiento ambiental. Estas se pueden definir como los procedimientos de ingeniería para el diseño, construcción y operación de sistemas de control para mitigar los impactos ambientales y de salud pública, durante los procesos de estabilización de los RSM depositados en el sitio clausurado

Las acciones a realizar son las siguientes:

- Asegurar un drenaje adecuado de aguas de lluvia o superficiales
- Manejar adecuadamente los lixiviados
- Controlar los gases y olores
- Realizar un control periódico de los vectores de enfermedades
- Ejecutar un monitoreo ambiental según el objetivo del programa de monitoreo.

5.3.1 Drenaje superficial

En zonas donde por las condiciones climáticas existan cursos de agua superficiales, de carácter permanente o como consecuencia de las precipitaciones pluviales, se deberá considerar:

- La implementación de zanjas de coronación para evitar que las aguas superficiales y las de escurrimiento, producto de las precipitaciones pluviales lleguen hasta las áreas en saneamiento o de disposición final de los residuos.
- Una ubicación adecuada del sitio, desde el punto de vista del drenaje superficial de las aguas.
- Las superficies y los taludes del sitio, deben tener un acabado uniforme y una pendiente mínima de 2% en dirección aguas abajo, para facilitar el escurrimiento de las aguas de precipitación pluvial que inevitablemente caerían sobre las áreas en rehabilitación o de disposición final.

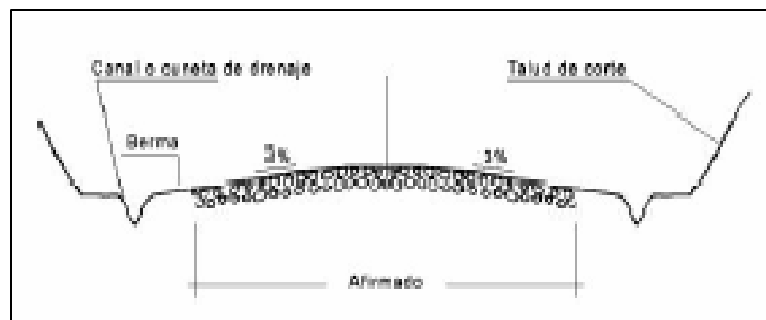


Figura 5. Drenaje superficial

El drenaje superficial se realizará mediante el diseño y construcción de canales perimetrales de interceptación, que tendrán el objetivo de conducir dichas aguas hasta canales y/o cursos de agua existentes.

Con la información topográfica e hidrológica disponible, se efectuarán los cálculos del tamaño de los canales de drenaje superficiales. Los cálculos hidráulicos ordinarios dependen de la gradiente y la zona superficial de las captaciones para el agua superficial y la frecuencia de la tormenta elegida (período de recurrencia). Se sugiere como base de cálculo un periodo de recurrencia de una tormenta de cinco años, para determinar el tamaño de los canales de drenaje.

5.3.2 Manejo de lixiviados

Dependiendo de la magnitud de lixiviados se procederá a realizar su absorción con material de la zona o su captación mediante el bombeo o canalización, hacia una poza de tratamiento.

Se debe considerar la habilitación de drenes perimetrales en las partes bajas del área en saneamiento o disposición final para la captación de lixiviados que pudieran aflorar. Estos drenes de captación confluirán en pozas de captación, desde donde los lixiviados serán recirculados y/o trasladados hasta una zona de tratamiento.

Considerando que el procesamiento oportuno de los residuos (acumulación en la menor área posible, compactación y cobertura adecuadas), constituyen las medidas más eficientes para minimizar la generación de lixiviados, en el proceso se debe incidir en la correcta ejecución de dichas actividades.

