



**MANUAL PARA LA REHABILITACIÓN, CLAUSURA Y SANEAMIENTO DE TIRADEROS A
CIELO ABIERTO EN EL ESTADO DE MÉXICO.**



Diciembre del 2000

Gobierno del Estado de México
Secretaría de Ecología
Dirección General de Prevención y Control de
la Contaminación del Agua, Suelo y Residuos

Lic. y Q.F.B. Yolanda Senties E.
Secretaría de Ecología

M.V.Z. A. Ricardo Sánchez Rubio
Director General de Prevención y Control
de la Contaminación del Agua, Suelo y Re-
siduos

Q.F.B. Concepción Bonfil Valle
Subdirectora de Apoyo y Asesoría Técnica
a Municipios

Autores:

M. en I. Claudia P. Hernández Barrios, *Grupo de Consultores en Ingeniería Ambiental*

Dr.-Ing. Günther Wehenpohl

Deutsche Gesellschaft für Technische Zu-
sammenarbeit (GTZ) GmbH
(Agencia Alemán de Cooperación Técnica)

Dr.-Ing. Günther Wehenpohl
Coordinador Alemán del Proyecto de Apo-
yo a la Gestión de Residuos Sólidos.

INDICE

Figuras	II
Tablas	III
Anexos:	IV
Lista de abreviaturas	IV
Resumen Ejecutivo	1
1. Antecedentes.	3
2. Toma de decisión: rehabilitación, clausura y saneamiento de un tiradero	7
2.1 Evaluación de la situación de la disposición final de RSM en el municipio	11
2.2 Evaluación del riesgo ambiental	12
2.3 Definición de medidas	16
3. Rehabilitación del sitio de disposición final	17
3.1 Definición de las medidas de planificación	17
3.2 Estudios previos	21
3.3 Rehabilitación del sitio	25
3.4 Aprobación del proyecto de rehabilitación	41
4. Clausura y saneamiento de un tiradero	41
4.1 Uso final del suelo	45
4.2 Estudios previos	45
4.3 Anteproyecto	46
4.4 Proyecto de clausura	46
4.5 Proyecto de saneamiento ambiental	53
4.6 Autorización del proyecto de clausura y saneamiento	59
5. Fuentes consultadas	60

Lista de Figuras y Tablas

Figuras

FIGURA NO.

- 1 Procedimiento para la disposición final de residuos sólidos municipales.
- 2 Toma de decisiones sobre las medidas necesarias a implementar en el sitio de disposición final de residuos sólidos municipales (rehabilitación, clausura y saneamiento)
- 3 Diagrama de flujo para la elaboración del proyecto de rehabilitación.
- 4 Metepec antes de la rehabilitación.
- 5 Metepec después de la rehabilitación.
- 6 Sistema de impermeabilización y dren para lixiviados.
- 7 Respiradero de gas con quemador simple.
- 8 Sistemas simples de captación de biogás.
- 9 Sistemas simples de captación de biogás.
- 10 Pozo con estructura de malla.
- 11 Proceso para la clausura y saneamiento de sitios de disposición final.
- 12 Diseño de la cubierta final.

Tablas

TABLA NO.

- 1 Evaluación del potencial de peligrosidad del tiradero municipal.
- 2 Evaluación estimada del potencial de peligrosidad del sitio de disposición final basada en la Tabla 1.
- 3 Formas de control de biogás en sitios clausurados.
- 4 Comparación de los métodos de operación de un relleno sanitario.
- 5 Maquinaria empleada en rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto.
- 6 Características de los pastos y semillas más comunes.
- 7 Fallas y causas presentadas en taludes de los sitios de disposición final.
- 8 Estudios previos considerados para el cálculo de costos de clausura.
- 9 Estimación de los principales costos de clausura de tiraderos a cielo abierto.

Anexos:

- I Lista generación y composición.
- II Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996 Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a disposición final de los residuos sólidos municipales
- III Modelo de un Manual de Operación
- IV Instructivo para presentar la Manifestación de Impacto Ambiental a la que se refieren los Artículos 4° fracción IV y 15 del Reglamento de Ley de Protección al Ambiente del Estado de México en material de impacto y riesgo ambiental para el establecimiento de rellenos sanitarios.

Lista de abreviaturas

GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
NOM	Norma Oficial Mexicana
NMX	Norma Mexicana
RSM	Residuos Sólidos Municipales
SEGEM	Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México
SEV	Sondeo eléctrico vertical

Resumen Ejecutivo

De acuerdo con la realidad que se vive en la mayoría de las localidades en el Estado de México y el resto del país, gran parte de la disposición final de los residuos sólidos municipales tiene lugar en los llamados tiraderos a cielo abierto, los cuales constituyen una importante fuente de contaminación ambiental y a la salud pública.

Por tal motivo, los procesos para rehabilitar sitios de disposición final no controlada, con el fin de que reinicien trabajos bajo esquemas de operación programada y vigilancia, son de gran importancia debido al punto de la curva de aprendizaje en que se encuentran los encargados de los servicios de limpia en los municipios en lo relacionado al manejo adecuado de los residuos sólidos.

La clausura y saneamiento ambiental de los sitios que se encuentran en operación pero que han llegado a los límites de vida útil o que están en situaciones inadecuadas para rehabilitarlos, constituye el último paso del ciclo de vida de los residuos sólidos municipales. Sin embargo, esta etapa es la que representa la continuidad en el que los aspectos de monitoreo, mantenimiento y control son fundamentales para garantizar las medidas sanitarias básicas a largo plazo.

Este manual pretende dar una orientación a los responsables en los municipios para resolver este problema y tomar decisiones adecuadas. En este sentido, el manual se rige con los principios presentados en la normatividad vigente.

1. Antecedentes

La disposición final constituye la última etapa del ciclo de vida de los residuos sólidos municipales (RSM). Durante décadas, esta actividad no fue vista como un problema serio para los encargados del Servicio de Limpia, ya que bastaba con llevar los RSM fuera de los núcleos urbanos para evitar el impacto visual y las molestias que pudieran causar a la población atendida. Además, la cantidad en que eran producidos y las características de composición permitían su reintegración a la naturaleza, en general, sin daños aparentes.

A partir de la década de los 70's, tiempo en que algunas localidades del Estado de México comenzaron a recibir inversiones para el desarrollo de corredores industriales y nuevas zonas habitacionales, se dio un crecimiento exponencial de la población y con ello un incremento en la cantidad y cambio en las características de la basura generada. Al mismo tiempo, tanto a nivel internacional como nacional, crecieron los conocimientos sobre los impactos de la generación de RSM, los de su disposición al ambiente y la conciencia sobre la necesidad de tomar medidas preventivas y de remediación para limitar estos.

Ante esto y con la persistencia de las prácticas tradicionales en la disposición final de los RSM, aparecen grandes tiraderos a cielo abierto, los cuales presentan un foco de contaminación ambiental (en agua, aire y suelo) aunado al riesgo para la salud pública de la población circundante.

Se sumó a esto, la aparición de las actividades de segregación o "pepena" por ciertos grupos sociales que se desarrolla de manera abierta en los tiraderos a cielo abierto, la cual trae consigo problemas de salud y marginación social a las personas que la desarrollan, así como una total falta de control dentro de estos sitios por parte de los encargados del servicio.

La Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, en colaboración con la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ GmbH, han estado trabajando en el *Proyecto de Apoyo a la Gestión de los Residuos Sólidos*, para que los municipios del Estado de México puedan contar, entre otras cosas, con los lineamientos, criterios, metodologías y técnicas para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto de manera que se asegure un control sanitario y ambiental de los residuos sólidos que originalmente fueron depositados en el suelo de forma inadecuada.

Por otra parte, el 25 de noviembre de 1999 terminó el plazo dado por la NOM-ECOL-083-1996 a los municipios para regular sus sitios de disposición final de RSM. El levantamiento efectuado en el Estado de México muestra que una gran parte de los municipios todavía no cumplen con los requisitos establecidos en dicha norma. Para dar oportunidad a los municipios de cumplir, la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México (SEGEM) definió un procedimiento, en el cual se introducen las siguientes formas de disposición de residuos sólidos municipales:

Relleno sanitario: Obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales sobre el suelo, esparciéndolos y compactándolos al menor volumen práctico posible, para cubrirlos con material natural y/o sintético. Además debe considerar los mecanismos para el control de impac-tantes ambientales y debe estar de acuerdo con los requisitos normativos (Normas Oficiales Mexicanas, Normas Técnicas Estatales, etc.).

Sitio de Disposición Controlada: Cuenta con algunas obras de infraestructura y aplica métodos de operación comparables a un relleno sanitario. Estos sitios en general no cumplen con la NOM-ECOL-083-1996 y no cuentan con la impermeabilización necesaria, elementos que posteriormente no son aplicables. Por otro lado no representan un riesgo demasiado grande para el ambiente y la salud, razón por cual se permite que continúen en operación hasta que el sitio termina su vida útil.

Sitio de Disposición en Proceso de Control: Son sitios aptos para ser rehabilitados y que se encuentran en el proceso de transformación a sitio de disposición controlada.

Sitio de Disposición Inadecuada (Tiradero): Estos deben ser evaluados respecto a la posibilidad de transformarlos en sitios de disposición controlado. Si no disponen de una situación que permita su conversión a sitio de disposición controlada, entonces deben ser clausurados.

El procedimiento de la SEGEM aplicado a estas formas de disposición final de RSM es el presentado en la Figura 1. Con este procedimiento, la SEGEM pretende alcanzar una mejora sustentable en el ambiente, obligando a los municipios a cumplir sus responsabilidades dentro de sus límites económicos particulares.

