

105
24



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL
CAUSADO POR LOS RELLENOS SANITARIOS"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL -
P R E S E N T A :
ISAAC SOTO MARTINEZ -



DIRECTOR DE TESIS:
ING. ENRIQUE CESAR VALDEZ

MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi madre, excelente persona ejemplo de trabajo y honestidad; sin su apoyo y confianza no hubiera logrado cumplir este objetivo de mi vida.

A mi abuela Teresa, que es para mi una segunda madre de la cual he recibido mucho en la vida.

A mi familia, a mis hermanos Miriam y Andy que representan para mi un motivo de esfuerzo y superación.

Al Ingeniero Enrique César Valdez por toda la ayuda que me ha brindado tanto dentro como fuera de la Universidad, por ser mi profesor en varias asignaturas y mi asesor de tesis, pero sobre todo por ser un gran amigo.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su esfuerzo y dedicación a la enseñanza de la ingeniería en nuestro país.

Al Ingeniero Carlos Manuel Menéndez Martínez por todas las facilidades que me ha brindado para poder realizar este trabajo.

Al Ingeniero Ernesto Acosta y demás compañeros de trabajo, en los cuales he encontrado excelentes amigos.

Al Ingeniero Miguel Angel González por su apoyo en algunos temas de este trabajo.

A mis compañeros de la Facultad que siempre han estado conmigo y me han demostrado su amistad de manera incondicional.

**EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR
LOS RELLENOS SANITARIOS**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA DE
MEXICO
Señor
ISAAC SOTO MARTINEZ
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-203/93

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ENRIQUE CESAR VALDEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

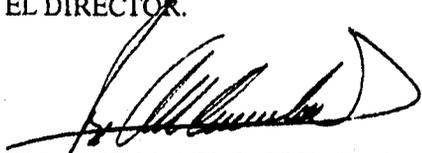
"EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LOS RELLENOS
SANITARIOS"

- I. INTRODUCCION
- II. DESCRIPCION DEL METODO DEL RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES
- III. IDENTIFICACION DE IMPACTOS TIPICOS CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS
- IV. PREDICCIÓN Y EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS
- V. MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS
- VI. CASO DE ESTUDIO:
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DE RELLENO SANITARIO PARA LA CIUDAD DE IRAPUATO, GUANAJUATO
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 08 de marzo de 1995.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

H. JMCS/RCR*nlh

INDICE

1.	INTRODUCCION	1
2.	DESCRIPCION DEL METODO DEL RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES	4
	2.1 Tipo de terreno	5
	2.2 Selección del sitio	8
	2.3 Diseño de la celda diaria	12
	2.4 Diseño de franjas	14
	2.5 Diseño de capas	14
	2.6 Material para cubierta	16
	2.7 Movimiento de tierras	18
	2.8 Impermeabilización y control de líquidos percolados	19
	2.9 Pozos de Monitoreo	21
	2.10 Sistema de captación de biogás	21
	2.11 Sistema de captación de aguas de escurrimiento	22
	2.12 Obras complementarias	24
	2.13 Equipo mecánico	25
	2.14 Control y vigilancia	26
	2.15 Conservación	28
3.	IDENTIFICACION DE IMPACTOS TIPICOS CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS	30
4.	PREDICCIÓN Y EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS	38
	4.1 Descripción de la Matriz de Evaluación	41
	4.2 Descripción de los impactos ambientales identificados	42
	4.2.1 Factores Físicos	46
	1. Procesos erosivos	46
	2. Drenaje natural	46
	3. Calidad del agua superficial	46
	4. Calidad del agua subterránea	48
	5. Infiltración	58
	6. Nivel freático	59
	7. Calidad del aire	59
	8. Calidad del suelo	68
	9. Nivel de ruido y vibración	68

4.2.2 Factores Bióticos	70
1. Cubierta vegetal en el predio	70
2. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción	72
3. Fauna silvestre	72
4.2.3 Factores Sociales	74
1. Vías de comunicación terrestre	74
2. Tenencia de la tierra	74
3. Opinión pública	74
4. Salud pública y ocupacional	75
5. Accidentes	77
4.2.4 Factores Económicos	78
1. Fuentes de empleo	78
2. Impuestos	78
4.2.5 Factores Estéticos	81
1. Paisaje natural	81
2. Olores	82
3. Basura y desperdicios	83
5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS	84
5.1 Factores Físicos	85
1. Incremento de los procesos erosivos	85
2. Contaminación del agua superficial	86
3. Contaminación del agua subterránea	87
4. Contaminación del aire	99
5. Contaminación del suelo	106
5. Elevación del nivel de ruido y vibración	106
5.2 Factores Bióticos	108
1. Eliminación de la cubierta vegetal	108
2. Eliminación de especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción	108
3. Afectación a la fauna silvestre	108
5.3 Factores Sociales	109
1. Afectación a las vías de comunicación terrestre	109
2. Tenencia de la tierra	109
3. Afectación a la salud pública y ocupacional	111
4. Accidentes	112
5.4 Factores Económicos	114
1. Incremento de impuestos	114
5.5 Factores Estéticos	114
1. Modificación del paisaje natural	114
2. Olores desagradables	114
3. Basura y desperdicios	115

6. CASO ESTUDIO: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DE RELLENO SANITARIO PARA LA CIUDAD DE IRAPUATO, GUANAJUATO	116
6.1 Aspectos generales del medio natural y socioeconómico	116
6.1.1 Rasgos físicos	116
6.1.2 Rasgos biológicos	122
6.1.3 Rasgos socioeconómicos	122
6.2 Descripción general del proyecto	123
6.3 Identificación de impactos ambientales	127
6.3.1 Lista de actividades del relleno sanitario que pueden producir un efecto significativo en el medio	127
6.3.2 Lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por las actividades del relleno sanitario	127
6.3.3 Matrices de identificación de impactos para cada etapa del proyecto	130
6.4 Predicción y evaluación de los impactos ambientales identificados	130
6.4.1 Factores Físicos	130
1. Procesos erosivos	130
2. Drenaje natural	133
3. Calidad del agua	134
4. Infiltración	143
5. Nivel freático	144
6. Calidad del aire	144
7. Calidad del suelo	148
8. Nivel de ruido	148
9. Vibración	149
6.4.2 Factores Bióticos	150
1. Cubierta vegetal en el predio	150
2. Vegetación en el medio circundante	150
3. Fauna silvestre	150
6.4.3 Factores Sociales	151
1. Vías de comunicación terrestre	151
2. Tenencia de la tierra	151
3. Salud pública y ocupacional	151
4. Accidentes	152
6.4.4 Factores Económicos	152
1. Fuentes de empleo	152
6.4.5 Factores Estéticos	153
1. Paisaje natural	153
2. Olores	153
3. Basura y desperdicios	153

6.5 Medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales identificados	154
6.5.1 Factores Físicos	154
1. Incremento de los procesos erosivos	154
2. Contaminación del agua	154
3. Contaminación del aire	155
4. Contaminación del suelo	156
5. Elevación del nivel de ruido y vibración	156
6.5.2 Factores Bióticos	157
1. Eliminación de la cubierta vegetal en el predio y en los bancos de material	157
3. Afectación a la fauna silvestre	157
6.5.3 Factores Sociales	157
1. Afectación a las vías de comunicación terrestre	157
2. Tenencia de la tierra	157
3. Afectación a la salud pública y ocupacional	158
4. Accidentes	158
6.5.4 Factores Estéticos	159
1. Modificación del paisaje natural	159
2. Olores desagradables	159
3. Basura y desperdicios	159
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFIA	166

CAPITULO 1

INTRODUCCION

La disposición final de residuos sólidos, es la última etapa del proceso que siguen a partir de su generación.

En México durante varias décadas esta actividad no representó un problema serio para las autoridades encargadas del servicio de aseo urbano, ya que a su juicio bastaba con llevar los residuos sólidos fuera de los núcleos urbanos para evitar el impacto visual y las molestias que podrían ocasionar a la población. Además, la cantidad en que eran producidos y las características de su composición permitían que los mismos residuos sólidos se reintegraran rápidamente al ciclo natural de descomposición sin ocasionar daños significativos al ambiente.

A partir de los años cuarenta, en nuestro país se incrementa notablemente la generación de los residuos sólidos y sus características se ven alteradas, como consecuencia del desarrollo tecnológico alcanzado y por consiguiente, de la explosión demográfica.

Ante estos cambios y debido a la persistencia de prácticas tradicionales de disposición de los residuos sólidos, se crean grandes tiraderos a cielo abierto sin ningún control, los cuales constituyen una grave fuente de contaminación para el agua, aire y suelo, así como un medio propicio para el desarrollo de fauna nociva que afecta la salud de la población, sin soslayar el deterioro de la estética del lugar.

Desafortunadamente, la problemática de la disposición final de los residuos sólidos antes descrita se presenta en la mayor parte de nuestro país, y se estima que actualmente de los residuos sólidos que se generan a nivel nacional, aproximadamente el 84% son depositados a cielo abierto ("Manual para la clausura de tiraderos a cielo abierto", parte I, SEDESOL 1994), mientras que el porcentaje restante se maneja por medio de rellenos sanitarios, desconociéndose hasta qué punto cumplen con las disposiciones y medidas de control que exigen las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.

El relleno sanitario es el método de ingeniería recomendado para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan en el suelo, se esparcen y se compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, ASCE, define: "Relleno Sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicios al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable y cubriendo la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria o por lo menos al fin de cada jornada".

Paradójicamente, un relleno sanitario no obstante que es una obra de ingeniería que tiene como objetivo primordial evitar los impactos ambientales que se presentan en los tiraderos a cielo abierto, no está exenta por ello de generar impactos ambientales en sus diferentes etapas, cuya importancia y magnitud está en función de la eficiencia de la obra.

En este trabajo se presentan una serie de técnicas y procedimientos para identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales que en general pueden suscitarse en un proyecto de relleno sanitario, así como, proponer las medidas de prevención y mitigación más adecuadas para este tipo de obras de ingeniería.

En el Capítulo 2 titulado "Descripción del Método del Relleno Sanitario Para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales", se describen todos los aspectos que se deben considerar en el diseño de un relleno sanitario (selección del sitio, estudios de campo, cálculo de la vida útil, diseño de celdas, obras complementarias, etc.).

En el Capítulo 3 "Identificación de Impactos Típicos Causados Por los Rellenos Sanitarios", se realiza la identificación de impactos ambientales que con mayor frecuencia se presentan en los rellenos sanitarios. Para ello, se propone una lista de actividades que comúnmente forman parte del proyecto de un relleno sanitario que pueden producir un efecto significativo en el medio, así como, una lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por dichas actividades. Ambas listas son confrontadas en una matriz de identificación de impactos ambientales para cada una de las etapas del proyecto de un relleno sanitario.

En el Capítulo 4 "Predicción y Evaluación de los Impactos Ambientales Causados Por los Rellenos Sanitarios", se propone una matriz de evaluación de impactos para cada una de las etapas del proyecto de un relleno sanitario. Además, se hace una descripción de los impactos más comunes en los factores ambientales propuestos, como consecuencia de las obras y actividades que se realizan en un proyecto de este tipo.

La descripción de los impactos en los factores ambientales, se complementa con figuras, cuadros informativos, modelos matemáticos (cálculo de la producción de lixiviados y biogás, modelo de dispersión gaussiana de gases, cálculo de niveles de ruido, etc.) y análisis cualitativos.

En el Capítulo 5 "Medidas de Prevención y Mitigación de los Impactos Ambientales Causados Por los Rellenos Sanitarios", se presentan las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes a rellenos sanitarios; además, se describen una serie de medidas de prevención y mitigación de los impactos en los factores ambientales propuestos, como consecuencia de las obras y actividades que se realizan en un proyecto de relleno sanitario.

La descripción de las medidas de prevención y mitigación propuestas, se complementan con figuras, cuadros informativos, y procedimientos constructivos y operativos definidos, tomados de la bibliografía referente a rellenos sanitarios.

En el Capítulo 6 "Caso Estudio", se presenta a manera de ejemplo el estudio de impacto ambiental del proyecto de relleno sanitario para la ciudad de Irapuato, Guanajuato. Para ello, se aplican las técnicas de identificación, predicción y evaluación de impactos ambientales descritas en los capítulos anteriores, así como las medidas de mitigación correspondientes a este proyecto real.

En el último capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de este trabajo.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DEL METODO DEL RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Como obra de ingeniería, el relleno sanitario debe ser construido elaborando un proyecto para atender determinados objetivos generales y específicos. El objetivo general es la disposición final o depósito permanente de los residuos sólidos municipales en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas y a la salud pública. Como objetivo específico, podrá obtenerse la recuperación de ciertas áreas.

De la misma forma que en otras obras, el relleno sanitario debe realizarse a partir de un proyecto que cumpla con los métodos de construcción apropiados, así como con las leyes, reglamentos y normas en materia de protección ambiental.

El diseño de un relleno sanitario debe considerar los siguientes aspectos:

1. Tipo de terreno
2. Selección del sitio
3. Diseño de la celda diaria
4. Diseño de franjas
5. Diseño de capas
6. Material de cubierta
7. Movimiento de tierra
8. Impermeabilización y control de líquidos percolados
9. Pozos de monitoreo
10. Sistemas de captación de biogas
11. Sistemas de captación de aguas de escurrimiento
12. Obras complementarias
13. Equipo mecánico
14. Control y vigilancia
15. Conservación

En los siguientes apartados se describen brevemente los aspectos más importantes por considerar, que tienen influencia en el estudio de impacto ambiental de un relleno sanitario.

2.1 Tipo de terreno

En general, existen cinco diferentes perfiles de terreno que por sus características son apropiados para la construcción y operación de un relleno sanitario y por su topografía se clasifican en:

Plano.- Es aquel terreno que presenta pequeñas pendientes como las mesetas y llanuras (0 a 5% de pendiente).

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

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

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

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

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

2.1.1 Método de trinchera

Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 1:3), donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia mínima de una vez al día esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo (fig. 2.1 y 2.2).

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

2.1.2 Método de área

El método es similar al de trinchera, consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado de la última celda, se compactan dichos residuos en capas inclinadas de 60 cm para formar la nueva 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 (fig 2.3).

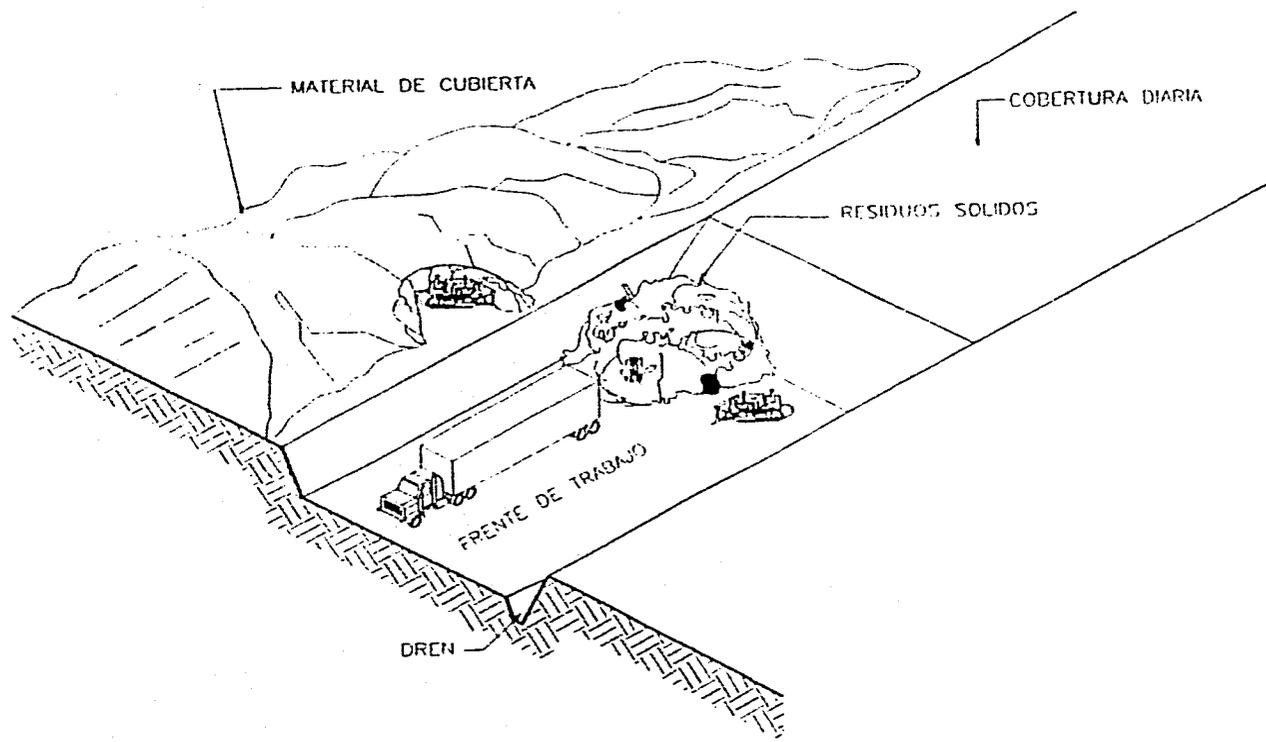
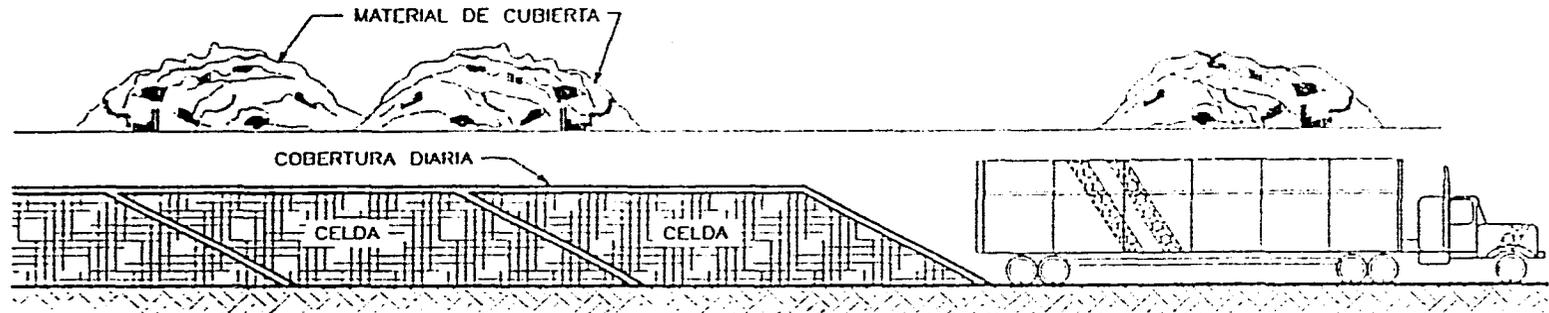
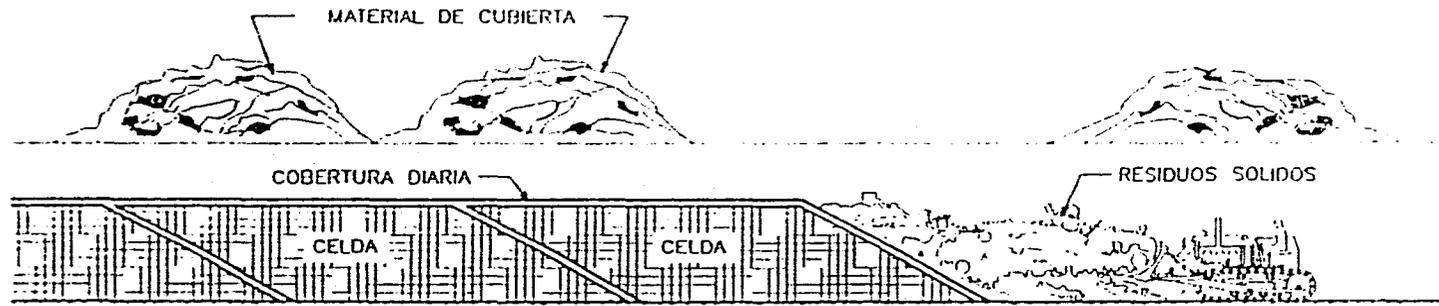


FIGURA 2.1 RELLENO TIPO TRINCHERA (VISTA EN PLANTA)



DESCARGA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN EL FRENTE DE TRABAJO



ESPARCIMIENTO DE LOS RESIDUOS CON EL EQUIPO MECANICO

FIGURA 2.2 RELLENO TIPO TRINCHERA (VISTA EN CORTE)

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

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

2.1.3 Métodos combinados

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

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

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

2.2 Selección del sitio

Las condiciones ideales que debe reunir el sitio para utilizarlo como un relleno sanitario son las siguientes:

- Ser de fácil y rápido acceso para los camiones recolectores
- Permitir su utilización por largo plazo, de preferencia superior a diez años
- Contar con una topografía tal que permita un mayor volumen aprovechable por hectárea
- Tener condiciones y características tales, que se protejan los recursos naturales
- Estar localizado de modo que el relleno sanitario no sea rechazado por la población, debido a molestias por la operación del mismo
- Disponer de la tierra para cobertura, en cantidad y calidad adecuada, dentro de las cercanías del sitio
- Contar con la documentación legal relacionada con el uso y tenencia de la tierra

Rara vez se encuentran en un terreno todas estas condiciones. El técnico debe clasificar los terrenos que reúnan buenas características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles para utilizarlos, estableciendo un orden de

preferencia para cada sitio.

Es conveniente realizar una preselección considerando tres o más sitios viables para que los técnicos responsables del proyecto hagan la evaluación y selección final de uno de ellos. El tiradero existente deberá estudiarse como un sitio alternativo que puede transformarse en relleno sanitario.

La selección del sitio es un proceso que deberá contemplar dos aspectos: el técnico y el de tenencia de la tierra.

2.2.1 Aspectos técnicos para la selección del sitio

Vida útil del sitio

El sitio deberá tener una extensión tal que, estimada una rasante de proyecto terminado, se tenga un volumen que pueda recibir desechos sólidos, durante 10 años cuando menos de operación del relleno sanitario.

Para el cálculo de este volumen se deberá tomar en cuenta la proyección futura de la población y la generación de residuos sólidos, incluyendo su tasa de crecimiento anual.

Tierra para cobertura

El relleno sanitario debe ser lo más autosuficiente en tierra necesaria para su construcción como sea posible.

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

Topografía del sitio

El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía; sin embargo, es preferible aquella en que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea, como puede ser el caso de minas abandonadas a cielo abierto e inicio de cañadas entre otros.

Vías de acceso

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

Vientos dominantes

La ubicación del sitio deberá seleccionarse de tal manera que los vientos dominantes soplen en sentido contrario a la mancha urbana, con el fin de evitar posibles malos olores, aunque si el relleno sanitario opera correctamente, el factor viento dominante puede desprejarse.

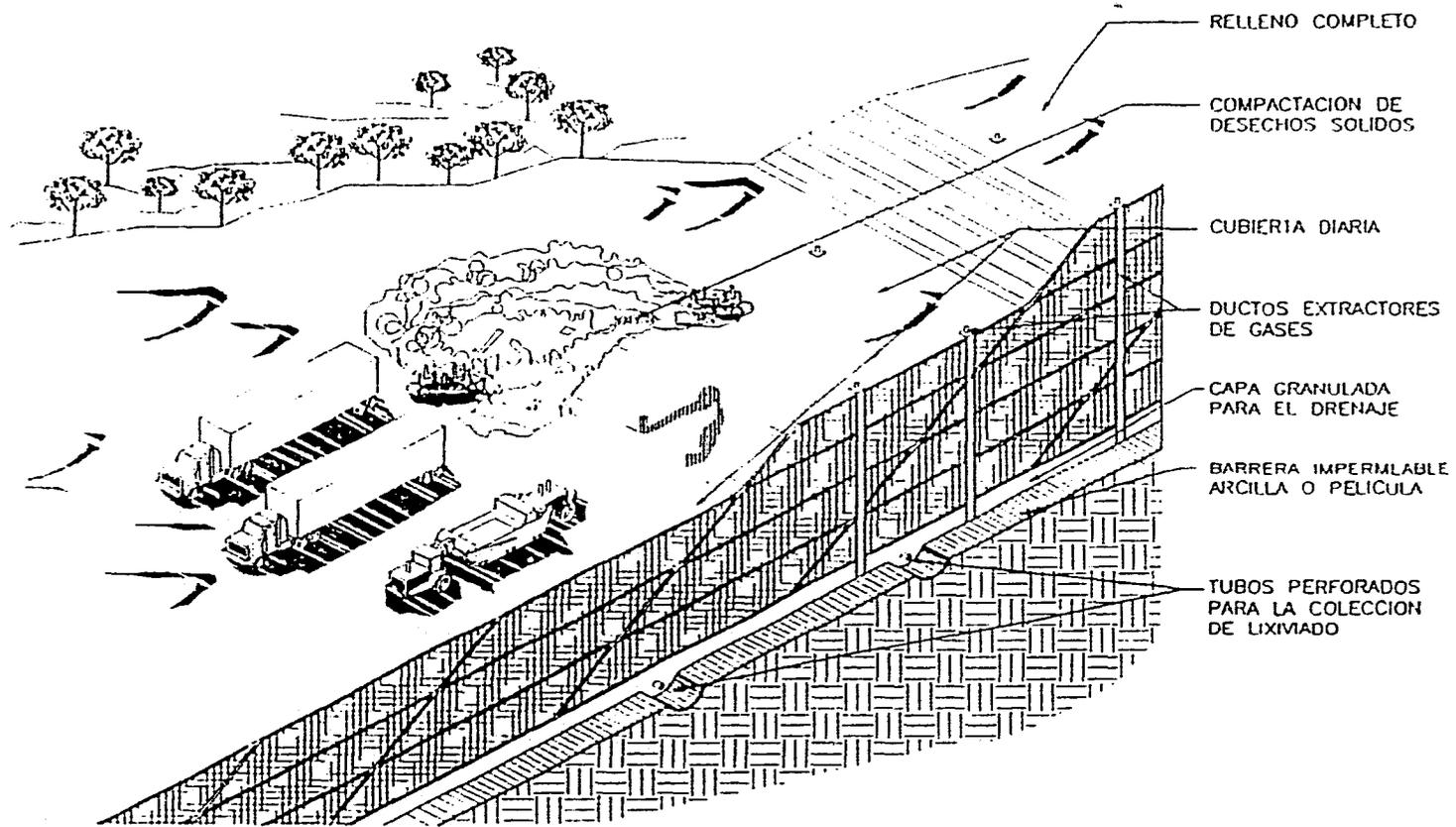


FIGURA 2.3 METODO DE AREA PARA UN RELLENO SANITARIO

Ubicación del sitio

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

Se recomienda que el sitio para el relleno sanitario esté cercano a la mancha urbana (3 kilómetros mínimo y 12 kilómetros máximo) ya que se reducen los costos de transporte y se asegura que los problemas operativos (ruido, tránsito, etc.) no afectarán a la misma.

Geología

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

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

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

Geohidrología

Uno de los factores básicos para la selección del sitio es el evitar que puedan contaminarse de los acuíferos.

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

Se deben solicitar datos geohidrológicos de la región a la dependencia correspondiente con lo cual podría evitarse realizar el estudio. La decisión de realizar o no el estudio la deberá dar un técnico especialista en la materia.

Hidrología superficial

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

2.2.2 Tenencia de la tierra

En cualquier hipótesis, un proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno (Municipio), tenga en sus manos el documento legal que la autorice a construir sobre el terreno el relleno sanitario con todas las obras

Ubicación del sitio

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

Se recomienda que el sitio para el relleno sanitario esté cercano a la mancha urbana (3 kilómetros mínimo y 12 kilómetros máximo) ya que se reducen los costos de transporte y se asegura que los problemas operativos (ruido, tránsito, etc.) no afectarán a la misma.

Geología

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

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

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

Geohidrología

Uno de los factores básicos para la selección del sitio es el evitar que puedan contaminarse de los acuíferos.

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

Se deben solicitar datos geohidrológicos de la región a la dependencia correspondiente con lo cual podría evitarse realizar el estudio. La decisión de realizar o no el estudio la deberá dar un técnico especialista en la materia.

Hidrología superficial

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

2.2.2 Tenencia de la tierra

En cualquier hipótesis, un proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno (Municipio), tenga en sus manos el documento legal que la autorice a construir sobre el terreno el relleno sanitario con todas las obras

complementarias, estipulando también el período y la utilización futura o alternativas de uso del predio.

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

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

2.3 Diseño de la celda diaria

Se llama celda a la conformación geométrica que se da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados mediante un equipo mecánico (fig. 2.4 y 2.5).

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

Los elementos de una celda son: su altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas tal como se muestran en las figuras 2.4 y 2.5.

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor de material de cubierta (tierra), de la estabilidad de los taludes y de la compactación. Mientras más altas sean las celdas, menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir los residuos y mientras menor sea la altura de las celdas, el relleno requerirá de mayor cantidad de material de cubierta.

El ancho mínimo de la celda, o mínimo frente de trabajo, dependerá de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Se recomienda que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria. Este factor de aumento es considerado para facilitar las maniobras de la maquinaria.

El ancho de la celda o frente de trabajo aumenta, también, dependiendo del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico, es decir, la hora del día en que arriba al relleno el máximo número de camiones recolectores que depositan los residuos para su disposición final.

El talud de la celda es el plano inclinado en donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores. Su inclinación se especifica mediante un ángulo o una relación que indica el número de unidades que se avanza en dirección horizontal por cada unidad que se avanza verticalmente, se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 3:1.

En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo. En los métodos de área y combinado pueden existir dos frentes de trabajo.

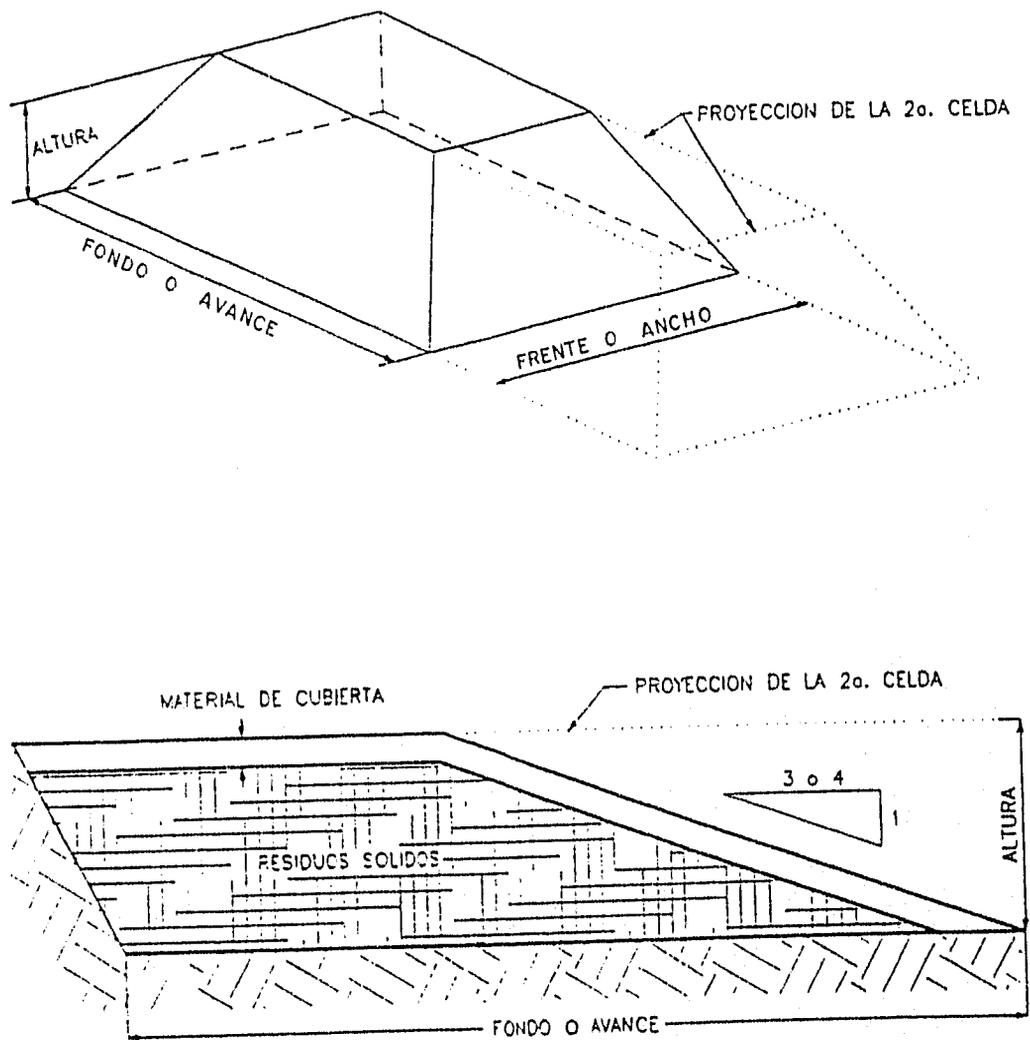


FIGURA 2.4 CELDA DIARIA

El material de cubierta que se ilustra en las figuras 2.4 y 2.5, es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado; este material, evita la proliferación de animales como ratas, insectos, moscas y mosquitos; así como, malos olores al descomponerse los residuos y su dispersión fuera del relleno por el viento.