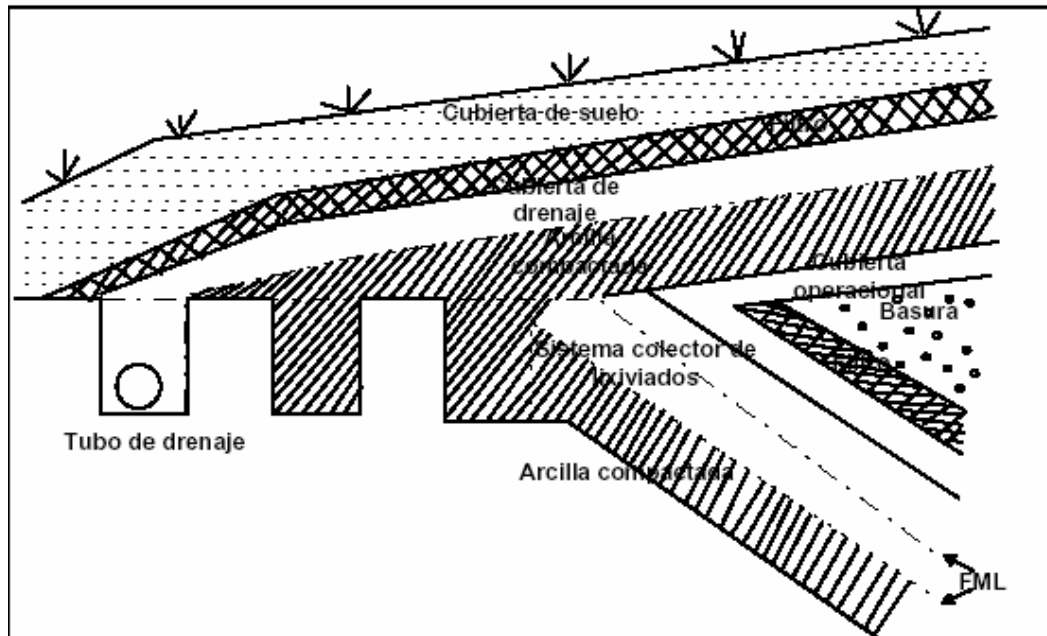


Figura 6. Sistema de impermeabilización y drenaje para lixiviados

En el caso de utilizar pozas de captación, se debe considerar que la capacidad de almacenamiento de la laguna debe ser suficiente para almacenar todo el lixiviado generado a fin de reducir el poder contaminante del mismo a límites aceptables ó permisibles. No se ha determinado el período de tiempo aceptable para mantener almacenados los lixiviados sin ningún tratamiento. Como orientación inicial del tiempo de retención, se recomienda de 7 a 14 días. El diseño debe considerar un volumen adicional de reserva de 25% y tener una profundidad mínima de un metro para aumentar el potencial para la evaporación. La laguna debe tener además un drenaje de salida a una corriente de agua apropiada vía un vertedero o una compuerta de tipo manual.

En el sistema de recirculación de lixiviados generados, estos pueden llevarse desde la parte baja del área del botadero controlado hasta la parte superior del mismo para ser evacuados a través de las chimeneas de evacuación de biogás. Esto permitirá incrementar su evaporación así como la absorción y/o retención en la masa de residuos. Se debe recordar que en las capas inferiores del residuo dispuesto, se genera calor que puede superar los 60° C, lo que favorece la evaporación del lixiviado.

5.3.3 Control de Gases (Biogás) y Olores

Se debe diseñar un sistema apropiado de manejo de biogás; la técnica más empleada es el uso de chimeneas o pozos de venteo pasivos.

Esta técnica considera que una vez concluido el sellado final de los residuos, se debe realizar la perforación de pozos de 40 a 60 cm de diámetro, hasta profundidades que alcancen por lo menos 75 % del espesor de los residuos dispuestos, para luego colocar tubos de PVC de 10 cm como mínimo o de concreto, con perforaciones laterales y rellenas con grava. En el extremo superior de estos drenes, y como mínimo a 1,5 m sobre el nivel de la cobertura final, se instalará un quemador. Este deberá estar en combustión permanente, mientras el flujo y composición de los gases así lo permita, con la finalidad de controlar su combustión y olores.

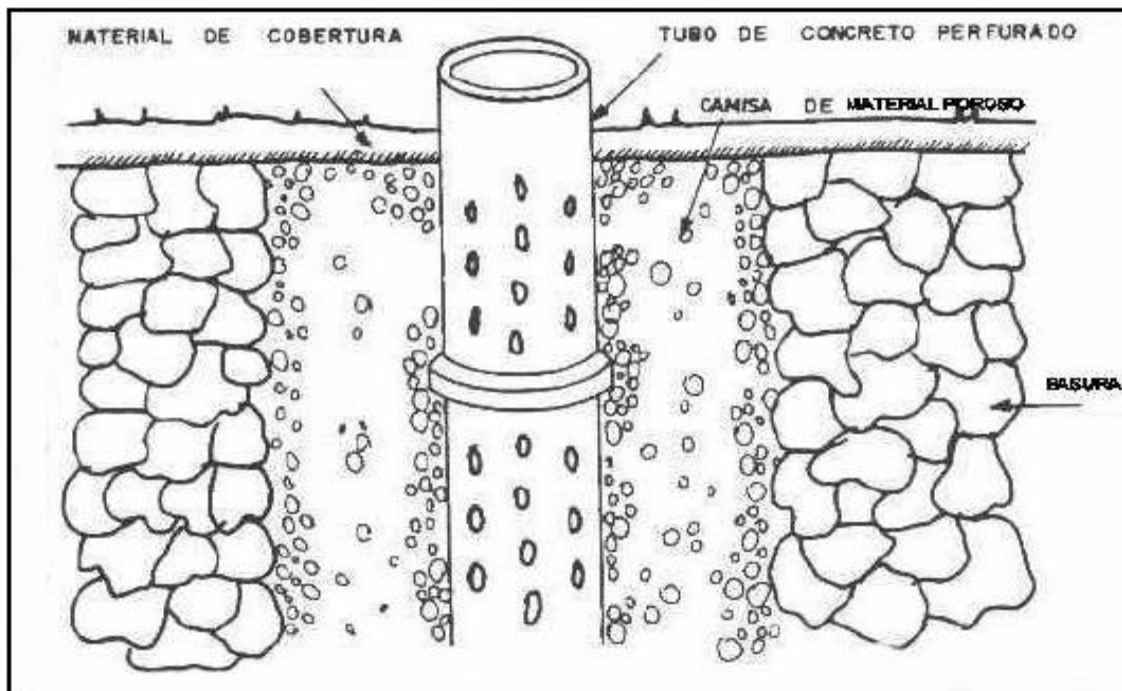


Figura 7. Pozo con estructura de malla

Existen varios sistemas para la captación del biogás y el objetivo es alcanzar un control en la salida. Una forma sencilla es el sistema de venteo que consiste en un pozo relleno con cascajo en las capas de la cubierta final. Este sistema, sin embargo, no es muy recomendable ya que no favorece el control de salida y puede ser una fuente de malos olores e incluso explosiones. Además es un punto de ingreso de agua de lluvia al interior de las celdas.