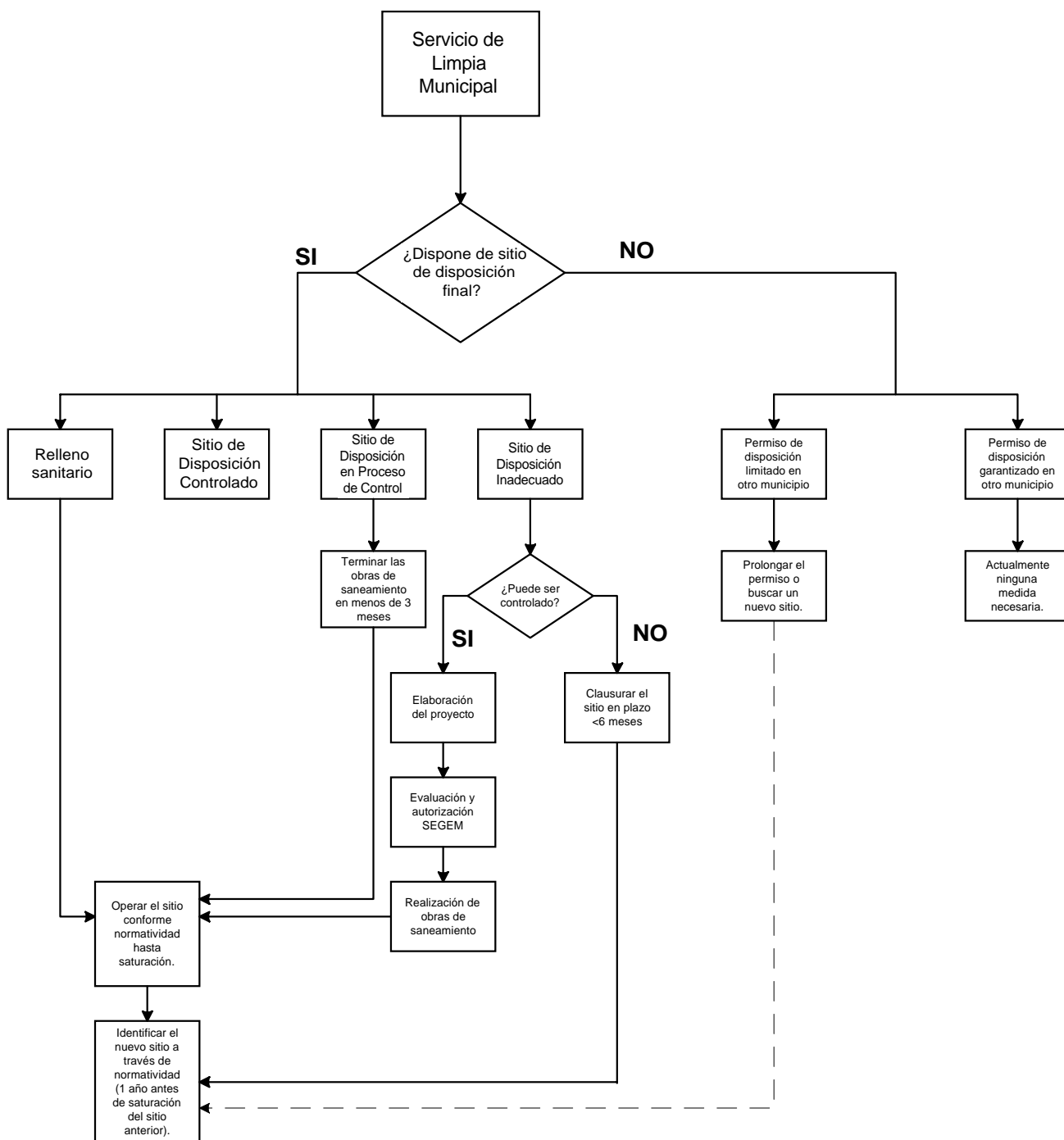


Figura 1: Procedimiento para la disposición final de residuos sólidos municipales

2. Toma de decisión: rehabilitación, clausura y saneamiento de un tiradero

La situación actual de la disposición final de residuos sólidos en los 122 municipios del Estado de México es bastante diversa. Se tienen sitios clasificados dentro de las cuatro categorías arriba mencionadas, pero independientemente de esto, la situación particular de cada municipio difiere y requiere de un proyecto específico, que sin duda puede ser orientado por los lineamientos publicados en este manual.

Antes de rehabilitar, clausurar y/o sanear un sitio de disposición inadecuada (tiradero), se debe tener un buen diagnóstico en lo referente al tipo de basura arrojada, los riesgos potenciales y posibles emisiones al ambiente. Una correcta toma de decisiones esta basada en este diagnóstico, además de que es el punto de partida para la planeación de acciones tendientes a mitigar los riesgos ambientales y a la salud.

A continuación se presenta la definición de estos tres conceptos básicos:

Rehabilitación: es la acción de recuperar o restituir la capacidad de un sitio de disposición final para continuar con el confinamiento de residuos sólidos municipales, siempre y cuando se cumpla con un mínimo de requisitos en cuanto a la capacidad volumétrica del sitio, forma de operación, mecanismos de control, protección al ambiente y a la salud pública.

Clausura: Etapas correspondientes al cierre definitivo de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales al término de su vida útil, cumpliendo con los requisitos mínimos para procurar la estabilidad, monitoreo sanitario y ambiental a largo plazo.

Saneamiento ambiental: acciones de remediación y reparación tendientes a devolver, mediante el control ambiental, las características naturales al sitio utilizado como depósito final de los residuos sólidos municipales, una vez que este ha sido clausurado, de manera tal que esté en armonía con el entorno y no ofrezca riesgos a la salud de la población ni de contaminación al ambiente.

Las entidades gubernamentales deben ser consideradas en la elaboración y autorización de un proyecto de rehabilitación, clausura y/o saneamiento de tiraderos. Además, se recomienda involucrar a todos los grupos sociales en este proceso, para tener en cuenta la información particular de cada sector en las necesidades y procedimientos a los que debe darse seguimiento.

Con el fin de que los sitios de disposición final reúnan los criterios fijados por la normatividad y aspectos técnicos y operativos vigentes, se presenta la siguiente secuencia de acciones que buscan la rehabilitación, clausura y saneamiento ambiental de los sitios de disposición final. Ver Figura 2.

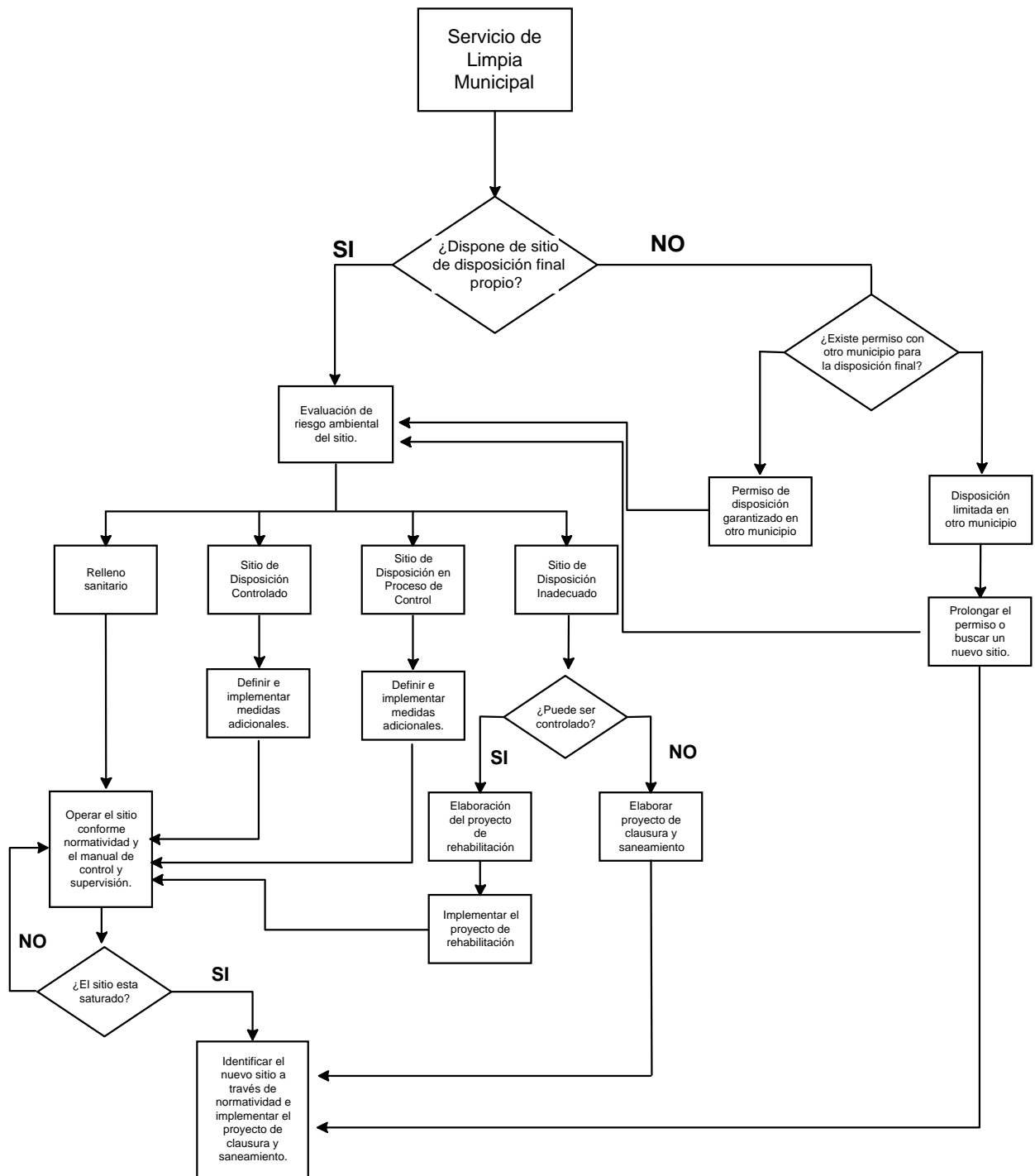


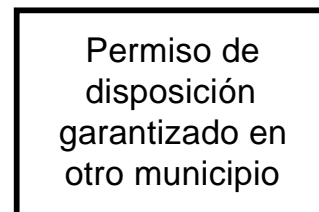
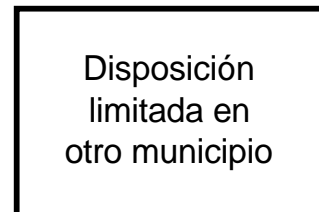
Figura 2: Toma de decisión sobre las medidas necesarias a implementar en los sitios de disposición final de RSM (rehabilitación, clausura y saneamiento)

2.1 Evaluación de la situación de la disposición final de RSM en el municipio

Considerando que la situación de la disposición final de los residuos sólidos en los municipios del Estado de México es diferente, la primer pregunta a plantear es si existe o no un sitio de disposición final. En caso negativo, el municipio no precisa tomar medidas para la rehabilitación, clausura y/o saneamiento, pero es indispensable verificar si realmente no existen sitios antiguos, abandonados o ilegales que puedan requerir acciones específicas. En caso afirmativo los municipios deben tomar medidas descritas en los capítulos siguientes.