Se recomienda un espesor de 15 a 30 cm de material de cubierta compactado entre los niveles de celdas y de 60 cm compactado en la capa final (fig. 2.5).

2.4 Diseño de franjas

Se le llama franja a un conjunto de celdas del relleno sanitario que se encuentra en forma de hilera. Es decir, cada celda del relleno se unirá con la celda del día siguiente y ésta, a su vez, con la del tercer día y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denomina franja.

El diseño de las franjas, estará de acuerdo con la topografía del sitio seleccionado y su número dependerá de las dimensiones de la celda requerida diariamente para depositar los residuos sólidos.

Será variable el número de celdas que se podrán unir para formar una franja; el sentido de su construcción irá de extremo a extremo y de la parte más alta a la parte más baja de la superficie del relleno.

Después de formar una franja el equipo mecánico deberá nivelar la altura de las celdas con el material de cubierta, con el fin de que la superficie tenga la misma pendiente que la de la capa.

2.5 Diseño de capas

Se llama capa al conjunto de franjas que ocupan un mismo nivel en un relleno. Las celdas se unen una a la otra para formar las franjas y éstas al irse juntando forman lo que se denomina capa.

Las capas se diseñan considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y se numeran de abajo hacia arriba usando 2 subíndices, uno indicando capa y otro franja.

Para evitar infiltraciones pluviales y facilitar el escurrimiento del agua de lluvia, la superficie de las capas tendrá una pendiente del 1 al 2% a partir de su eje longitudinal, teniendo la precaución de no dejar al descubierto los residuos ya sea por la acción del viento o escurrimiento de aguas superficiales o pluviales (fig. 2.6)

El criterio para establecer el espesor de las capas estará en función de la altura de celda así como del tipo de material existente para cubierta.

Tomando en cuenta las capas programadas, se deben considerar las obras de infraestructura, tales como caminos de acceso y drenajes.

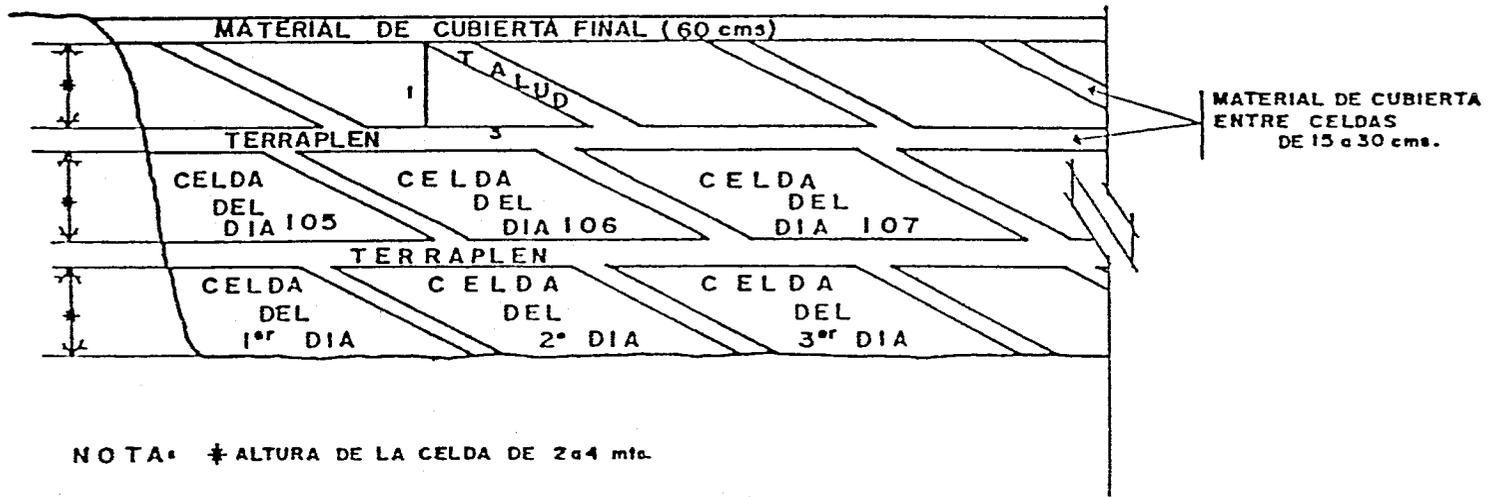


FIGURA 2.5 CORTE DE UN RELLENO SANITARIO

2.6 Material para cubierta

El material de cubierta tiene las siguientes funciones: impedir la entrada y salida de fauna nociva, reducir los malos olores y ayudar al control de incendios así como evitar la entrada de agua. Las pruebas experimentales han demostrado que una capa de 15 cm de arcilla arenosa compactada cumple con estos requisitos. La aplicación diaria de la cubierta reduce grandemente la atracción de los desechos sobre las aves y los roedores en busca de alimento y es esencial para mantener una buena apariencia del relleno sanitario.

Muchos tipos de suelos cuando están debidamente compactados muestran baja permeabilidad, no se contraen y pueden ser usados para controlar el agua que pudiera entrar al relleno e incrementar el volumen de lixiviado.

El control de la emanación de gases es también una función esencial del material de cubierta. Un suelo permeable que no retenga mucha agua puede servir como un buen material para ventilar los gases; la arena limpia, la grava chica o la roca quebrada son excelentes cuando se mantienen secas. Si se debe evitar que los gases salgan a través del material, un suelo impermeable, con alta capacidad de retención de humedad debe ser utilizado.

El cubrir los desechos también protege contra el fuego. Casi todos los suelos son incombustibles por lo que la cubierta y los taludes de cada una de las celdas del relleno ayudan a confinar el fuego dentro de ésta.

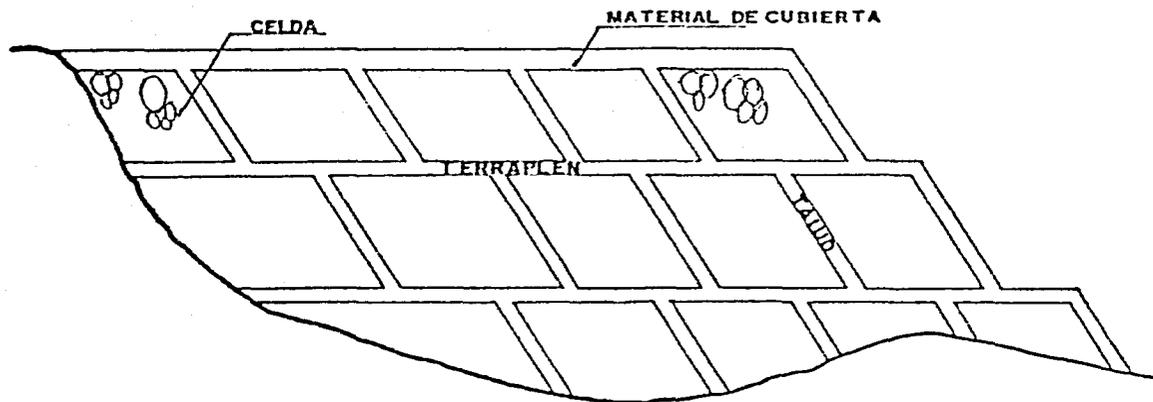
El uso de un suelo compactable y de baja permeabilidad ofrece una buena medida para la prevención de fuegos, ya que minimiza el flujo de oxígeno.

Para mantener una operación limpia y de buena apariencia también debe controlarse el acarreo de residuos por el viento. Casi cualquier tipo de suelo satisface este requerimiento, pero las arenas finas y limos con baja humedad pueden provocar problemas de acarreo de polvos.

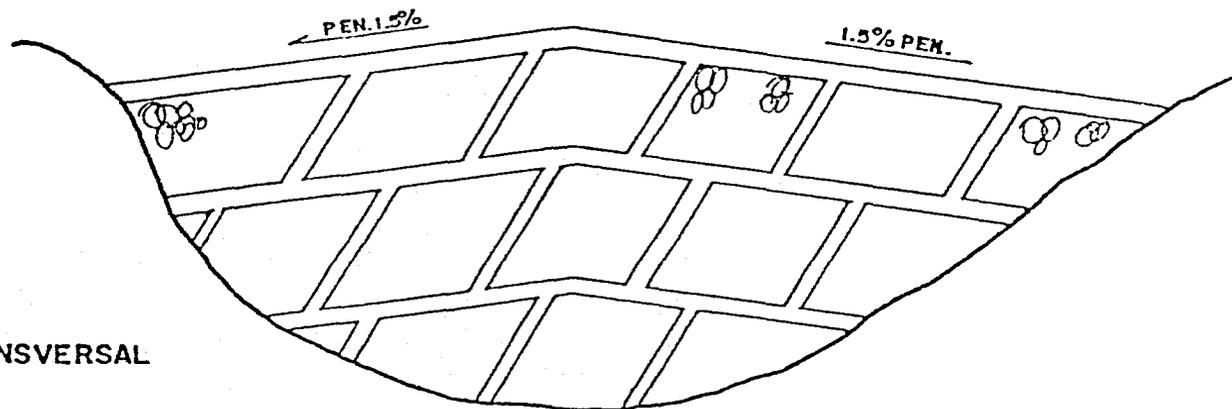
La cubierta frecuentemente sirve para el tránsito de vehículos. Cuando este sea el caso deberá ser transitable bajo cualquier condición climática.

En época lluviosa la mayoría de las arcillas son suaves y resbalosas, en general la última cubierta del suelo debe ser capaz de mantener vegetación.

La comparación de las características del suelo necesarias para estas funciones indica que hay ciertas contradicciones. Para ser transitable el suelo deberá tener buen drenaje y por otro lado tener una baja permeabilidad para evitar la infiltración de agua, evitar fuegos y el venteo de gases. Estas contradicciones pueden ser resueltas poniendo una capa compuesta con materiales de diferentes características según las necesidades.



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

FIGURA 2.6 CAPA SUPERFICIAL CON MATERIAL DE CUBIERTA

2.7 Movimiento de tierras

Consiste en llevar a cabo los pasos necesarios para preparar el sitio en donde se realizará el relleno sanitario, incluyendo la excavación según el método utilizado, así como contar con la cantidad suficiente de material de cubierta al menor costo posible.

Siempre se deberá buscar el lugar más cercano al sitio del relleno sanitario para conseguir el material de cubierta.

A continuación se describen brevemente los pasos a seguir para el movimiento de tierras.

2.7.1 Desmonte y despalme

Desmonte y despalme es la ejecución de las operaciones siguientes :

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

El trabajo de desmonte generalmente se efectúa con tractor y a mano en algunos casos, pues cuando se trata de monte grueso hay necesidad de cortar los árboles con hacha y cuando se trata de monte tipo medio se utiliza con ventaja el tractor.

2.7.2 Terracerías

Cortes

Son las excavaciones o remociones de los materiales producto de las mismas, realizadas en el terreno natural, en ampliación o abatimiento de taludes, en derrumbes y en rebajes de terraplenes.

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

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

Préstamos

Son excavaciones que se ejecutan en los lugares fijados en el proyecto a fin de obtener el material de cubierta.

Para iniciar el ataque en un préstamo, previamente se despalmará la superficie por atacar, desalojando la capa superficial del terreno natural que por sus características no sea adecuada para ser usada como material de cubierta. Los despalmes solo se ejecutarán en

material "A".

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

Terraplenes

Terraplén es un macizo de tierra, construido sobre el terreno con material adecuado, producto de un corte o de un préstamo, y que está comprendido entre el terreno de desplante y la sub-rasante.

Acarreos

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

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

2.8 Impermeabilización y control de líquidos percolados

El agua subterránea es la fuente más valiosa de abastecimiento con que cuenta el país, por lo que es necesario evitar alterar sus características físicas, químicas y biológicas.

Los procesos de descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario y el agua de lluvia que se infiltra originan el lixiviado. Si el espesor de suelo entre la base del relleno y las aguas subterráneas no logra atenuar al alto poder contaminante del lixiviado, éste contaminará las aguas subterráneas.

Debido a lo anterior es necesario proteger las aguas subterráneas. Su protección se puede efectuar por dos métodos: natural y artificial.

2.8.1 Método natural

Este consiste en aprovechar las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se ubica el relleno, y evitar la contaminación de las aguas subterráneas por el lixiviado.

Los sitios con alto contenido de arcillas (entre 0.30 y 1.00 m de espesor) y/o con capas impermeables a poca profundidad son recomendables para evitar la contaminación de las aguas subterráneas por el lixiviado.

2.8.2 Método artificial

Consiste en colocar materiales naturales o artificiales con el fin de evitar la entrada del lixiviado a las aguas subterráneas o bien minimizar su poder contaminante.

El material natural empleado es de arcillas compactadas en la base del relleno con espesor de 20 a 60 cm y con humedad óptima. Los materiales artificiales utilizados para la impermeabilización son el hule, el polietileno y el PVC (Cloruro de Polivinilo). Si se utiliza cualquiera de estos materiales artificiales se debe supervisar que no existan dobleces y/o perforaciones al colocarlos. Los materiales se asientan sobre una base de arena nivelada inferior y otra superior.

2.8.3 Cálculo de la interfase o espesor mínimo para evitar riesgos de contaminación en las aguas subterráneas

En el suelo existen mecanismos de disminución o atenuación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del lixiviado que evitan que estos afecten las aguas subterráneas.

Si las características del suelo son adecuadas, a mayor espesor o interfase del suelo entre el nivel de desplante del relleno y las aguas subterráneas, menor será el peligro de contaminación de estas últimas.

El mínimo espesor o interfase de suelo para la disminución de materia orgánica del lixiviado depende de la permeabilidad del suelo del sitio seleccionado, del gasto de infiltración, de la velocidad de remoción de materia orgánica, de la precipitación pluvial anual, y de la concentración inicial de material orgánico en el lixiviado.

El mínimo espesor de suelo para la disminución de contaminantes inorgánicos (cationes) depende de la concentración inicial de los mismos en el lixiviado, de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC) y de los gastos de infiltración.

Para el cálculo del espesor mínimo de suelo o interfase entre la base del relleno sanitario y el nivel de las aguas subterráneas se requiere:

a) De la estación meteorológica más próxima o de los siguientes datos proporcionados por la SARH:

- La infiltración del lugar, en $m^3/año$.
- La profundidad del nivel freático, en metros.

b) De los estudios geofísicos practicados en el sitio:

- La porosidad del suelo (n_p) en por ciento.

c) De tablas, de porosidad, de capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y de concentración de material orgánica.

d) De datos de laboratorio:

- Carga catiónica del lixiviado
- Carga orgánica

Si la interfase existente es suficiente para la eliminación de la carga catiónica, el lixiviado se dejará pasar libremente a través del suelo pues no existirán problemas de contaminación de las aguas subterráneas.

2.9 Pozos de monitoreo

Para evaluar la calidad del lixiviado y sus posibles efectos en las aguas subterráneas se realiza un monitoreo de ambas. El monitoreo consiste en una serie de programas que incluyen la toma de muestras, sus análisis fisicoquímicos y biológicos en un laboratorio y la evaluación de los resultados obtenidos.

El sistema de monitoreo del lixiviado debe contar por lo menos con 3 pozos de muestreo, que se sitúan de la siguiente manera: uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas antes de llegar al sitio del relleno sanitario, otro aguas abajo del sitio y el último en el sitio del relleno. Los dos primeros pozos profundizarán 2 m dentro del acuífero y el último en el nivel o base del relleno; se pueden construir de asbesto-cemento o plástico, de un diámetro de aproximadamente 40 cm que permita la introducción de un bote de material resistente a la acidez sujeto a una madera o varilla.

Se recomienda que los análisis fisicoquímicos y biológicos realizados en el monitoreo se efectúen por lo menos 2 veces al año y a medida que transcurra el tiempo y en función de los resultados que se vayan obteniendo, reducir el número de parámetros por analizar.

2.10 Sistema de captación de biogás

Los residuos sólidos dispuestos en un relleno sanitario se descomponen o eliminan con el tiempo por la acción de microorganismos y reacciones químicas que producen nuevos compuestos líquidos, sólidos y gaseosos.

Los residuos se eliminan o degradan primeramente por microorganismos que utilizan para sus funciones el oxígeno disuelto presente en las celdas, a éstos se les denomina organismos aerobios. Posteriormente participan en la descomposición los facultativos que viven en ausencia o presencia de oxígeno disuelto y por último entran en acción los microorganismos anaerobios que toman el oxígeno de compuestos químicos existentes en el medio.

Los gases que se producen en mayor proporción en la descomposición o eliminación de la material orgánica contenida en los residuos sólidos en un relleno sanitario son el metano (CH_4), el bióxido de carbono (CO_2), el ácido sulfhídrico (H_2S) y el nitrógeno (N_2).

El gas metano (CH_4) busca salida de las celdas hacia la atmósfera y si su concentración en el aire es de 5 a 15 % es explosivo. Por lo tanto, para evitar riesgos de explosión en el sitio del relleno los gases deben salir.

Para la captación de los gases existen dos métodos: el primero con materiales permeables y el segundo por medio de materiales impermeables.

2.10.1 Método permeable

Emplea zanjas de grava o ventilas llenas de grava entre las celdas por donde fluirán los gases, las zanjas deben de profundizar abajo de la base del relleno para asegurar la intercepción de todos los gases. Dichas zanjas se colocan en los taludes laterales de las celdas, es importante que estén libres de vegetación o tierra.

En otro método permeable se colocan tubos perforados de PVC de 8 a 10 cm de diámetro. Los ductos se colocan entre la última celda superior y el material de cubierta final (fig. 2.7).

El método más económico es la instalación de estructuras de malla rellenas de piedra. Las estructuras tienen longitud de lados de 0.60 a 1 m, se profundizan unos 30 cm abajo del nivel o base del relleno y en la parte superior se cubren, dejando un tubo con forma de cuello de ganso (fig. 2.8).

2.10.2 Método impermeable

El movimiento de los gases a través del suelo puede ser controlado con materiales impermeables, por ejemplo, una capa de arcilla compactada de un espesor de 0.45 a 1.5 m.

El material evitará el flujo de los gases hacia el exterior del relleno y los forzará a buscar otra salida.

2.11 Sistema de captación de aguas de escurrimiento

El sistema de captación de aguas de escurrimiento de los rellenos sanitarios tiene por objeto, en primer lugar, reducir en lo posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes del mismo, en segundo lugar, dar salida expedita al agua cuyo acceso sea inevitable. Ahora bien, el agua llega al relleno por las siguientes causas:

- Por precipitación directa
- Por escurrimiento del agua del terreno adyacente
- Por crecientes de los ríos o arroyos
- Por filtración a través del subsuelo del relleno

Así pues, el objetivo que se debe perseguir, es conseguir en primer lugar, reducir la entrada del agua de cualquiera de las fuentes mencionadas y en segundo lugar, desalojar rápidamente el agua que pueda llegar al relleno.

Para que un relleno tenga buen drenaje debe evitarse que:

- El agua circule en cantidades excesivas por el mismo, destruyendo el material de cubierta que sirve para impermeabilizar, originando la formación de charcos.
- Los cortes se saturan de agua con peligro de derrumbes, deslizándose éstos y en algunos casos deslizándose el camino.
- El agua de arrollos y hondonadas sea remansada por los terraplenes con el peligro de deslavarlos o destruirlos.
- El agua subterránea reblandezca la capa de tierra y se formen baches o charcos.

Como se ve, el drenaje adecuado es una de las fases más importantes en un relleno por lo que debe procurarse por todos los medios el mejor drenaje que sea posible.

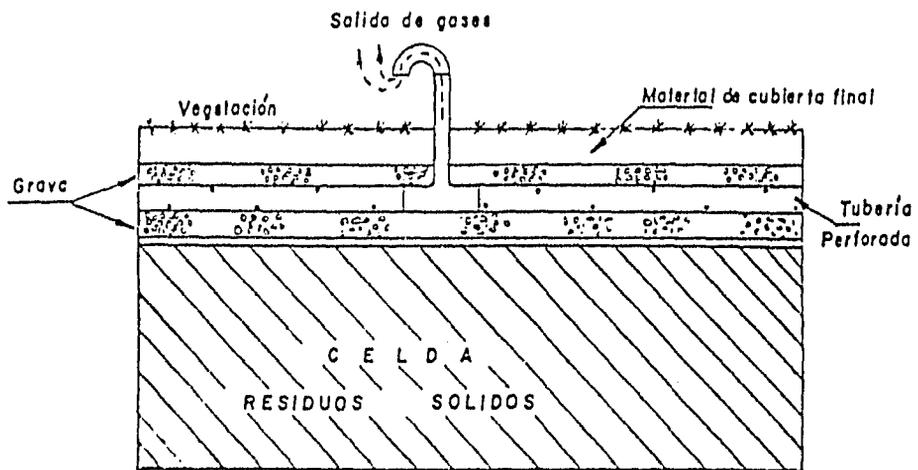


FIGURA 2.7 SISTEMA DE EXTRACCION DE GASES POR MEDIO DE DUCTOS O TUBOS COLOCADOS DEBAJO DE UNA CUBIERTA RELATIVAMENTE IMPERMEABLE

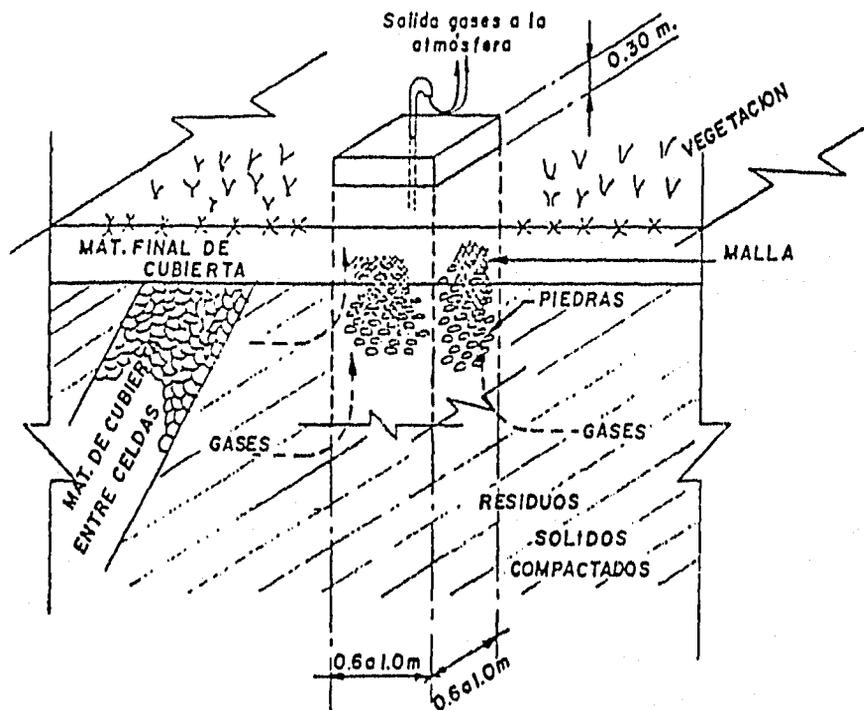


FIGURA 2.8 POZO DE VENTEO DE BIOGAS

Las obras de drenaje superficial llamadas también de drenaje longitudinal, comprenden las zanjas o vados que se construyen en los límites del relleno y que tienen como objetivo la captación del escurrimiento de aguas arriba.

Las aguas captadas en las zanjas serán encauzadas a un colector. Este colector puede ser un drenaje natural (río, arrollo, etc.) o un dren artificial como una línea de drenaje pluvial entubada.

2.12 Obras complementarias

Se entiende por obras complementarias aquellas que forman parte del relleno sanitario y sirven de ayuda para su eficiente operación.

Las obras complementarias del relleno sanitario son las que se indican a continuación.

2.12.1 Cobertizo para equipo

La función primordial de esta construcción es proteger de la lluvia a la maquinaria que trabaja en el relleno sanitario y contar con un lugar para dar mantenimiento y reparación al equipo. Se deberá ubicar en un punto estratégico de tal manera que la distancia del cobertizo a cualquier punto del relleno sanitario sea el menor en recorrido.

2.12.2 Caseta de vigilancia

Es indispensables contar con un vigilante a la entrada del relleno sanitario y que pueda protegerse de las inclemencias del tiempo. La caseta siempre se ubicará a la entrada del relleno sanitario a un lado de la puerta de acceso de vehículos.

2.12.3 Caseta de control

Estará ubicada siempre junto a la báscula ya que en esta caseta se colocará su equipo de operación. Además puede servir para oficinas administrativas.

2.12.4 Cimentación de la báscula

Esta estructura servirá para recibir a la báscula en un sitio tal que los vehículos recolectores tengan un fácil acceso a la misma para poder ser pesados. Las especificaciones para la cimentación de la báscula, las dará cada proveedor ya que difieren para cada marca de báscula.

2.12.5 Cerca fija y móvil

La cerca fija servirá para evitar el acceso de animales y personas ajenas al relleno sanitario y controlar los residuos sólidos que por acción del viento se dispersen. Se ubicará en todo el perímetro del predio y tendrá una puerta de acceso para vehículos.

La cerca móvil servirá para controlar los residuos sólidos que se dispersen por el viento en el momento de que el vehículo recolector los deposite en el relleno sanitario. Siempre se colocará en sentido contrario del viento y se moverá de acuerdo a las variaciones de éste.

2.12.6 Señalamientos

Estas estructuras servirán para prevenir de todas las restricciones e informar de las construcciones existentes en el relleno sanitario al personal de operación. Su ubicación será de acuerdo a las necesidades de cada sitio.

Para todas las obras indicadas en este apartado deberán tomarse en cuenta las características de la región con el fin de utilizar los materiales más convenientes, además se deberán considerar los materiales que existen en la región para su construcción con el objeto de reducir los costos.

2.13 Equipo mecánico

Los rellenos sanitarios deben contar con el equipo pesado y con los accesorios necesarios para el movimiento de tierras y de residuos sólidos.

Los equipos mecánicos pueden ser de los siguientes tipos:

- Equipos adaptados a la operación del relleno sanitario
- Equipos diseñados expresamente para la operación de los rellenos sanitarios
- Equipo de apoyo

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los equipos mecánicos que se utilizan en el relleno sanitario.

2.13.1 Equipos adaptados a la operación del relleno sanitario

Cargador de orugas o traxcavo

Está formado por dos unidades, un tractor y un cucharón. El equipo sirve para excavar o tomar materiales y llevarlos de un sitio a otro o transbordarlos.

Tractor de orugas o bulldozer

Este equipo está formado por un tractor y una hoja topadora. El equipo se emplea en excavaciones, cuando el terreno no requiera desmonte o nivelaciones, es excelente para construir caminos de acceso y repararlos. Puede empujar material de cubierta cuando se localiza a menos de 90 m. Además extiende la tierra, la compacta y efectúa nivelaciones.

2.13.2 Equipos diseñados expresamente para la operación de los rellenos sanitarios

Compactador de residuos sólidos

Este equipo está diseñado expresamente para operar en rellenos sanitarios. Está formado por una hoja topadora, cabina de control de mandos y remolque con rodillo dentado.

El tractor se desplaza sobre dos tambores cilíndricos dentados, resistentes a la abrasión, los cuales tienen la particularidad de desmenuzar el residuo así como compactarlo. La hoja topadora permite extender el residuo en capas uniformes.

2.13.3 Equipo de apoyo

Retroexcavadora

La retroexcavadora, también llamada zanjadora es un equipo con bastidor, el cual soporta un motor diesel que a la vez acciona el sistema hidráulico que mueve el brazo. Se utiliza para excavaciones angostas y profundas, para recoger material suelto, y para cargar rápida y eficientemente el material producto de la excavación a los camiones.

Trailla o motoescrepa

Este es un equipo acarreador de gran velocidad el cual se puede emplear en el relleno para mover material de un lugar a otro.

Motoconformadora

Este equipo está compuesto por bastidor, motor, caseta, cuchilla y rastra. Es usado para nivelar terrenos, para abrir pequeñas zanjas, construir taludes o para empuje lateral.

Compactadores cilíndricos

Existen dos tipos de compactadores cilíndricos, los estáticos y los vibratorios. Los compactadores estáticos se utilizan para dar la compactación final comúnmente llamada planchado. Los compactadores vibratorios se utilizan para compactar capas de espesor variable, con el fin de dar el grado de compactación proyectado.

2.14 Control y vigilancia

2.14.1 Báscula

Para controlar los sistemas de limpia municipales, se requiere la adquisición, instalación, funcionamiento y operación de una báscula para camiones, que permita controlar en forma práctica, real y por día, todas y cada una de las fases del sistema así como la obtención de indicadores de cobertura, eficiencia y costo; razón por la cual se justifica ampliamente una báscula en cada localidad.

El sistema de báscula para pesaje de camiones recolectores de residuos sólidos está formado por:

- Báscula con impresor
- Obra civil de cimentación
- Caseta de control con servicios

El vehículo una vez autorizado a entrar al relleno sanitario, será pesado en la báscula. La persona encargada de la báscula, llenará una tarjeta de control con los datos del vehículo; nombre del chofer, peso del camión lleno, tipo de residuos recibidos y su procedencia y la hora de entrada.

El vehículo ya vacío, regresará a la báscula para ser pesado, se anotará el peso en la tarjeta de control y la hora de salida. Restando los valores del peso del vehículo a la entrada menos el peso de vehículo a la salida, se obtiene el peso real de los residuos que ingresaron al relleno.

2.14.2 Recepción

El horario de operación del relleno sanitario se establecerá de acuerdo con el horario del sistema de recolección de los residuos sólidos, usualmente un relleno está en servicio de cinco a seis días a la semana y de ocho a diez horas por día.

El horario deberá colocarse a la entrada del relleno y se indicará el tipo de residuos permisibles de entrada. El relleno sólo aceptará residuos sólidos municipales y no aceptará residuos sólidos industriales, incompatibles, peligrosos, y potencialmente peligrosos. No se aceptarán residuos sólidos hospitalarios infectocontagiosos, como son: medicamentos con fecha de caducidad vencida y que no fueron suministrados; órganos, tejidos y otras partes que provengan de operaciones. Estos residuos deberán ser incinerados en la fuente generadora.

Se prohibirá el acceso a personas ajenas al relleno sanitario.

Una vez autorizada la entrada al vehículo o camión y después de haber sido pesado, se le asignará el frente de operación a que deba ir a descargar y la ruta a seguir con los señalamientos del camino.

Los señalamientos de los caminos incluirán, dirección, velocidad máxima permisible, entronques con los caminos programados y las celdas en operación.

Un buen señalamiento en los caminos agilizará la disposición de los residuos, evitará accidentes y congestionamientos, elevando la eficiencia de la disposición.

Se recomienda que tanto los caminos permanentes como los temporales (es decir caminos que se abrirán, de acuerdo a la planeación del terreno) lleven algún nombre o algún color para facilitarle al chofer la localización del frente de trabajo en donde se descargará ese día.

El chofer llegará al frente de trabajo asignado y descargará o depositará los residuos e inmediatamente volverá a salir de la zona de operaciones y regresará a la báscula para ser

nuevamente pesado el vehículo.

La localización de las celdas del relleno deberán estacarse para identificar los límites de las mismas. La elevación del nivel de los residuos y de la altura de material de cubierta (tierra) deberá darse también, sobre el estacado.