La separación de los drenes verticales a habilitarse, estará en función al área que abarcan los residuos dispuestos y a su profundidad o altura respecto al suelo original. Dichas separaciones lineales pueden variar de 10m hasta 40m, o su equivalente en áreas cada 100 m² hasta 1.600 m² respectivamente.

Adicionalmente, también se considera que una cobertura de los residuos empleando tierra de granulometría fina (principalmente arcilla y tierra negra), minimiza la emanación de gases por la superficie del área saneada o de disposición final.

5.3.4 *Control de Vectores*

En el control de vectores se procederá según lo dispuesto en las disposiciones sobre vigilancia sanitaria que dictamine la autoridad de salud.

Para combatir los vectores, no es recomendable utilizar rodenticidas o insecticidas porque contaminan el ambiente. Además, a la larga estos bichos desarrollarán una mayor resistencia a los agentes químicos, lo que a largo plazo dificulta su control; de ahí que su uso será mínimo. Una de las maneras efectivas de control de estos vectores es cubrirlos con tierra.

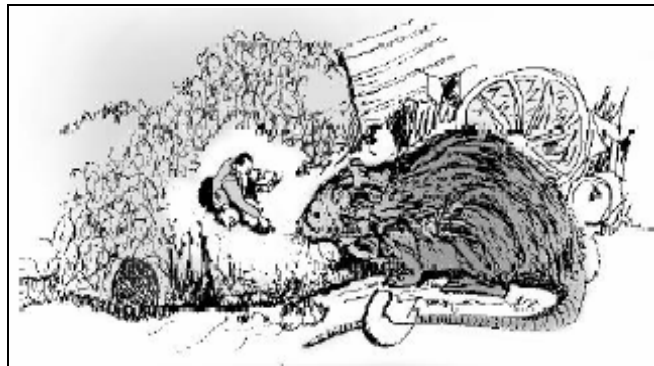


Figura 8. Control de vectores

Las moscas y los roedores suelen llegar en los vehículos recolectores y de transporte de residuos, por lo que en un primer momento se recomienda, como práctica excepcional, fumigar y colocar rodenticidas en el área de relleno.

Un indicador de la falta de cubierta de tierra es la presencia de estos insectos y roedores, y de aves que se alimentan de desperdicios y carroña.

Del personal y equipo a ser utilizado

Todas las actividades que conlleva el proceso de clausura de un botadero, se llevarán a cabo con personal profesional, técnico y obrero calificado, así como con equipo y maquinaria adecuados y suficientes para el volumen de residuos a ser tratados y las características de la zona.

En el desarrollo de las operaciones de clausura y de restauración del botadero, y según sea la magnitud de los residuos dispuestos, se podrá requerir el uso de maquinaria pesada, similar a la utilizada en el proceso de habilitación y operación de un relleno sanitario.

5.3.5 Monitoreo ambiental

Existen dos tipos básicos de monitoreo: periódico y continuo; dependiendo del objetivo del programa de monitoreo y de las condiciones específicas, se deberá seleccionar alguna de las opciones mencionadas para cada parámetro de interés.

Aguas Subterráneas: Los programas de monitoreo deben incluir como mínimo evaluaciones frecuentes de aguas subterráneas. El muestreo semestral de rutina es suficiente para establecer la presencia de cualquier tendencia, para identificar cualquier cambio estadísticamente significativo, y principalmente para detectar aquellos parámetros con valores mayores a los criterios permitidos.

Aguas superficiales: Este monitoreo debe ser un componente de rutina cuando se sabe o se sospecha que el lixiviado está impactando en las aguas superficiales de los alrededores, o cuando se tiene alguna preocupación fundada sobre la calidad del agua subterránea. De otra forma, el monitoreo será necesario normalmente el primer año de la clausura y muy esporádicamente en etapas posteriores.

Lixiviado: La frecuencia es mensual durante los primeros cuatro años después de cerrado el sitio. Después se recomienda dos veces al año.

Cuadro 1. Monitoreo de lixiviados y acuíferos

Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
pH	Potenciómetro	Lectura directa en Campo	Mensual
Conductividad eléctrica	Conductímetro	Lectura directa en Campo	Mensual
Oxígeno disuelto	Oxímetro	Lectura directa en Campo	Trimestral
Metales pesados (Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Ag, Tl, V, Zn)	Espectrofotómetro de absorción atómica con accesorios	Absorción Atómica	Semestral
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Equipo y material de laboratorio para DQO	Dilución – Filtración - Oxidación	Trimestral
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Equipo y material de laboratorio para DBO	Dilución –Digestión de 5 días	Semestral
Coliformes Fecales y Totales	Tubos Múltiples (NMP)	Incubación a 35° C	Semestral

Biogás: El monitoreo debe realizarse en programas trimestrales a fin de identificar oportunamente cualquier problema y facilitar las acciones correctivas.

Cuadro 2. Monitoreo de biogás

Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Composición de Biogás: CH ₄ CO ₂ O ₂ N ₂	Cromatógrafo de gases	Cromatografía de gases	Trimestral
Explosividad y toxicidad	Explosímetro digital	Lectura directa en campo	Trimestral
Flujo	Flujómetro	Lectura directa en campo	Trimestral

Aire y Partículas aerotransportables: Se consideran suficiente mediciones trimestrales los primeros dos años de cerrado el sitio. La revisión anual posterior permitirá contar con una vigilancia certera.