Aún los municipios que no disponen de un sitio de disposición final propio, tienen que garantizar que sus RSM sean depositados adecuadamente. Esto puede ser en sitios en otras entidades, generalmente pagando por el servicio prestado. Los permisos para la disposición generalmente son limitados hasta el final de una administración. Es obligación por parte del municipio generador de basura garantizar este servicio en forma permanente, sin que se vea afectado por los cambios de administración en el Ayuntamiento.

Si el municipio dispone de un sitio de disposición final, caso en el que se encuentra la mayoría de los municipios del Estado de México, la SEGEM en conjunto con el municipio, verifica a que categoría pertenece. La clasificación del tipo de sitio de disposición final está en función de la información particular del municipio, ya que un sitio controlado puede convertirse nuevamente en tiradero si no se tiene el cuidado de operarlo conforme al proyecto ejecutivo y normatividad vigente.



2.2 Evaluación del riesgo ambiental

Para definir la categoría a que pertenece el sitio de disposición final, es necesaria la elaboración de un diagnóstico profundo de la situación que este guarda. Esto implica documentar el estado en que se encuentra el sitio y sus alrededores, incluyendo la contaminación del aire y agua, la dispersión de residuos, aspectos visuales, afectación en asentamientos vecinos, usos del suelo, impacto en flora y fauna, etc. Si ya existe el conocimiento suficiente, la clasificación bajo un nuevo diagnóstico no es necesaria.

Evaluación de
riesgo ambiental
del sitio.

Como un primer *acercamiento* de la situación actual se puede aplicar las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Evaluación del riesgo ambiental del tiradero municipal¹

DESCRIPCIÓN	Si	No	OBSERVACIONES
1. Sensibilidad del ambiente			
a) Área de recarga de agua potable			
b) Áreas desarrolladas y habitadas en inmediata cercanía (distancias en metros)			
c) Actividades agrícolas y hortícolas en inmediata cercanía			
d) Elevada permeabilidad del subsuelo (indicar tipo de suelo)			
e) Efectos por polvo y partículas suspendidas			

¹ Tomado de la Tabla II.1 Lista de verificación del "potencial de peligrosidad" de un botadero. Oeltscher, Hansjörg y Dieter Mutz, *Guía para un manejo apropiado de los rellenos sanitarios domésticos*. Pág. 130-131.

Tabla 1: Evaluación del riesgo ambiental del tiradero municipal², continuación...

DESCRIPCIÓN	Si	No	OBSERVACIONES
2. Contaminación visible			
a) Efluentes de lixiviado			
b) Daños a la vegetación			
c) Decoloración del suelo			
d) Emisión de olores inusuales			
e) Destrucción visible de vida acuática			
3. Riesgo de contenidos peligrosos que causan:			
a) Lixiviados peligrosos			
b) Emisiones gaseosas			
c) Contaminación del suelo			
4. Riesgo de contaminación elevada			
a) Área extensa (>1 Ha) contaminada			
b) Puntos de contaminación muy intensa			
c) Indicaciones de contaminación de investigaciones anteriores			
5. Otros riesgos			
a) Peligros potenciales			
b) Cantidad y calidad desconocida de materiales peligrosos			
c) Situación local desconocida			

² Tomado de la Tabla II.1 Lista de verificación del "potencial de peligrosidad" de un botadero. Oeltscher, Hansjörg y Dieter Mutz, *Guía para un manejo apropiado de los rellenos sanitarios domésticos*. Pág. 130-131.

Tabla 2: Evaluación estimada del riesgo ambiental del sitio de disposición basada en la Tabla 1

PRIORIDAD No.	SI	NO	MEDIDAS A TOMAR
1 Se necesita acción inmediata.			
2 Se necesitan más investigaciones para hacer evaluación final.			
3 Bajo nivel de peligros potenciales; no se necesitan acciones inmediatas.			

Las tablas arriba mencionadas permiten una evaluación rápida de la situación en que se encuentra el sitio de disposición y dar una primera orientación acerca de los aspectos que deberán ser profundizados. Esta primera evaluación se debe hacer mediante visitas al campo, de preferencia, en conjunto con un técnico de la SEGEM y uno del municipio que conozca bien el sitio y su historia. Los resultados deben ser documentados incluyendo la descripción de las medidas a realizar.

Evaluación de riesgo ambiental del sitio.

Esta lista de verificación debe complementarse con el levantamiento de información documental de fácil acceso. La investigación debe incluir³:

- Planos de la zona donde se ubica el tiradero y sus alrededores (escala 1:25,000; 1:10,000 y 1:5,000).
- Documentación de la extensión del sitio (dimensiones)
- Documentación de la profundidad y morfología (relieve) del tiradero.
- Planos geológicos y/o hidrogeológicos del área afectada.

³ Oeltscher, Hansjoerg y Dieter Mutz. *Guía para un manejo apropiado de los rellenos sanitarios domésticos*. GTZ, Banco Mundial, PNUD, UNCHS.

- Información de la situación geológica y de agua subterránea debajo del tiradero.
- Documentación fotográfica de la situación real y, si existen, de la antigua forma en que operaba el sitio o de la situación local antes de la creación del tiradero.
- Información sobre la contaminación del suelo, del agua y aire en el sitio y sus alrededores.
- Historia del sitio (desde cuando funciona, uso anterior).
- Tipo y cantidad de basura arrojada al tiradero. De ser posible identificar las fuentes y lugar de procedencia.
- Información sobre la forma de operación.
- Información acerca de responsables de la operación (municipio, empresa, etc.).
- Equipo existente en el sitio (maquinaria permanente y/o temporal, tipo y cantidad).
- Medidas de monitoreo o posibilidades de realizarlas cerca del sitio.
- Re - evaluación del potencial de peligrosidad del sitio.
- Clasificación actual según criterios de SEGEM.

Este diagnóstico es una base indispensable para la decisión del futuro del sitio, es decir, la posibilidad de rehabilitación, la necesidad de mover residuos (peligrosos) del sitio, el tipo de cubierta y uso posterior que se dará al área.

El diagnóstico y la evaluación deberán incluir una propuesta referente a las medidas previstas y proyectadas, así como la calendarización de actividades. Su elaboración puede ser por las autoridades responsables del manejo del sitio o por un profesional especializado que sea contratado para tal fin. El resultado deberá entregarse a la SEGEM para su aprobación y toma de decisiones. La SEGEM podrá

dar su aprobación en forma directa o condicionada, existiendo la posibilidad de negarla.

Si el sitio de disposición final está clasificado como relleno sanitario, no hay necesidad de tomar acciones referentes a la rehabilitación o clausura, siempre y cuando el sitio no este saturado. En este último caso es obligación del municipio garantizar la operación del relleno conforme al proyecto y la normatividad, independientemente si él es el encargado de la operación o si el servicio esta concesionado. Para facilitar esta tarea, la SEGEM ha editado un *Manual para el control y supervisión de rellenos sanitarios*.

Relleno sanitario

2.3 Definición de medidas

De acuerdo con la clasificación del sitio de disposición basado en la evaluación anterior, hay una serie de medidas que pueden ser tomadas. Cada medida tiene que ser adecuada a la situación específica y a su vez la combinación de acciones tiene que ser evaluada respecto al funcionamiento y a la posibilidad económica considerando los efectos ambientales deseados. Para acatar las posibilidades económicas del municipio, se debe elaborar una calendarización de las medidas a realizar combinada con la estimación de costos de cada una de ellas.

Definir e implementar medidas adicionales.

Como resultado de la evaluación del sitio de disposición final, se puede definir si una rehabilitación es factible o no. A continuación se presentan diferentes medidas, que en general son importantes a tomar en la rehabilitación de los tiraderos, aunque no garantizan que en casos particulares sea necesario tomar otras no documentadas en este manual.

3. Rehabilitación del sitio de disposición final

La rehabilitación de un sitio de disposición final tiene la finalidad de permitir la disposición de RSM bajo una operación y manejo controlado. En la Figura 3 se presenta la secuencia de acciones que buscan la rehabilitación. En este caso los requisitos pueden variar en función de la cantidad de RSM que ingresan por día al sitio y del estado en que se encuentra actualmente. Los sitios ya controlados o en proceso de controlados deben ser re - evaluados frecuentemente para garantizar un manejo adecuado.

3.1 Definición de las medidas de planificación

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

Diagnóstico y
medidas
adicionales

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 parecidos a los requeridos para la elaboración de un proyecto ejecutivo de relleno sanitario.