2.14.3 Vigilancia

1. Se vigilará al máximo la entrada exclusiva de residuos sólidos municipales al relleno sanitario.
2. Se vigilará la entrada a todas las personas que estén involucradas en las actividades del relleno sanitario, desde los choferes hasta el personal que ahí labore.
3. Se vigilará el sistema de pesaje de los vehículos recolectores, puesto que de ello dependerá el alcanzar la vida útil del relleno.
4. Se vigilará que las celdas por construirse ese día sean identificadas por medio de estacas en donde se localicen sus límites y se mostrarán a los operadores de los tractores.
5. Se vigilará constantemente que no existan incendios en el relleno sanitario, si se presentaran deberá ser considerada la zona como de emergencia y el incendio deberá controlarse y abatirse inmediatamente, por medio de arenas o material de demolición o compactando los residuos para extinguir el fuego.
6. Se vigilará el buen estado de los caminos interiores del relleno sanitario mediante inspecciones constantes a los mismos.

2.15 Conservación

En la cubierta final del relleno sanitario se pueden llegar a presentar ciertos problemas ocasionados por la acción de las lluvias y vientos, como pueden ser depresiones, grietas o erosión. Es menester hacer las reparaciones necesarias a fin de que la cubierta final esté siempre cubriendo el residuo sólido para así evitar impactos ambientales. A continuación se analiza cada uno de estos problemas y su solución.

2.15.1 Depresiones

Este caso es muy común, debido a que con el tiempo el residuo sólido se va compactando, pierde humedad y tiende a formar en la cubierta alguna depresión que será necesario reparar.

Para poder reparar la depresión se deberán seguir los siguientes pasos:

- a) Escarificar con pala, rastrillo o con un zapapico el área afectada a una profundidad de 10 cm (en caso de que sea un área extensa usar la escarificadora de la motoniveladora)

b) Colocar material de cubierta en capas de 40 cm como máximo y compactar cada capa con el material húmedo hasta lograr la superficie original.

2.15.2 Grietas

Por efectos de cambios de temperatura o que el material no sea el óptimo para cobertura, se puede llegar a presentar grietas. El procedimiento de reparación deberá ser el siguiente:

a) Descubrir a cada lado de la grieta aproximadamente 20 cm y a la profundidad que tenga la misma, y humedecerla

b) Colocar material de cubierta húmedo y compactarlo con pisón de mano hasta llegar a la superficie original.

2.15.3 Erosiones

La lluvia y el aire pueden erosionar los taludes y terraplenes del relleno sanitario, para tal efecto se deberá proceder a reparar de la siguiente manera la erosión:

a) Escarificar 10 cm la zona erosionada, ya sea con máquina o a mano (dependiendo del tamaño de la erosión).

b) Humedecer el área erosionada.

c) Con material de cubierta reparar el área erosionada hasta llegar a la superficie original.

2.15.4 Diseño del área regenerada

Una vez concluida la operación del relleno sanitario y que se haya construido de acuerdo al proyecto y a los métodos de operación señalados, se aconseja continuar con la restricción de acceso y uso controlado.

El uso inicial será destinado como área verde, en el cual de ninguna manera se permitirá ningún tipo de construcción y se sembrarán diferentes variedades de pasto, árboles, plantas y arbustos para conocer su comportamiento.

También se observará en cuanto a los asentamientos diferenciales, la estabilidad de los taludes y terraplenes, uso y liberación del biogas, aforos y análisis del lixiviado, nuevas características del suelo, etc.

CAPITULO 3

IDENTIFICACION DE IMPACTOS TIPICOS CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS

Se ha considerado al relleno sanitario como una obra de ingeniería para disposición final de residuos sólidos no peligrosos, la cual pareciera estar siempre en construcción. En realidad su peculiaridad es la combinación de una operación permanente con eventuales procesos constructivos, que se incrementan al abrirse nuevos frentes de tiro, cuando concluyen etapas de trabajo o se rehabilitan zonas clausuradas.

Paradójicamente, un relleno sanitario no obstante que es una obra de ingeniería que tiene como objetivo primordial evitar los impactos ambientales que se presentan en los tiraderos a cielo abierto, no está exenta por ello de generar impactos ambientales en sus diferentes etapas, cuya magnitud está en función de la eficiencia de la obra.

Se debe entender como impacto ambiental cualquier alteración del medio causada por las acciones del hombre o la naturaleza. La identificación de los impactos ambientales causados por los rellenos sanitarios, consiste en detectar separadamente las actividades del proyecto que podrían provocar impactos sobre el ambiente en las etapas de selección y preparación del sitio, construcción, operación, mantenimiento y abandono al término de la vida útil (clausura). Asimismo se identifican los factores ambientales y sus atributos que se verían afectados.

En este capítulo se presenta la identificación de impactos ambientales potenciales directos o indirectos que en general pueden suscitarse en un relleno sanitario. Para llevar a cabo esta identificación de impactos ambientales es posible utilizar inicialmente una técnica de listado simple. En el Cuadro 3.1 se presenta una lista de las actividades que forman parte del proyecto de un relleno sanitario que pueden producir un efecto significativo en el medio. Por otra parte, el Cuadro 3.2 muestra la lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por las diversas actividades en las distintas etapas del proyecto. Para un proyecto en particular, las listas propuestas pueden complementarse o sintetizarse de acuerdo a la información correspondiente al sitio de que se trate.

CUADRO 3.1

LISTA DE ACTIVIDADES DEL RELLENO SANITARIO QUE PUEDEN PRODUCIR UN EFECTO SIGNIFICATIVO EN EL MEDIO

A. SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO	
1.	Identificación y selección del sitio
2.	Campamentos
3.	Desmonte y despilme
4.	Cortes y nivelación
5.	Préstamos de bancos de material
6.	Terraplenes
7.	Transporte de material y movimiento de equipo
8.	Construcción de caminos de acceso e interiores
B. CONSTRUCCION Y OPERACION	
1.	Edificaciones
2.	Sistema de impermeabilización
3.	Sistema de captación y disposición de lixiviados
4.	Transporte de material y movimiento de equipo
5.	Celda diaria (incluyendo cobertura)
6.	Sistema de captación de biogás
7.	Sistema de captación de aguas de escurrimiento pluvial
8.	Pozos de monitoreo
9.	Cerca fija y móvil
10.	Señalamientos
11.	Control y vigilancia
C. MANTENIMIENTO Y CONSERVACION	
1.	Reparación de áreas dañadas
2.	Cubierta y paisaje
3.	Monitoreo ambiental

CUADRO 3.2

LISTA DE FACTORES AMBIENTALES QUE SON POTENCIALMENTE AFECTADOS POR LAS ACTIVIDADES DEL RELLENO SANITARIO

A. FACTORES FISICOS	
1.	Procesos erosivos
2.	Drenaje natural
3.	Calidad del agua superficial
4.	Calidad del agua subterránea
5.	Infiltración
6.	Nivel freático
7.	Calidad del aire
8.	Calidad del suelo
9.	Nivel de ruido y vibración
10.	Microclima
B. FACTORES BIOTICOS	
1.	Ecosistemas
2.	Cubierta vegetal en el predio
3.	Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción
4.	Vegetación en el medio circundante
5.	Fauna silvestre
6.	Areas de cultivo
C. FACTORES SOCIALES	
1.	Vías de comunicación terrestre
2.	Tenencia de la tierra
3.	Obras o construcciones aledañas (incluye infraestructura municipal)
4.	Opinión pública
5.	Salud pública y ocupacional
6.	Accidentes
7.	Uso del suelo
D. FACTORES ECONOMICOS	
1.	Fuentes de empleo
2.	Impuestos
3.	Servicios públicos
4.	Costo del terreno
E. FACTORES ESTETICOS	
1.	Paisaje natural
2.	Olores
3.	Erección de construcciones ajenas al medio
4.	Basura y desperdicios

En el Cuadro 3.1 se agrupan las actividades del proyecto de un relleno sanitario que pueden producir efectos significativos en el medio, en tres etapas: selección y preparación del sitio (con ocho actividades), construcción y operación (con once actividades) y mantenimiento y conservación (con tres actividades). La descripción de cada una de estas actividades, se hace en el capítulo dos. Los campamentos que se mencionan en el inciso 2 de la etapa de selección y preparación del sitio, se refieren a las obras provisionales requeridas para la preparación del sitio incluyendo casetas, almacén de materiales, letrinas, etc. El transporte de material y movimiento de equipo que se menciona en el inciso 4 de la etapa de construcción y operación, incluye el traslado de los residuos sólidos hasta el sitio del relleno sanitario por los vehículos de recolección, así como el acarreo del material de cobertura.

En el Cuadro 3.2 se enlistan 31 factores ambientales que son potencialmente afectados por las actividades del proyecto de un relleno sanitario, distribuidos a razón de 10 físicos, 6 bióticos, 7 sociales, 4 económicos y 4 estéticos.

Para la identificación de los impactos causados por las actividades que se realizan en las diferentes etapas del proyecto, las listas de los Cuadros 3.1 y 3.2 pueden ser confrontadas en una Matriz de Identificación. Los Cuadros 3.3, 3.4 y 3.5 muestran la Matriz de Identificación propuesta, por cada etapa del proyecto. En caso de existir una relación entre actividad y factor ambiental, la celda correspondiente aparece sombreada.

Se trata de una matriz de identificación de los impactos que con mayor frecuencia se presentan en los rellenos sanitarios, la cual deberá ajustarse a cada caso particular, dependiendo de las características ambientales existentes en el sitio donde se realizará el relleno, así como de las particularidades del proyecto en sí mismo.

CUADRO 3.3

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS TÍPICOS EN LA ETAPA DE SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO

FACTORES AMBIENTALES:	ACTIVIDADES EN LA ETAPA DE SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A. FACTORES FISICO								
1. Procesos erosivos			■	■	■			
2. Drenaje natural			■	■	■	■		■
3. Calidad del agua superficial			■	■	■	■		
4. Calidad del agua subterránea		■						
5. Infiltración				■		■		
6. Nivel freático				■		■		
7. Calidad del aire			■					
8. Calidad del suelo		■				■	■	
9. Nivel de ruido y vibración				■	■	■	■	■
10. Microclima			■					
B. FACTORES BIOTICOS								
1. Ecosistemas		■	■				■	
2. Cubierta vegetal en el predio			■					
3. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción			■					
4. Vegetación en el medio circundante					■			
5. Fauna silvestre			■	■			■	
6. Áreas de cultivo			■					
C. FACTORES SOCIALES								
1. Vías de comunicación terrestre							■	■
2. Tenencia de la tierra	■				■			
3. Obras o const. aledañas (incluye infraestructura municipal)	■			■	■		■	■
4. Opinión pública	■	■	■		■		■	
5. Salud pública y ocupacional		■						
6. Accidentes							■	
7. Uso del suelo	■				■			
D. FACTORES ECONOMICOS								
1. Fuentes de empleo			■	■	■	■	■	■
2. Impuestos			■	■	■	■	■	■
3. Servicios públicos	■							
4. Costo del terreno	■				■			
E. FACTORES ESTETICOS								
1. Paisaje natural		■	■	■	■	■	■	■
2. Olores							■	■
3. Erección de construcciones ajenas al medio		■				■		■
4. Basura y desperdicios		■	■					

CUADRO 3.4

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS TIPICOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION Y OPERACION

ACTIVIDADES EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION Y OPERACION:											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FACTORES AMBIENTALES:											
A. FACTORES FISICOS											
1. Procesos erosivos							■	■			
2. Drenaje natural							■	■			
3. Calidad del agua superficial			■	■		■					
4. Calidad del agua subterránea			■	■							
5. Infiltración		■	■				■	■			
6. Nivel freático		■	■				■	■			
7. Calidad del aire									■		
8. Calidad del suelo			■	■							
9. Nivel de ruido y vibración				■	■						
10. Microclima											
B. FACTORES BIOTICOS											
1. Ecosistemas											
2. Cubierta vegetal en el predio											
3. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción											
4. Vegetación en el medio circundante											
5. Fauna silvestre				■							
6. Areas de cultivo											
C. FACTORES SOCIALES											
1. Vías de comunicación terrestre				■						■	
2. Tenencia de la tierra											
3. Obras o const. aledañas (incluye infraestructura municipal)				■							
4. Opinión pública				■					■	■	
5. Salud pública y ocupacional				■					■	■	
6. Accidentes				■					■	■	
7. Uso del suelo				■					■	■	
D. FACTORES ECONOMICOS											
1. Fuentes de empleo		■	■	■	■		■				■
2. Impuestos		■	■	■	■		■				■
3. Servicios públicos		■		■							
4. Costo del terreno											
E. FACTORES ESTETICOS											
1. Paisaje natural		■			■					■	
2. Olores			■	■	■		■				
3. Erección de construcciones ajenas al medio		■									
4. Basura y desperdicios					■				■		

CUADRO 3.5

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS TIPICOS EN LA ETAPA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

FACTORES AMBIENTALES:	ACTIVIDADES EN LA ETAPA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION:		
	1	2	3
A. FACTORES FISICOS			
1. Procesos erosivos			
2. Drenaje natural			
3. Calidad del agua superficial			
4. Calidad del agua subterránea			
5. Infiltración			
6. Nivel freático			
7. Calidad del aire			
8. Calidad del suelo			
9. Nivel de ruido y vibración			
10. Microclima			
B. FACTORES BIOTICOS			
1. Ecosistemas			
2. Cubierta vegetal en el predio			
3. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción			
4. Vegetación en el medio circundante			
5. Fauna silvestre			
6. Areas de cultivo			
C. FACTORES SOCIALES			
1. Vías de comunicación terrestre			
2. Tenencia de la tierra			
3. Obras o construcciones aledañas			
4. Opinión pública			
5. Salud pública y ocupacional			
6. Accidentes			
7. Uso del suelo			
D. FACTORES ECONOMICOS			
1. Fuentes de empleo			
2. Impuestos			
3. Servicios públicos			
4. Costo del terreno			
E. FACTORES ESTETICOS			
1. Paisaje natural			
2. Olores			
3. Erección de construcciones ajenas al medio			
4. Basura y desperdicios			

Como se mencionó al principio de este capítulo, la identificación de impactos ambientales consiste en detectar las actividades del proyecto que pueden provocar impactos sobre el ambiente en sus distintas etapas, así como la identificación de los factores ambientales y sus atributos que se verían afectados. Tanto la descripción como la evaluación de los impactos en los factores ambientales como consecuencia de las obras y actividades de un relleno sanitario, se presentan en el Capítulo 4.

CAPITULO 4

PREDICCIÓN Y EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS

La predicción consiste en determinar la naturaleza y magnitud de los impactos ambientales identificados previamente, para ello se requiere cuantificar con indicadores efectivos las características de los impactos.

Cuando se realiza un proyecto, entran en acción una serie de factores que modifican el estado del ambiente y su calidad; estos factores están relacionados así que el resultado neto es difícil de predecir. Sin embargo, aún cuando el proyecto no fuera realizado, el ambiente de todas formas estaría sujeto a:

- Gran variabilidad debido a variaciones de clima, ciclos ecológicos naturales, etc.
- Tendencias irreversibles de origen natural.
- Tendencias irreversibles debidas a la combinación de factores naturales e inducidos por el hombre.

Por lo anterior, al realizar la predicción de impactos ambientales se debe tener cuidado en no imputar al proyecto modificaciones al ambiente causados por otro tipo de factores, ajenos al proyecto en estudio.

La evaluación de los impactos ambientales es de dos tipos: cuantitativa y cualitativa. De hecho, la política de estudiar los efectos en el ambiente carecería de utilidad si no se contara con una determinación cualitativa y cuantitativa de los impactos.

La realización de la predicción y evaluación de los posibles impactos que, sobre el entorno se presentarán con la construcción y operación de un relleno sanitario en un determinado sitio, es fundamental para implantar las medidas de prevención, control y mitigación adecuadas, minimizando los efectos adversos de este tipo de obras.

Existe una gran cantidad de métodos y procedimientos para la realización de una evaluación de impacto ambiental. La clasificación más ampliamente aceptada divide a las técnicas para identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales en los siguientes grupos:

- Procedimientos pragmáticos
- Listados
- Matrices
- Redes
- Modelos
- Sobreposiciones
- Procedimiento adaptativo

A continuación se presenta una breve descripción de las características generales de las técnicas mencionadas.

Procedimientos pragmáticos

Consiste en integrar un grupo de especialistas en diferentes disciplinas para identificar impactos en sus áreas de especialidad, buscando satisfacer los requerimientos de la legislación ambiental vigente en el sitio del estudio, referentes a la evaluación de impactos. En esta metodología no se definen parámetros específicos que deban ser investigados ni se realiza una evaluación formal de la magnitud de los impactos.

Listados

En estas técnicas se parte de una lista maestra de factores ambientales y/o impactos seleccionándose y evaluándose aquellos impactos esperados para el proyecto y sus acciones específicas. Este tipo de listas se elaboran con un criterio interdisciplinario para identificar las acciones del proyecto que pueden causar impactos significativos, no relevantes o sin interés.

En el Capítulo 3, se utilizó la técnica de listado simple para la identificación de las actividades de un relleno sanitario que pueden producir un efecto significativo en el ambiente (Cuadro 3.1), así como para identificar los factores ambientales que son potencialmente afectados por las diversas actividades en las distintas etapas del proyecto (Cuadro 3.2).

Matrices

Consisten básicamente en listados generalizados de las posibles actividades de un proyecto y de los factores ambientales potencialmente impactados. Ambas listas se colocan, indistintamente, en las columnas o renglones de la matriz. La utilización de las matrices difiere de los listados en que se identifican las posibles interacciones del proyecto y el ambiente; asimismo, permiten definir las acciones que generan más impactos y los factores ambientales afectados por más de una acción. La mayoría de los sistemas basados en matrices, utilizan una escala que permite al evaluador registrar niveles de intensidad.

Para la identificación de los impactos en los factores ambientales causados por las actividades que se realizan en las diferentes etapas del proyecto de un relleno sanitario, se recomendó utilizar una técnica matricial, tal como se muestra en los Cuadros 3.3, 3.4 y 3.5.

Redes

Estas técnicas amplían el concepto de las matrices mediante la introducción de una red de causa-condición-efecto que permite la identificación de impactos acumulativos o indirectos, los cuales no son adecuadamente explicados a través de una secuencia simple de causa-efecto representada por matrices.

Modelos

Un modelo es una representación física, matemática, o en el mejor de los casos física-matemática, que reproduce las características y condiciones de un ecosistema, de modo que analizando esta información y las interacciones existentes, se puede llegar a la percepción y comprensión del comportamiento de tal sistema.

Los modelos matemáticos se utilizan para predecir el impacto en la calidad del aire, agua y niveles de ruido, por ejemplo. Se han desarrollado diversos modelos simples que han sido probados y que se pueden aplicar cuando se tienen restricciones en costos y tiempo. Sin embargo, la predicción de algunos problemas requiere la construcción de modelos específicos.

Los modelos físicos se desarrollan por ejemplo, para predecir el transporte de contaminantes en el agua y aire bajo condiciones complejas, donde otros modelos no son confiables.

Sobreposiciones

Estas técnicas están basadas en el uso de una serie de mapas transparentes que se pueden sobreponer para producir una caracterización compuesta del ambiente regional. Los mapas describen factores ambientales o características del suelo y la distribución superficial del proyecto con todas sus obras complementarias. Este enfoque es efectivo para seleccionar alternativas e identificar cierto tipo de impactos, sin embargo no puede usarse para cuantificar impactos o identificar interacciones secundarias o terciarias.

Procedimiento adaptativo

Debido a que ninguna de las técnicas antes descritas cubre las tres fases del análisis de impacto ambiental: identificación, predicción y evaluación, es necesario complementarlas o combinarlas, resultando esto en un procedimiento adaptativo.

Para la predicción y evaluación de los impactos en los factores ambientales causados por las diversas actividades que constituyen el proyecto de un relleno sanitario, se recomienda utilizar en la medida de lo posible modelos matemáticos; los resultados obtenidos en el análisis de impactos se vacían en una Matriz de Evaluación, en la cual se incluye también el análisis de aquellos impactos que sólo pueden ser caracterizados en forma cualitativa, tales como: opinión pública, paisaje natural, olores, etc.

4.1 Descripción de la Matriz de Evaluación

La trascendencia del impacto de un proyecto es consecuencia de la vulnerabilidad del ambiente en donde se lleva a cabo. Con la finalidad de poder efectuar el proceso de evaluación de los impactos ambientales potenciales en un relleno sanitario, se propone individualizarlos estableciendo así, su carácter, relación, duración, extensión, reversibilidad, mitigabilidad y probabilidad de ocurrencia; de esta manera podrá establecerse la magnitud del impacto esperado. Los Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 muestran la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales propuesta para cada una de las etapas del proyecto de un relleno sanitario.

Con respecto a la estructura de estas Matrices de Evaluación de Impactos Ambientales, se tiene que:

El carácter (columna 1) hace referencia a su consideración benéfica o adversa respecto al estado previo a la acción; indica si en lo que se refiere a la faceta de vulnerabilidad que se esté teniendo en cuenta, la obra o actividad es benéfica o adversa.

El tipo de acción de impacto (columna 2) se refiere a la relación causa-efecto; describe el modo de producirse el efecto de la obra o actividad sobre los componentes ambientales, de tal manera que se determina si el impacto es directo o indirecto.

La duración del impacto (columna 3) se refiere a sus características temporales, es decir, si el efecto es a corto plazo y luego cesa (temporal), o si es permanente.

La columna 4 informa sobre la dilución de la intensidad del impacto en el mosaico espacial y puede ser localizado o extensivo. Debido a la existencia de este mosaico, la dilución no siempre tendrá relación lineal con la distancia a la fuente del impacto.

La reversibilidad del impacto (columna 5) toma en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar a la situación previa a la obra o actividad. De esta manera se hablará de impactos reversibles o irreversibles.

Los impactos pueden ser mitigables o no (columna 6)

El riesgo del impacto (columna 7) mide la probabilidad de ocurrencia (alta, media o baja), sobre todo de aquellas circunstancias no periódicas pero de excepcional gravedad.

Todas estas circunstancias y características descritas definen la mayor o menor gravedad y el mayor o menor beneficio que se derive de las obras y actividades de un relleno sanitario. Todas ellas deben intervenir en la evaluación de los impactos ambientales. La expresión de esta evaluación, para cada faceta de la vulnerabilidad que se contemple, se concreta normalmente con la utilización de alguna escala de niveles de impacto (columna 8) de manera que facilite la utilización de la información adquirida en la formulación de medidas de mitigación.

La escala de niveles de impacto que se muestra en los Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 es la siguiente:

- Impacto de magnitud baja.- Tratándose de impactos adversos, es cuando se logra la recuperación inmediata del factor ambiental tras el cese de la actividad. Para este caso no se necesitan medidas de mitigación.

En el caso de impactos benéficos, son los que se presentan mucho después de realizada la obra o actividad y prácticamente no son significativos.

- Impacto de magnitud moderada.-Tratándose de impactos adversos, es cuando la recuperación de las condiciones iniciales requiere de cierto tiempo. No se precisan medidas de mitigación.

En el caso de impactos benéficos, son los que se presentan cierto tiempo después de realizada la obra o actividad y son poco significativos.

- Impacto de magnitud alta.- Es cuando la magnitud del impacto exige para la recuperación de las condiciones del medio, la implantación de medidas de mitigación. La recuperación, aún con estas medidas es a largo plazo.

También se consideran dentro de este tipo de impactos, aquéllos cuya magnitud es superior al umbral aceptable. En este caso se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posibles recuperaciones, incluso con la adopción de medidas de mitigación.

En el caso de impactos benéficos, son los que se presentan de manera inmediata a la actividad que los origina y son muy significativos.

En la columna 9, se anota mediante un número la actividad del relleno sanitario que genere impacto sobre el factor ambiental analizado.

4.2 Descripción de los impactos ambientales identificados

Las Matrices de Evaluación de los Impactos Ambientales se complementan con una descripción de los procesos de cambio que se manifestarán en los factores ambientales por las acciones del proyecto; dicha descripción se hace mediante el análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de modelos matemáticos, o bien a través del análisis cualitativo efectuado por especialistas. Los resultados permiten prever las medidas de mitigación, que pueden ser de prevención, restauración y control, las cuales serán implantadas en la construcción y operación de un relleno sanitario.

A continuación se describen los impactos en los factores ambientales propuestos, como consecuencia de las obras y actividades que se realizan en un proyecto de relleno sanitario, tomando como base las Matrices de Identificación de Impactos Ambientales (Cuadros 3.3, 3.4 y 3.5) presentadas en el Capítulo 3. Se trata de una descripción general de los impactos típicos, la cual deberá ajustarse a cada caso particular, dependiendo de las características tanto ambientales como operativas existentes en cada proyecto de relleno sanitario a desarrollar.

CUADRO 4.1
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO

	OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN EVALUACION															
	1. Identificación y selección del sitio					5. Préstamos de bancos de materiales										
	2. Campamentos		3. Desmonte y despalme			4. Cortes y nivelación		6. Terraplenes		7. Transporte de material y movimiento de equipo		8. Construcción de caminos de acceso e interiores				
	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS					DETERMINACION			EVALUACION							
	1	2	3	4	5	6		7	8			9				
	BENEFICO	ADVERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MEDIDA DE MITIGACION	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	BAJA	MODERADA	ALTA	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO
										SI	NO	A	M	B		
FACTORES AMBIENTALES																
A. FACTORES FISICOS																
1. Procesos erosivos																
2. Drenaje natural																
3. Calidad del agua superficial																
4. Calidad del agua subterránea																
5. Infiltración																
6. Nivel freático																
7. Calidad del aire																
8. Calidad del suelo																
9. Nivel de ruido y vibración																
10. Microclima																
B. FACTORES BIOTICOS																
1. Ecosistemas																
2. Cubierta vegetal en el predio																
3. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción																
4. Vegetación en el medio circundante																
5. Fauna silvestre																
6. Areas de cultivo																
C. FACTORES SOCIALES																
1. Vías de comunicación terrestre																
2. Tenencia de la tierra																
3. Obras o const. aledañas (incluye infraestructura municipal)																
4. Opinión pública																
5. Salud pública y ocupacional																
6. Accidentes																
7. Uso del suelo																
D. FACTORES ECONOMICOS																
1. Fuentes de empleo																
2. Impuestos																
3. Servicios públicos																
4. Costo del terreno																
E. FACTORES ESTETICDS																
1. Paisaje natural																
2. Olores																
3. Erección de construcciones ajenas al medio																
4. Basura y desperdicios																

CUADRO 4.2

MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION Y OPERACIÓN

OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN EVALUACION										
1. Edificaciones	7. Sistema de captación de aguas de escurrimiento pluvial									
2. Sistema de impermeabilización	8. Pozos de monitoreo									
3. Sistema de captación y disposición de lixiviados	9. Cerca fija y móvil									
4. Transporte de material y movimiento de equipo	10. Señalamientos									
5. Celda diana	11. Control y vigilancia									
6. Sistema de captación de biogás										

	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS					DETERMINACION				EVALUACION									
	1	2	3	4	5	6		7		8									
	BENEFICO	ADVERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MEDIDA DE MITIGACION	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	MAGNITUD	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO					
										SI	NO	A	M	B	B	A	M	B	
FACTORES AMBIENTALES																			
A. FACTORES FISICOS																			
1. Procesos erosivos																			
2. Drenaje natural																			
3. Calidad del agua superficial																			
4. Calidad del agua subterránea																			
5. Infiltración																			
6. Nivel freático																			
7. Calidad del aire																			
8. Calidad del suelo																			
9. Nivel de ruido y vibración																			
10. Microclima																			
B. FACTORES BIOTICOS																			
1. Ecosistemas																			
2. Cubierta vegetal en el predio																			
3. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción																			
4. Vegetación en el medio circundante																			
5. Fauna silvestre																			
6. Areas de cultivo																			
C. FACTORES SOCIALES																			
1. Vias de comunicación terrestre																			
2. Tenencia de la tierra																			
3. Obras o const. aledañas (incluye infraestructura municipal)																			
4. Opinión pública																			
5. Salud pública y ocupacional																			
6. Accidentes																			
7. Uso del suelo																			
D. FACTORES ECONOMICOS																			
1. Fuentes de empleo																			
2. Impuestos																			
3. Servicios públicos																			
4. Costo del terreno																			
E. FACTORES ESTETICOS																			
1. Paisaje natural																			
2. Olores																			
3. Erección de construcciones ajenas al medio																			
4. Basura y desperdicios																			

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LOS RELLENOS SANITARIOS

CUADRO 4.3
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

	OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN EVALUACION																				
	1. Reparación de áreas dañadas 2. Cubierta y paisaje 3. Monitoreo ambiental																				
	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS					DETERMINACION				EVALUACION											
	1	2	3	4	5	6		7		8			9								
BENEFICD	ADVERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MEDIDA DE	MITIGACION	PROBABILIDAD	DE	OCURRENCIA	BAJA	MODERADA	ALTA	OBRA D	ACTIVIDAD	GENERADORA	DE IMPACTO
										SI	NO	A	M	B							
FACTORES AMBIENTALES																					
A. FACTORES FISICOS																					
1. Procesos erosivos																					
2. Drenaje natural																					
3. Calidad del agua superficial																					
4. Calidad del agua subterránea																					
5. Infiltración																					
6. Nivel freático																					
7. Calidad del aire																					
8. Calidad del suelo																					
9. Nivel de ruido y vibración																					
10. Microclima																					
B. FACTORES BIOTICOS																					
1. Ecosistemas																					
2. Cubierta vegetal en el predio																					
3. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción																					
4. Vegetación en el medio circundante																					
5. Fauna silvestre																					
6. Areas de cultivo																					
C. FACTORES SOCIALES																					
1. Vías de comunicación terrestre																					
2. Tenencia de la tierra																					
3. Obras o const. aledañas (incluye infraestructura municipal)																					
4. Opinión pública																					
5. Salud pública y ocupacional																					
6. Accidentes																					
7. Uso del suelo																					
D. FACTORES ECONOMICOS																					
1. Fuentes de empleo																					
2. Impuestos																					
3. Servicios públicos																					
4. Costo del terreno																					
E. FACTORES ESTETICOS																					
1. Paisaje natural																					
2. Olores																					
3. Erección de construcciones ajenas al medio																					
4. Basura y desperdicios																					

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LOS RELLENOS SANITARIOS

4.2.1 Factores Físicos

1. Procesos erosivos

Los cortes, desmontes y despalmes son actividades que aceleran los procesos erosivos. Al eliminar áreas verdes y realizar cortes en el sitio del proyecto, el suelo queda expuesto a la acción del agua y del viento, por lo que el desgaste del mismo se incrementa notablemente. Por lo anterior, el impacto causado a los procesos erosivos por los cortes, desmontes y despalmes se considera adverso. En la Figura 4.1 se presenta una red de impactos causados por la intensificación de los procesos erosivos, como consecuencia de las actividades antes descritas; esta red permite identificar impactos acumulativos o indirectos.

Por otra parte, la explotación de bancos de material al tratarse de zonas expuestas carentes de vegetación, trae como consecuencia un arrastre de material suelto por efectos erosivos tanto de naturaleza eólica como hídrica. En este caso, el impacto también se considera adverso.

El sistema de captación de aguas de escurrimiento pluvial puede causar erosión en el terreno, como consecuencia de un diseño hidráulico inadecuado o un deficiente proceso constructivo; en caso de presentarse el impacto, se considera adverso.

La reparación de áreas dañadas, cubierta y paisaje, al ser actividades de la etapa de mantenimiento y conservación, evitan y en su caso corrigen daños causados por los procesos erosivos en la cubierta final del relleno sanitario. Por lo tanto, el impacto causado por estas actividades se considera benéfico.

2. Drenaje natural

Todas las actividades que forman parte del movimiento de tierras para la preparación del sitio (desmonte, despalme, cortes, etc.), así como la construcción de caminos, producen alteraciones en el drenaje natural tanto superficial como subterráneo, por lo que el impacto causado por estas actividades se considera adverso.

El sistema de captación de aguas de escurrimiento pluvial diseñado en el proyecto tiene como objetivo reducir la entrada de agua al relleno sanitario encauzándola y desalojándola rápidamente, de tal manera que se evite que los escurrimientos superficiales dañen las obras realizadas en el relleno y que permitan llevar a cabo los trabajos cotidianos de acomodo de los residuos sólidos y material de cubierta; en este caso el impacto se considera benéfico para el uso que se le dará al suelo.