Cuadro 3. Monitoreo de aire

Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Partículas totales en suspensión	Equipo para muestreo de alto volumen	Muestreo de alto volumen	Trimestral
Partículas biológicas viables	Equipo de laboratorio para medición de colonias de bacterias en aire	Incubación, conteo de colonias	Trimestral
Ruido	Sonómetro	Según manual	Trimestral

Suelo: En este caso, las pruebas están encaminadas a la búsqueda de metales pesados e hidrocarburos, principalmente. Sólo se realizarán cuando se tenga sospecha de contaminación ambiental y como forma de comprobación.

Cuadro 4. Monitoreo de Suelo

Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Metales pesados (Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Ag, Tl, V, Zn)	Espectrofotómetro de absorción atómica	Absorción Atómica	En caso de sospechar su presencia
Compuestos Orgánicos Volátiles (Hidrocarburos)	Cromatógrafo	Cromatografía	En caso de sospechar su presencia

Radiactividad y parámetros ambientales: Un monitoreo que acompañe a los demás monitoreos será adecuado para sustentar la data en base a los parámetros meteorológicos y ambientales.

Cuadro 5. Monitoreo de radiactividad y parámetros ambientales

Parámetro	Equipo	Técnica	Frecuencia
Radiactividad	Contador tipo Geiger	Según manual	Semestral
Parámetros meteorológicos: Temperatura ambiente Precipitación pluvial Humedad relativa Presión barométrica Dirección y velocidad del viento	Estación meteorológica	Lectura directa en campo	Mensual

Finalmente, se debe tener en cuenta que el mantenimiento a largo plazo tiene el objetivo de resolver problemas provocados por acción de las lluvias y del viento, como las depresiones, grietas y erosiones. Es importante remarcar que en caso de que dichos problemas existan, se deben reparar lo más pronto posible para evitar que los residuos queden al descubierto y provoquen problemas ambientales.

6. Rehabilitación del sitio de disposición final

La rehabilitación de un sitio de disposición final tiene la finalidad de permitir la disposición de residuos sólidos bajo una operación y manejo controlado. Los sitios ya controlados o en proceso de control deben ser reevaluados frecuentemente para garantizar un manejo adecuado.

6.1 Definición de las medidas de planificación

Una vez elaborada la evaluación de riesgo ambiental del sitio, se cuenta con la información suficiente para tener un primer acercamiento de las medidas a tomar. Además, se podrán definir los estudios previos requeridos para la elaboración del proyecto, ya sea rehabilitación y clausura o saneamiento.

Aún no es posible transformar un tiradero a un relleno sanitario, pero sí a un sitio controlado. Este último debe aproximarse al máximo posible a un relleno sanitario implementando las respectivas estructuras, sobre todo las de control de lixiviado y biogás. Los estudios adicionales requeridos para esta transformación son similares a los requeridos para la elaboración de un proyecto de relleno sanitario.

6.2 Estudios técnicos

La rehabilitación, clausura y saneamiento ambiental de un sitio de disposición final de residuos sólidos requiere de la elaboración de estudios previos, de manera que se cuente con la información y parámetros básicos para desarrollar el proyecto correspondiente.

Los estudios previos tienen relación con:

- Los residuos sólidos y derivados
- Las características del sitio
- El servicio de limpieza en su totalidad.

Los estudios básicos referidos a los RSM y derivados a considerar son:

6.2.1 Análisis de generación y composición de residuos sólidos municipales

Dado que un sitio rehabilitado y transformado a uno controlado continúa recibiendo residuos, son importantes los datos referentes a la generación y composición de éstos en el sitio. Estos estudios incluyen los datos de generación per cápita, peso por volumen, composición de los residuos, y características físicas y químicas.

6.2.2 Análisis de lixiviados

El muestreo y análisis de lixiviados permitirá obtener una caracterización particular de éstos en el sitio donde fueron generados, lo cual servirá para determinar si es necesario darles un tratamiento, y en caso afirmativo, el tipo de tratamiento más apropiado.

6.2.3 Análisis de biogás

La caracterización del biogás permitirá conocer su composición (elementos y compuestos) y el nivel de riesgo presente en el sitio, incluida la eventual presencia de vapores orgánicos tóxicos en el biogás. Esta información permitirá definir el potencial aprovechamiento del gas, y obtener los parámetros de diseño de los sistemas de captación y control.

6.2.4 Análisis de agua subterránea

Su caracterización está en función de factores como: su presencia en el sitio, que existan pozos en la zona y la dirección del flujo del acuífero, de manera que la toma de muestras se haga aguas abajo y aguas arriba con relación a la ubicación del tiradero (a una

distancia de 500 a 750 m del botadero). El análisis físico y químico del agua permitirá establecer si existe contaminación por causa del tiradero a cielo abierto en la zona.

Como parte de los estudios referidos a las características particulares del actual sitio de disposición se requiere de:

6.2.5 Topografía

Primero se tendrán los trabajos de localización y orientación del terreno. En segundo lugar se contemplan los trabajos correspondientes a la altimetría, secciones y curvas de nivel del terreno, que actualmente y en el futuro está previsto para la disposición final. Como parte importante se tiene la determinación del relieve original del sitio a nivel de terreno natural, lo cual será factible de obtener a partir de estudios anteriores o mediante restituciones fotogramétricas para tal fin.