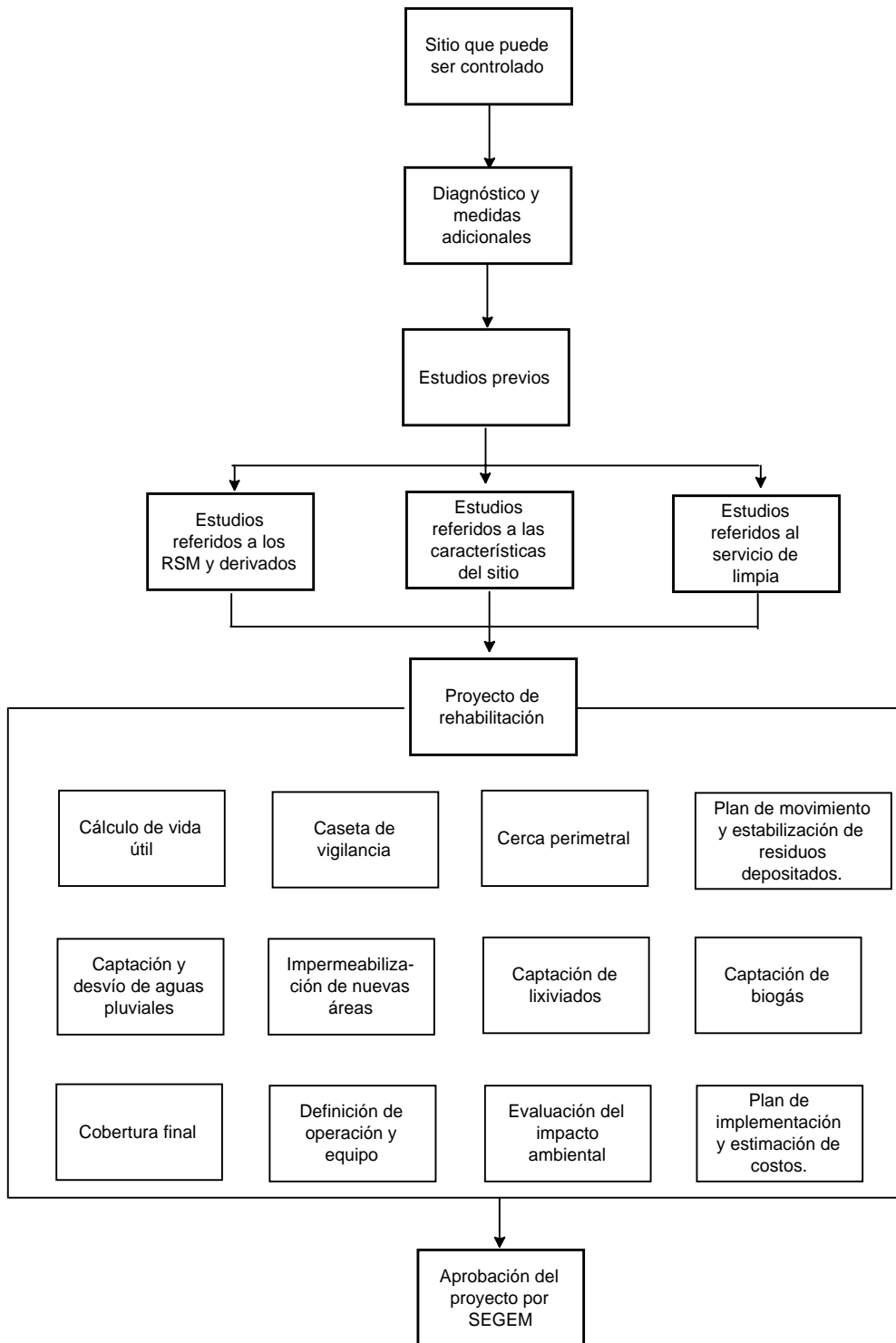


Figura 3: Diagrama de flujo para la elaboración del proyecto de rehabilitación

3.2 Estudios previos

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

Estudios previos

Los estudios previos tienen relación con:

- los RSM y derivados
- las características del sitio
- al servicio de limpia en su totalidad.

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

Estudios referidos a los RSM y derivados

Análisis de generación y composición de residuos sólidos municipales. Ya que un sitio rehabilitado y transformado a uno controlado continua recibiendo RSM, 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 volumétrico, composición por fracciones de subproductos, así como las características físicas y químicas.

En los municipios menores, de forma especial, se puede aplicar información disponible de otros municipios, que presenten características similares. La SEGEM cuenta con estos datos, pero antes de su aplicación se requiere de la autorización por dicha Secretaría para verificar en conjunto que datos pueden ser aplicados y en que forma. La aplicación permite reducir los costos de un estudio primario. Pero se debe tener presente que la decisión la toma la SEGEM considerando las opiniones de sus técnicos y los municipios. El resultado puede ser:

- Realizar un nuevo estudio de generación y composición de acuerdo con la normatividad mexicana aplicable⁴ (NMX-AA-61-1985, NMX-AA-15-1985, NMX-AA-22-1985)
- Aplicar los parámetros básicos disponibles (generación per cápita diaria, composición de subproductos) y multiplicarlos por la cantidad de habitantes del municipio según estrato social (ver Anexo I)
- Aplicar los parámetros disponibles y complementarlos con estudios primarios.

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. Se recomienda buscar un consenso con la SEGEM sobre la necesidad del estudio.

Análisis de biogás. La caracterización del biogás permitirá conocer su composición (elementos y compuestos) y el nivel de riesgo presente en el sitio, incluyendo la eventual presencia de vapores orgánicos tóxicos en el biogás. Esta información permitirá definir el potencial aprovechamiento del gas, así como obtener los parámetros de diseño de los sistemas de captación y control. Se recomienda buscar un consenso con la SEGEM sobre la necesidad del estudio.

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

⁴ NMX-AA-61-1985 Determinación de la generación
 NMX-AA-15-1985 Método de cuarteo
 NMX-AA-22-1985 Selección y cuantificación de subproductos

relación a la ubicación del tiradero (a una distancia de 500 a 750 m del tiradero). 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:

Topografía: Primeramente 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.

Geofísica y geohidrología: Dadas las particularidades y la forma en que se opera un tiradero a cielo abierto, es difícil que se cuente con un informe relativo a las características geológicas y geohidrológicas del sitio.

Estudios regionales y/o zonales se pueden encontrar en las oficinas locales de la Comisión Nacional del Agua (CNA) o del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), ya sea que se tengan estudios preliminares o datos de pozos cercanos, para establecer la existencia de acuíferos en la zona, gasto, profundidad, dirección de flujo, entre otras características.

Estudios
referidos a las
características
del sitio

En caso de que no se disponga de información, es necesario generarla. El estudio geofísico, consta de sondeos eléctricos verticales (SEV's), determinando la resistividad en campo y posterior interpretación de resultados que permiten conocer el subsuelo con buena aproximación.

Mecánica de suelos: Las propiedades mecánicas de los suelos tienen gran influencia en el comportamiento de diversos fenómenos presentes en los tiraderos 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, calculando altura máxima, potencial de infiltración de lixiviados, espesor de suelo de intercambio, entre otros.

Climatología y meteorología: La precipitación pluvial como un factor importante en 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.

Diagnóstico breve del Servicio de Limpia de la localidad. Se realizará una descripción de cada una de las etapas que constituyen el Servicio de Limpia de la localidad, como son: almacenamiento temporal, barrido, recolección, transferencia, tratamiento y, con especial énfasis, la disposición final.

Estudios
referidos al
servicio de
limpia

En el caso de la disposición final es necesario hacer un diagnóstico de la actual situación ambiental, para lo cual se requiere describir:

- Medio físico: Resumen breve de los datos de topografía, hidrología superficial, geología y geohidrología, edafología, climatología y meteorología.
- Características del sitio, tales como dimensiones del terreno, forma de operación, si cuenta con maquinaria y equipo, instalaciones, residuos depositados, personal empleado, estimación de la vida útil del sitio, contaminación por lixiviados, riesgo potencial debido a la generación de biogás, análisis de afectaciones a la salud pública.
- Descripción de la operación en el sitio, incluyendo la presencia y actividad de pepenadores dentro del sitio.

Nota: *los estudios previos se consideran importantes para realizar el proyecto de ingeniería para la clausura; sin embargo, la SEGEM puede considerar que algunos de ellos no se realicen dependiendo de las características que presente el tiradero a cielo abierto (dimensiones, ubicación, impacto ambiental y social).*

3.3 Rehabilitación del sitio

La rehabilitación de los tiraderos a cielo abierto tiene la finalidad de disminuir y mitigar los impactos al ambiente, mejorar la imagen del sitio y la operación del mismo pero bajo condiciones controladas. Esto no significa el cumplimiento total con los requisitos de la NOM-ECOL-083-1996, aunque estos deben considerarse en la toma de decisiones. El no cumplir con estos requerimientos aún puede significar la realización de medidas adicionales para compensar las deficiencias.

Proyecto de
rehabilitación

Los criterios básicos para considerar la rehabilitación de un tiradero a cielo abierto son tres:

- a) Cumplir con los requisitos fijados por la NOM-083-ECOL-1996 (Ver Anexo II)
- b) Tener una vida útil que justifique la inversión en la rehabilitación.
- c) Compromiso de las autoridades municipales y encargados del servicio de limpia para rehabilitar el sitio, operándolo bajo las formas y criterios que la SEGEM establezcan como adecuados.

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

Cálculo de vida útil. Este cálculo es importante para tomar la decisión, con base en un análisis costo - beneficio, y si la inversión para la rehabilitación justifica la continuidad en el uso del sitio para disposición final. Las inversiones relacionadas a 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 5 años. Los parámetros para el cálculo de la vida útil son: volumen disponible, densidad que se puede alcanzar con la compactación y cantidad de RSM ingresados por día.

Para el cálculo del volumen disponible se requiere de los datos del estudio topográfico. Para la densidad se necesita conocer el tipo de maquinaria y forma de operación en el sitio. La cantidad de residuos a ingresar esta en función de la generación y el porcentaje de recolección de los residuos generados.

Cálculo de vida
útil

Infraestructura. Para la rehabilitación de los tiraderos no es posible aplicar todas las medidas de infraestructura necesaria de un relleno sanitario, especialmente la impermeabilización por debajo del material ya depositado, ya que esto es posible a través de tecnologías 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 RSM, puede recomendarse instalar a un lado una bascula para llevar un control. Además permite que vigilancia tenga un control de las personas y vehículos que entran al sitio.

Caseta de
vigilancia

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

Cerca perimetral

Con el levantamiento topográfico de la zona se definen las áreas que ya no serán utilizadas para disposición final. Estas deberán clausurarse conforme al *Capítulo 4* de este manual.

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.

Plan de movimiento
y estabilización de
residuos
depositados.

- *Movimiento de residuos sólidos:* consiste en empujar los RSM que se encuentran esparcidos sobre el terreno, hacia el área destinada para la conformación de la celda, de manera que se aproveche de mejor manera el terreno disponible.

- *Conformación de los residuos en la menor área posible*, mediante la construcción de celdas o capas, de acuerdo al método seleccionado. En esta actividad se emplea maquinaria, manejando capas de 0.3 a 0.5 m de espesor de RSM con el fin de darles compactación.

Frecuentemente es necesario estabilizar el tiradero ya que se presentan pendientes fuertes con material poco compactado o por que el tiradero mismo se fue creando a lo largo de una pendiente. Las Figuras 4 y 5 muestran fotografías de una pendiente antes y después de una estabilización. Las pendientes optimas no deben pasar de una relación de 1:2.

Proponer y seleccionar el método de operación para la rehabilitación del sitio requiere de evaluar las características y condiciones en que se encuentren depositados los RSM en el terreno, con la finalidad de que se efectúe el menor movimiento de residuos y aprovechar al máximo el volumen disponible. Experiencias prácticas muestran que una compactación posterior es muy limitada, solamente alcanza para los últimos 30 a 50 cm depositados.