3. Calidad del agua superficial

Todas las actividades que forman parte del movimiento de tierras, así como la construcción de caminos, generan desechos de materiales que al no disponerse en forma adecuada y en el menor tiempo posible, pueden ser arrastrados a las corrientes superficiales provocando su contaminación. Por lo anterior, en caso de presentarse el impacto se considera adverso. En el Cuadro 4.4 se muestra una serie de parámetros de calidad de las aguas superficiales que pueden ser afectados por algunas de las obras o actividades que se realizan en la etapa de construcción de un proyecto de relleno sanitario.

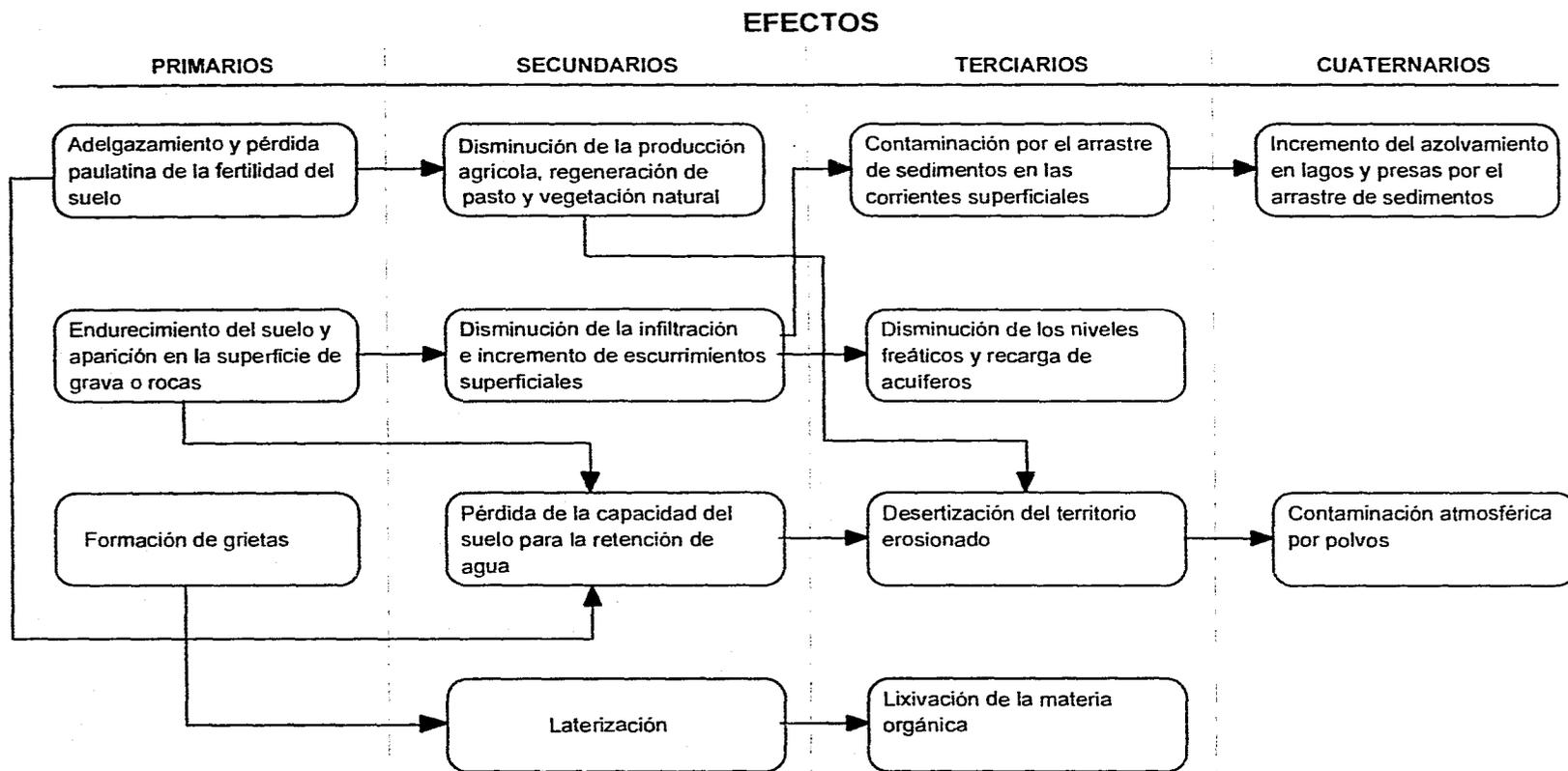


FIGURA 4.1 RED DE IMPACTOS CAUSADOS POR LA INTENSIFICACIÓN DE LOS PROCESOS EROSIVOS COMO CONSECUENCIA DE LOS CORTES, DESMONTES Y DESPALMES

CUADRO 4.4
PARAMETROS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES QUE PUEDEN SER
AFECTADOS EN UN PROYECTO DE RELLENO SANITARIO

INDICADOR AMBIENTAL	OBRAS O ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION				
	Desmonte	Campamentos	Caminos	Obras de protección pluvial *	Excavación a cielo abierto
Temperatura					
DBO					
Oxígeno disuelto					
Sólidos suspendidos					
Turbiedad					
Sólidos disueltos totales					
pH					
Nitrógeno					
Fósforo					
Cloruros					
Metales pesados					

* Bordos, cunetas, contracunetas, lavaderos, etc.

Fuente: Adaptado por el autor de G. Rau and C. Woolen "Environmental Impact Analysis Handbook", 1980

Errores o defectos en la construcción u operación de los sistemas de captación y disposición de lixiviados, pueden provocar la contaminación de las corrientes superficiales. El arrastre de residuos sólidos producto de una mala construcción de las celdas, es otro de los factores que pueden alterar la calidad del agua superficial. Una deficiente construcción u operación de los sistemas de captación de aguas de escurrimiento pluvial puede generar el arrastre de residuos y materiales en los canales, contaminando las aguas superficiales. En caso de presentarse el impacto causado por las actividades antes descritas, se considera adverso.

4. Calidad del agua subterránea

La calidad del agua subterránea es uno de los factores ambientales de mayor importancia en el estudio de impacto ambiental de los rellenos sanitarios, debido a que corren el riesgo de ser contaminadas por lixiviados, ya sea por la carencia de un sistema de impermeabilización adecuado, por un deficiente sistema de captación y disposición de lixiviados o bien por ambas razones. En caso de presentarse el impacto causado por las actividades antes descritas, se considera adverso.

El monitoreo de las aguas subterráneas es una actividad indispensable para evitar o disminuir su contaminación, causada principalmente por la fuga y migración de lixiviados hacia los cuerpos de agua subterránea. Por lo anterior, el impacto causado por esta actividad se considera benéfico.

El lixiviado es uno de los contaminantes de mayor peligro que se genera en los rellenos sanitarios, tanto por sus características altamente agresivas al ambiente como por los volúmenes que pueden llegar a generarse en el sitio de la obra.

Un ejemplo de contaminación de aguas subterráneas con lixiviados es el que se presentó en la subcuenca de Chalco, como consecuencia del tiradero de basura de Santa Catarina ("Estudio de la calidad del agua en pozos cercanos al tiradero de basura de Santa Catarina", Becerril Albarrán Josefina, Facultad de ingeniería, UNAM, 1991). Una evidencia de dicha contaminación, fueron los altos contenidos de nitrógeno como nitratos, nitrógeno amoniacal y hierro total que se encontraron en el muestreo de 10 pozos de agua potable, localizados en dirección sur del tiradero de basura; estos pozos son una fuente de abastecimiento de agua potable para las zonas de Tláhuac, Chalco, Santa Catarina, Los Reyes la Paz, San Miguel Teotongo y parte de ciudad Netzahualcoyotl. Las concentraciones de los contaminantes mencionados son superiores respecto a las concentraciones máximas permisibles establecidas en las normas oficiales para agua potable, tal como se muestra en el Cuadro 4.5.

CUADRO 4.5
CONTAMINACION DE LA SUBCUENCA DE CHALCO POR LIXIVIADOS

PARAMETRO	CONCENTRACION MAXIMA REPORTADA (mg/l)	CONCENTRACION MAXIMA PERMISIBLE * (mg/l)
Nitratos (N - NO ₃)	18	5
Nitrógeno amoniacal (N - NH ₄)	22.8	0.5
Hierro total (Fe)	3.81	0.3

* Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización

Debido al impacto potencial que representan los lixiviados, en los apartados siguientes se describen sus características de generación, composición y migración, así como el cálculo de su producción.

a. Generación de lixiviados

Los lixiviados son los líquidos percolados, cuya producción se debe principalmente al paso del agua de lluvia a través de los estratos de residuos sólidos que se hayan en plena fase de descomposición anaerobia, arrastrando a su paso componentes disueltos, en suspensión, fijos y/o volátiles. Estos elementos son los que dan las características contaminantes a los lixiviados, haciéndolos altamente agresivos al ambiente por sus elevadas cargas orgánicas catiónicas.

El volumen de lixiviado generado en un relleno sanitario depende de una gran diversidad de factores; por experiencias observadas en campo, se puede decir que los principales factores que influyen en la generación de lixiviados, son los siguientes:

- Climatología (precipitación pluvial, evaporación, temperatura, etc.)
- Condiciones geohidrológicas (infiltración, corrientes subterráneas, etc.)
- Forma de operación del relleno
- Tipo de material de cubierta (diaria y en superficie final)
- Pendientes en superficie final
- Existencia y tipo de vegetación en superficie final

- Existencia y tipo de impermeabilización en la base del relleno (paredes y piso)
- Espesor de los residuos depositados
- Intrusión de agua subterránea o de irrigación
- Codisposición de residuos industriales o lodos
- Capacidad de campo de los residuos; es decir, su capacidad de retención de humedad
- Capacidad de campo del material de cubierta
- Codisposición de residuos líquidos; por ejemplo, lodos de una planta de tratamiento

b. Composición de lixiviados

Se han realizado innumerables investigaciones sobre la calidad de los lixiviados, tanto en laboratorio como en campo, encontrándose generalmente que las concentraciones de contaminantes son entre 10 y 20 veces menores en los sistemas experimentales ("Manual para la clausura de tiraderos a cielo abierto", parte II, SEDESOL 1994).

Los lixiviados también han sido comparados con las aguas residuales domésticas, encontrándose que sus concentraciones de contaminantes son comúnmente superiores en por lo menos 40 veces, a las de éstas últimas (Idem. obra citada en el párrafo anterior).

De todos estos estudios se ha podido concluir que la calidad de los lixiviados provenientes de residuos sólidos es altamente variable, debido a la gran dispersión estadística de los datos encontrados.

Estas variaciones generalmente se atribuyen a una gran cantidad de interacciones de los diversos elementos que intervienen en la formación del lixiviado y de éste con su entorno, así como en variaciones en los procedimientos de muestreo, manejo, almacenamiento, conservación y análisis de la muestra. En la composición de lixiviados se encuentran elementos tanto en suspensión como en dilución, como lo son entre otros: sólidos en todas sus formas, sales, componentes orgánicos y en ocasiones metales pesados. La principal característica de los lixiviados es que presentan una alta carga orgánica medida como DBO y DQO, así como elevadas concentraciones de cationes en forma soluble. El Cuadro 4.6 muestra rangos y concentraciones típicas para algunos de los principales parámetros fisicoquímicos de los lixiviados.

Los residuos sólidos tienen la capacidad de albergar poblaciones microbianas en grandes cantidades, entre las que se pueden incluir algunos microorganismos patógenos, los cuales pueden pasar directamente a los elementos del ambiente como el aire, agua y suelo a través de su interacción con los residuos.

Sin embargo, debido a que la mayor parte de los trabajos de caracterización de los lixiviados centran su atención en sus propiedades fisicoquímicas, el contenido microbiano y su viabilidad han sido menos estudiados. Comúnmente las investigaciones microbiológicas se han centrado en la detección de bacterias indicadoras de fecalismo, las cuales en caso de ser encontradas, sugieren la presencia de microorganismos patógenos en los lixiviados.

CUADRO 4.6
PRINCIPALES PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LOS LIXIVIADOS

COMPONENTES	VALORES EN mg/l *		
	RELLENO SANITARIO INFERIOR A 2 AÑOS		RELLENO SANITARIO SUPERIOR A 10 AÑOS
	RANGO	TIPICO	
DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	2,000 - 30,000	10,000	100 - 200
COT (Carbono Orgánico Total)	1,500 - 20,000	6,000	80 - 160
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	3,000 - 60,000	18,000	100 - 500
Sólidos suspendidos totales	200 - 2,000	500	100 - 400
Nitrógeno orgánico	10 - 800	200	80 - 120
Nitrógeno amoniacal	10 - 800	200	20 - 40
Nitratos	5 - 40	25	5 - 10
Fosfato total	5 - 100	30	5 - 10
Alcalinidad (CaCO3)	1,000 - 10,000	3,000	200 - 1,000
pH	4.5 - 7	6	6.6 - 7.5
Dureza total (CaCO3)	300 - 10,000	3,500	200 - 500
Calcio	200 - 3,000	1,000	100 - 400
Magnesio	50 - 1,500	250	50 - 200
Potasio	200 - 1,000	300	50 - 400
Sodio	200 - 2,500	500	100 - 200
Cloro	200 - 3,000	500	100 - 400
Sulfatos	50 - 1,000	300	20 - 50
Hierro total	50 - 1,200	60	20 - 200

*Excepto pH, el cual no tiene unidades

Fuente: George Tchobanoglous "Integrated Solid Waste Management", 1993

c. Migración de lixiviados

El lixiviado generalmente comienza a percibirse como un problema hasta que queda a la vista en los alrededores de los sitios de disposición final, o bien cuando comienza a notarse su influencia en el deterioro de la calidad del agua subterránea o las aguas superficiales, y esto es debido a que el lixiviado se mueve (migra) generalmente impulsado por fuerzas naturales como la gravedad, la tensión superficial, la presión osmótica o algunas otras de orden molecular e inclusive por el efecto de fuerzas inducidas por la actividad humana como puede ser el desplazamiento por la compactación de los residuos sólidos.

De esta forma el lixiviado puede migrar desde el sitio de su generación hasta las grandes profundidades de los mantos acuíferos en explotación, o bien en forma horizontal a distancias relativamente grandes deteriorando a su paso los suelos y cuerpos de agua superficiales, modificando e inclusive impidiendo su régimen de explotación.

El movimiento del lixiviado puede darse en cualquiera de las siguientes formas:

- Antes de que se sature la capacidad de campo de la basura, como resultado de su canalización a través de los espacios vacíos entre los residuos.
- A lo largo de taludes, pendientes o cauces de escurrimientos superficiales.

- A través de vías (materiales) de menor resistencia (impermeabilidad) tanto dentro del sitio de disposición como a través de los suelos circundantes.

- Siguiendo gradientes de humedad, flujos de agua superficial o subterránea, fracturas, excavación o cualquier otro tipo de anomalías en el suelo.

Una vez que los contaminantes han alcanzado el agua subterránea, no son inmediatamente diluidos y arrastrados por las corrientes a lo largo de todo el sistema, sino que pueden quedarse en la superficie del acuífero debido a que las velocidades de flujo son muy bajas y las vías de flujo muy difíciles. Como resultado de esto, los contaminantes no tienden a dispersarse sino a formar plumas, como se ilustra en la figura 4.2.

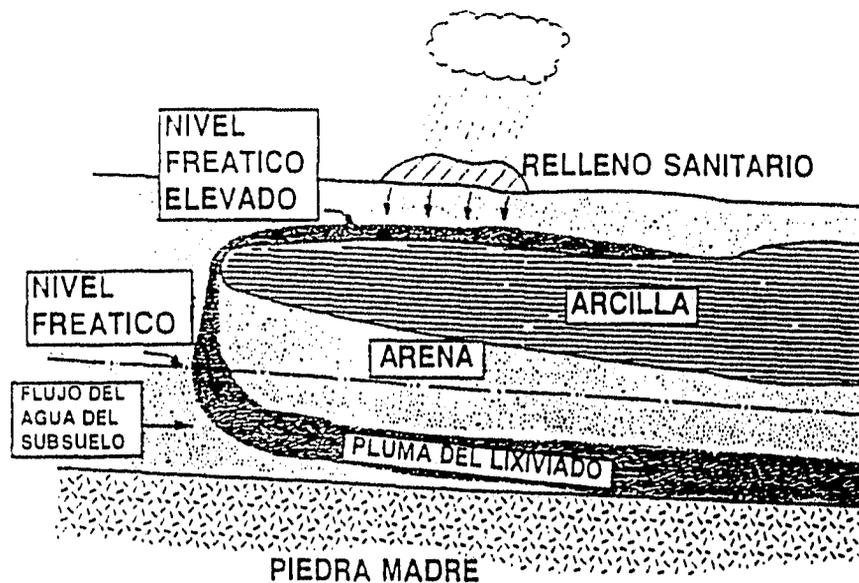


FIGURA 4.2 PLUMA DE LIXIVIADOS

Las plumas de lixiviados están sujetas a varios procesos que alteran su tamaño y forma, así como su dirección y velocidad de flujo. Estos procesos están relacionados con las características geohidrológicas del medio a través del cual se mueve la pluma, la naturaleza de los contaminantes, los patrones de flujo de agua existentes en el área de influencia, y las interacciones de los contaminantes, el agua y la geología circundante.

Por las investigaciones realizadas en materia de migración de plumas de lixiviados, se sabe que cuando estos líquidos logran alcanzar el agua subterránea no se dispersan rápidamente como suele pensarse, sino que las concentraciones de sus contaminantes varían dependiendo de la posición de la pluma dentro del acuífero. Por ejemplo, las grandes concentraciones de lixiviado generalmente se encuentran cerca de su fuente de generación y cerca del centro de la pluma donde la dilución es mínima. Conforme el tamaño de la pluma se incrementa, disminuye la concentración relativa de sus contaminantes, sin embargo, el volumen del agua subterránea afectada también se incrementa y por lo tanto los costos de tratamiento para las aguas afectadas son mayores.

El tamaño de la pluma está determinado por la edad de la fuente de contaminación, la velocidad de liberación de contaminantes y por factores de tipo hidrológico. La amplitud y profundidad de las plumas es influida por la extensión y espesor del acuífero y sus características de flujo, así como por las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes. En la mayoría de los casos, las plumas se mueven en la dirección de flujo del agua subterránea y crecen en ese mismo sentido, sin embargo, algunas condiciones geohidrológicas pueden originar patrones anómalos de desarrollo de la migración.

d. Cálculo de la producción de lixiviados

La producción de lixiviados en un relleno sanitario generalmente se determina mediante el principio de conservación de la masa a través de un análisis de balance de agua. El balance de agua se realiza sumando los volúmenes de agua que entran al relleno sanitario y restando los volúmenes de agua consumidos en reacciones químicas y en procesos de evapotranspiración. La cantidad de lixiviados generados en un relleno sanitario es prácticamente la cantidad de agua que rebasa su capacidad de campo, es decir, su capacidad de retención de humedad.

Existen una serie de métodos y modelos para determinar la producción de lixiviados en un relleno sanitario utilizando el análisis de balance de agua. Uno de los modelos más conocidos para el cálculo de balance de agua en un relleno sanitario es el llamado "Hydrologic Evaluation of Landfill Performance" (HELP, por sus siglas en inglés).

Mediante la utilización del programa HELP se simula un modelo del relleno, considerando su diseño y la estratigrafía del sitio en el que se construirá. Para aplicar el modelo se requiere definir las siguientes variables:

- Estrato de percolación vertical
- Estrato de drenaje lateral
- Capa de suelo
- Capa de geomembrana flexible

La cubierta intermedia, el suelo de protección, el suelo orgánico y los desechos con la cubierta diaria son estratos de percolación vertical.

Los estratos de arena o grava colocados sobre capas impermeables de la base o de la superficie final del relleno sanitario, son estratos de drenaje lateral.

La capa de suelo es el material arcilloso que se coloca en la cubierta final y en la base del relleno sanitario.

Las geomembranas colocadas en la base y en la superficie final del relleno, son capas de geomembrana flexible.

Los datos hidrológicos considerados para aplicar el modelo HELP son:

- Promedio mensual de precipitación
- Promedio mensual de temperatura
- Latitud

- Periodo de crecimiento vegetacional

Además de calcular la cantidad de lixiviados que se generan en un relleno sanitario, el modelo HELP puede realizar el análisis de requerimiento de impermeabilización, así como determinar la cantidad de lixiviados que se infiltran al subsuelo bajo diferentes condiciones constructivas de la base del relleno.

Otra forma de realizar el balance de agua en un relleno sanitario ha sido propuesta por el Dr. George Tchobanoglous en "Integrated Solid Waste" (Edit. Mc Graw-Hill, 1993). En el Capítulo 6 "Caso Estudio", se utiliza este procedimiento en el cálculo efectuado para determinar la cantidad de lixiviados del proyecto de relleno sanitario de la Ciudad de Irapuato Guanajuato. En los párrafos siguientes se hace una descripción del balance de agua en rellenos sanitarios, de acuerdo al método propuesto por Tchobanoglous.

El método propone que el balance de agua se realice para cada capa del relleno sanitario y en un área unitaria, generalizando posteriormente los resultados a toda el área del relleno. Los elementos que intervienen en el balance de agua propuesto por Tchobanoglous se muestran en la Figura 4.3

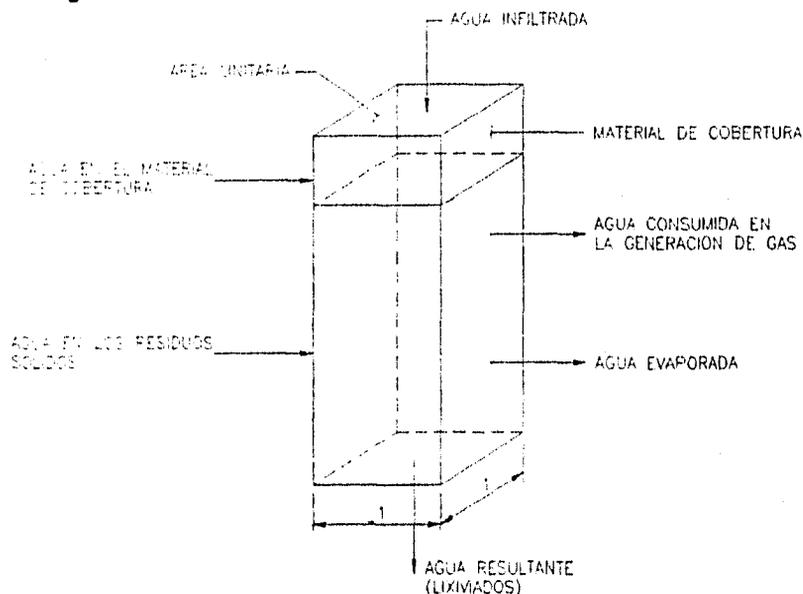


FIGURA 4.3 ESQUEMA DEL BALANCE DE AGUA EN UN RELLENO SANITARIO

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los elementos que intervienen en el balance de agua de un relleno sanitario de acuerdo a este método:

Agua Infiltrada.- Para la capa superior del relleno sanitario el agua infiltrada corresponde a la precipitación pluvial restándole el escurrimiento superficial y la evaporación natural. Para las capas que se encuentran por abajo de la capa superior, el agua infiltrada corresponde al agua percolada a través de los residuos sólidos de las diferentes capas. Uno de los aspectos más críticos en el análisis del balance de agua en un relleno sanitario, es determinar la cantidad de agua percolada a través de las diferentes capas del relleno. En el Capítulo 6 "Caso Estudio" se presenta el cálculo para determinar la cantidad de agua percolada en el proyecto de relleno

sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto., según este método.

Agua en el residuo sólido.- El agua contenida en los residuos sólidos corresponde a su humedad inherente, la cual puede variar de acuerdo a las condiciones climatológicas existentes en el sitio del proyecto. El Cuadro 4.7 muestra rangos y valores típicos de peso específico y contenido de humedad en residuos sólidos domiciliarios y comerciales.

CUADRO 4.7
RANGOS Y VALORES TIPICOS DE PESO ESPECIFICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN
RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS Y COMERCIALES

TIPO DE RESIDUO	PESO ESPECIFICO (kg/m ³)		CONTENIDO DE HUMEDAD (% DEL PESO)	
	RANGO	TIPICO	RANGO	TIPICO
Domiciliario (no compactado)				
Residuos de alimentos	130-480	290	50-80	70
Papel	40-130	90	4-10	6
Cartón	40-80	50	4-8	5
Plástico	40-130	65	1-4	2
Tela	40-100	65	6-15	10
Hule	100-200	130	1-4	2
Cuero	100-260	160	8-12	10
Residuos de jardinería	60-225	100	30-80	60
Madera	130-320	235	15-40	20
Vidrio	160-480	195	1-4	2
Envase de lata	50-160	90	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	130-1150	320	2-4	3
Polvo, ceniza, etc.	320-1000	480	6-12	8
Municipal				
Compactado con tractor	180-450	300	15-40	20
En rellenos sanitarios				
Compactación normal	360-500	450	15-40	25
Buena compactación	590-740	600	15-40	25
Comercial				
Residuos de alimentos	475-950	540	50-80	70
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Residuos combustibles	50-180	120	10-30	15
Residuos no combustibles	180-360	300	5-15	10
Residuos mixtos	140-180	160	10-25	15

Fuente: George Tchobanoglous "Integrated Solid Waste Management", 1993

Agua en el material de cobertura.- El agua contenida en el material de cobertura corresponde a su humedad inherente, la cual depende del tipo de material y de las condiciones climatológicas existentes en el sitio del proyecto. La máxima cantidad de humedad que puede tener el material de cobertura está definida por su capacidad de campo, es decir, por su capacidad de retención de humedad. El Cuadro 4.8 muestra rangos y valores típicos de capacidad de campo y porción seca permanente para varios tipos de suelos usados como

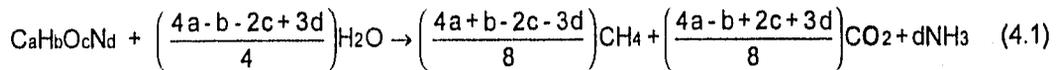
material de cobertura en rellenos sanitarios.

CUADRO 4.8
RANGOS Y VALORES TIPICOS DE CAPACIDAD DE CAMPO Y PORCION SECA PERMANENTE EN VARIOS TIPOS DE SUELOS USADOS EN RELLENOS SANITARIOS

CLASIFICACION DEL SUELO	VALOR EN %			
	CAPACIDAD DE CAMPO		PORCION SECA PERMANENTE	
	RANGO	TIPICO	RANGO	TIPICO
Arena	6 - 12	6	2 - 4	4
Arena fina	8 - 16	8	3 - 6	5
Arcilla arenosa	10 - 18	14	4 - 8	6
Arcilla arenosa fina	14 - 22	18	6 - 10	8
Arcilla orgánica de baja plasticidad	18 - 26	22	8 - 12	10
Sedimentos de arcilla orgánica	19 - 28	24	9 - 14	10
Arcilla inorgánica de baja plasticidad	20 - 30	26	10 - 15	11
Arcilla inorgánica de mediana plasticidad	23 - 31	27	11 - 15	12
Sedimentos de arcilla inorgánica	27 - 35	31	12 - 17	15
Arcilla inorgánica de alta plasticidad	29 - 36	32	14 - 18	16

Fuente: George Tchobanoglous "Integrated Solid Waste Management", 1993

Agua consumida en la generación de gases.- Es el agua consumida durante la descomposición anaerobia de la materia orgánica de los residuos sólidos. La cantidad de agua consumida puede estimarse usando la ecuación estequiométrica que gobierna la descomposición anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos, la cual se muestra a continuación:



donde:

C, H, O, N: representan el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, elementos constituyentes de la materia orgánica.

a, b, c, d: representan las concentraciones molares estequiométricas necesarias para balancear la ecuación.

En el Capítulo 6 "Caso Estudio", se realiza el cálculo para determinar la cantidad de agua consumida en la generación de gases del proyecto de relleno sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto.

Agua evaporada.- Los gases generados en el relleno sanitario comúnmente son saturados con vapor de agua, por lo que la cantidad de agua evaporada que sale del relleno sanitario está directamente relacionada con la generación de gases. Se puede determinar la cantidad de agua evaporada utilizando la Ecuación Universal de los gases de la siguiente manera:

$$P_V V = n R T \quad (4.2)$$

Donde:

P_V = Presión de vapor de agua a la temperatura T , kg/cm^2

V = Volumen de residuos sólidos, m^3

n = Masa molar, kg mol

R = Constante universal de los gases = $848.1 \text{ kgf} \cdot \text{m} / (\text{kg mol} \cdot \text{K})$

T = Temperatura, grados Kelvin = $(273.15 + T, ^\circ \text{C})$

Ejemplo:

$$\text{Si: } P_V = 0.05 \text{ kg}/\text{cm}^2 \times 1 \text{ cm}^2 / (0.01\text{m})^2 = 500 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$V = 1 \text{ m}^3$$

$$T = 35 ^\circ\text{C} = (273.15 + 35) = 308.15 \text{ K}$$

Entonces:

$$n = \frac{P_V V}{R T} = \frac{(500)(1)}{(848.1)(308.15)} = 0.0019 \text{ kg} \cdot \text{mol}$$

$$\text{CH}_2\text{O} = (0.0019 \text{ kg} \cdot \text{mol}) (18 \text{ kg} / \text{kg} \cdot \text{mol}) = 0.034 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{m}^3$$

$$\text{CH}_2\text{O} = \text{Cantidad de agua evaporada en la producción de gas, kg H}_2\text{O} / \text{m}^3$$

Existen algunas pérdidas de humedad por evaporación en los residuos y en el material de cobertura del relleno sanitario, las cuales frecuentemente no se toman en cuenta debido a las bajas cantidades que representan. La decisión de incluir estas variables en el análisis del balance de agua, depende de las condiciones de cada proyecto.

Capacidad de campo del relleno sanitario.- El agua que entra al relleno sanitario no es consumida en su totalidad en la generación de gases, una parte es retenida en el relleno y otra parte se convierte en lixiviado. Los residuos sólidos y el material de cobertura tienen la capacidad de retener agua, cuya cantidad está en función de su capacidad de campo. La cantidad de lixiviado que se puede generar en un relleno sanitario, es la cantidad de humedad que rebasa su capacidad de campo, la cual puede ser estimada usando la siguiente ecuación:

$$F_c = 0.6 - 0.55 \left(\frac{W}{10000 + W} \right) \quad (4.3)$$

Donde:

F_c = Capacidad de campo (fracción del peso seco del residuo sólido)

W = Peso calculado a la mitad de la altura de la capa del residuo analizado, lb

En el Capítulo 6 "Caso Estudio", se aplica la ecuación en el cálculo de lixiviados del proyecto de relleno sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto.

Preparación del balance de agua.- Los elementos que intervienen en el balance de agua de un relleno sanitario, pueden relacionarse con la siguiente ecuación:

$$\Delta W_{RS} = W_{rs} + W_{mc} + W_{i(pp)} - W_{cg} - W_{va} + W_{r(l)} \quad (4.4)$$

Donde:

ΔW_{RS} = Variación en la cantidad de agua almacenada en el Relleno Sanitario, kg/m^3

W_{rs} = Agua (humedad) en el residuo sólido, kg/m^3

W_{mc} = Agua (humedad) en el material de cobertura, kg/m^3

$W_{i(pp)}$ = Agua infiltrada (por precipitación pluvial), kg/m^2 *

W_{cg} = Agua consumida en la generación de gases, kg/m^3

W_{va} = Agua evaporada, kg/m^3

$W_{r(l)}$ = Agua resultante (lixiviados), kg/m^2 *

* El ajuste de unidades se realiza considerando una área unitaria de la capa analizada y un espesor definido por su altura .

El balance de agua en el relleno sanitario se realiza sumando a la masa de agua que entra en un área unitaria de la capa analizada durante un intervalo de tiempo definido, el contenido de humedad de esa capa al final del intervalo de tiempo previo, y restando la masa de agua perdida durante el intervalo de tiempo en curso. El resultado se considera como la cantidad de agua presente en una determinada capa del relleno y en un intervalo de tiempo definido.

Para determinar si es posible que se formen lixiviados en una determinada capa del relleno sanitario, se compara su capacidad de campo con la cantidad de agua presente; si la capacidad de campo es menor que la cantidad de agua presente en la capa, entonces si se formarán lixiviados, cuya cantidad es la diferencia de los elementos comparados.