Al mismo tiempo, esta información permitirá estimar la volumetría de lo que ya ha sido dispuesto y proyectar el volumen disponible, que en conjunción con los datos de generación y composición de RSM y el diseño del proyecto, permitirán estimar la vida útil restante.

6.2.6 Geofísica y geohidrología

Dadas las particularidades y la forma en que se opera un tiradero a cielo abierto, es difícil contar con un informe relacionado con las características geológicas y geohidrológicas del sitio. En caso de que no se disponga de información, es necesario generarla. El estudio geofísico consta de sondeos eléctricos verticales (SEVs), y determina la resistividad en campo y posterior interpretación de resultados que permiten conocer el subsuelo con buena aproximación.

6.2.7 Mecánica de suelos

Las propiedades mecánicas de los suelos tienen gran influencia en el comportamiento de diversos fenómenos presentes en los botaderos a cielo abierto. Se recomienda determinar los siguientes parámetros de campo y laboratorio: capacidad de carga; permeabilidad; clasificación de suelos; capacidad de intercambio catiónico; peso volumétrico; granulometría; contenido orgánico total; límites de consistencia; compresión triaxial; compactación Proctor estándar; pH; humedad y porosidad. Con estos parámetros es posible establecer el diseño de la rehabilitación y clausura del tiradero, y calcular altura máxima, potencial de infiltración de lixiviados, espesor de suelo de intercambio, entre otros.

6.2.8 Climatología y meteorología

La precipitación pluvial es un factor importante para la formación de lixiviados y para el diseño de la operación del sitio (en caso de rehabilitación) y obras complementarias. Los datos de fuentes bibliográficas o documentales (de estaciones meteorológicas de la región) son: precipitación pluvial, temperaturas y dirección de los vientos.

6.2.9 *Diagnóstico breve del servicio de limpieza de la localidad*

Se realizará una descripción de cada etapa que constituye el servicio de limpieza de la localidad, como son: almacenamiento domiciliario, barrido, recolección, transporte, tratamiento y, con especial énfasis, la disposición final.

6.3 *Rehabilitación del botadero*

La rehabilitación de los botaderos a cielo abierto tiene la finalidad de disminuir y mitigar los impactos al ambiente, mejorar la imagen del sitio y operarlo bajo condiciones controladas.

Proyecto de rehabilitación

- a) Tener una vida útil que justifique la inversión en la rehabilitación.
- b) Compromiso de las autoridades municipales y encargados del servicio de limpieza para rehabilitar el sitio, operándolo bajo las formas y criterios técnicos.

Antes de la elaboración del proyecto definitivo, se recomienda elaborar un perfil de proyecto que presente principalmente el concepto, sus líneas principales y las alternativas de solución. Sobre el perfil de proyecto, se debe buscar un acuerdo con las autoridades competentes para posteriormente elaborar el proyecto definitivo.

6.3.1 *Cálculo de vida útil*

Este cálculo es importante para tomar la decisión, con base en un análisis costo - beneficio, sobre si la inversión para la rehabilitación justifica la continuidad en el uso del sitio para disposición final. Las inversiones relacionadas con la estabilización de los residuos, la clausura y saneamiento no estarán consideradas con respecto a la vida útil, 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 de cinco años. Los parámetros para el cálculo de la vida útil son: volumen disponible, densidad que se puede alcanzar con la compactación y cantidad de residuos ingresados por día. Con relación al parámetro de cantidad de residuos/día, debe tenerse muy en cuenta el incremento de la población entre un año y otro debido al crecimiento poblacional que inclusive en algunos casos podría ser decreciente.

6.3.2 *Infraestructura*

Para la rehabilitación de los botaderos, no es posible aplicar todas las medidas de infraestructura necesaria para un relleno sanitario, especialmente la impermeabilización en la base, ya que el material se encuentra depositado. Si bien hay tecnologías disponibles, estas son muy costosas. Algunas de las medidas que pueden aplicarse en la rehabilitación, dependen de las condiciones locales y de la prioridad que se tenga para la construcción de esta infraestructura.

La caseta de vigilancia permite controlar mejor la cantidad y calidad de los residuos entrantes. En los casos de grandes ingresos de residuos (¿qué cantidades son consideradas grandes ingresos de residuos?), es recomendable instalar una balanza para llevar el control de peso de los residuos. Además, la instalación de la caseta de vigilancia permite controlar a las personas y vehículos que ingresan al sitio de disposición final.

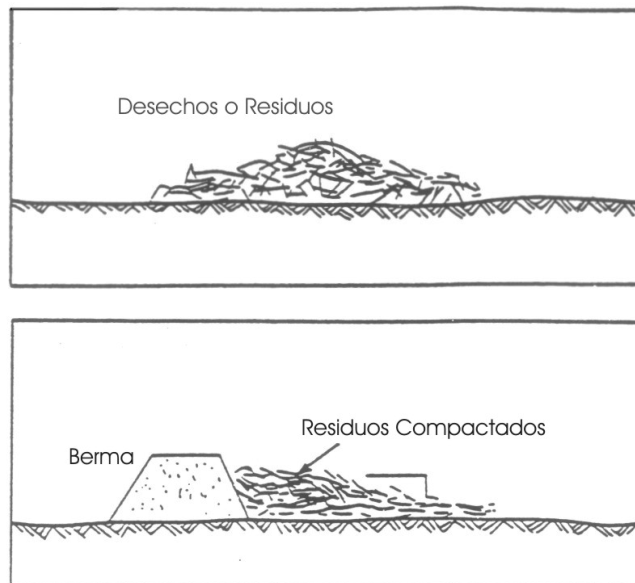
El relleno sanitario debe estar delimitado por un cerco perimetral para evitar el paso de animales y de personas ajenas a la operación. Por lo general, el cerco consiste de una malla ciclónica con una altura mayor de 2 m.