Las características naturales y artificiales de la zona alrededor del tiradero 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 (por la vista de dirección del flujo) para 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 calculo de la dimensión de los drenes se tiene que considerar el área de influencia (cuenca hidrológica).

Captación y desvío de aguas pluviales



Figura 4. Metepec antes de la rehabilitación.



Figura 5: Metepec después de la rehabilitación.

En los casos en el que el sitio permite todavía una extensión horizontal, en estas áreas se deberán aplicar los mismos métodos de ingeniería de *impermeabilización* que en un relleno sanitario. Conforme a la normatividad vigente en materia de sitios de disposición final, 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 (tepetate) 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 1:1,000.

Impermeabilización de nuevas áreas

Cuando el agua percola a través de varios materiales, remueve algo de sólidos, teniendo 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 (ver [Figura 6](#)). 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.

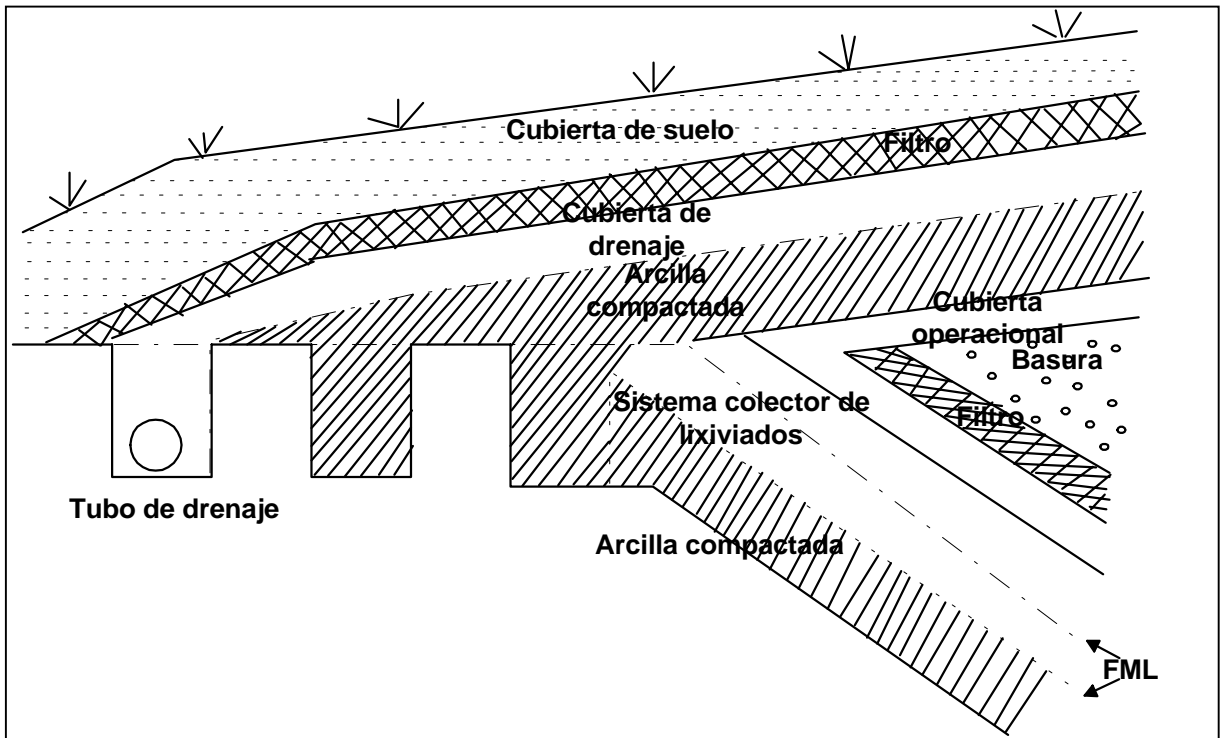


Figura 6: Sistema de impermeabilización y dren para lixiviados (Fuente: Mc Bean, Rovers & Farquhar. *Solid waste landfill. Engineering and design*; 1995).

Los lixiviados generados en un tiradero, en su mayor parte se infiltran en el subsuelo, contaminando las aguas subterráneas. Esta infiltración no puede impedirse posteriormente, principalmente por razones económicas ya que sería necesario remover todos los residuos que ya han sido depositados. Sin embargo, la generación de lixiviado se puede reducir considerablemente si se desvían las aguas pluviales (ver arriba) y el cierre del sitio con material impermeable (ver parte referida a la clausura). Los lixiviados que tienen salida lateral deberán ser captados de la misma forma que los generados en la zona de ampliación (rehabilitación) y ser evacuados.

Existen varias opciones para el tratamiento de lixiviados y la selección depende de la caracterización final del lixiviado. Las opciones pueden ser descar-

gar a una planta de tratamiento de lixiviados (por ejemplo una laguna de evaporación) o recirculación a las celdas del sitio de disposición final. Este último procedimiento tiene el beneficio de acelerar la estabilización de los materiales orgánicos presentes, aunque no elimina la necesidad final de tratamiento, aunado a que existen límites físicos para la absorción de líquidos por el cuerpo de los residuos sólidos. 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 que se producen 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, teniendo un riesgo de explosión si su concentración va del 5 al 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 RSM depositados tengan un alto contenido de materia orgánica,
- Cuando en los planes del uso futuro del sitio se tenga considerado el acceso al público,
- 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, y
- Cuando la presión del biogás sea tal que ocasione una fuerte migración lateral y/o afecte a la vegetación que rodea al sitio.

Para el control del biogás en los sitios clausurados existen tres modalidades, presentadas en la Tabla 3:

Tabla 3: Formas de control de biogás en sitios clausurados

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

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. No es muy recomendado, ya que no favorece el control de salida, pudiendo ser una fuente de malos olores e incluso explosiones. Además es un punto de ingreso de agua de lluvia al interior de las celdas.

Sistemas para respiraderos y descarga de gases.

Los sistemas indicados en la Figura 7 pueden instalarse después de aplicar la cubierta final del sitio, excavando un pozo desde la superficie hasta llegar al cúmulo de residuos. Posteriormente el pozo se rellena con cascajo o piedra (no caliza, ya que se puede disolver con los gases ácidos) y conectada a la capa de base permeable por debajo del revestimiento mineral de la cubierta de sellado superior. El gas se puede incinerar en el mismo sitio con un quemador simple o recolectarse y conducirse por un tubo flexible (de PVC o PEHD) hasta las instalaciones que lo utilizarán o bien hasta un quemador central.

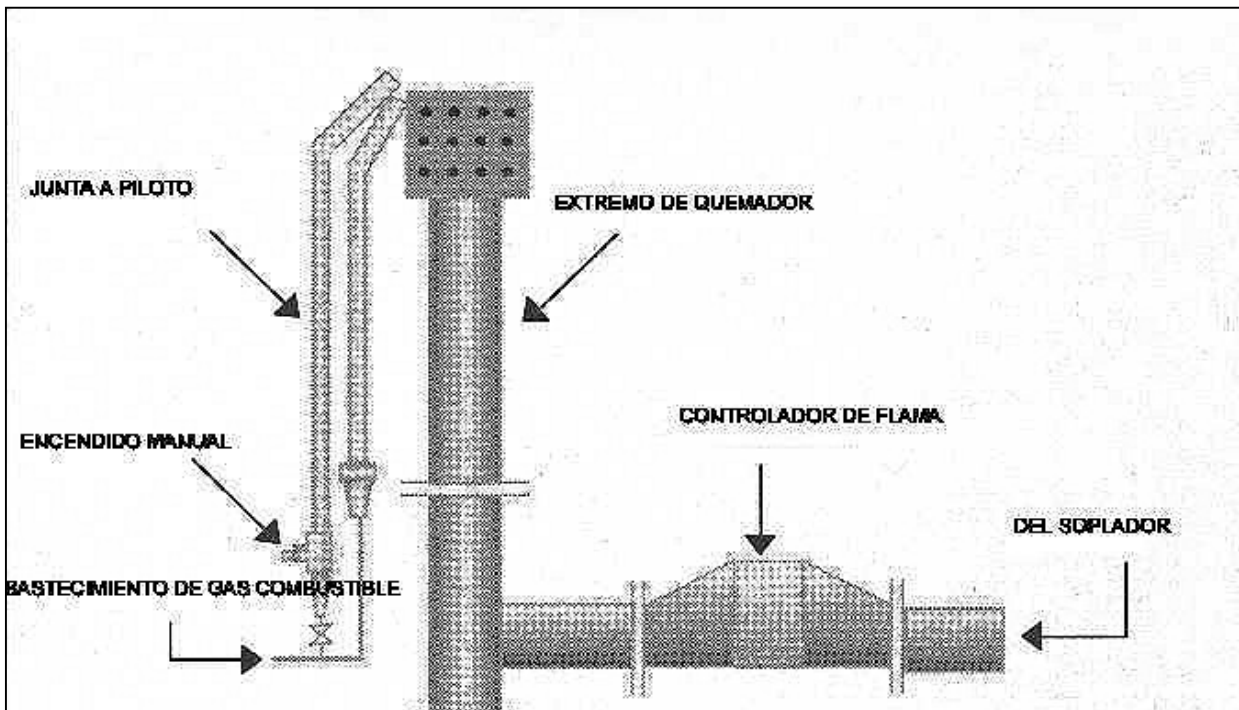


Figura 7: Respiradero de gas con quemador simple (Fuente: *A guide for methane mitigation projects*, EPA)

Es importante que las tuberías tengan la suficiente inclinación siguiendo 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, dejándolo crecer paralelamente al desarrollo de la celda del relleno. Las [Figuras 8 y 9](#) muestran algunos ejemplos de pozos de captación de biogás.



Figura 8 y 9: **Sistemas simples de captación de biogás** (Fotografía: G. Wehenpohl)

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. En la Figura 10 se presenta un esquema de pozo típico.