5. Infiltración

Los cortes y terraplenes necesarios para la preparación del sitio de disposición final de residuos sólidos provocan alteraciones en la infiltración de aguas superficiales, estas alteraciones son en la dirección y velocidad de los flujos infiltrados. El impacto causado por estas actividades puede ser benéfico o adverso dependiendo de la forma en que altere la infiltración a los acuíferos.

El sistema de impermeabilización en la base del relleno sanitario y el sistema de captación de aguas de escurrimiento pluvial, provocan la disminución en el volumen de agua pluvial infiltrada a los acuíferos. El impacto causado por estas actividades se considera adverso en lo que se refiere a la disminución del volumen de recarga a los acuíferos.

6. Nivel freático

La disminución en el volumen de agua pluvial infiltrada a los acuíferos como consecuencia de las actividades descritas en el inciso anterior, provoca como impacto secundario el descenso del nivel freático existente en el sitio de la obra. En este caso el impacto se considera adverso, y su magnitud depende del área que ocupa el relleno sanitario y de las características del sitio en lo que se refiere a ser zona de recarga de los mantos freáticos. El impacto puede ser de mayor magnitud e importancia en acuíferos costeros, ya que podría ocasionar una alteración de la línea de interfase y por consiguiente, la intrusión salina.

7. Calidad del aire

Las actividades que forman parte del movimiento de tierras para la preparación del sitio (desmonte, despalme, cortes, etc.), así como del sistema de impermeabilización, la celda diaria y la cubierta final de un relleno sanitario, requieren el uso de equipo y maquinaria pesada cuya operación genera humos, polvos y gases emitidos a la atmósfera. El Cuadro 4.9 muestra el tipo y uso de la maquinaria más empleada en rellenos sanitarios.

CUADRO 4.9
TIPO Y USO DE LA MAQUINARIA MAS EMPLEADA EN RELLENOS SANITARIOS

EQUIPO Y/O MAQUINARIA	RESIDUOS SOLIDOS		MATERIAL DE COBERTURA			
	Empuje	Compactación	Excavación	Colocación	Compactación	Transporte
Tractor de orugas o Bulldozer	E	B	E	E	B	NA
Cargador de orugas o Traxcavo	B	B	E	B	B	L
Compactador especial	E	E	L	B	E	NA
Retroexcavadora orugas	NA	NA	E	L	NA	NA
Tractor de neumáticos	E	B	L	B	B	NA
Traillas o Motoescrepa	NA	NA	B	E	NA	E
Cargador de neumáticos	B	B	L	B	B	L

Nomenclatura: E = excelente; B = bueno; L = limitado; NA = no aplicable

Fuente: SEDESOL "Manual para la Clausura de Tiraderos a Cielo Abierto", parte I, SEDESOL, 1994

Como ya se ha mencionado el relleno sanitario es una obra de ingeniería que parecería estar siempre en construcción, debido a la combinación de una operación permanente con eventuales procesos constructivos que se incrementan al abrirse nuevos frentes de tiro, cuando concluyen etapas de trabajo o se rehabilitan zonas clausuradas; lo anterior implica que el uso de equipo y maquinaria pesada en un relleno sanitario sea permanente durante toda la vida útil del relleno y por lo tanto, la contaminación del aire con humos, polvos y gases también será permanente. El Cuadro 4.10 muestra datos sobre emisiones típicas de contaminantes en equipo y maquinaria pesada que puede ser usada en un relleno sanitario; estas cantidades dependen del mantenimiento que se le de a la maquinaria, para el caso del Cuadro 4.10 se

considera a la maquinaria nueva.

CUADRO 4.10
EMISIONES TÍPICAS DE CONTAMINANTES EN EQUIPO Y MAQUINARIA PESADA

EQUIPO Y/O MAQUINARIA	PARTICULAS kg/h	CO kg/h	HC kg/h	NO kg/h
Tractor o bulldozer	2.4	4.4	2.5	9
Cargador o traxcavo				
Draga				
Retroexcavadora				
Compactador				
Trailla o motoescrepa				
Camión de volteo				
Extendedora asfáltica				
Aplanadora				

Fuente: EPA "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", 1977

A pesar de que la contaminación del aire por las emisiones del equipo y maquinaria pesada usados en un relleno sanitario es permanente durante toda la vida útil del relleno, el impacto ambiental que es verdaderamente significativo para la calidad del aire es la emisión de biogás a la atmósfera. Las deficiencias en el diseño o en la construcción del sistema de captación de biogás y/o en la superficie final, pueden causar la migración descontrolada del biogás que ponga en riesgo la calidad del aire. En caso de presentarse el impacto se considera adverso.

El monitoreo del biogás es una actividad indispensable para evitar o disminuir la contaminación del aire como consecuencia de un relleno sanitario; por lo cual, el impacto causado por esta actividad se considera benéfico.

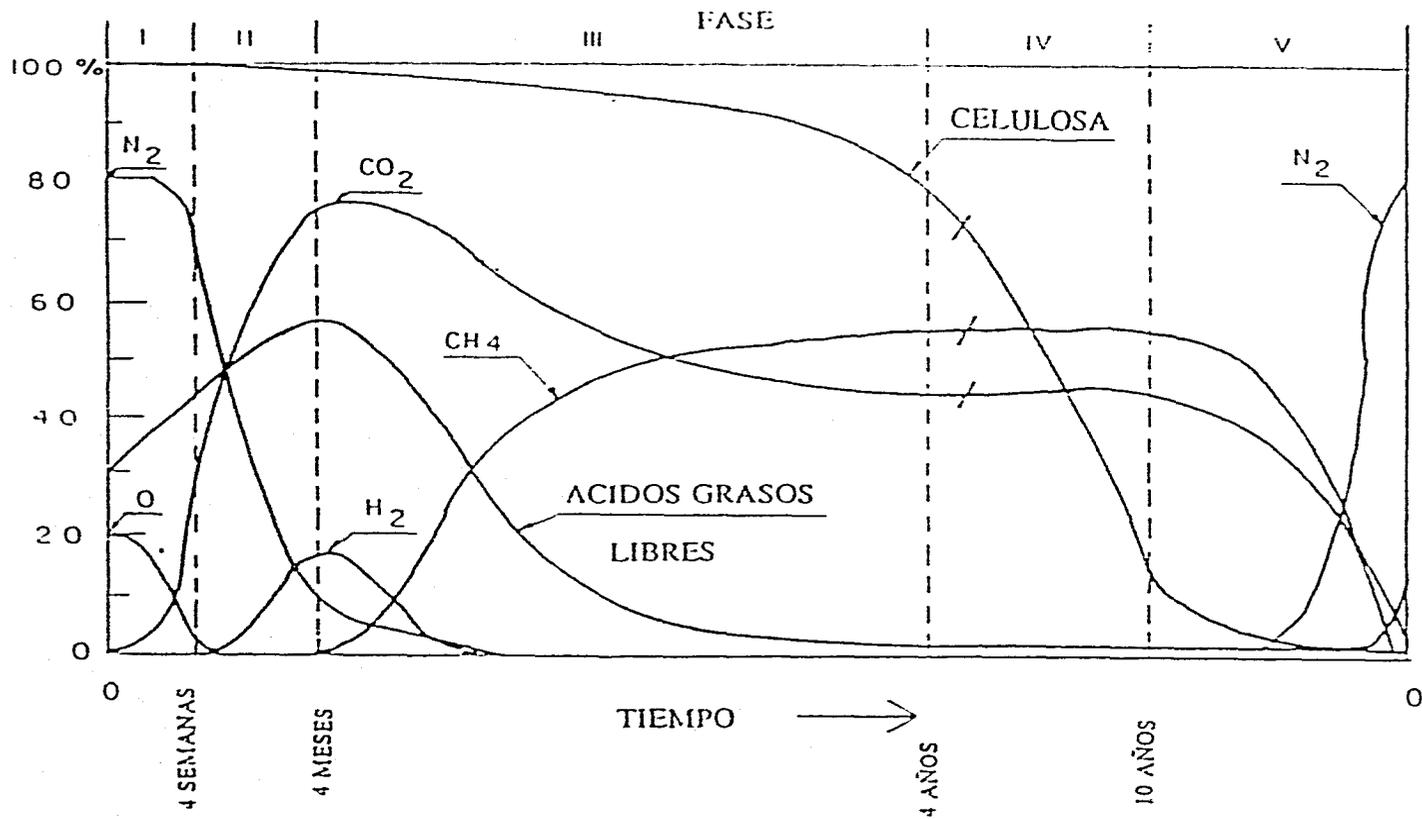
El biogás (junto con el lixiviado) es uno de los contaminantes de mayor peligro que se genera en los rellenos sanitarios, tanto por los elementos que componen a este gas (metano y bióxido de carbono principalmente), como por los volúmenes que pueden llegar a generarse en el sitio de la obra. Debido al impacto potencial que representa el biogás, en los apartados siguientes se describen sus características de generación, composición y migración, así como el cálculo de su producción.

a. Generación de biogás

El biogás es una mezcla de gases que se produce por la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos por efecto de procesos aerobios y anaerobios. La generación de biogás en un relleno sanitario, está directamente relacionada con las siguientes características de los residuos sólidos: cantidad de materia orgánica, humedad, temperatura y compactación.

Los procesos aerobios y anaerobios que intervienen en la generación de biogás, se llevan a cabo en cuatro fases: aerobia, anaerobia no metanogénica, anaerobia metanogénica inestable y anaerobia metanogénica estable, mismas que se ilustran en la Figura 4.4.

COMPOSICION DEL BIOGAS EN VOLUMEN



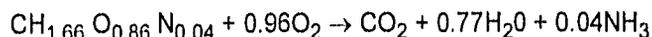
CELULOSA, ACIDOS GRASOS

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LOS RELLENOS SANITARIOS

FIGURA 4.4 MODELO TIPICO DE PRODUCCION DE BIOGAS EN UN RELLENO SANITARIO

En la primera fase, los residuos sólidos están compactados y cubiertos teniéndose un medio muy poroso. Por lo tanto, los huecos existentes están llenos de aire, esto implica que se tiene aproximadamente un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de trazas de otros gases (composición típica del aire no contaminado). La fase inicial de descomposición microbiana de los residuos tiene lugar en una atmósfera rica en oxígeno, por lo que solamente existe la actividad de microorganismos aerobios y facultativos. Bajo estas condiciones, los residuos sólidos son oxidados a bióxido de carbono, amoníaco y agua, con liberación de energía (calor).

Para una composición típica de residuos sólidos la reacción tendrá la siguiente estequiometría:



En lo que se refiere a la generación de calor, ésta se pone de manifiesto por la elevación de la temperatura en el sitio de disposición final, alrededor de los 68 °C. Esta fase se caracteriza por las grandes concentraciones de bióxido de carbono, alcanzando concentraciones hasta del 90% en volumen. Se estima que esta fase puede darse en un período de 4 semanas.

En la segunda fase (anaerobia no metanogénica), prevalecen las condiciones anaerobias y el oxígeno ha sido consumido casi en su totalidad, produciéndose bióxido de carbono e hidrógeno únicamente. La digestión anaerobia es llevada a cabo por muchas clases de bacterias; asimismo, la materia orgánica insoluble con altos pesos moleculares es convertida en materiales muy simples y solubles en agua, por ejemplo:

- a) Celulosa → Glucosa
- b) Proteínas → Aminoácidos
- c) Grasas → Glicerol y ácidos grasos

Se estima que esta fase puede darse en un período de 4 meses.

La tercera fase (anaerobia metanogénica inestable), se caracteriza por la presencia de metano y la disminución del bióxido de carbono, así como del consumo de hidrógeno. Esta fase tiene lugar simultáneamente con la segunda fase, la producción de metano comienza después de que todo el oxígeno ha sido removido, por lo que las bacterias que forman metano son necesariamente anaerobias. El oxígeno en cualquier cantidad inhibe su actividad, sin embargo, dichas bacterias forman esporas y cuando se restablecen las condiciones anaerobias iniciales, recuperan nuevamente su actividad.

En ausencia del oxígeno, las bacterias que forman metano convierten a los ácidos orgánicos en 50% bióxido de carbono y 50% metano aproximadamente. También se presentan pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H₂S) y nitrógeno (N₂). Las bacterias metanogénicas son también capaces de generar metano a partir de bióxido de carbono e hidrógeno, cuando ambos están presentes.

Se pierde muy poca energía durante el proceso de conversión de la materia orgánica a metano, permaneciendo aproximadamente el 90% de la energía en dicho proceso. Por lo tanto, se genera menos calor que cuando la descomposición aerobia se complementa. Se estima que

esta fase puede darse en un período de 4 años.

En la cuarta fase (anaerobia metanogénica estable), las condiciones de producción y composición del biogás se acercan a un estado estable. Las concentraciones de gas metano se estabilizan en un rango de 50 a 60% en volumen y el bióxido de carbono está entre un 40 y 50% en volumen. También están presentes trazas de otros gases (por ejemplo, ácido sulfhídrico, mercaptanos y algunos compuestos orgánicos volátiles), los cuales son las principales fuentes de olor en los rellenos sanitarios.

El tiempo requerido para la estabilización del metano varía de pocos meses a varios años, dependiendo de los factores que afectan su producción. El tiempo de generación de biogás en un relleno sanitario es muy difícil de calcular. Se han desarrollado modelos complejos basados en conceptos teóricos y pruebas de laboratorio que posiblemente pueden predecir la duración de la producción del biogás en un relleno sanitario; pero esto dependerá de la representabilidad de la información utilizada con respecto a las condiciones reales. De acuerdo con observaciones en sitios de disposición final, se sabe que la mayor parte del volumen de biogás se generará en los primeros 10 a 15 años.

b. Composición del biogás

Los principales componentes del biogás generados en los rellenos sanitarios son el metano y el bióxido de carbono, además en bajas concentraciones se tiene nitrógeno y ácido sulfhídrico; sin embargo, existen otros componentes a nivel traza que son importantes por sus posibles efectos sobre la salud humana. En el Cuadro 4.11 se muestra la composición típica del biogás en un relleno sanitario

**CUADRO 4.11
COMPOSICION TIPICA DEL BIOGAS EN UN RELLENO SANITARIO**

COMPONENTE	% DEL VOLUMEN TOTAL*
Metano	45 - 60
Bióxido de carbono	40 - 60
Nitrógeno	2 - 5
Oxígeno	0.1 - 1.0
Acido sulfhídrico, mercaptanos, etc.	0.1 - 1.0
Amoniaco	0.1 - 1.0
Hidrógeno	0 - 0.2
Monóxido de carbono	0 - 0.2
Componentes a nivel de traza	0.01 - 0.6

* El porcentaje exacto varía con la edad del relleno sanitario

Fuente: George Tchobanoglous "Integrated Solid Waste Management", 1993

El metano tiene las siguientes características:

- Incoloro
- Más ligero que el aire
- Tiene baja solubilidad en agua
- Altamente explosivo en concentraciones entre 5 y 15% por volumen en el aire
- Una chispa o destello de una fuente de calor que exceda los 593 °C puede originar una

explosión

- En un relleno sanitario puede alcanzar una concentración entre 45 y 65% en volumen

El bióxido de carbono tiene las siguientes características:

- Incoloro
- Más pesado que el aire
- Altamente soluble en agua (forma soluciones de ácidos débiles corrosivos)
- Inflamable
- Potencialmente peligroso (una concentración del 10% de CO₂ en una atmósfera pura de oxígeno puede causar un envenenamiento involuntario)
- La concentración en rellenos sanitarios varía de 30 a 60%

En lo que respecta a los compuestos a nivel de traza éstos provienen de dos posibles fuentes:

a) Los generados por el proceso de biodegradación natural que se presenta en los rellenos sanitarios. En esta fuente se tiene a los siguientes grupos:

- Compuestos oxigenados
- Compuestos de azufre
- Hidrocarburos

b) Los generados artificialmente por el hombre y que son depositados con los residuos sólidos. En esta fuente se tiene a los siguientes grupos:

- Hidrocarburos aromáticos
- Hidrocarburos clorados

De estos grupos, en los Estados Unidos de Norteamérica se han identificado compuestos en el biogás cuyas características se asocian con propiedades carcinogénicas. En nuestro país no se cuenta con suficiente información, sin embargo, se han realizado caracterizaciones del biogás de manera aislada detectando los siguientes compuestos ("Manual para la clausura de tiraderos a cielo abierto", parte II, SEDESOL, 1994):

- Octano
- Nonano
- 3-Metil Nonano
- Decano
- Metil Benceno
- 1,2-Dimetil Benceno
- 1,3-Dimetil Benceno
- 1,4-Metil Benceno (Metil etil)
- 1,3,5-Trimetil Benceno
- Limoneno
- Alfa-Pireno

c. Migración del biogás

Los mecanismos de movimiento del biogás a través de los residuos sólidos y el suelo son extremadamente complicados; el biogás tiende a migrar del relleno sanitario en la dirección que ofrezca menos resistencia.

El movimiento del biogás es gobernado por dos factores: el primero, es el fenómeno de convección debido a los gradientes de presión, y el segundo es el fenómeno de difusión, en donde el movimiento se da desde las áreas de alta concentración hacia las de menor concentración. Estos factores normalmente se presentan simultáneamente en el relleno sanitario; sin embargo, cuando el gas alcanza una presión por encima de 15 cm de columna de agua, prevalece la convección y en el caso contrario predomina la difusión.

Existe una infinidad de condiciones y características en los rellenos sanitarios que motiva la migración del biogás, en los párrafos siguientes se describen algunas de las más importantes:

Tamaño del poro del suelo en las áreas circundantes.- La porosidad del suelo que rodea a los sitios de disposición final, es determinante para que se de el movimiento a través de los estratos de suelo. El flujo del biogás será mayor en materiales con grandes espacios vacíos como lentes de arena y grava, mientras que en suelos poco permeables (arcillas, aluviones, etc.) el flujo será más bajo.

Aguas subterráneas.- El metano es relativamente insoluble en el agua de modo tal que si el sitio de disposición final se encuentra inmerso en un cuerpo de agua es difícil que se de la migración del biogás, a menos que aumente la presión dentro del sitio.

Características del biogás.- Dependiendo de las concentraciones de los gases se determinará las características de flujo por gradientes de concentración y de presión.

Tipo de material de cubierta.- Dependiendo de los espesores y tipo de la cubierta final, se restringe la migración vertical del biogás y se incrementa la migración lateral.

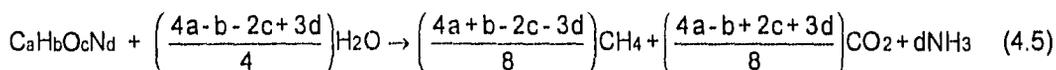
Precipitación pluvial.- Durante la temporada de lluvias, el agua que se infiltra en el relleno sanitario estimula la producción del biogás y al mismo tiempo satura el material de cubierta reduciendo sus espacios vacíos, lo que ocasiona un fuerte incremento en la migración horizontal.

Presión barométrica.- Cuando la presión barométrica baja, el biogás tiende a salir por la cubierta superior y por los taludes del relleno sanitario; cuando la presión barométrica se eleva, el biogás será retenido hasta que se establezca un nuevo balance.

Temperatura.- El incremento de la migración lateral del biogás se ha presentado en épocas de alta temperatura; sin embargo, hasta el momento se desconocen los mecanismos que provocan dicho fenómeno.

d. Cálculo de la producción de biogás

Como ya se mencionó en los incisos anteriores, los principales componentes del biogás generado en un relleno sanitario son el metano y el bióxido de carbono, gases producidos durante la descomposición anaerobia de la materia orgánica de los residuos sólidos; de acuerdo a lo anterior, la cantidad de biogás que puede generarse en un relleno sanitario generalmente se determina usando la ecuación química estequiométrica que gobierna la descomposición anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos, la cual se muestra a continuación:



donde:

C, H, O, N: representan el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, elementos constituyentes de la materia orgánica.

a, b, c, d: representan las concentraciones molares estequiométricas necesarias para balancear la ecuación.

Para balancear esta ecuación se consideran los siguientes valores promedio de los residuos sólidos generados en el Distrito Federal, los cuales se obtuvieron de una serie de análisis realizados por la Dirección Técnica de Desechos Sólidos:

Carbono = 43.02%
 Hidrógeno = 5.96%
 Oxígeno = 49.08%
 Nitrógeno = 1.94%

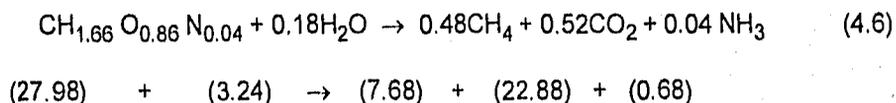
Con estos valores ajustados al 100%, se obtienen los siguientes coeficientes relativos:

C = 43.02 / 12 = 3.58
 H = 5.96 / 1 = 5.96
 O = 49.08 / 16 = 3.067
 N = 1.94 / 14 = 0.138

Tomando el carbono como base:

C = 1
 H = 1.66
 O = 0.86
 N = 0.04

Sustituyendo estos coeficientes en la ecuación estequiométrica (4.5), se tiene:



A partir de la ecuación estequiométrica balanceada (4.6), se obtienen los volúmenes (en kg por m³ de residuo) de metano, bióxido de carbono y amoniaco que se producen en un relleno sanitario. Para obtener estos volúmenes es necesario conocer la cantidad de materia orgánica (principalmente residuos de alimentos y de jardinería, papel y cartón) presente en los residuos sólidos que se van a disponer en el relleno sanitario. Los volúmenes de gases obtenidos, se generalizan para todo el relleno sanitario y se distribuyen a lo largo de su vida útil.

En el Capítulo 6 "Caso Estudio", se presenta el cálculo para determinar los gastos de emisión de bióxido de carbono y metano que es posible que se generen como consecuencia de la implantación del proyecto de relleno sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto.

Para evaluar el impacto en la calidad del aire por la emisión de gases en un relleno sanitario se recomienda la utilización de un modelo matemático, que puede ser del tipo gaussiano. Con estos modelos se determina el área de influencia de la pluma con base en las categorías de estabilidad atmosférica y en la velocidad del viento; además proporcionan las concentraciones de los contaminantes a lo largo de los ejes de referencia de la pluma.

Las hipótesis en las que se basan este tipo de modelos son las siguientes:

1. La fuente de emisión se considera a nivel de piso
2. Se usa un sistema cartesiano tridimensional de referencia
3. Se considera dispersión horizontal y vertical
4. El origen de la fuente es un punto localizado en el centro geométrico del área que ocupará el relleno sanitario.

La Figura 4.5 muestra el comportamiento de una emisión de gases en un relleno sanitario, usando un modelo de dispersión gaussiana.

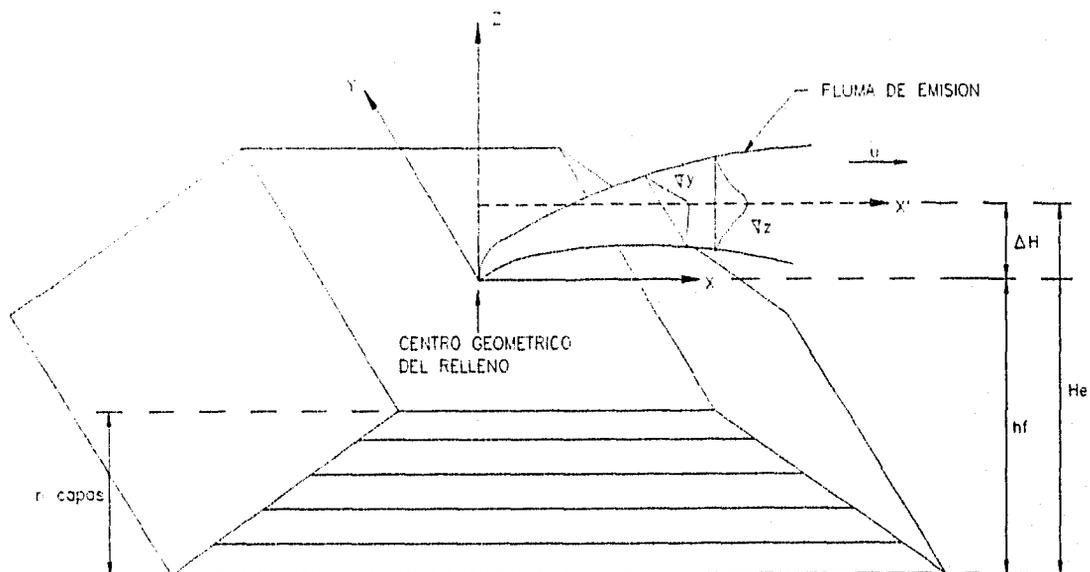


FIGURA 4.5 ESQUEMA DE UN MODELO DE DISPERSION GAUSSIANA APLICADO A RELLENOS SANITARIOS

En este trabajo se usará el modelo propuesto por Pasquill (1961), cuya ecuación es la siguiente:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2u\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left[e^{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}} \right] \quad (4.7)$$

donde:

$C(x, y, z)$ = Concentración de contaminantes en un punto de coordenadas x, y, z , $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Q = Gasto máximo de contaminantes, $\mu\text{g}/\text{s}$

u = Velocidad del viento a la altura de la capa en estudio, m/s

$\sigma_y = f(\text{Estabilidad}, x)$ = Coeficiente de dispersión horizontal, m

$\sigma_z = f(\text{Estabilidad}, x)$ = Coeficiente de dispersión vertical, m

$He = hf + \Delta H$ = Altura efectiva de la emisión, m

hf = Altura del relleno sanitario en la capa n , m

ΔH = Altura de ascensión de los gases, m

Si se mantiene fijo el valor de dos variables haciendo cambiar la tercera constantemente, es posible la obtención de datos que muestren la variación del contaminante en el espacio. Puede lograrse una simulación gráfica del impacto ambiental con el empleo de un programa de computadora.

En el Capítulo 6 "Caso Estudio" se aplica el modelo de dispersión gaussiana propuesto por Pasquill, para determinar el área de influencia de la pluma de gases (metano y bióxido de carbono) así como sus concentraciones máximas, para el proyecto de relleno sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto.

8. Calidad del suelo

El desmonte y despalme al ser actividades que tienen como función la remoción de áreas verdes existentes en el predio para la construcción de la infraestructura requerida por el proyecto, provocan que el suelo quede expuesto a la acción de los agentes erosivos, modificando los procesos locales de pérdida de suelo, evaporación e infiltración. Por lo anterior, el impacto causado por estas actividades se considera adverso.

El mantenimiento de la maquinaria en el predio del proyecto durante las etapas de construcción y operación, puede causar el derrame de combustibles y aceites. Deficiencias en la construcción u operación del sistema de captación y disposición de lixiviados, puede causar fugas o derrames de este líquido contaminante en el suelo. En caso de presentarse el impacto causado por las actividades antes descritas, se considera adverso.

9. Nivel de ruido y vibración

Todas las actividades que forman parte del movimiento de tierras para la preparación del sitio (desmonte, despalme, cortes, etc.) así como la construcción de caminos, son fuentes generadoras de ruido por el uso de equipo y maquinaria pesada. El Cuadro 4.12 muestra los niveles de presión acústica generados por el equipo y maquinaria pesada que pueden ser usados en un relleno sanitario; estas cantidades dependen del mantenimiento que se le de a la maquinaria, para el caso del Cuadro 4.12 se considera a la maquinaria nueva.

CUADRO 4.12
NIVELES DE PRESION ACUSTICA (NPA) DE EQUIPOS Y MAQUINARIA PESADA USADOS
EN UN RELLENO SANITARIO

EQUIPO Y/O MAQUINARIA	NIVEL DE PRESION ACUSTICA EN dB(A) A 15 m
Tractor o bulldozer	87 - 102
Cargador o traxcavo	73 - 86
Compactador cilindrico	72 - 85
Tralla o motoescrepa	80 - 92
Camión de volteo	84 - 89
Motoconformadora	88 - 91
Pavimentadora	80 - 89

Fuente: EPA "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", 1977

El monitoreo del ruido, se refiere a realizar mediciones eventuales del ruido generado por la maquinaria empleada en un relleno sanitario; estas mediciones se realizan con un aparato llamado sonómetro y tienen como objetivo prevenir daños en la salud de las personas que se encuentren en el relleno sanitario y en las áreas circundantes (pérdida de audición, perturbación del sueño, estrés, disminución de la eficiencia laboral, etc.). Por lo anterior, el impacto causado por esta actividad se considera benéfico.

Para determinar el nivel de presión acústica a una distancia definida de la fuente generadora, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$NPA = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (4.8)$$

donde:

NPA = Nivel de presión acústica, dB(A)

P_0 = Umbral de audición humana = 0.0002 μ bares

P = Presión sonora total, μ bares

$P = P_a + P_{rnc}$

P_a = Presión atmosférica

P_{rnc} = Presión sonora promedio (raíz media cuadrática) de la fuente generadora

Para determinar el nivel de presión acústica a diferentes distancias de la fuente generadora, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$NPA_2 = NPA_1 - 20 \log \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \quad (4.9)$$

donde:

NPA_2 = Nivel de presión acústica a la distancia D_2 , dB(A)

NPA_1 = Nivel de presión acústica a la distancia D_1 , dB(A)

D_1 = Distancia a la que se conoce la presión acústica, m

D_2 = Distancia a la que se calcula la presión acústica, m

Para determinar los niveles de presión acústica de la maquinaria en conjunto, se puede utilizar el siguiente procedimiento:

1. Determinar la presión de los sonidos combinados de la maquinaria; para lo cual, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{\text{comb}} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2} \quad (4.10)$$

donde:

P_{comb} = Presión de los sonidos combinados de la maquinaria, μ bares
 P_1, P_2, P_n = Presión sonora de cada una de las fuentes generadoras, μ bares

2. Determinar el nivel de presión acústica de la maquinaria en conjunto, sustituyendo la ecuación No 4.10 en la ecuación No 4.8, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\text{NPA} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{comb}}}{P_0} \right)^2 \quad (4.11)$$

donde:

NPA_{comb} = Nivel de la presión acústica de la maquinaria en conjunto, dB(A)
 P_{comb} = Presión de los sonidos combinados de la maquinaria, μ bares
 P_0 = Umbral de audición humana = 0.0002 μ bares

En el Capítulo 6 "Caso Estudio", se determinan los NPA de la maquinaria propuesta para el proyecto de relleno sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto.

Respecto a la vibración, las actividades del movimiento de tierras que podrían causar un impacto significativo son los cortes, pero esto depende del tipo de suelo existente en el sitio de la obra, así como de las características propias del proyecto (topografía, tipo de relleno sanitario, caminos, etc.). En caso de presentarse el impacto, se considera adverso.

4.2.2 Factores Bióticos

1. Cubierta vegetal en el predio

Como parte de la preparación del sitio en el cual se construirá un relleno sanitario, es necesario realizar el desmonte y despalle de la mayor parte del predio, lo anterior implica un impacto adverso en lo que se refiere a la eliminación de la cubierta vegetal existente en el sitio del proyecto. La magnitud del impacto depende del tipo de vegetación presente en el predio, así como del área que ocupa. Para fines de desmonte se pueden considerar los siguientes tipos de vegetación:

- Manglar
- Selva o bosque
- Monte de regiones áridas o semiáridas

- Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales

La cubierta y paisaje como parte de las actividades de la etapa de mantenimiento y conservación, tiene como objetivo primordial restaurar ecológicamente parte del sitio del proyecto; esta restauración se lleva a cabo colocando una cubierta vegetal (pasto y otras especies vegetales) sobre la superficie final del relleno sanitario. Por lo anterior, el impacto causado por la cubierta y paisaje se considera benéfico.

Los factores que condicionan la elección de especies capaces de cubrir continuamente la superficie final de un relleno sanitario con pasto o césped son muy diversos: climatología, latitud, suelo, etc. Por lo tanto, es muy difícil determinar con acierto la especie o especies adecuadas en cada ocasión.

A continuación se citan varias especies de pasto con sus características más importantes:

Agróstide, rastrero o fiorín

Agrostis stolonífera. Son especies que forman un césped muy denso. Soporta fácilmente casi todos los suelos, incluso los ácidos. Son muy agresivas, pues se extienden con facilidad por estolones subterráneos y superficiales. No soportan el corte continuo. Se propagan fácilmente por semilla y por multiplicación vegetativa al comienzo y al final de la estación cálida. Son notables las variedades "Penncross", "Toronto", "Seaside" y "Washington".