Con el levantamiento topográfico de la zona se definen las áreas que ya no serán utilizadas para disposición final. El movimiento de los residuos y su estabilización deben planearse, ya que en la rehabilitación es importante crear el mayor volumen útil posible. Las actividades consisten básicamente en el movimiento de los residuos y su conformación.

- Movimiento de residuos sólidos: Consiste en empujar los residuos que se encuentran esparcidos sobre el terreno, hacia el área destinada para la conformación de la celda, de manera que se aproveche mejor el terreno disponible.
- Conformación de los residuos en la menor área posible: mediante la construcción de celdas o capas, de acuerdo con el método seleccionado.

I. Tecnologías básicas de movimiento, consolidación y compactación de residuos sólidos aplicados a botaderos

A. Método del Área



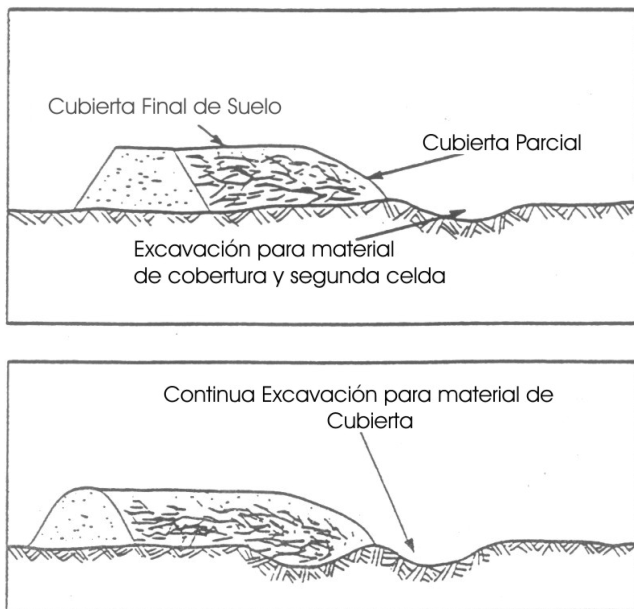
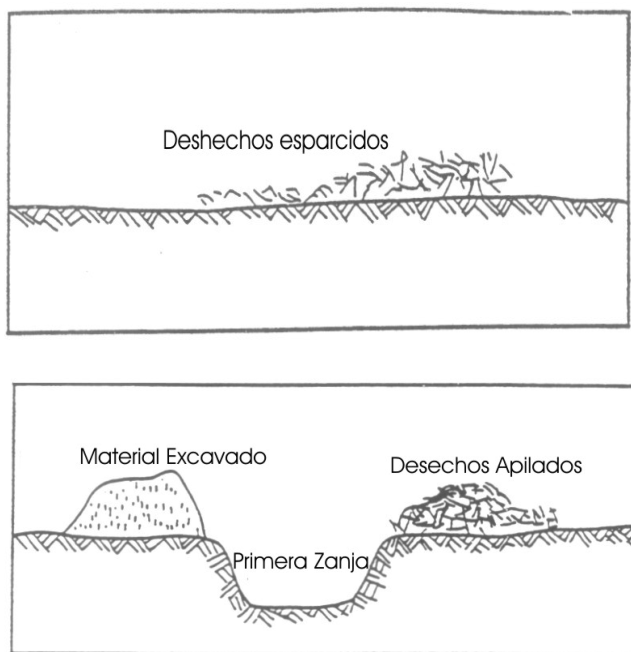


Figura 9. Proceso constructivo con el método de área

Fuente: Rushbrook Philips y Michael Pugh, (1998)

B. MÉTODO DE ZANJA



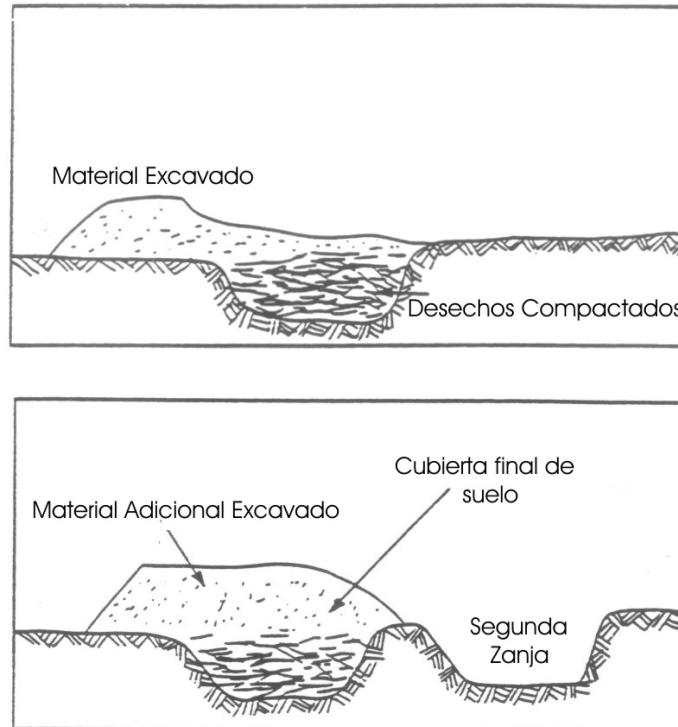


Figura 10. Tecnologías básicas empleadas con el método de zanja

Fuente: Rushbrook Philips y Michael Pugh, (1998)