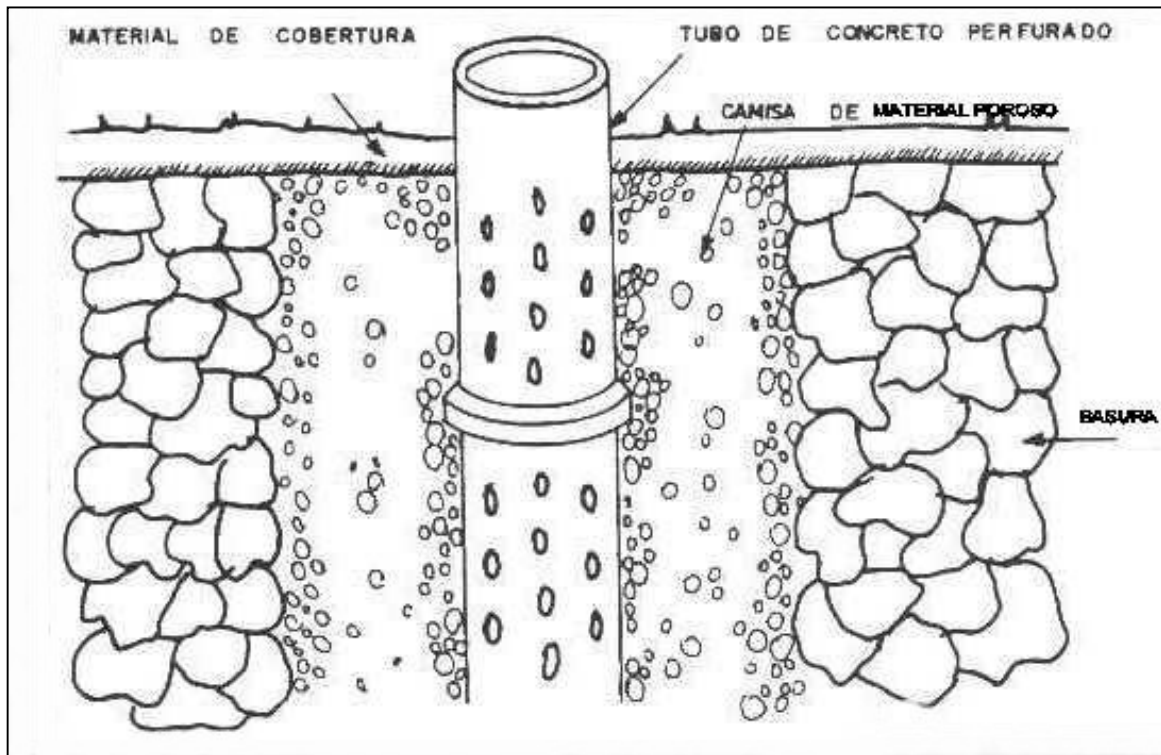


Figura 10: Pozo con estructura de malla

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.

Definición de
operación y
equipo

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. La Tabla 4 presenta una comparación entre métodos (ver página siguiente).

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. La Tabla 5 muestra alguna de la maquinaria que puede ser empleada.

Así mismo, se recomienda la elaboración de un Manual de Operación específico para cada sitio de disposición. En el 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.

En el Anexo III se encuentra una propuesta del contenido mínimo para un Manual de Operación.

Tabla 4: Comparación de los métodos de operación de un relleno sanitario

MÉTODO	FORMA DE OPERACIÓN	TIPO DE TERRENO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Trinchera	Depósito de los RSM sobre un talud de la trinchera (3:1), donde son esparcidos y compactados con equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que será cubierta con el material excavado de la trinchera.	En terrenos donde el nivel freático es profundo. Pendientes de terreno suaves. Se recomienda para suelos de fácil excavación.	Permite incrementar la vida útil del sitio de disposición.	Requiere de equipo de excavación y movimiento de tierras. La preparación del terreno requiere de mayor preparación previa (impermeabilización). Se requiere de un estudio geohidrológico previo para diseñar la construcción y preparación de celdas. Requiere de un sistema de captación, tratamiento y manejo de lixiviados. Exige de un sistema de bombeo de lixiviados hacia las celdas.
Área	Depósito de los RSM sobre la superficie o talud inclinado, compactándose en capas inclinadas para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.	De empleo en cualquier terreno disponible, o bien cuando no se requiera o pueda excavar zanjas.	Aprovecha la protección natural que el suelo presenta. Mayor compactación que en otros sistemas.	Se requiere de transportar el material de cubierta al sitio del relleno sanitario. El costo de operación esta en función de la distancia del banco de material de cubierta. Presenta un mayor impacto al paisaje natural del entorno. Requiere de un sistema de captación, tratamiento y manejo de lixiviados.
Combinado	Por lo general se inicia con una rampa de inicio y se continúa con método de área, o bien, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formando una trinchera la cual también podrá ser ocupada.	Cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio son propias.	De los dos métodos anteriores. Se considera un método eficiente pues permite ahorrar el transporte de material de cubierta. Aumenta la vida útil del sitio.	Requiere material de cobertura externa, a menos que el diseño de construcción y operación permita la igualdad de volúmenes de extracción y de cobertura. Requiere de un sistema de captación, tratamiento y manejo de lixiviados.

Fuente: Adaptado de Manual de lineamientos para la operación de rellenos sanitarios en las ciudades medias de la República Mexicana. SEDESOL.

Tabla 5: Maquinaria empleada en rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Bulldozer o tractor de orugas	Movimiento y conformación de los RSM Realiza funciones de despalme, nivelación de terreno, excavaciones y movimiento de tierras, etc.
Traxcavo	Cargar y depositar materiales sobre camiones de transporte
Retroexcavadora	Excavación de material a una mayor profundidad, recoger material suelto, cargar camiones de transporte con material
Traílas	Acarreo y transporte de material
Motoconformadora	Nivelado y alzado de la superficie del terreno Construir zanjas y cunetas, realizar empujes, etc.
Compactadores cilíndricos	Compactación de material, generalmente cubierta de residuos sólidos

En lo referente al Estudio de Impacto Ambiental, las autoridades de la SEGEM tienen un formato único para la presentación de Manifestación de Impacto Ambiental para el establecimiento de Rellenos Sanitarios (ver Anexo IV), independientemente de las dimensiones de la obra proyectada, previa presentación de un Informe Preventivo para emitir una resolución referente a si requiere desarrollar Manifestación de Impacto Ambiental o no. Por lo general este estudio lo realiza un especialista externo al municipio.

Evaluación del
impacto
ambiental

El contenido mínimo que se pide para la evaluación de Impacto Ambiental esta integrado por: a) contexto del proyecto, tanto en el ámbito natural como social; b) descripción del ambiente receptor; c) análisis de impactos; d) prevención y atenuación de impactos detectados; e) monitoreo de impactos residuales y f) acciones compensatorias. Aquí es importante resaltar el beneficio ambiental y social al realizar las obras de rehabilitación del tiradero.

Para la aprobación del proyecto de rehabilitación y recuperación del tiradero y transformarlo en un sitio de disposición final controlado, se requiere de la descripción de las acciones a realizar en tiempo, así como los recursos (humanos, materiales y financieros) por aplicar para tal fin.

Plan de
implementación
y estimación de
costos.

3.4 Aprobación del proyecto de rehabilitación

Una vez elaborado el proyecto de ingeniería para la rehabilitación de un sitio de disposición de RSM inadecuado y el Informe Preventivo de Impacto Ambiental, las autoridades municipales podrán someter este a la autorización de obras ante la SEGEM.

Aprobación del
proyecto por
SEGEM

Dicha entidad cuenta con un periodo de 30 días hábiles después de la entrega de la documentación completa para emitir su respuesta y observaciones al respecto, quedando asentado que se realizará una supervisión constante de las obras proyectadas.

4. Clausura y saneamiento de un tiradero

La clausura del sitio de disposición final debe entenderse como la suspensión definitiva del depósito de residuos sólidos por el agotamiento de su vida útil, a sus efectos de contaminación al ambiente o bien a las molestias y daño a la salud pública.

El proyecto de clausura, lo mismo que el de rehabilitación, requiere de la información que arrojen los estudios previos. El flujo de actividades para la clausura está representado en la Figura 11.

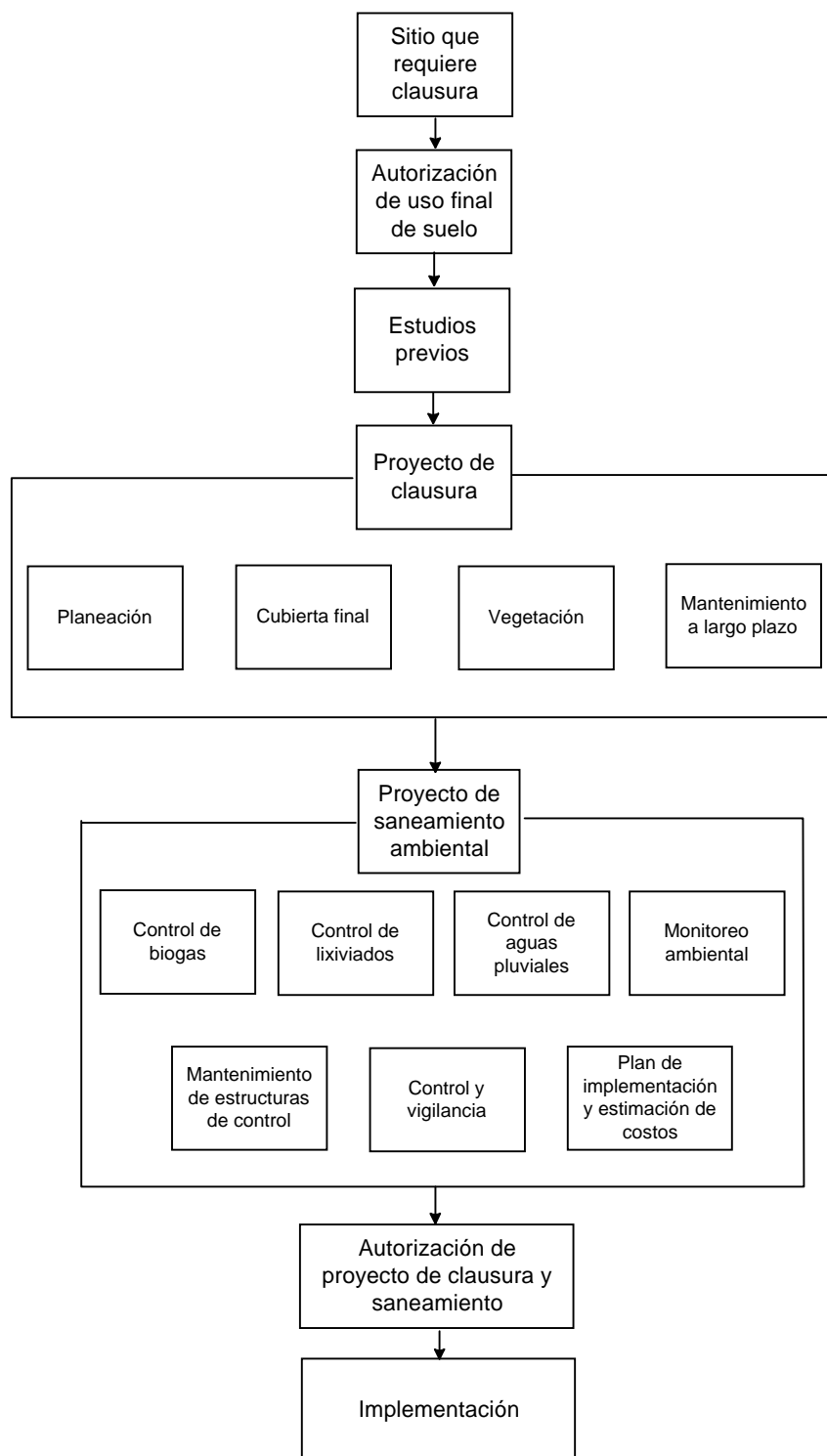


Figura 11: Proceso para la clausura y saneamiento de sitios de disposición final

4.1 Uso final del suelo

Los planes de clausura deben ser congruentes con el uso final del suelo que haya sido autorizado, así como reducir los impactos de los residuos sólidos y sus subproductos a través de los años a través de acciones de saneamiento ambiental, por lo que se debe contemplar la prevención de:

- infiltración del agua pluvial hacia el interior de los residuos sólidos,
- erosión de la cubierta final,
- fuga incontrolada de biogás
- fuga incontrolada de lixiviados y su tratamiento,
- contaminación de las aguas subterráneas, y
- lograr la estabilidad mecánica de los residuos sólidos depositados.

Los sitios utilizados como rellenos sanitarios, una vez clausurados y acondicionados, pueden ser utilizados como parques y recreación, jardines botánicos y áreas de estacionamiento. Sin embargo, el uso final de estos sitios como áreas verdes es lo más común.

Después la clausura el sitio tiene que pasar un periodo de estabilización que va de 6 a 10 años. Durante este tiempo tiene que ser controlado y adecuado periódicamente. En este mismo tiempo no se debe realizar construcciones concretas en este sitio.

4.2 Estudios previos

Haciendo uso de la información resultante de los estudios previos, revisada en puntos anteriores, se conceptualizará el proceso de clausura de tiraderos, bajo el entendido de que no se cuenta con un control operativo adecuado, por lo que algunas de las acciones a seguir tienen que ver con la construcción de estructuras de control para lixiviados, biogás, agua pluvial entre otros.

Autorización
de uso final
de suelo

Estudios
previos

4.3 Anteproyecto

Basado en los estudios previos se recomienda la elaboración de un anteproyecto, que presente las alternativas que existen con el fin de buscar un consenso sobre éste con las autoridades estatales y municipales. El anteproyecto permita evitar errores en la elaboración del proyecto ejecutivo.

4.4 Proyecto de clausura

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

- a) Recopilación y procesamiento de resultados e informes de los estudios previos
- b) Elaboración del diagnóstico ambiental de las condiciones actuales del sitio, 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 pepenadores, mediante un análisis sociológico.
- e) Notificación a los usuarios del sitio de disposición final de la ubicación del nuevo sitio.
- f) Eliminación de la fauna nociva, antes de iniciar el movimiento, compactación y sellado de los residuos sólidos mediante un programa de fumigación y eliminación de roedores, insectos y aves.

Las actividades recomendadas para efectuar antes de la clausura del sitio de disposición final son:

- Revisar los planos de clausura
- Preparar las cédulas de registro del cierre
- Preparar la calendarización final de las actividades de clausura

Proyecto de
clausura

Planeación

- Notificar a la institución reguladora
- Notificar a los usuarios del sitio (municipio y/o privados).

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 ejecutivo de clausura, se llevarán a cabo las actividades siguientes:

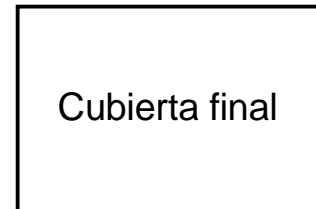
- Levantamiento de un cercado o estructura adecuada para limitar el acceso.
- Colocar un letrero en donde se indique que el sitio está clausurado y la localización del nuevo sitio para la disposición de los RSM.
- Colectar los materiales ligeros que se encuentren dispersos en el lugar.
- Conformar de acuerdo a 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 térreo seleccionado.

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

- Construcción y/o terminación de las obras de drenaje y control de escurrimientos.
- Continuar las obras de control de biogás y lixiviados, así como de monitoreo de aguas subterráneas y biogás.
- Instalación de dispositivos para la detección de asentamientos diferenciales (hundimientos).
- Instalar el espesor y características requeridas para el material de cubierta final sobre el sitio de disposición final clausurado.
- Colocación de la cubierta vegetal indicada en el proyecto de clausura.

- Construcción y/o adecuación de las instalaciones para mantenimiento y control del sitio clausurado (caseta de control, cerca perimetral).

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. Un sistema de cobertura final debe ser construido para que cumpla con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja.



La cobertura de los residuos deberá considerar los siguientes aspectos:

- a) Disponibilidad del material de cobertura, a través del cálculo de volúmenes de material a utilizar y así localizar el (los) banco (s) de material.
- b) La selección del banco de material siempre que éste tenga un coeficiente de permeabilidad de 1×10^{-5} a 1×10^{-7} cm/s, cuente hasta con un 10% de finos y del 90-100% de gravas o arenas, que sea compactable, con un 25-50% de porosidad y cercano al sitio.
- c) La altura que los residuos sólidos depositados han alcanzado dentro del sitio.
- d) La compactación que la basura ha tenido a lo largo del tiempo en que se ha ido depositando, en toda la superficie del sitio.
- e) Los ángulos de inclinación que presentan los taludes de la conformación final de residuos sólidos depositados en el sitio.

Las características de la cobertura final de clausura tendrán las siguientes especificaciones (ver Figura 12):

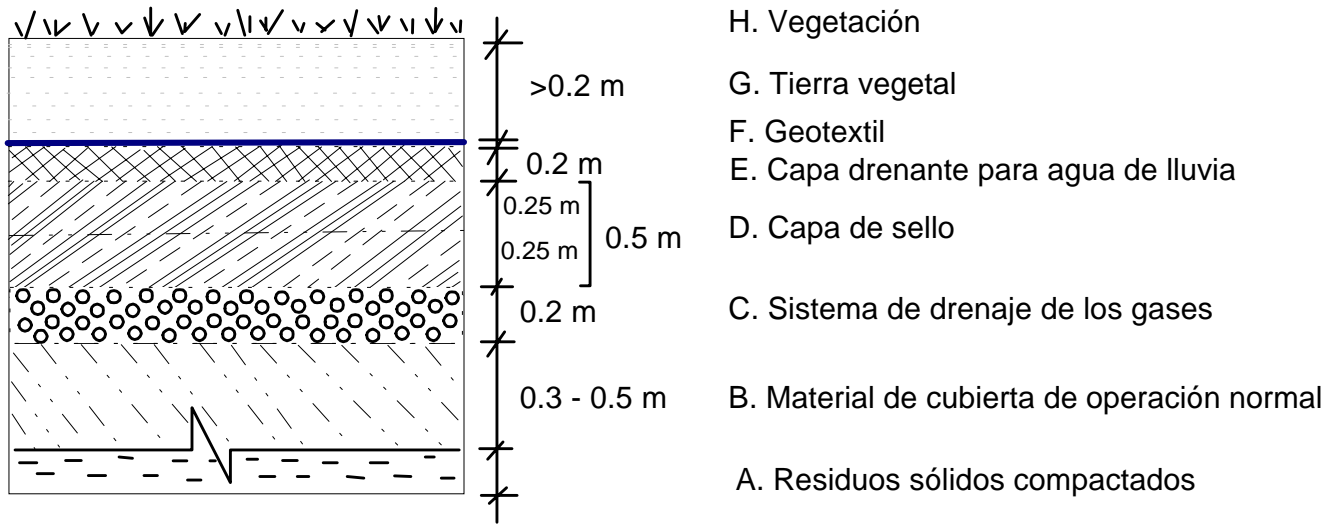


Figura 12: Diseño de la cubierta final

- A. *Residuos sólidos.* Esta última capa debe estar bien compactada antes de colocar el material de cubierta siguiente, pues será la base estructural para la clausura.
- B. *Material de cubierta de operación normal.* En la superficie de la última capa de residuos se coloca una capa de material cuyo espesor deberá ser mayor de 0.2m.
- C. *Sistema de drenaje de los gases.* Éste contendrá grava arenosa o material producto de escombros de construcción, que tienen buena permeabilidad para el biogás generado. Así que esta capa funciona como un sistema de drenaje, a través del cual el biogás migra a los sistemas de venteo. Este material debe de ser compactado para constituir un buen fundamento de las capas de sello siguientes. Se considera que esta capa permeable debe de colocarse para sitios donde la altura de los residuos sólidos depositados alcanzó más de 6 m.

- D. *Capa de sello*. Sobre la capa de drenaje se coloca la capa de sello, la cual debe constituir una barrera de baja permeabilidad. Esta barrera minimiza a largo plazo la infiltración de líquidos y es parecida al sistema de impermeabilización que se coloca en el fondo del relleno (dos capas de material arcilloso de 0.25 cm de espesor, con una permeabilidad de 1×10^{-6} cm/s).
- E. Después de la cubierta impermeable, se coloca 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 al 3%. Tomando en cuenta que el cuerpo de los residuos sólidos tiene un proceso de asentamiento durante varios años después de la clausura, la pendiente del 3% reduce la necesidad de arreglos posteriores para conformación estructural.
- F. Se recomienda el uso de un *geotextil* después de la capa drenante, con el fin de evitar la saturación de los poros de la capa permeable y minimizar la erosión.
- G. La cubierta superior del sitio esta constituida por una cubierta de *tierra vegetal*, cuya función es la de 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 el 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 la plantación de árboles y/o arbustos, se puede requerir hasta espesores de 1 m. Las pendientes finales de la estructura deben ser mayores del 2%, en función del avance de la estabilización de los residuos.