Popotillo azul

Andropogon scoparius y A. Virginicus. Comúnmente llamada anaróspura. Especies perennes que pueden alcanzar tallo alto, si se abandona la siega. De consistencia basta, es apropiada para fijar taludes. Soporta bien los suelos áridos y secos. Debe cortarse siempre por encima de 10 cm y se puede multiplicar por plantación vegetativa.

Pasto bromo suave

Bromus inermis. Especie perenne de gran desarrollo aéreo y radicular. Es estolonífera, con hojas planas algo toscas y gran cantidad de renuevos; puede formar praderas aceptables en suelos de cualquier tipo, con tal que sean fértiles y estén bien drenados. Soporta los climas extremos y la salinidad. Se multiplica por semilla.

Pasto rodas

Chloris gayana. Especie perenne de talla elevada, que se desarrolla por tallos rastreros. Es muy fuerte y se adapta esencialmente a climas templados y cálidos, soporta bien todo tipo de suelos. Constituye una excelente colonizadora de taludes. Se siembra al comienzo de la estación cálida.

Pata de gallo o Gramínea de huerto

Dactylis glomerata. Especie perenne de talla alta, con hojas anchas y plegadas. Es una planta muy rústica que soporta cualquier suelo aunque resulte seco y poco fértil. Se utiliza para

céspedes fuertes y poco cuidados, multiplicándose fácilmente por semilla.

Cañuela de oveja

Festuca ovina. Especie perenne de talla baja y con numerosas hojas basales. Es muy rústica en cuanto al frío y para cualquier tipo de suelo, incluso salino y árido. Se propaga fácilmente por semilla. Se utiliza en prederas de montañas.

2. Especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción

Un aspecto importante que se debe considerar al realizar el desmonte y despalme del predio en el cual se construirá un relleno sanitario, es el que se refiere a la posible existencia de especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción.

En la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, se establecen en listados las especies y subespecies de la flora y fauna silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y dentro de estas categorías las endémicas a la República Mexicana y aguas de jurisdicción federal.

Las especies y subespecies de la flora silvestre terrestres y acuáticas que se mencionan en dicha Norma son 950, las cuales se describen en cuatro columnas. En la primera columna se menciona la familia de la planta u hongo, en la segunda el nombre común, en la tercera el nombre científico y en la cuarta columna se menciona la categoría con las siguientes abreviaturas y símbolos:

- A. Amenazadas
- R. Raras
- P. Peligro de extinción
- Pr. Sujetas a protección especial
- * Endémicas a la República Mexicana

En esta Norma también se establecen especificaciones para proteger, conservar y desarrollar las especies y subespecies mencionadas en los listados.

Por último, es importante advertir que si no se considera este factor ambiental desde la selección del sitio, se podría generar un impacto adverso además de un delito federal, en caso de que se encontrara en el predio del proyecto alguna de las especies vegetales mencionadas en la Norma citada (NOM-059-ECOL-1994).

3. Fauna silvestre

Las actividades de desmonte y despalme en la preparación del sitio, provocan la afectación del hábitat silvestre existente en el sitio del proyecto. Con el desmonte se retiran nidos y madrigueras de reptiles, aves y mamíferos, lo cual puede implicar la muerte de crías y adultos de las especies que tengan dificultad para emigrar. El desplazamiento de animales hacia las zonas aledañas al sitio del proyecto, puede generar problemas de tipo ecológico, económico y/o social en dichas zonas. Por lo anterior, el impacto causado por el desmonte y despalme se considera adverso.

En caso de que no se tenga un estricto control en la construcción de la celda diaria de un relleno sanitario (se llama celda a la conformación geométrica que se da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta debidamente compactados con un equipo mecánico), se puede generar la proliferación de fauna nociva como ratas, aves de rapiña, insectos y moscas.

La proliferación de fauna nociva en un relleno sanitario, puede generar el desequilibrio de los ecosistemas existentes tanto en el sitio del proyecto como en las zonas aledañas. Tal es el caso del tlacuache común y del pájaro conocido como picho (*Quiscalus mexicanus*) en amplias regiones de las tierras cálido-húmedas mexicanas; ambas especies al ser favorecidas por la deficiente disposición de residuos sólidos en un relleno sanitario, aumentan su densidad de población y se transforman en enemigas de las pocas especies sobrevivientes de la comunidad original destruida, contribuyendo a su desaparición definitiva. Los tlacuaches y pichos destruyen los nidos y atacan las crías de muchas aves, devoran reptiles y batracios.

La proliferación de ratas, es una de las plagas más comunes y peligrosas que se puede tener en un relleno sanitario, ya que se reproducen rápidamente, son depredadoras de plantas y animales y transmisoras de múltiples enfermedades para las personas.

El transporte de material y movimiento de equipo así como los cortes y nivelación, provocan la emigración de algunos animales hacia las zonas aledañas al sitio del proyecto, debido al ruido y vibración producidos. En este caso, el impacto también se considera adverso.

La cubierta y paisaje al ser una actividad de restauración ecológica del predio del proyecto, que se realiza una vez clausurado el relleno sanitario, ayuda de cierta manera a la recuperación del hábitat silvestre existente en el predio antes de la construcción del relleno sanitario. Por lo anterior, el impacto causado por esta actividad se considera benéfico.

Un aspecto importante que hay que considerar dentro de este factor ambiental, es el referente a las especies de fauna silvestre raras, endémicas o en peligro de extinción. Como se mencionó en el inciso anterior, en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 se determinan en listados las especies y subespecies de la flora y fauna silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y dentro de estas categorías las endémicas a la República Mexicana y aguas de jurisdicción federal.

Las especies y subespecies de la fauna silvestre terrestres y acuáticas que se mencionan en dicha Norma son: 265 mamíferos, 339 aves, 668 reptiles, 130 peces y 51 invertebrados, los cuales se describen en tres columnas. En la primer columna se menciona el nombre científico, en la segunda el nombre común y en la tercer columna se menciona la categoría con las siguientes abreviaturas y símbolos:

- A. Amenazadas
- R. Raras
- P. Peligro de extinción
- Pr. Sujetas a protección especial
- * Endémicas a la República Mexicana

4.2.3 Factores Sociales

1. Vías de comunicación terrestre

Para analizar la importancia de este factor ambiental, hay que recordar que la vida útil mínima de un relleno sanitario es de 7 años según lo establece el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994 (actualmente en revisión) y usualmente está en servicio de cinco a seis días a la semana y de ocho a diez horas por día; si a lo anterior se añade que la entrada y salida de camiones que transportan material así como residuos sólidos es constante durante toda la jornada, puede concluirse que las condiciones de tránsito de las vías de comunicación terrestre cercanas al sitio del relleno sanitario así como los mismos caminos, se pueden ver seriamente afectados en caso de que no se tomen las medidas de prevención adecuadas. En este caso, el impacto se considera adverso.

Los problemas que se pueden generar en la vías de comunicación terrestre cercanas al sitio del proyecto, en caso de que no se analice en forma adecuada este factor ambiental, son entre otros: congestionamientos, incremento en el índice de accidentes viales, desgaste de la carpeta asfáltica y daños en las obras hidráulicas de los caminos.

La adecuada construcción y mantenimiento de los caminos de acceso e interiores en el predio del relleno sanitario así como un buen señalamiento, agilizarán el tránsito de los camiones en el interior del predio, con lo cual el flujo vehicular en las vías de comunicación terrestre cercanas al sitio del proyecto se verá menos afectado. En este caso, el impacto se considera benéfico.

2. Tenencia de la tierra

Uno de los aspectos más importantes en la identificación y selección del sitio para un relleno sanitario, es el asunto de la tenencia de la tierra. El conseguir la tenencia legal de un predio que reúna las características apropiadas (vida útil, topografía, geohidrología, etc.) para construir un relleno sanitario, es comúnmente uno de los problemas más serios que afrontan las autoridades municipales correspondientes. En este caso el impacto puede ser benéfico o adverso, dependiendo de la manera en que las autoridades municipales manejen la tenencia del predio (arrendamiento o propiedad del Municipio) en el cual se realizará la obra.

3. Opinión pública

Los rellenos sanitarios generalmente provocan un impacto adverso en la opinión de las comunidades cercanas al sitio de la obra, ya que al desconocer la población en qué consisten este tipo de obras de ingeniería, se piensa que se trata de tiraderos de basura que provocarán la proliferación de fauna nociva, malos olores, contaminación de aguas subterráneas, etc. La construcción y operación permanente de un relleno sanitario durante varios años (7 años en adelante), implica entre otras cosas el movimiento constante de maquinaria pesada y el transporte de material y residuos sólidos al sitio de la obra, lo cual también provoca un impacto adverso en la opinión pública.

La opinión pública es uno de los factores ambientales importantes que se tienen que considerar desde la planeación de este tipo de obras de ingeniería, ya que se pueden originar problemas con las comunidades cercanas al sitio de la obra que perjudiquen el desarrollo de la

misma. Tal es el caso del tiradero controlado en Lerma de Villada Edo. de México (Plan de desarrollo urbano de Lerma de Villada 1994-1996), en donde dos veces se tuvo que cambiar la ubicación del sitio del proyecto, debido a la oposición de las comunidades cercanas a dichos sitios; finalmente se logró ubicar el proyecto en un predio del poblado de Santa María Atarasquillo.

4. Salud pública y ocupacional

Ruido y vibración

Para las personas que participen en las actividades de preparación del sitio y construcción que son generadoras de ruido y vibración, la salud ocupacional puede ser afectada. Los efectos en la salud producidos por el ruido y vibración van desde dolores de cabeza, calambres e insomnio, hasta trastornos en el sistema digestivo y nervioso central.

Los empleados expuestos al ruido, dependiendo de su intensidad y frecuencia, pudieran presentar alguna manifestación con efectos fisiológicos (normales) o efectos patológicos (accidentales). En el primer caso, el ruido enmascara muchos sonidos, perturba la localización espacial, puede producir dolores a altos niveles, etc. En el segundo caso, se presentan traumatismos auditivos, con caracteres generales, como las pérdidas auditivas, zumbidos, silbidos y mala recuperación. El oído interno aparece casi siempre afectado en este caso. Asimismo son frecuentes los dolores de cabeza (cefáleas), los síncope, anemias, pérdida de apetito, etc. La conducta humana general se ve alterada, así como la atención y el rendimiento en el trabajo.

En general, el personal que utiliza equipos tales como martillos neumáticos, barrenadoras, tractores y cualquier otro que sea vibrador, sufre los efectos de este tipo de ondas: polialgias y astralgias en los miembros superiores, dolores generales, calambres, insomnio, etc.

Los trastornos patológicos aparecen principalmente en la columna vertebral, en el aparato digestivo y en el sistema nervioso central.

Lixiviados y biogás

Como ya se mencionó anteriormente, los lixiviados son líquidos altamente contaminantes por sus elevadas concentraciones de componentes orgánicos, sólidos en todas sus formas, sales y en ocasiones metales pesados. En caso de que los lixiviados generados en un relleno sanitario llegaran a contaminar las aguas subterráneas, se pondría en riesgo la salud de las poblaciones cercanas al sitio del proyecto. Tal es el caso de contaminación con lixiviados en la subcuenca de Chalco, que se explicó en el factor ambiental "Calidad del agua subterránea".

Los principales componentes del biogás generados en los rellenos sanitarios son el metano y el bióxido de carbono, además en bajas concentraciones se tiene nitrógeno y ácido sulfhídrico; sin embargo, existen otros componentes a nivel de traza que son importantes por sus posibles efectos sobre la salud humana.

El metano es altamente explosivo en concentraciones entre 5 y 15% por volumen en el aire. Una concentración del 10% de bióxido de carbono en una atmósfera pura de oxígeno puede causar un envenenamiento involuntario. En lo que respecta a los compuestos a nivel de traza, se han identificado algunos cuyas características se asocian con propiedades carcinogénicas.

Humos, polvos y gases

Como ya se ha mencionado el relleno sanitario es una obra de ingeniería que parecería estar siempre en construcción, debido a la combinación de una operación permanente con eventuales procesos constructivos que se incrementan al abrirse nuevos frentes de tiro, cuando concluyen etapas de trabajo o se rehabilitan zonas clausuradas; lo anterior implica que el uso de equipo y maquinaria pesada en un relleno sanitario sea permanente durante toda la vida útil del relleno y por lo tanto, la contaminación del aire con humos, polvos y gases también será permanente.

Los principales contaminantes en el aire por las emisiones de la maquinaria de construcción, que se usa en un relleno sanitario y que ponen en riesgo la salud ocupacional son: partículas, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. En los párrafos siguientes se mencionan algunos de los efectos sobre la salud humana, causados por dichos contaminantes.

Partículas. Las partículas solas o en combinación con otros contaminantes, representan un peligro muy grave para la salud. Los contaminantes entran principalmente al cuerpo humano por las vías respiratorias. Los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente, ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas entre 0.01 y 0.1 μ m que penetran en las cavidades pulmonares se depositarán allí (J.K. Burchard. "The Significance of Particle Emissions" J. Air Pollution Control Assoc. 24, No 12, 1974).

Monóxido de carbono. Existen muchos estudios que demuestran que las altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos, y finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (> 750 ppm). La combinación del monóxido de carbono y la hemoglobina conduce a la formación de la carboxihemoglobina, que dependiendo de su concentración en la sangre puede causar diversos efectos, como: dolores de cabeza, fatiga, fallas respiratorias, efectos sobre el sistema nervioso central e incluso la muerte.

Hidrocarburos. Hasta ahora, los estudios de los efectos de las concentraciones de hidrocarburos gaseosos sobre el aire, no han demostrado la existencia de efectos adversos directos en la salud del hombre. Estudios de las propiedades carcinogénicas de ciertas clases de hidrocarburos sí indican que ciertas formas de cáncer parecen ser causadas por la exposición a hidrocarburos aromáticos que se encuentran en el hollín y los alquitranes. Los hidrocarburos no quemados, en combinación con los óxidos de nitrógeno y en presencia de luz solar, forman oxidantes fotoquímicos, componentes del smog fotoquímico, los que tienen efectos adversos en la salud del hombre y de las plantas.

Oxidos de nitrógeno. De los seis o siete óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son importantes contaminantes del aire. El dióxido de nitrógeno actúa como un fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. Sin embargo, a concentraciones encontradas en la atmósfera, el NO₂ es sólo potencialmente irritante y potencialmente relacionado con la fibrosis pulmonar crónica (American Association for the Advancement of Science "Air Conservation" Washington, D.C; 1975). Se ha observado algún aumento en la bronquitis de los niños (de 2 a 3 años de edad) a concentraciones por debajo de 0.01 ppm. En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el esmog fotoquímico.

Desperdicios y basura

El manejo inadecuado de los residuos sólidos en un relleno sanitario, ya sea en el transporte, en las zonas de almacenamiento temporal o en la construcción de la celda diaria, puede generar la proliferación de fauna nociva como ratas, aves de rapiña, moscas y mosquitos; dicha fauna nociva es transmisora de múltiples enfermedades para las personas, lo cual pondría en riesgo la salud ocupacional.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos en un relleno sanitario, también puede provocar la contaminación del aire con microorganismos que se hallan en los residuos sólidos, lo cual afectaría la salud de las personas que laboran en el relleno sanitario.

5. Accidentes

El relleno sanitario es una obra de ingeniería en la que se combinan los procesos de construcción y operación durante su vida útil, lo anterior incrementa la probabilidad de ocurrencia de accidentes en el sitio de la obra.

El movimiento de tierras constante durante la vida útil de un relleno sanitario requiere del uso de equipo, maquinaria pesada e incluso en algunos casos de explosivos, lo cual implica un riesgo de accidentes constante que se incrementa en caso de que no se tomen las medidas de prevención adecuadas.

La operación de un relleno sanitario implica el movimiento constante de camiones de carga, equipo, maquinaria pesada, cuadrillas de trabajadores y en general la realización de diferentes actividades en forma combinada (preparación de la base del relleno sanitario, caminos interiores, celda diaria, superficie final, etc.); lo anterior requiere tomar las medidas de prevención y control adecuadas, para evitar que se generen accidentes en el sitio de la obra.

El control inadecuado del biogás que se genera en un relleno sanitario puede provocar accidentes por incendios e inclusive por explosiones. En la etapa de mantenimiento y conservación también se pueden originar accidentes por fallas en taludes, asentamientos y depresiones entre otros problemas; los cuales pueden ser consecuencia de una construcción deficiente del relleno sanitario, o bien por la acción de lluvias y/o vientos.

4.2.4 Factores Económicos

1. Fuentes de empleo

Un impacto positivo que se presenta en un proyecto de relleno sanitario, es la generación de una gran cantidad de empleos, algunos de carácter temporal (construcción de casetas, cerca perimetral, zona de acceso, etc.) y otros permanentes durante la vida útil y/o post-clausura de la obra (sistema de impermeabilización, celda diaria, monitoreo ambiental, etc.).

La cantidad y tipo de personal que se contrate para realizar los trabajos de selección y preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario, depende de muchos factores: tipo de relleno sanitario (área, trinchera o combinado), procedimientos constructivos, disponibilidad de recursos económicos para la obra, etc.

La figura 4.6 muestra un organigrama tipo, del personal que se puede emplear en las etapas de preparación del sitio y construcción de un relleno sanitario. Este organigrama es apropiado para actividades tales como: desmonte y despalme, cortes, terraplenes, construcción de caminos y transporte de material entre otras actividades.

Las actividades de esparcido, compactación y cobertura de residuos sólidos para la construcción de la celda diaria de un relleno sanitario, requieren de personal calificado. La figura 4.7 muestra un organigrama tipo, del personal que se puede emplear para realizar las actividades antes descritas.

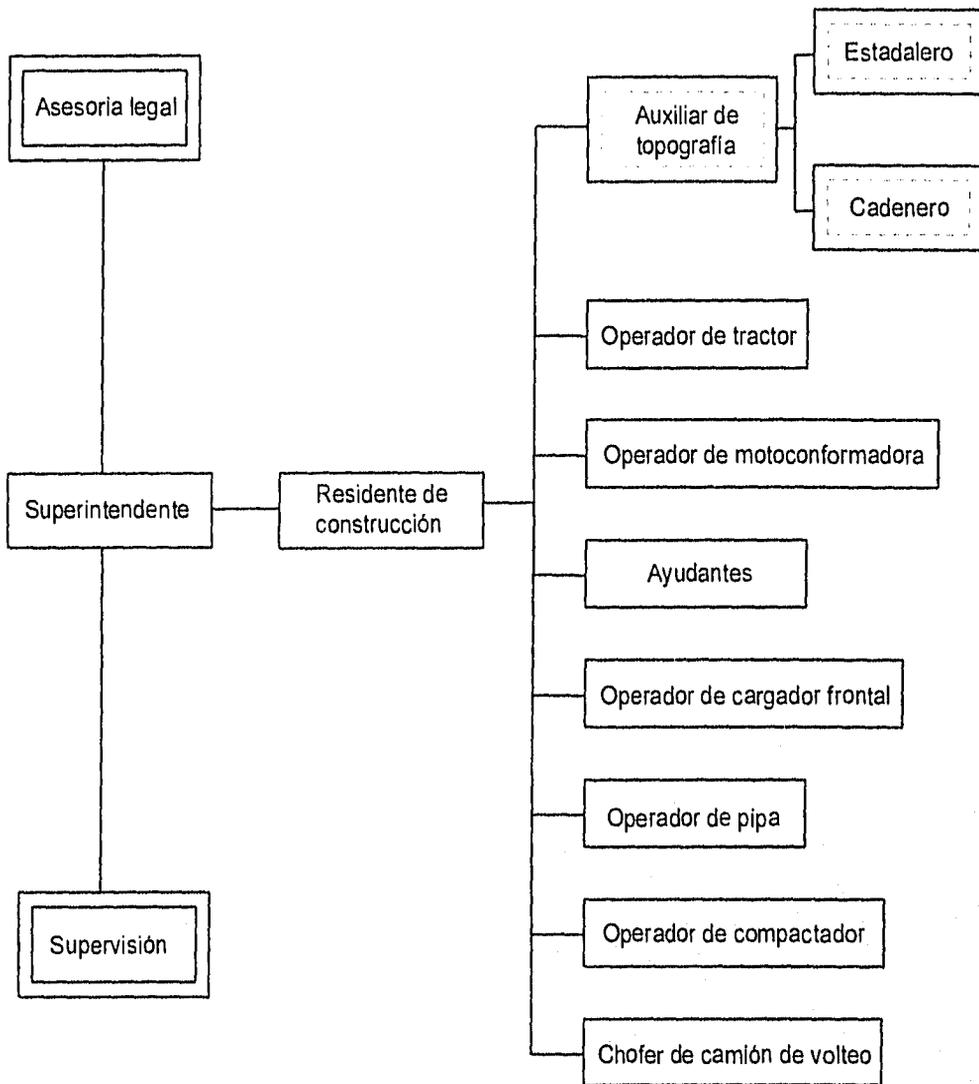
Los organigramas anteriormente mencionados, son un ejemplo del tipo de personal que se necesita para ciertas actividades que se realizan en un relleno sanitario; el tipo y cantidad total de personal que se contrate en un relleno sanitario, varía para cada caso en particular.

Cuando se realiza un relleno sanitario para una determinada ciudad, los tiraderos existentes en dicha ciudad poco a poco van desapareciendo; lo anterior implica que las personas que trabajan en la recuperación de subproductos de los residuos sólidos en los tiraderos (actividad conocida como "pepena"), vean afectada su única fuente de trabajo. Por lo tanto, es importante que dentro de la planeación de un proyecto de relleno sanitario, se considere la integración de los pepenadores, ya sea en la recuperación controlada de subproductos o bien realizando otras actividades dentro del relleno sanitario.

2. Impuestos

Los aspectos de inversión, costos de operación, sistemas tarifarios y de administración en un relleno sanitario, varían para cada caso en particular. Por lo general, las autoridades Municipales por medio de la Dirección de Obras Públicas correspondiente, es la encargada de manejar estos aspectos.

Cada entidad responsable de un relleno sanitario deberá adecuar el control administrativo a sus políticas. Cada terreno por su configuración particular, va a arrojar distintas consideraciones al diseño del relleno sanitario. Si el terreno o predio se compra o se arrenda, si se expropia o se adjudica, los conceptos de la inversión en este sentido pueden variar de un extremo a otro extremo.



SIMBOLOGIA :

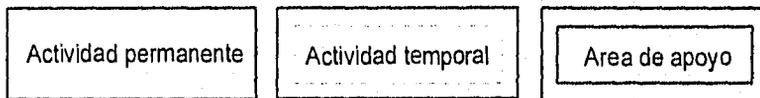


FIGURA 4.6 ORGANIGRAMA TIPO DEL PERSONAL REQUERIDO EN LAS ETAPAS DE PREPARACION DEL SITIO Y CONSTRUCCION

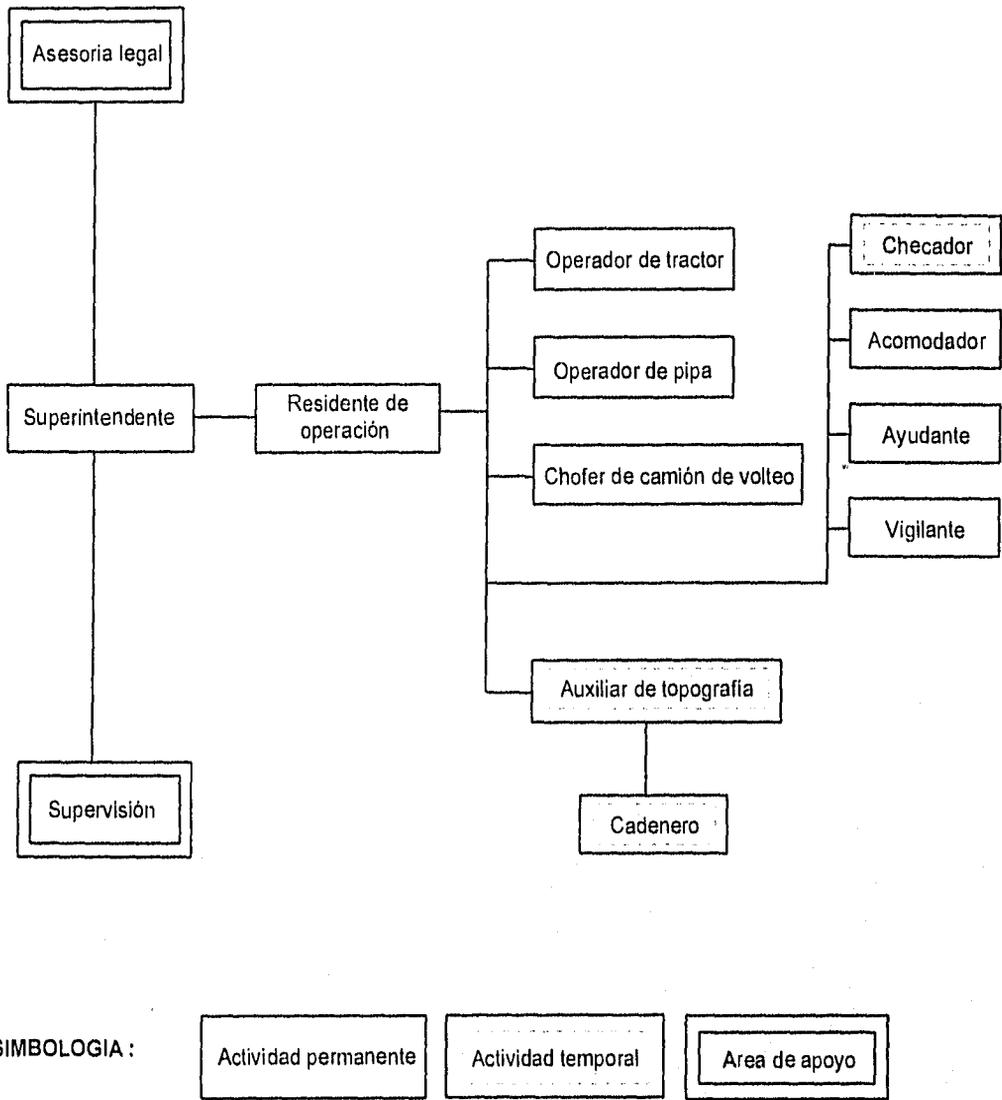


FIGURA 4.7 ORGANIGRAMA TIPO DEL PERSONAL REQUERIDO PARA LA CONSTRUCCION DE LA CELDA DIARIA

Igualmente, para el caso de los costos de preparación del terreno y construcción, estos varían según el caso y no se tiene una uniformización a este respecto ya que depende del método de construcción que se siga, disponibilidad de mano de obra calificada e incluso del clima.

Además, en muchos casos la inversión requerida en preparación del terreno y obras de protección, podrá ser realizada durante los años de vida útil del relleno y no necesariamente al inicio; pero esto no sólo depende de la posibilidad económica o financiera de la entidad responsable sino de factores tales como topografía del sitio o del método de relleno que se elija.

Para llevar a cabo un análisis de costo efectivo y confiable por tasa o tarifa, siempre será necesario contar con una serie de factores o elementos que permitan realizarlos, ya sea para un análisis de costo por tasa de crecimiento poblacional o para un costo tarifario de recolección unitaria.

A partir del resultado del costo total unitario se puede fijar la tarifa que por tonelada o por habitante deberá regir. Esta tarifa se puede determinar anual o semestralmente, adecuándose al presupuesto que para ese período se determine. Es siempre financieramente sano, que los costos se actualicen constantemente (revaluación) con objeto de fijar tarifas realistas.

En conclusión, es muy importante considerar desde la planeación de un proyecto de relleno sanitario todos los aspectos de financiamiento de la obra, ya que depende de esta planeación el costo total de dicha obra; lo cual a su vez repercute en la economía de la comunidad, ya que finalmente de alguna u otra manera la población es la encargada de pagar este tipo de obras.

4.2.5 Factores Estéticos

1. Paisaje natural

En un relleno sanitario, el paisaje natural del sitio del proyecto se ve sustancialmente afectado durante las etapas de preparación del sitio, construcción y operación. Lo anterior se debe a que un proyecto de este tipo implica entre otras cosas: un movimiento de tierras considerable (desmonte y despalle, cortes, terraplenes, etc.), construcción de infraestructura (edificaciones, caminos, obras de protección pluvial, etc.) y el confinamiento de miles de toneladas de residuos sólidos en celdas, franjas y capas.

La cubierta y paisaje como parte de las actividades de la etapa de mantenimiento y conservación, tiene como objetivo primordial restaurar ecológicamente parte del sitio del proyecto; esta restauración se lleva a cabo colocando una cubierta vegetal (pasto y otras especies vegetales) sobre la superficie final del relleno sanitario. Con esta actividad, se disminuye considerablemente el impacto adverso causado al paisaje natural durante las etapas de preparación del sitio, construcción y operación.

2. Olores

En un relleno sanitario la generación de olores se debe a dos fuentes principales: una es la emisión de gases a la atmósfera como consecuencia del uso de equipo y maquinaria pesada durante las etapas de preparación del sitio, construcción y operación; la otra fuente de generación de olores en un relleno sanitario que es la más importante por su magnitud e importancia, es la emisión de biogás (metano y bióxido de carbono principalmente) como consecuencia de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos por efecto de procesos aerobios y anaerobios.

La magnitud de este impacto depende de varios factores: dirección y velocidad de vientos, temperatura ambiente, características del biogás generado en el relleno sanitario (cantidad y composición), características de los gases emitidos por el equipo y maquinaria empleada (cantidad y composición), etc.

Medición de los olores

Probablemente los olores representan los problemas más complejos relacionados con la contaminación del aire. Debido a su naturaleza un poco nebulosa, se han clasificado como contaminantes sin criterio por la Agencia de Protección Ambiental. El gusto y el olfato se consideran como sentidos químicos, ya que parecen ser reacciones fisiológicas al contacto con ciertas sustancias específicas. En el caso del olfato, algunos individuos tienen la capacidad de detectar cantidades minúsculas de las sustancias (en el intervalo de 1ppm). Lamentablemente, la nariz del hombre es el único buen dispositivo conocido de medición, el cual se sabe que no es confiable. Además, la gente experimenta reacciones variadas ante un olor dado.

La nariz humana, asistida por dispositivos escogidos o procedimientos prescritos constituye el sistema básico para evaluar los olores. En general, las determinaciones de los olores se realizan por medio de grupos formados por 2 a 15 individuos adiestrados, sometidos a determinadas concentraciones de sustancias olorosas. Las mediciones de los olores se dividen en dos categorías generales: determinación de la concentración de umbral de las sustancias olorosas y establecimiento e intensidad de los olores atmosféricos.

La concentración de las sustancias olorosas que puede detectar el hombre por la nariz varía en algunos órdenes de magnitud, el Cuadro 4.13 presenta ejemplos de concentraciones de umbral de los olores en diversos productos químicos.

Los cuatro atributos del sentido del olfato aplicables a las mediciones son:

Intensidad.- Representa alguna indicación numérica o verbal de la fuerza del olor.

Capacidad de penetración.- Representa esencialmente medidas de la capacidad de un olor de penetrar en un gran volumen de aire de dilución y seguir teniendo una intensidad detectable.

Calidad.- Describe las características de los olores en términos de la asociación con un odorante conocido, como el café o las cebollas.

Aceptabilidad.- Se refiere al nivel de agrado o desagrado de la sensación producida por el olor.

CUADRO 4.13
UMBRALES DE OLOR EN EL AIRE

PRODUCTO QUIMICO	UMBRAL DEL OLOR (ppm)	DESCRIPCION DEL OLOR
Acido acético	1.0	Agrio
Acetona	100.0	Químicamente dulce
Monometil amina	0.021	Olor a pescado, acre
Trimetil amina	0.0021	Olor a pescado, acre
Amoniaco	46.8	Acre
Bisulfuro de carbono	0.21	Sulfuro vegetal
Cloro, gas	0.314	Blanqueador, acre
Sulfuro de difelino	0.0047	A goma quemada
Formaldehído	1.0	A heno o paja
Acido sulfhídrico	0.00047	A huevos podridos
Metanol	100.0	Dulce
Cloruro de metileno	214.0	
Fenol	0.047	Medicinal

Fuente: Kenneth Wark, Cecil F. Warner "Contaminación del Aire", 1990

Con la excepción de la calidad del olor, los atributos anteriores se evalúan haciendo referencia a escalas subjetivas con un número variable de puntos. Una escala de uso común tiene cinco puntos:

- 0 No hay percepción
- 1 Percepción muy débil
- 2 Percepción débil
- 3 Fácil percepción
- 4 Fuerte
- 5 Percepción irresistible

3. Basura y desperdicios

Durante las etapas de preparación del sitio y construcción de la infraestructura requerida en un relleno sanitario, se puede generar basura y desperdicios (residuos vegetales, escombros, tierra, etc.) que provoquen un impacto estético adverso, en caso de que no se tomen las medidas de prevención adecuadas.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos en un relleno sanitario ya sea en el transporte, en las zonas de almacenamiento temporal o en la construcción de la celda diaria, puede provocar que los residuos sólidos se dispersen por diferentes zonas del predio; lo cual provocaría un impacto estético adverso para la comunidad, que pondría en duda la eficiencia de la obra. Por lo anterior, es muy importante procurar tener una imagen de limpieza en obras de este tipo.