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

Las características naturales y artificiales de la zona alrededor del botadero definen el escurrimiento del agua superficial. Para limitar la infiltración de las aguas superficiales de origen pluvial, se construyen drenes arriba del cuerpo del sitio rehabilitado a fin de captarlas y desviarlas. Con este método se reduce la cantidad de lixiviados. Además el agua que no percola a través del sitio de disposición puede ser aprovechada ya que no está contaminada. Para el cálculo de la dimensión de los drenes, se debe considerar el área de influencia (cuenca hidrológica).

Para los casos en que el sitio permita todavía una extensión horizontal, en estas áreas se deberán aplicar los mismos métodos de ingeniería de *impermeabilización* que en un relleno sanitario; se deberá garantizar una permeabilidad de 1×10^{-7} cm/seg en forma homogénea sobre el sitio a una profundidad mínima de 1,5 m. Esta impermeabilización se puede alcanzar con material natural bien compactado o con una geomembrana (espesor >1,5 mm) o una combinación de los dos. Las áreas previstas para la extensión se presentarán en un plano a escala 1:1000.

Cuando el agua percola a través de varios materiales, remueve algo de sólidos, lo que tiene un alto poder contaminante. A esta agua y su contenido se le denomina lixiviado.

La infraestructura necesaria para su captación incluye sistemas de impermeabilización colocados con cierta pendiente para conducir por gravedad el lixiviado a los tubos colectores. El diámetro de los tubos está en función de la cantidad de lixiviados previamente calculados. Este sistema colector extrae el lixiviado y lo lleva a tratamiento.

Captación de lixiviados

El sistema de captación de lixiviados deberá instalarse inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización. Estos sistemas deberán ser capas drenantes, ubicadas en la base del sitio de disposición y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos.

Los lixiviados generados en un botadero, en su mayor parte se infiltran en el subsuelo y contaminan las aguas subterráneas. Esta infiltración no puede impedirse posteriormente, principalmente por razones económicas ya que sería necesario remover todos los residuos que ya fueron depositados. Sin embargo, la generación de lixiviado se puede reducir considerablemente si se desvían las aguas pluviales y el cierre del sitio con material impermeable (ver parte referida a la clausura).

En la práctica, es común la combinación de tratamiento y recirculación de lixiviados. El biogás generado en el relleno sanitario es un producto de la degradación biológica de los residuos sólidos municipales. Los gases producidos en mayor proporción son metano, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico y nitrógeno. El gas metano busca salida del interior de las celdas hacia la atmósfera, lo que implica un riesgo de explosión si su concentración va de 5 a 15% en volumen.

Captación de biogás

El control de biogás deberá considerarse en las situaciones siguientes:

- Cuando existan viviendas y/o edificios en las áreas circundantes al sitio de disposición final.
- Cuando los residuos depositados tengan un alto contenido de materia orgánica.
- Cuando se prevea acceso al público en los planes del uso futuro del sitio.
- Cuando las emisiones de biogás pongan en peligro la salud de la población por sus características fisicoquímicas.
- Cuando en el sitio se produzcan intensos olores desagradables para la población circundante.

- Cuando la presión del biogás sea tal que ocasione una fuerte migración lateral y/o afecte a la vegetación que rodea al sitio.

Cuadro 6. Formas de control de biogás en sitios clausurados

Modalidad	Justificación / Observación	Tipo de Control
No control	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Que exista un área de amortiguamiento, en la que el biogás se difunda a través del material de cubierta y no alcance concentraciones riesgosas. ▪ Cuando el sitio es pequeño y se encuentra fuera de zonas pobladas. ▪ Cuando las emanaciones no ponen en riesgo la salud ni seguridad de la población circundante. ▪ Para pequeños municipios y zonas con recursos limitados, siempre que se cumplan las condiciones arriba mencionadas. 	
Control pasivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja y controla el movimiento del biogás en cualquier sitio. ▪ Funciona mediante el principio de presión natural y el mecanismo de convección. ▪ No es muy efectivo para la remoción del biogás en áreas donde el riesgo es mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zanjas de grava ▪ Pozos de venteo pasivo ▪ Barreras ▪ Sistemas de colección a nivel superficial
Control activo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controla el movimiento del biogás mediante una presión negativa inducida. ▪ Se requiere de un soplador, logrando un control de la migración lateral de biogás. ▪ Permite el aprovechamiento de esta fuente no convencional de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pozos de extracción ▪ Zanjas de extracción ▪ Red de captación del biogás

La captación de biogás, a diferencia de los lixiviados, puede realizarse posteriormente, aunque su eficiencia es menor que cuando se construye el sistema a partir del inicio de la operación del sitio. Para botaderos con poca altura (hasta 5 o 6 metros), no es necesario instalar un sistema de captación. En estos casos, la producción de gas por hectárea, en general, es muy baja y la instalación del sistema de captación es demasiado costosa.