H. Las características deseables de la *vegetación* que se coloca sobre la última capa de tierra vegetal son: raíces poco profundas, de rápido crecimiento, resistentes al biogás, capaces de soportar la falta de agua y que se extiendan horizontalmente sobre el área. Debe evitarse que las raíces penetren y dañen las capas de clausura que se encuentran más abajo. Algunas de las especies de pastos que presentan estas características están descritas en la Tabla 6 (ver página siguiente).

Vegetación

Este mantenimiento esta en función del uso final del sitio, ya que la mayoría de los sitios tendrán sistemas de control y monitoreo de biogás y lixiviados que requerirán de una continua atención. Otras instalaciones que requerirán un grado de atención continua son las instalaciones de control de drenaje y el control de la erosión.

Mantenimiento
a largo plazo

Este periodo de pos clausura abarcará como mínimo 25 años. Las actividades básicas consideradas son:

- Seguimiento al programa de mantenimiento para la cubierta final del sitio y las instalaciones para el control ambiental.
- Identificación de posibles problemas de contaminación
- Asegurar el funcionamiento de los sistemas de monitoreo ambiental: biogás, lixiviados, aguas subterráneas y estabilidad de taludes.

Tabla 6: Características de los pastos y semillas más comunes

NOMBRE COMÚN	NOMBRE BOTÁNICO	CARACTERÍSTICAS	GERMINACIÓN MÍNIMA %	No. APROX./KG	SEMILLA NECESARIA (G/M ²)
Agostide	<i>Agostis stolonifera</i>	Forma césped denso, soporta suelos ácidos.	90	12000	2.5 – 3
Popotillo azul	<i>Andropogon scoparius</i>	Apropiada para fijar taludes, funciona como soporte.	60	600	40 – 50
Bromo Suave	<i>Bromus inermis</i>	Perenne de desarrollo aéreo y radicular.	90	400	40
Rodas	<i>Chloris gayana</i>	De talla elevada, fuerte, excelente colonizadora.	75	4500	7 – 10
Bermudas	<i>Cynodon dactylon</i>	Perenne de talla pequeña, muy agresiva.	90	4000	7 – 10
Pata de gallo o graminea de huerto	<i>Dactylis glomerata</i>	Planta rústica	85	1500	15 – 20
Cañuela de oveja	<i>Festuca ovina</i>	Soporta frío y cualquier tipo de suelo.	80	1400	15 – 20
Festuca roja	<i>Festuca rubra</i>	Céspedes densos, para suelos calizos.	85	1300	15 – 20

4.5 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.

Proyecto de
saneamiento
ambiental

En lo que se refiere a las obras de control de biogás, lixiviados y aguas pluviales, éstos se han detallado en el capítulo referente al proyecto de rehabilitación de tiraderos.

El establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental en un sitio clausurado debe ser un instrumento de vigilancia de las condiciones que pueden afectar a la salud pública o al ambiente.

Monitoreo
ambiental

Existen dos tipos básicos de monitoreo que son el periódico y el continuo. Dependiendo del objetivo del programa de monitoreo y de las condiciones específicas, se deberá seleccionar alguna de las opciones mencionadas para cada uno de los parámetros de interés.

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, identificando cualquier cambio estadísticamente significativo, y principalmente detectar aquellos parámetros con valores mayores que los de los criterios permitidos.

Parámetros:

pH
Oxígeno disuelto
Conductividad eléctrica
Metales pesados (Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Ag, Tl, V, Zn)
Demanda Química de Oxígeno
Demanda Bioquímica de Oxígeno

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 mensual durante los primeros cuatro años después de cerrado el sitio. Después se recomienda dos veces al año.

Biogás: El monitoreo debe realizarse en programas trimestrales para identificar cualquier problema antes de que ocurra, facilitando las acciones correctivas.

Partículas aerotransportables: Mediciones semestrales los primeros dos años de cerrado el sitio se consideran suficientes. La revisión anual posterior permitirá contar con una vigilancia certera.

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.

Parámetros:

pH
Demanda Química de Oxígeno
Demanda Bioquímica de Oxígeno
Conductividad eléctrica
Metales pesados

Parámetros:

Composición (metano, bióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno)
Temperatura ambiente
Presión barométrica
Precipitación pluvial durante el muestreo
Explosividad y toxicidad
Flujo

Parámetros:

Partículas suspendidas totales
Partículas biológicas viables

Parámetros:

Principalmente metales pesados y compuestos orgánicos volátiles.

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 que en caso de que dichos problemas existan se reparen lo más pronto posible para evitar que los residuos queden al descubierto y puedan provocar problemas ambientales.

La estabilidad de taludes está considerada como uno de los factores de mayor importancia para la clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto, deberá estar acorde al tipo de residuos sólidos depositados en el sitio y el diseño conceptual de la superficie final del lugar.

Los tipos de fallas y causas más frecuentes presentadas en los taludes (superficies inclinadas respecto a la horizontal) se presentan en la Tabla 7.

Las depresiones en este tipo de obras clausuradas son comunes debido a la compactación natural que sufre la basura con el paso del tiempo, por lo que tiende a formarse en la superficie de la cubierta final una depresión. Las acciones a tomar tienen como objetivo evitar la acumulación de agua de lluvia y su infiltración.

Mantenimiento
de estructuras
de control

Tabla 7: Fallas y causas presentadas en taludes de sitios de disposición final

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

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

El control del sitio clausurado y saneado estará plasmado en el “Manual de Mantenimiento y Monitoreo” que describa en forma detallada las siguientes disposiciones:

- Métodos de control: De entrada, de bancos de material y de suministros.
- Mantenimiento de vías dentro del sitio
- Señalización informativa, preventiva y restrictiva.
- Descripción de las acciones de mantenimiento

preventivo y correctivo de estructuras y obras complementarias.

- Cronogramas de mantenimiento y monitoreo
- Programas de monitoreo ambiental
- Medidas de seguridad e higiene en el trabajo
- Acciones de urgencia
- Planes de contingencia de incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos y derrames accidentales de combustible.
- Aspectos de comunicación interna y externa.

Esta información se obtiene y adapta del *Manual de Operación del Sitio de Disposición Final*, cuyo contenido se presenta en el Anexo III.

Para la aprobación del proyecto de clausura, se requiere de la descripción de las acciones a realizar en el tiempo así como los recursos (humanos, materiales y financieros) por aplicar para tal fin.

Plan de
implementación
y estimación de
costos

Un análisis de costos comparativos está enfocado exclusivamente a las labores de clausura de un tiradero a cielo abierto, ya que las actividades de rehabilitación están en función de las características particulares que presente el sitio.

Para ello, se toman las siguientes suposiciones:

- Que la superficie de los tiraderos a cielo abierto sea más o menos regular.
- Que los costos de colocación de la cubierta final incluyen el uso de maquinaria pesada para el movimiento y conformación de residuos sólidos.
- Que la elaboración de estudios previos a la clausura, los cuales están en función de las dimensiones del sitio, de acuerdo a la Tabla 8.
- Se colocarán 2 pozos de venteo por hectárea de terreno a clausurar.
- Se colocará un sistema de captación de lixiviados

y control de aguas pluviales por sistema de drenes separados. Para lo cual se considerará que la longitud de estos colectores sea equivalente al perímetro de un terreno con geometría cuadrada.

Tabla 8: Estudios previos considerados para el cálculo de costos de clausura

SUPERFICIE (HA)	TIPO DE ESTUDIO REQUERIDO:
Menos de 10	Topográfico, climatológico.
10 – 25	Topográfico, climatológico, peso volumétrico
26 - 50	Topográfico, climatológico, peso volumétrico, análisis de: lixiviados, agua subterránea y biogás.
Mas de 51	Todos los estudios citados en el <i>punto 3</i> .

Considerando los precios de mercado para cada una de las actividades que implican la clausura de sitios, los costos son (ver Tabla 9):

Tabla 9: Estimaciones de los principales costos de clausura de tiraderos a cielo abierto

Concepto	Hectareas			
	10	25	50	100
Estudios previos	\$ 12	\$ 12	\$ 32	\$ 120
Proyecto clausura	\$ 40	\$ 40	\$ 50	\$ 60
Nivelación de terreno	\$ 159	\$ 396	\$ 793	\$ 1,586
Colocación de pozos de biogás	\$ 510	\$ 1,275	\$ 2,550	\$ 5,100
Cubierta final	\$ 6,758	\$ 20,246	\$ 40,492	\$ 80,984
Señalización	\$ 10	\$ 20	\$ 40	\$ 50
Total	\$ 7,489	\$ 21,989	\$ 43,957	\$ 87,899
<i>Costo por hectárea</i>	\$ 749	\$ 880	\$ 879	\$ 879

*** Costos en miles de pesos**

Se considera que del 89 al 91% de la inversión requerida se aplica en la movilización y conformación de residuos, aunado a la cubierta final.

4.6 Autorización del proyecto de clausura y saneamiento

Una vez elaborado el proyecto de ingeniería para la clausura y saneamiento de un sitio de disposición final de RSM inadecuado y el Informe Preventivo de Impacto Ambiental, las autoridades municipales podrán someter éste a la autorización de obras ante la SEGEM.

Autorización de
proyecto de clausura y
saneamiento

Dicha entidad cuenta con un periodo de 30 días hábiles para emitir su respuesta y observaciones al respecto, quedando asentado que se realizará una supervisión constante de las obras proyectadas.

5. Fuentes consultadas

EPA, SEMARNAP: *Seminario sobre el diseño, operación y clausura de vertederos municipales de residuos sólidos*. 12 y 13 de junio de 1995, Mexicali B.C.

Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología, DGNAT y DGPA. Comisión Ambiental Metropolitana: *Programa para mitigar las emisiones contaminantes de partículas suspendidas en el Valle de México. Proyecto para el saneamiento de sitios de disposición final de residuos sólidos: Neza I, II y III*. Enero, 1999.

Mc Bean, Rovers & Farquhar. *Solid waste landfill. Engineering and design*. Prentice Hall, New Jersey. 1995.

Oeltschner, Hansjoerg y Dieter Mutz. *Guía para un manejo apropiado de los rellenos sanitarios domésticos*. Serie Gestión Urbana No. 13. GTZ, Banco Mundial, PNUD, UNCHS.

SEDESOL: *Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto*. 1996.

SEGEM/GTZ: *Manual de Supervisión y Control de Rellenos Sanitarios*, 2000

Con apoyo de:



**Agencia Alemana de
Cooperación Técnica**