CAPITULO 5

MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS

Las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales en un proyecto de relleno sanitario, dependen de las características del medio físico, biológico y socioeconómico donde se ubique, así como del tipo de relleno sanitario. Las medidas pueden ir desde la implantación de algunas técnicas de control de la contaminación por ejemplo, hasta la decisión de modificar, reubicar e incluso cancelar definitivamente el proyecto. En este capítulo se describen algunas de las medidas de prevención y mitigación más comunes en rellenos sanitarios.

Una de las principales medidas para evitar impactos adversos es que tanto El Contratista como el Organismo Operador conozcan y cumplan las medidas de mitigación que les correspondan, así como las leyes, reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones oficiales de carácter ambiental que guarden relación con sus actividades.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) ha publicado dos Normas Oficiales Mexicanas correspondientes a rellenos sanitarios, las cuales se mencionan a continuación:

1. **Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1995, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.**
2. **Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1995, que establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario.**

El cabal cumplimiento de estas normas, reducirá en mucho los impactos adversos que pueden presentarse en un proyecto de relleno sanitario, por lo que constituyen algunas de las medidas de mitigación más importantes que se deben considerar desde la planeación y diseño

de este tipo de obras de ingeniería.

Algunos de los objetivos ambientales más importantes que deberán cumplir El Contratista y el Organismo Operador en un proyecto de relleno sanitario son:

- a. Evitar al máximo la contaminación del suelo, agua y aire.
- b. Evitar al máximo la destrucción de la vegetación natural.
- c. Evitar al máximo la erosión de los suelos y la sedimentación en cuerpos de agua.
- d. No utilizar el fuego para la eliminación de ningún desecho o material de cualquier naturaleza.
- e. Evitar al máximo los accidentes.
- f. Disponer los residuos sólidos que ingresen al relleno sanitario de forma ambientalmente apropiada.
- g. Evitar al máximo el riesgo de afectar la salud pública y ocupacional.
- h. Minimizar hasta donde sea posible la interferencia con la vida diaria de la comunidad.

A continuación se presentan algunas medidas de mitigación de los impactos en los factores ambientales propuestos, como consecuencia de las obras y actividades que se realizan en un proyecto de relleno sanitario, tomando como base la descripción de los impactos realizada en el capítulo anterior. Con letras "negritas" se mencionan los impactos y con viñetas (•), las medidas de mitigación.

Se trata de medidas de mitigación genéricas las cuales deberán ajustarse a cada caso particular, dependiendo de las características tanto ambientales como operativas existentes en cada proyecto de relleno sanitario a desarrollar. Es importante mencionar que no se trata de recomendaciones limitativas, y que en cada caso deberá imperar el criterio y el ingenio del proyectista, constructor y/o operador del proyecto.

5.1 Factores Físicos

1. Incremento de los procesos erosivos

- Se recomienda aplicar medidas transitorias durante la ejecución de todo el proyecto, para evitar la intensificación de los procesos erosivos. Entre estas medidas se incluyen las siguientes: bermas, mallas, sembrado por etapas en las celdas terminadas, drenajes temporales (bordos, cunetas, etc.), fosas de sedimentación y vegetación.

Estas medidas serán aplicadas al material erosionable expuesto a cualquier actividad asociada con la construcción y operación, incluyendo la superficie final del relleno, acopio de material para cobertura y caminos de acceso e interiores.

- Las medidas transitorias antes descritas se complementan con la construcción del drenaje permanente, diseñado en el proyecto para reducir en lo posible la cantidad de agua que entra al sitio de la obra y dar salida expedita al agua cuyo acceso sea inevitable.
- Se recomienda monitorear e inspeccionar los dispositivos de control de la erosión transitorios y permanentes, para asegurar su eficiencia después de cada lluvia y diariamente cuando llueva en forma prolongada. Las deficiencias deberán ser corregidas de inmediato. En caso extraordinario en que tales medidas no estén cumpliendo con su función adecuadamente, deberán ser sustituidas o mejoradas.
- En ocasiones, el material de cubierta de los residuos sólidos no es el apropiado para disminuir los procesos erosivos causados por la acción de lluvias y vientos; a continuación se mencionan algunas recomendaciones para corregir las deficiencias del material de cubierta en lo que se refiere a los procesos erosivos.

Control de la erosión por agua, mediante una o más de las siguientes acciones:

1. Adicionando suelos granulares como las arenas y gravas
2. Compactando el material con equipo especial
3. Reduciendo la pendiente superficial
4. Construyendo obras de drenaje interiores y exteriores (cunetas, bordos, lavaderos, etc.)
5. Colocando una cubierta vegetal (pasto y otras especies vegetales)
6. Usando aditivos

Reducción de la erosión por viento, mediante una o más de las siguientes acciones:

1. Adicionando suelos granulares como las arenas y gravas
2. Minimizando las elevaciones irregulares de la superficie
3. Considerando en el diseño la orientación y dirección de los vientos
4. Colocando una cubierta vegetal (pasto y otras especies vegetales)
5. Usando aditivos

- Una de las actividades que se deben realizar durante la etapa de mantenimiento y conservación, es la reparación de zonas erosionadas en la superficie final del relleno sanitario; dicha reparación se realiza de la siguiente manera:
 - a. Se deberá escarificar 10 cm la zona erosionada, ya sea con máquina o a mano (dependiendo del tamaño de la porción afectada)
 - b. Se deberá humedecer el área erosionada
 - c. Con material de cubierta se hará la reparación hasta llegar a la superficie original

2. Contaminación del agua superficial

- Se recomienda tomar todas las medidas de precaución posibles para impedir la contaminación química, física, biológica o microbiológica de las aguas superficiales.

- Ningún contaminante, como productos químicos, combustibles, lubricantes, aguas residuales, pinturas, sedimentos y otros desechos deberán ser descargados en ríos, arroyos, lagunas y canales naturales o artificiales.
- Se recomienda realizar inspecciones periódicas en los frentes de trabajo así como en las zonas terminadas, con el fin de detectar posibles focos de contaminación para las aguas superficiales, tales como: fugas en el sistema de captación y disposición de lixiviados, arrastre de residuos sólidos y otros tipos de desechos a las corrientes superficiales, etc. Una vez detectado el foco de contaminación, el ingeniero residente de obra o la persona encargada de la construcción y operación del relleno sanitario, deberá resolver inmediatamente el problema.

3. Contaminación del agua subterránea

La calidad del agua subterránea es uno de los factores ambientales de mayor importancia en el estudio de impacto ambiental de los rellenos sanitarios, debido a que corren el riesgo de ser contaminadas por lixiviados, ya sea por la carencia de un sistema de impermeabilización adecuado, por un deficiente sistema de captación y disposición de lixiviados o bien por ambas razones.

Como ya se ha mencionado, los lixiviados son de los contaminantes de mayor peligro que se generan en los rellenos sanitarios, tanto por sus características altamente agresivas al ambiente como por los volúmenes que pueden llegar a generarse en el sitio de la obra.

Las medidas de prevención y mitigación que se recomienda llevar a cabo para disminuir el impacto ambiental causado por los lixiviados en un relleno sanitario, pueden clasificarse en tres grupos:

- a. Medidas para controlar el volumen de lixiviados
- b. Medidas para controlar la migración de lixiviados a los cuerpos de agua subterránea
- c. Sistema de monitoreo de lixiviados

a. Control del volumen de lixiviados

- Evitar al máximo la infiltración del agua de lluvia al relleno sanitario.
- Operar el sitio tratando de alcanzar en el menor tiempo posible niveles de piso terminado, esto implica que el avance del relleno sea preferentemente vertical más que horizontal.
- Evitar los frentes de trabajo muy amplios, por lo que en las horas pico se recomienda establecer el tiro de los residuos tanto al pie como en la parte superior de la celda, con el fin de tener dos frentes de trabajo.
- Cubrir diariamente los residuos sólidos con material que cumpla los siguientes requisitos mínimos:

1. Coeficiente de permeabilidad: de 1×10^{-5} a 1×10^{-7} cm/s
 2. Transitabilidad: contar con 0-10% de finos y un 90-100% de gravas o arenas
 3. Ser compactable
 4. Porosidad: 25 a 50%
- Se recomienda que la superficie final del relleno sanitario sea una capa compuesta de materiales naturales (suelos arcillosos, granulares, tierra vegetal, etc.) y artificiales (membranas sintéticas, asfalto, materiales a base de bentonita, etc.), que impidan la infiltración del agua de lluvia a los estratos de residuos sólidos y que permitan a su vez el adecuado drenaje en la terrazas y taludes del relleno. La Figura 5.1 muestra la superficie final recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (E.P.A.) para rellenos sanitarios.

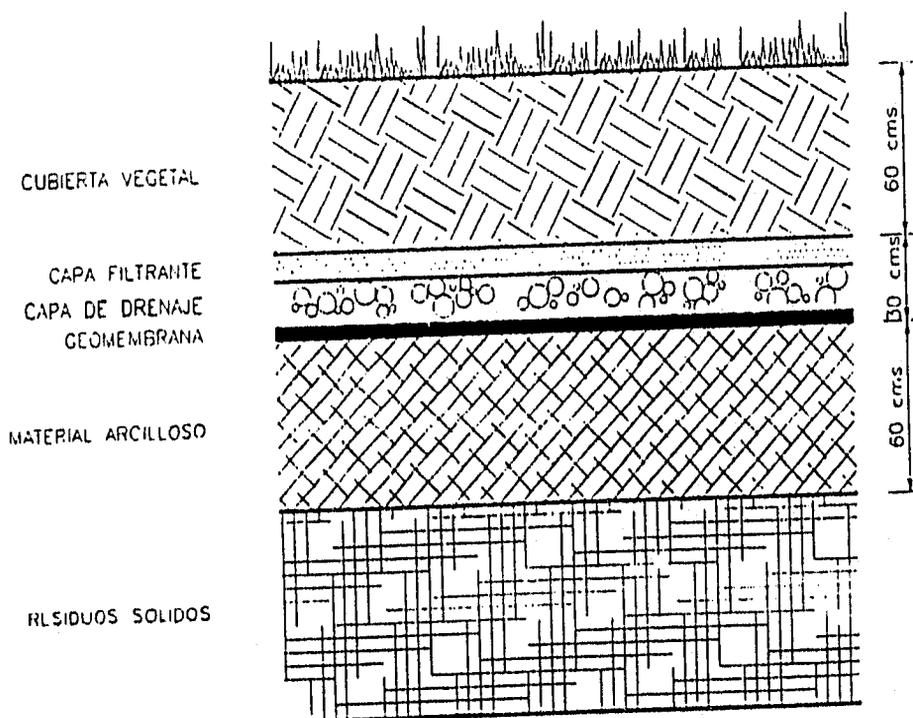


FIGURA 5.1 SUPERFICIE FINAL RECOMENDADA POR LA E.P.A. PARA RELLENOS SANITARIOS

El Cuadro 5.1 muestra las características de algunos suelos que se recomiendan para la cobertura final de un relleno sanitario.

CUADRO 5.1
SUELOS RECOMENDADOS PARA LA COBERTURA FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

NOMBRES TÍPICOS DE SUELOS	SÍMBOLO DEL GRUPO	PERMEABILIDAD DEL SUELO COMPACTADO	TRANSITABILIDAD	IMPEDIR EL VENTEO DE DE BIOGAS	RESISTENCIA A LA EROSIÓN POR LLUVIA	RESISTENCIA A LA EROSIÓN POR VIENTO	IMPEDIR LA PROLIFERACIÓN DE VECTORES	EFICIENCIA COMO MATERIAL DE COBERTURA
Gravas arcillosas; mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla	GC	Buena	Buena	Bueno	Muy buena	Buena	Regular	EXCELENTE
Arenas arcillosas; mezclas de arena y arcilla, mal graduadas	SC	Buena	Buena	Bueno	Regular	Buena	Bueno	MUY BUENA
Gravas limosas; mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	GM	Regular	Muy buena	Regular	Muy buena	Muy buena	Malo	BUENA

Fuente: SEDESOL, "Manual para la Clausura de Tiraderos a Cielo Abierto", parte I, 1994

- Se recomienda colocar membranas sintéticas en la superficie final del relleno sanitario, ya que de esta manera se disminuye considerablemente la infiltración del agua de lluvia a los estratos de residuos sólidos y por lo tanto también disminuye la generación de lixiviados. Básicamente se consideran tres tipos de membranas sintéticas, clasificadas en función del tipo de material de fabricación: membranas de polietileno (geomembranas), membranas de P.V.C. y membranas con alma geotextil.
- Se recomienda construir adecuados sistemas de captación de aguas de escurrimiento pluvial, que reduzcan la cantidad de agua que llega a las zonas de confinamiento de residuos sólidos, además de dar salida expedita al agua cuyo acceso sea inevitable.

b. Control de la migración de lixiviados

- Impermeabilizar la base del relleno sanitario (paredes y piso) con una capa compuesta de materiales naturales (suelos arcillosos y granulares) y artificiales (membranas sintéticas, asfalto, diversos materiales a base de bentonita, etc.) que impidan la infiltración de lixiviados a los cuerpos de agua subterránea. La Figura 5.2 muestra un ejemplo de impermeabilización en la base de un relleno sanitario, mediante una capa compuesta de materiales naturales y artificiales.
- Construir un adecuado sistema de captación y extracción de lixiviados en la base del relleno sanitario. El sistema que más se utiliza, es el formado por una red de tuberías de P.V.C. o de polietileno de alta densidad, las cuales se colocan en zanjas de sección trapezoidal que se construyen en la base impermeable del relleno sanitario (ver Figura 5.3). La red de tuberías de captación de lixiviados generalmente trabaja por gravedad y conduce los lixiviados a cárcamos de almacenamiento temporal, para posteriormente realizar la disposición final de los mismos.
- Disponer en forma ambientalmente adecuada los lixiviados captados en la base del relleno sanitario. El tratamiento de lixiviados en un relleno sanitario depende de varios factores: características de los lixiviados generados (cantidad y calidad), condiciones climatológicas (precipitación pluvial, temperatura ambiente, humedad, etc.), disponibilidad de recursos económicos, etc.

Los métodos actualmente considerados como eficientes en el tratamiento de lixiviados son, de acuerdo al Manual para la clausura de tiraderos a cielo abierto, parte II, SEDESOL 1994, los siguientes:

a. Sistemas Biológicos

1. Aerobio
2. Anaerobio

b. Sistemas Físico-químicos

1. Evaporación
2. Dilución
3. Neutralización
4. Precipitación

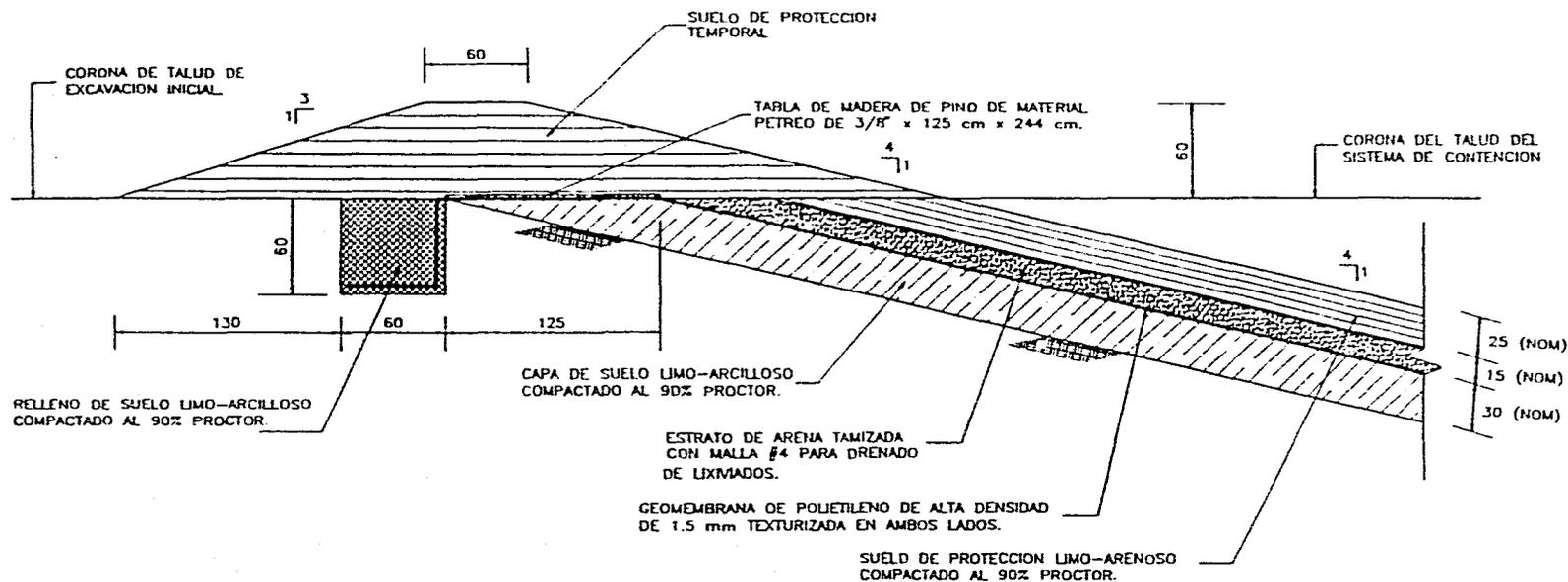


FIGURA 5.2 IMPERMEABILIZACION EN LA BASE DE UN RELLENO SANITARIO

5. Coagulación
6. Oxidación química
7. Adsorción
8. Osmosis inversa

c. Sistemas combinados

1. Aerobio-Anaerobio
2. Aerobio-Físico-químico
3. Anaerobio-Físico-químico
4. Aerobio-Anaerobio-Físico-químico

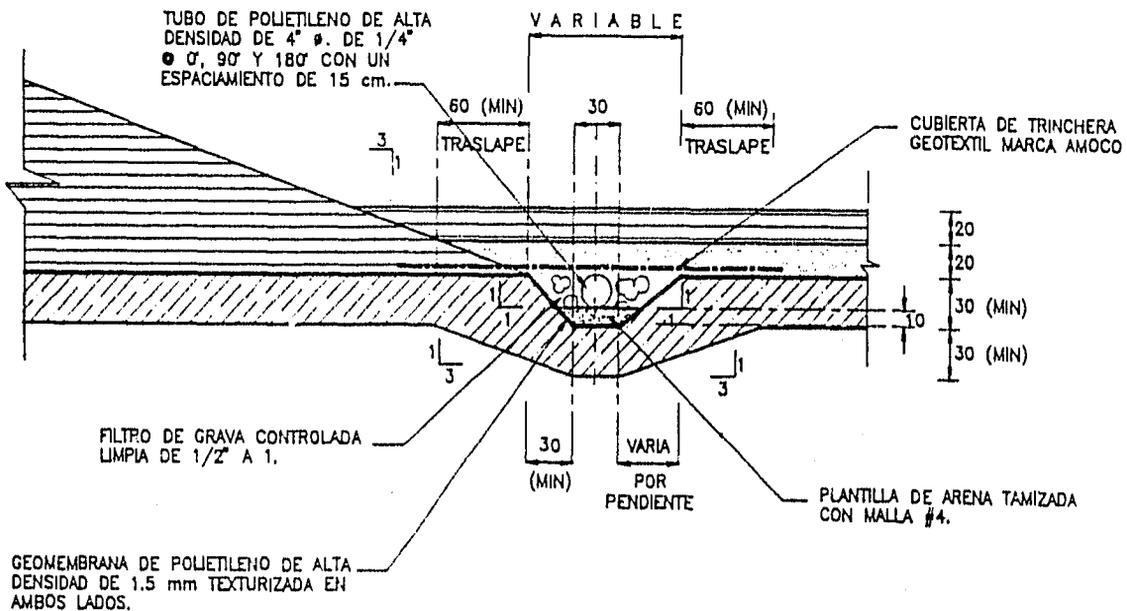


FIGURA 5.3 ZANJA TIPO PARA COLECCION DE LIXIVIADOS

En México los procedimientos que se utilizan con mayor frecuencia para el tratamiento de lixiviados son: lagunas de evaporación y sistemas de recirculación de lixiviados.

Las Figuras 5.4 y 5.5 muestran en forma esquemática los sistemas de evaporación y recirculación de lixiviados.

c. Sistema de monitoreo de lixiviados

- Se considera indispensable realizar periódicamente un monitoreo de las características de los lixiviados así como de la calidad del agua subterránea. Los objetivos básicos de los sistemas de monitoreo son:
 - a. Medir la efectividad de las acciones de saneamiento y control implantadas, mediante la verificación de los parámetros que representan a las emisiones que se desea controlar.

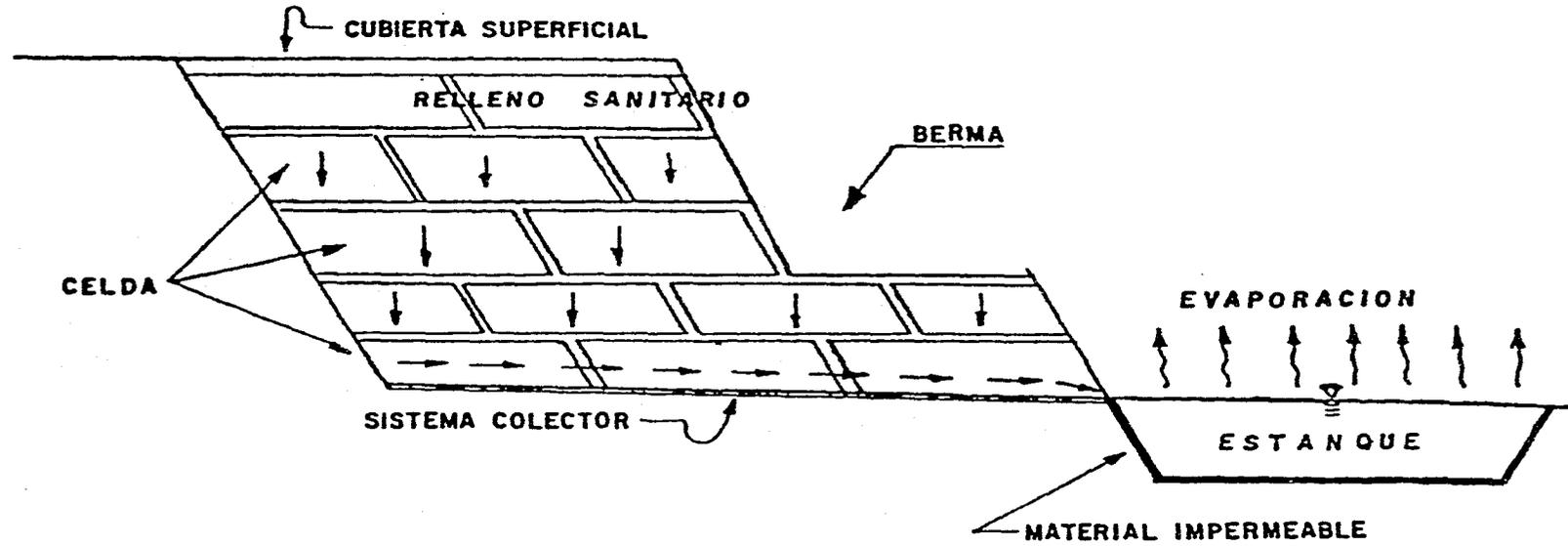


FIGURA 5.4 SISTEMA DE EVAPORACION DE LIXIVIADOS

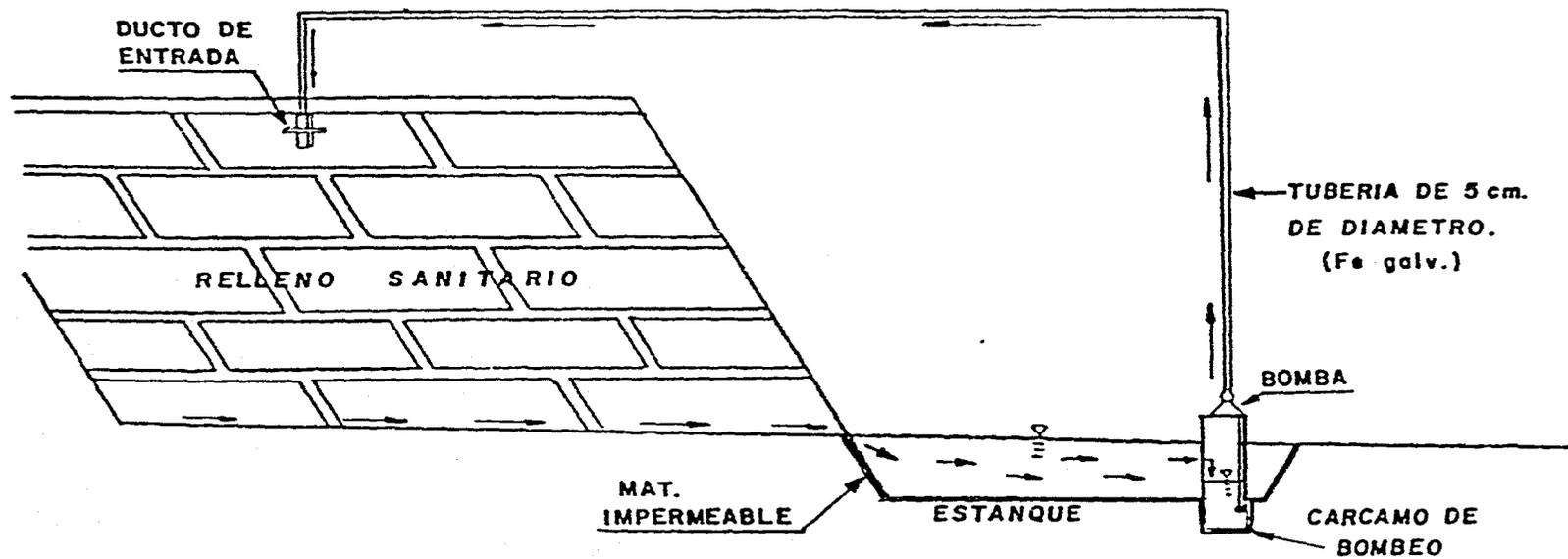


FIGURA 5.5 SISTEMA DE RECIRCULACION DE LIXIVIADOS

- b. Actuar como un sistema de advertencia temprana de las posibles fallas en los sistemas de saneamiento y control.
 - c. Proteger en forma preventiva a la población.
- Se considera que los principales pasos para el establecimiento de sistemas de monitoreo son los siguientes:
 - 1. Ubicación de pozos
 - 2. Diseño de pozos
 - 3. Selección de métodos y programas de muestreo
 - 4. Selección de parámetros a monitorear y técnicas de laboratorio
 - 5. Interpretación y manejo de datos
 - El sistema de monitoreo de lixiviados debe contar por lo menos con tres pozos de muestreo, que deben situarse en la medida de lo posible de la siguiente manera: uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 100 m antes de llegar al sitio de disposición de residuos sólidos, otro a 100 m aguas abajo del sitio y el último en el sitio de disposición de residuos sólidos, tal como se muestra en la Figura 5.6. Los dos primeros pozos profundizarán 2 m dentro del acuífero y el último en el nivel o base del relleno.
 - El diseño de los pozos de monitoreo depende de varios factores: características geohidrológicas del sitio de muestreo, tipo de muestreo, disponibilidad de recursos económicos, etc. Para los propósitos del monitoreo de lixiviados y aguas subterráneas, se prefieren las tuberías de plástico (por ejemplo, Cloruro de Polivinilo "PVC", Polietileno de Alta Densidad "HDPE", y muy recientemente tubos de fibra de vidrio reforzada con plástico), por ser químicamente inertes, minimizando la contaminación de las muestras. Las Figuras 5.7 muestra el corte esquemático de un pozo de monitoreo para detectar fugas de lixiviados aguas abajo del sitio del relleno.
 - La selección de métodos y programas de muestreo dependerá de: la frecuencia de muestreo, número de pozos, condiciones físicas y climatológicas del sitio, así como de los objetivos del monitoreo.
 - Los programas de monitoreo deben ser flexibles, permitiendo modificaciones de acuerdo a las condiciones físicas y climatológicas de cada sitio y en cada época del año.
 - Se recomienda que la frecuencia de muestreo se efectúe por lo menos trimestralmente o en períodos más cortos, dependiendo de las exigencias de cada proyecto en particular.
 - Se recomienda que la toma de muestras, su preservación y análisis se apeguen en lo posible a lo establecido en los Métodos Estándar para el análisis de aguas residuales.
 - Para el monitoreo de la calidad del agua subterránea, se deberá considerar como mínimo los siguientes parámetros:

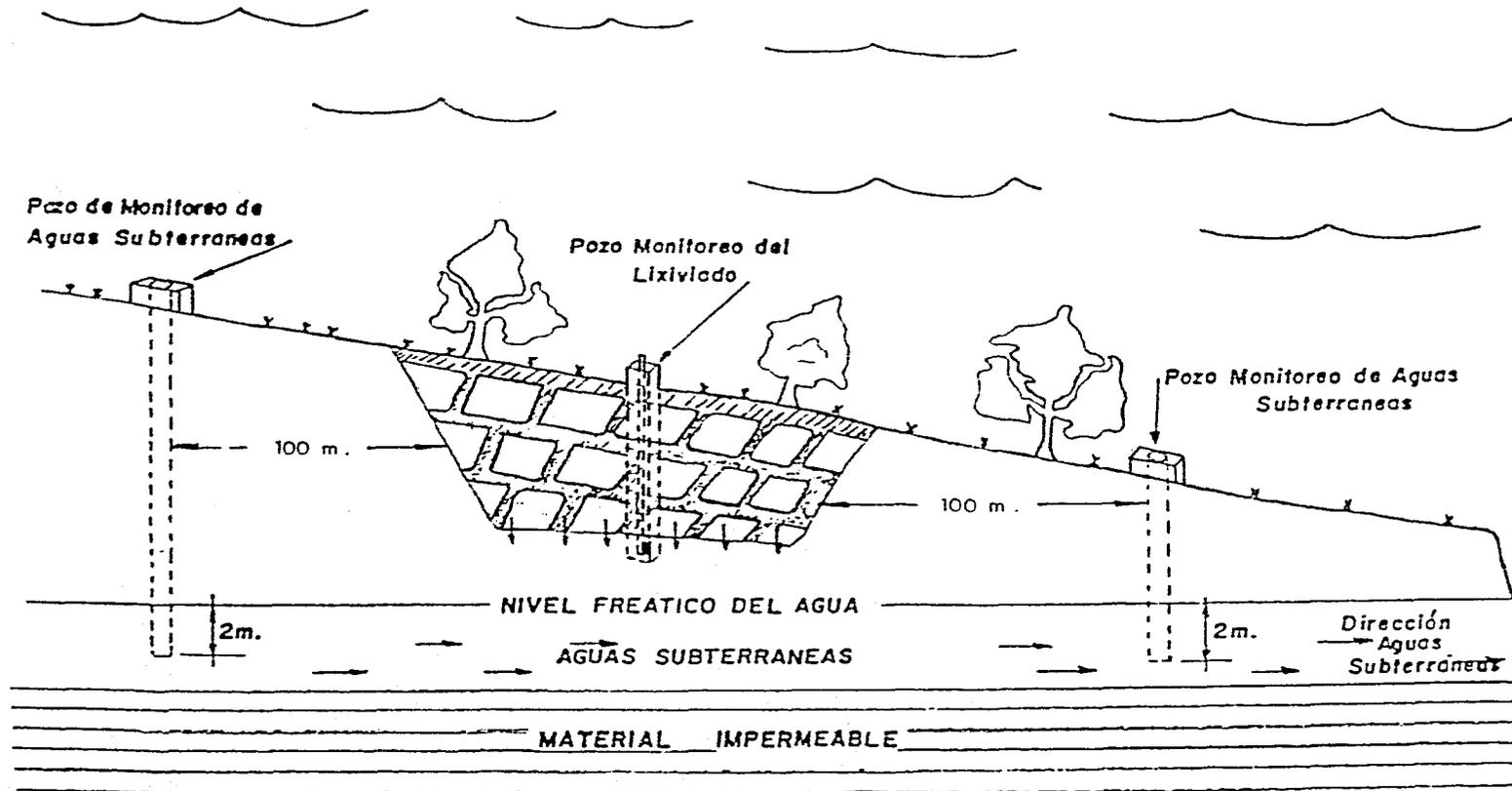


FIGURA 5.6 LOCALIZACIÓN DE POZOS DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LIXIVIADOS EN UN RELLENO SANITARIO