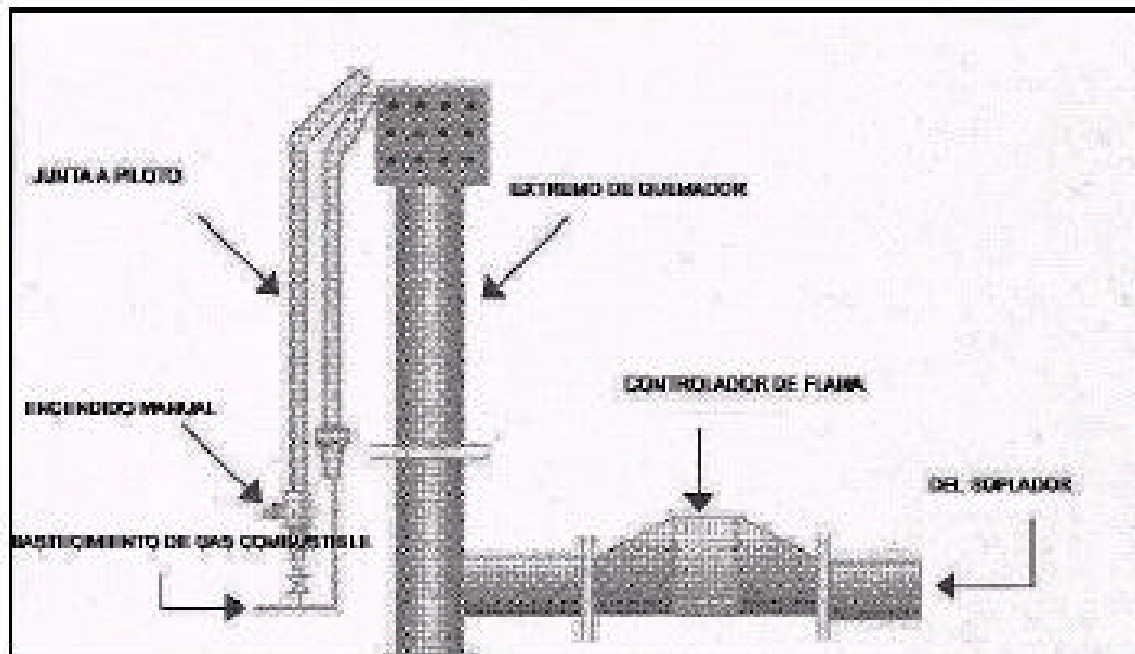


Figura 11. Respiradero de gas con quemador simple

Es importante que las tuberías tengan la suficiente inclinación en dirección a la pendiente del terreno, ya que si éstas se llenan de agua por la condensación de la humedad del biogás, el gas ya no podrá circular por una tubería inundada. En el punto más bajo se tiene que instalar una conexión al drenaje para la colección del agua de condensación que se pueda generar.

En la parte de extensión del relleno rehabilitado, sea vertical u horizontal, se deberá poner un sistema de captación de biogás desde el inicio, y se dejará crecer paralelamente al desarrollo de la celda del relleno.

Un método económico es la instalación de estructuras de malla rellenas de piedra. Éstas tienen superficies de 0,6 a 1,0 metro por lado, con profundidades que van a unos 0,3 m abajo del nivel o base del relleno, cubriéndose en la parte superior, dejando un respiradero con forma de cuello de ganso.



Figura 12. Sistema simple de captación de biogás

Para seleccionar el número de pozos de extracción se tiene que conocer la cantidad de residuos depositados, la profundidad promedio del sitio y el área del mismo. Se estiman que, en general, dos pozos por hectárea son suficientes. En el proceso de rehabilitación se debe iniciar la clausura parcial de las áreas ya saturadas, ayudando a disminuir la infiltración de agua pluvial y en consecuencia la generación de lixiviados. La descripción de la cubierta final se encuentra en capítulos posteriores.

Cobertura final

Como parte del diseño de la operación de un sitio rehabilitado se consideran los aspectos de diseño básico de la ingeniería del sitio y la selección de la maquinaria que se empleará, tanto para las obras propias de rehabilitación como para la operación del sitio hasta el fin de su vida útil.

La selección del método de operación del relleno sanitario puede darse en tres formas: a) método de área; b) método de trinchera y c) método combinado. Para realizar las acciones de rehabilitación del sitio, así como la operación posterior del mismo, es necesario emplear maquinaria pesada, cuyo tipo, potencia y número estará en función de la cantidad de residuos por mover.

Así mismo, se recomienda la elaboración de un manual de operación específico para cada sitio de disposición. En él se deberán incluir aspectos como método de operación, maquinaria y equipo, formas y frecuencia de control y supervisión, responsabilidad y descripción del personal, los acontecimientos extraordinarios, etc.

7. Proyecto de Clausura

El proyecto deberá contener necesariamente lo siguiente:

- a) Memoria descriptiva
- b) Descripción del proceso de clausura y postclausura del Botadero
- c) Infraestructura, equipamiento y personal
- d) Cronograma de ejecución
- e) Costos y presupuestos
- f) Anexos:
 - Estudio geológico, hidrológico, meteorológico, hidrológico.
 - Memoria de cálculos
 - Planos