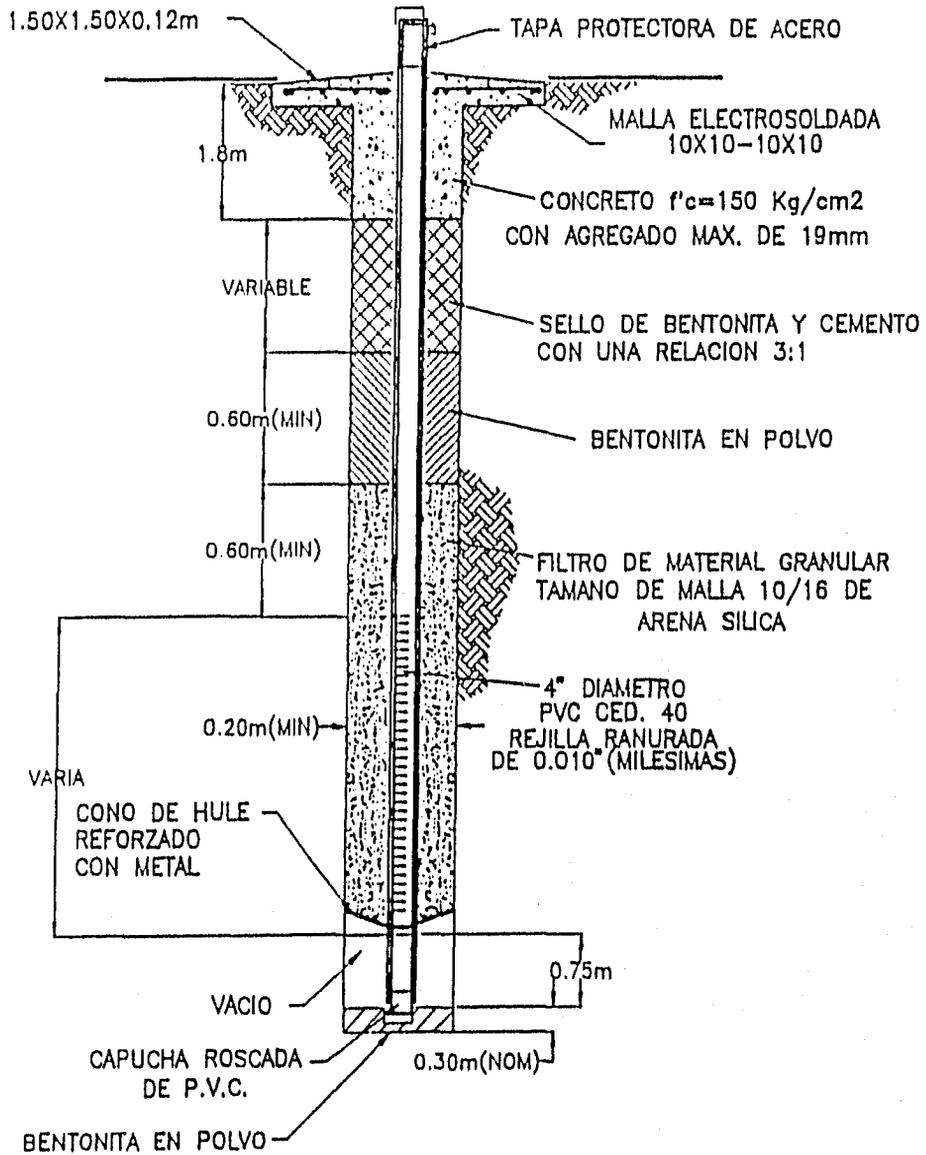


FIGURA 5.7 POZO PARA DETECTAR FUGAS DE LIXIVIADOS

- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Amoníaco (como N) | 14. Carbono orgánico total (COT) |
| 2. Bicarbonato (HCO ₃) | 15. pH |
| 3. Calcio | 16. Arsénico |
| 4. Cloruro | 17. Bario |
| 5. Hierro | 18. Cadmio |
| 6. Magnesio | 19. Cromo |
| 7. Manganeso (disuelto) | 20. Cianuro |
| 8. Nitrato (como N) | 21. Plomo |
| 9. Potasio | 22. Mercurio |
| 10. Sodio | 23. Selenio |
| 11. Sulfatos (SO ₄) | 24. Plata |
| 12. DQO | 25. Compuestos orgánicos |
| 13. Sólidos totales disueltos | |

- Cuando el monitoreo sea únicamente para la detección de posibles migraciones de lixiviados, los parámetros básicos recomendados son los siguientes:

1. pH
2. Conductividad
3. DQO total
4. DBO total
5. DBO soluble
6. Carbono orgánico total (COT)
7. Nitratos y nitritos
8. Cromo
9. Cadmio
10. Plomo
11. Mercurio
12. Coliformes totales y fecales
13. Estreptococos totales y fecales

Si el monitoreo es de evaluación, el número de parámetros necesariamente aumentará, debido a que en este caso será muy útil registrar algunos parámetros tendientes a poder definir la tratabilidad de los lixiviados.

Algunos equipos empleados para el monitoreo de lixiviados, así como los parámetros que pueden ser determinados con dichos equipos se mencionan a continuación:

Parámetro	Equipo empleado
Metales pesados	Espectrofotómetro
Conductividad	Conductímetro
pH	Potenciómetro
Oxígeno disuelto	Oxímetro
Caracterización físico-química y biológica en laboratorio	Varios

4. Contaminación del aire

Para disminuir la contaminación del aire causada por partículas, polvos y gases emitidos a la atmósfera durante la construcción y operación de un relleno sanitario, se recomienda tomar en cuenta las siguientes medidas de prevención y mitigación:

- En las etapas de preparación del sitio y construcción, se evitará al máximo el fuego para la eliminación de cualquier material producto del desmonte.
- Los camiones de volteo utilizados en las etapas de preparación del sitio y construcción y en el transporte de material de cubierta, así como aquellos que transporten residuos sólidos durante la operación del relleno, serán equipados con coberturas de lona de tamaño suficiente para evitar los derrames de sobrantes durante el transporte de los materiales cargados, siempre que la distancia de transporte sea superior a 1 (un) kilómetro.
- Emplear material de cobertura con bajo contenido de finos para evitar generación de polvos.
- Regar con agua tratada los caminos en época de estiaje para el control de polvos.
- En época de estiaje aplicar agua tratada en la superficie de la celda antes de ser cubierta con tierra, esta medida disminuirá la posibilidad de incendios en el relleno y evitará que la basura sea llevada por el viento.
- Utilizar en el relleno sanitario la maquinaria precisa y específica que demandan las principales actividades de operación. El Cuadro 5.2 muestra un ejemplo de selección de maquinaria con base en la cantidad de residuos sólidos por mover.

CUADRO 5.2
SELECCION DE MAQUINARIA CON BASE EN LA CANTIDAD DE RESIDUOS SOLIDOS
POR MOVER

RESIDUOS SOLIDOS A MANEJAR (Ton / 8 hr)	TRAXCAVO		BULLDOZER		TRAXCAVO SOBRE NEUMATICOS	
	POTENCIA (H.P)	PESO (lb)	POTENCIA (H.P)	PESO (lb)	POTENCIA (H.P)	PESO (lb)
0 - 20	< 70	< 20, 000	< 80	< 15, 000	< 100	< 20, 000
20 - 50	70 a 100	20, 000 a 25, 000	80 a 110	15, 000 a 20, 000	100 a 120	20, 000 a 22, 500
50 - 130	100 a 130	25, 000 a 32, 500	110 a 130	20, 000 a 25, 000	120 a 150	22, 500 a 27, 500
130 - 250	150 a 190	32, 500 a 45, 000	150 a 180	30, 000 a 35, 000	150 a 190	27, 500 a 35, 000

Fuente: SEDESOL "Manual para la Clausura de Tiraderos a Cielo Abierto," parte I, 1994

- Establecer un riguroso programa de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada y el equipo con que se haya dotado al relleno sanitario. El Cuadro 5.3 presenta recomendaciones para el mantenimiento preventivo de la maquinaria empleada generalmente en rellenos sanitarios.

**CUADRO 5.3
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MAQUINARIA EMPLEADA EN RELLENOS
SANITARIOS**

MAQUINARIA	CAMBIO DE FILTROS	CAMBIO DE ACEITE	AFINACION	ENGRASADO	CHEQUEO DE PARTES MOVILES
Cargador de orugas o traxcavo	Cada 250 hr	Cada 250 hr		Diario	Semanal
Tractor de orugas o Bulldozer	Cada 250 hr	Cada 250 hr		Diario	Semanal
Rodillo estático				Diario	Semanal
Tralla o motoescrepa	Cada 250 hr	Cada 250 hr		Diario	Semanal
Motoconformadora	Cada 300 hr	Cada 300 hr		Diario	Semanal
Pipa de agua	Cada 3000 km	Cada 3000 km	Cada 5000 km	Cada 3000 km	Cada 3000 km

Fuente: SEDESOL "Proyecto Tipo de Relleno Sanitario", parte II, 1994

- Agilizar el tránsito de camiones en el sitio del proyecto mediante: adecuados señalamientos, caminos interiores en buen estado, minimizando recorridos, agilizando el movimiento de camiones en el frente de trabajo y en la zona de pesaje, etc.
- Realizar mediciones eventuales de partículas en el aire, así como de gases no combustionados. Algunos equipos que se pueden emplear para realizar dichas mediciones y los parámetros que se determinan, se mencionan a continuación:

Parámetro

Equipo empleado

Partículas suspendidas totales
Microorganismos en el aire
Hidrocarburos, NO, CO, etc.

Muestreador de alto volumen (Hi-Vol)
Muestreador Andersen
Cromatógrafo de gases

A pesar de que la contaminación del aire por las emisiones del equipo y maquinaria pesada usados en un relleno sanitario es permanente durante toda la vida útil del relleno, el impacto ambiental que es verdaderamente significativo para la calidad del aire es la emisión de biogás a la atmósfera.

El biogás (junto con el lixiviado) es uno de los contaminantes de mayor peligro que se genera en los rellenos sanitarios, tanto por los elementos que componen a este gas (metano y bióxido de carbono principalmente), como por los volúmenes que pueden llegar a generarse en

el sitio de la obra.

Las medidas de prevención y mitigación que se recomienda llevar a cabo para disminuir el impacto ambiental causado por el biogás en un relleno sanitario, pueden clasificarse en dos grupos:

- a. Medidas para controlar la migración de biogás; y
- b. Sistema de monitoreo de biogás

a. Control de la migración de biogás

- Para controlar la migración de biogás en un relleno sanitario, existen actualmente dos modalidades: el control pasivo y el control activo.

Un sistema pasivo funciona mediante el principio de presión natural y el mecanismo de la convección, para favorecer el movimiento del biogás a través de los estratos de residuos sólidos confinados. Este sistema no es muy efectivo para la remoción de biogás, por lo que se recomienda para áreas en donde el riesgo es mínimo, y por lo tanto no se justifica hacer una fuerte inversión para su control.

Un sistema activo controla el movimiento del biogás mediante una presión negativa inducida (vacío), de tal modo que el gas es extraído del sitio de disposición final. Este sistema se justifica desde un punto de vista de riesgo a la población o bien cuando existan planes de aprovechamiento del biogás, independientemente de los costos que estas acciones representen.

En México para controlar la migración de biogás en un relleno sanitario, los sistemas de venteo pasivos son los que se utilizan con mayor frecuencia.

a.1 Sistema de venteo pasivo

Dentro de los sistemas de venteo pasivo, se tienen los siguientes tipos:

- Zanjas de grava
 - Pozos de venteo pasivos
 - Barreras artificiales
 - Barreras naturales
- **Zanjas de grava**

Este sistema se construye alrededor del sitio de disposición final, y consiste en una zanja de 60 cm de ancho y 1 m de profundidad rellena de grava. Este sistema puede ser abierto o cerrado, el primero considera únicamente el relleno de grava o puede combinarse con geomembranas de polietileno de alta densidad. El segundo contempla un sello superior con material impermeable, además de estar equipado con tubería ranurada a lo largo de la zanja para la captación de biogás y tubos verticales para el venteo a la atmósfera

Este sistema es utilizado especialmente para controlar la migración lateral de biogás, principalmente en aquellos lugares en donde la migración está limitada por el nivel freático o una formación impermeable. Si la zanja se puede construir hasta el nivel de dichos elementos, el control de la migración será más efectivo.

- **Pozos de venteo pasivos**

Los sistemas más utilizados para el venteo de biogás en nuestro país, son los pozos de venteo pasivos, debido a que relativamente son más fáciles de construir que el sistema de zanja o trinchera.

Los pozos de venteo pasivos prácticamente funcionan debido a los gradientes de presión que se presentan en los sitios confinados, por lo que se recomienda combinar los pozos de venteo con el sistema de barreras naturales o artificiales que aseguren la migración vertical de los gases por dichos pozos.

Cuando se considere necesario se utilizarán quemadores de biogás en los pozos para el control de olores, así como para minimizar riesgos en la salud de las personas que laboren en el relleno sanitario.

La construcción de los pozos de venteo pasivos es variable dependiendo de lo que se establezca en el proyecto ejecutivo en cuanto a generación de biogás, sistema de captación proyectado, disponibilidad de recursos económicos, etc. La Figura 5.8 muestra el corte esquemático de un pozo de venteo de biogás.

El radio de influencia de los pozos de venteo normalmente dependen del grado de compactación de los residuos sólidos, tipo y cantidad de residuos a disponer y profundidad del relleno sanitario. Ahora bien, hay que considerar que dentro de los estratos de residuos sólidos no existe uniformidad en cuanto a las características de los residuos sólidos, así como de su acomodo. Esto origina que el cálculo para determinar la ubicación de los pozos de venteo sea difícil de llevar a cabo. En la actualidad, se tiene reportado por la literatura que el número de pozos de venteo para un sistema pasivo, será de 2 a 6 piezas por hectárea; sin embargo se tiene un segundo criterio para determinar el número de pozos, el cual consiste en ubicar un pozo de venteo por cada 7,500 m³ de residuos sólidos.

- **Barreras**

Este tipo de sistemas de control, normalmente son utilizados en conjunto con las zanjas de grava o bien con los pozos de venteo pasivo. Las barreras para el control de la migración de biogás se clasifican en artificiales y naturales.

Las barreras naturales consisten en aprovechar las propiedades físicas del suelo donde se ubicará el relleno, de tal manera que se impida la migración lateral de los gases.

Las barreras artificiales consisten en la colocación de materiales impermeables en la parte lateral y superior de los sitios de disposición final. La Figura 5.9 muestra un corte esquemático de barreras artificiales formadas por una serie de capas de diferentes materiales colocados en la parte lateral y superior de un relleno sanitario.

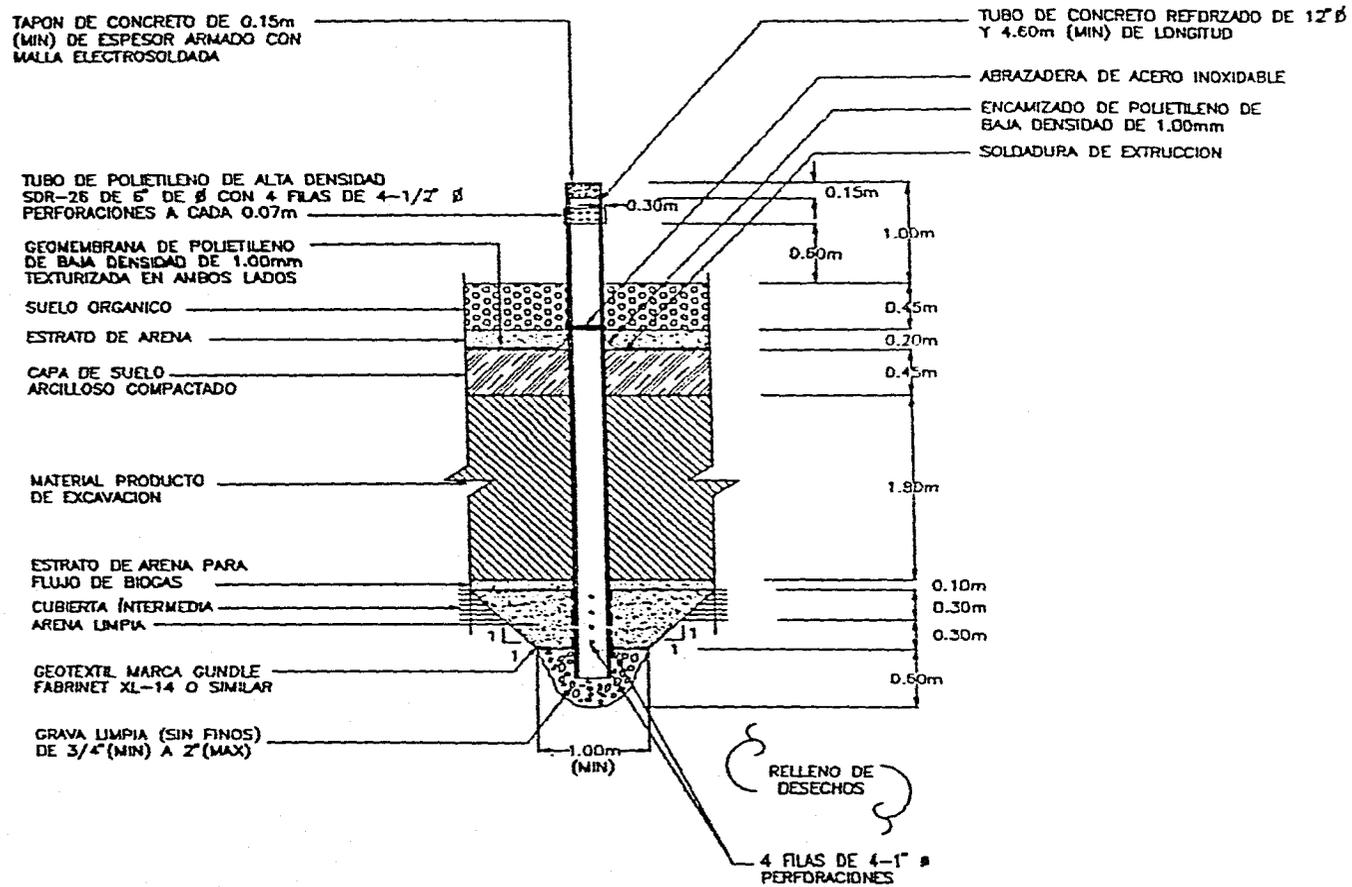


FIGURA 5.8 POZO DE VENTEO DE BIOGAS

Como se puede observar en la Figura 5.9, el estrato de arena tamizada con malla del No 4 que se coloca sobre la cubierta intermedia, tiene la función de permitir la migración horizontal del biogás hacia los pozos de venteo; por otro lado, las capas que se colocan sobre el estrato de arena que permite el flujo horizontal de biogás a la atmósfera, tienen la función de evitar la migración vertical de dichos gases.

a.2 Control activo

Para el control activo existen dos sistemas básicos: pozos de extracción o zanjas de extracción y pozos o zanjas de inyección de aire. La primera opción es usada normalmente y la segunda se aplica para ciertos casos específicos, además de que es la más costosa.

- **Pozo de extracción**

Los pozos de extracción de biogás (activos) tienen las mismas características que los pozos pasivos, excepto que el espesor del material de sello es mayor y la parte ranurada o perforada del tubo para la captación del biogás se encuentra a una mayor distancia de la superficie, además de que está se encuentra conectado a una red principal para su captación. Las diferencias señaladas obedecen a la necesidad de evitar la intrusión de aire al sistema, ya que estará bajo presión.

- **Zanjas de extracción**

Este sistema es generalmente usado en sitios en donde existe un bajo espesor de residuos sólidos y/o el nivel de lixiviados es alto; sin embargo, tiene la desventaja de que muy fácilmente se tiene la intrusión de aire, requiriéndose por consecuencia un monitoreo cuidadoso para evitar dicho efecto.

Las zanjas de extracción, están constituidas por una trinchera de 60 a 90 cm de ancho rellena con grava, en la cual se tiene un tubo horizontal ranurado de PVC y en la superficie de la capa de grava se coloca un geotextil, con el propósito de evitar que las partículas finas provenientes del material de cobertura penetren y azolven la tubería.

- **Red de captación de biogás**

Para conducir el biogás que es captado a través de los pozos de extracción, es indispensable la instalación de tubos de PVC de 15 a 20 cm de diámetro, los cuales estarán conectados a un soplador para ejercer una presión de vacío en el sistema de captación y conducción. Estos tubos pueden colocarse subterráneos o superficiales; sin embargo, en la práctica es más recomendable colocar el sistema en forma subterránea, debido a que de este modo se minimiza el riesgo de que la red sea dañada.

b. Sistema de monitoreo de biogás

- Para el monitoreo del biogás será necesario contar con equipo de medición, tal como, un explosímetro, un medidor de gases de combustión (bióxido de carbono, oxígeno y límite superior de explosividad), un medidor de ácido sulfhídrico y un cromatógrafo de gases.

- Las mediciones se efectuarán en los pozos de monitoreo de biogás y en ciertas instalaciones del relleno sanitario, tales como, pozos de venteo de biogás, cárcamo de lixiviados, área de bombeo de lixiviados y en general cualquier registro que potencialmente pudiera acumular biogás.

El número y localización de los pozos de monitoreo de biogás dependerá de las condiciones de cada proyecto en particular. La Figura 5.10 muestra el corte esquemático de un pozo de monitoreo de biogás.

- Se recomienda que la frecuencia de muestreo se efectúe por lo menos mensualmente o en períodos más cortos, dependiendo de la exigencias de cada proyecto en particular.
- El programa de monitoreo deberá incluir tanto las instalaciones de extracción como las de monitoreo del sitio determinando principalmente: flujo, presión, explosividad y composición de biogás.

5. Contaminación del suelo

- Los patios de maquinaria y talleres deberán contar con medidas de seguridad y prevención que eviten el derrame de contaminantes. Se recomienda que el drenaje del taller de maquinaria cuente con una trampa de grasas.
- Se recomienda estabilizar el suelo en las áreas que no vayan a ser rellenadas mediante una cobertura vegetal permanente o el revestimiento con materiales apropiados.
- Se recomienda realizar inspecciones periódicas en los frentes de trabajo así como en las zonas terminadas, con el fin de detectar posibles fugas de lixiviados que contaminen el suelo. Una vez detectado el foco de contaminación, el ingeniero residente de obra o la persona encargada de la construcción y operación del relleno sanitario, deberá resolver inmediatamente el problema.

6. Elevación del nivel de ruido y vibración

- Se recomienda que las actividades de preparación del sitio y construcción se realicen de forma tal, que los niveles de ruido de fondo medidos a una actividad sensible al ruido no superen los 80 decibeles durante períodos de tal actividad. La actividad sensible se define como aquella para la cual los niveles reducidos de ruido son esenciales. Las actividades sensibles al ruido incluyen aquellas asociadas con casas habitación, hospitales, iglesias, escuelas, parques y áreas recreativas de las poblaciones más cercanas al sitio del proyecto.
- En caso de que los niveles de ruido superen los parámetros indicados en el punto anterior, deben adoptarse las medidas que sean necesarias para adecuarlos y proteger al personal y moradores aledaños a la obra. Para ello es conveniente monitorear el nivel de ruido durante la construcción y operación del relleno.

El monitoreo del ruido se hará eventualmente, utilizando para ello un sonómetro. Este aparato realiza mediciones acústicas y responde al sonido de forma parecida a como lo hace el oído humano, dando una indicación objetiva y reproducible del nivel sonoro.

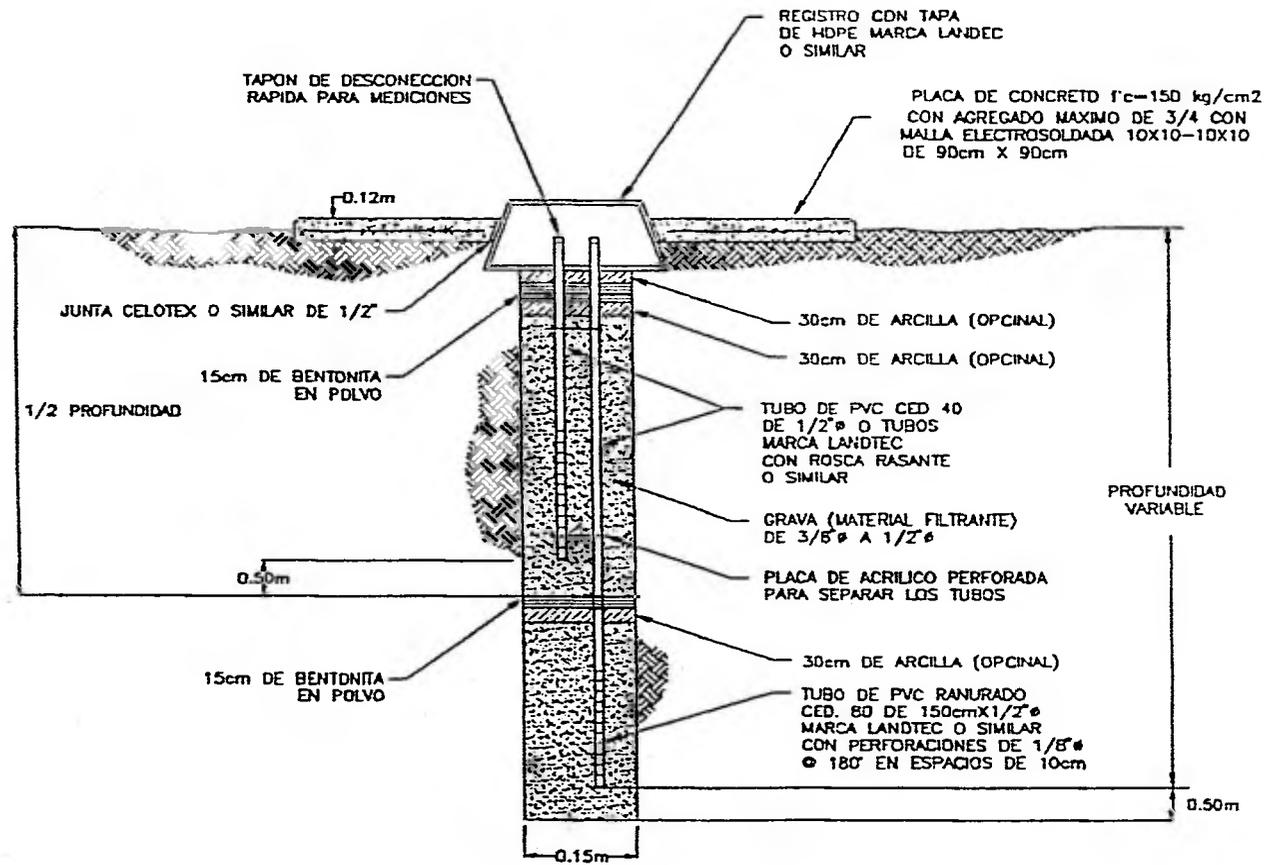


FIGURA 5.10 POZO DE MONITOREO DE BIOGAS

-
- Dependiendo de los resultados del monitoreo y en caso de ser necesario, se prohibirá o restringirá la realización de actividades del proyecto que produzcan un ruido objetable en las horas normales de sueño (10 p.m. a 6 a.m.).

5.2 Factores Bióticos

1. Eliminación de la cubierta vegetal

- Se recomienda colocar una capa de 60 cm de tierra vegetal sobre la superficie final del relleno sanitario, con el fin de poder sembrar pasto u otras especies vegetales, según lo que se establezca en el proyecto ejecutivo correspondiente. La Figura 5.1 muestra la capa de tierra vegetal sobre la superficie final recomendada por la E.P.A. para rellenos sanitarios.
- Se recomienda realizar una reforestación de los terrenos sujetos a explotación de material de cobertura así como de los caminos adaptados para tal efecto, mediante la colocación de coberturas vegetales con especies características de la zona.
- Se deberá dejar una franja perimetral de 50 m de ancho como área de amortiguamiento. El ancho de esta franja se medirá a partir de las colindancias del predio y quedará libre de cualquier instalación o depósito de material.

Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales de talla y follaje suficiente para que reduzca la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la construcción y operación del relleno sanitario.

- La vegetación utilizada como medida de restauración ecológica de los bancos de material y del predio (incluyendo el área de amortiguamiento), deberá estar constituida en la medida de lo posible por especies características de la zona. El Cuadro 5.4 muestra las cantidades y características germinativas de las semillas más comunes.

2. Eliminación de especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción

- Se recomienda que como parte del estudio de impacto ambiental del proyecto de relleno sanitario un biólogo o profesional afin, realice una inspección en el sitio del proyecto y en los bancos de material, con el fin de verificar la posible existencia de especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción, según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994.
- En caso de que se llegara a encontrar en el sitio del proyecto o en los bancos de material alguna o varias especies vegetales raras, endémicas o en peligro de extinción, se tendrán que tomar las medidas de prevención que se mencionan en la norma citada (NOM-059-ECOL-1994), así como aquellas que indique el especialista.

3. Afectación a la fauna silvestre

- Se recomienda que la preparación del sitio del proyecto (desmonte, despalme, cortes, etc.) no se efectúe en forma inmediata en toda el área del predio, sino paulatinamente

de acuerdo al calendario de llenado de las celdas. De esta manera se dará tiempo a la emigración de la fauna hacia áreas no perturbadas.

- Se recomienda que la cubierta vegetal de la superficie final del relleno sanitario, sea con especies naturales para atraer a la fauna original de la zona.
- Las celdas del relleno sanitario deberán cubrirse diariamente con material impermeable y compactable, con el fin de evitar la proliferación de fauna nociva (ratas, aves de rapiña, moscas, etc.) en el sitio del proyecto.

5.3 Factores Sociales

1. Afectación a las vías de comunicación terrestre

- El sitio en el cual se construirá el relleno sanitario, deberá considerar su ubicación respecto a las vías de acceso, así como la capacidad de tránsito (ancho de calzada, pendientes, superficie de rodamiento, etc.) de dichas vías; de tal manera que se produzca la menor alteración posible a las vías de comunicación terrestre cercanas al sitio del proyecto.
- El camino principal de acceso al sitio del proyecto, deberá ser construido de tal manera que permita la doble circulación sobre una superficie de rodamiento resistente, que comunique la entrada del relleno con las vías de comunicación de la población.

De acuerdo a lo programado en el proyecto ejecutivo, se realizará la construcción de los diferentes caminos interiores, para las diferentes etapas de operación del relleno sanitario, estableciéndose un control de la calidad de los materiales empleados para estos caminos, asegurando su transitabilidad en cualquier época del año.

- Deberá contarse con un adecuado señalamiento que indique el tránsito hacia el frente de trabajo y desde éste hacia la salida del sitio, de acuerdo con las diferentes etapas de ejecución de la obra y tomando en cuenta la operación en época de lluvias. Según el área en que se esté trabajando, se deberán diseñar y conservar las vialidades, tratando siempre de minimizar los tiempos de los vehículos en el interior del relleno sanitario. La Figura 5.11 muestra los señalamientos informativos y preventivos que pueden emplearse durante la construcción y operación de un relleno sanitario.
- Los vehículos deberán transitar hacia, y desde, el frente de trabajo solo por los caminos interiores establecidos, respetando los señalamientos e instrucciones que reciban, y a una velocidad máxima de 20 km/hr.

2. Tenencia de la tierra

- Un proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solamente cuando la entidad responsable de la obra (Municipio), tenga en sus manos el documento legal que la autorice a construir sobre el terreno el relleno sanitario con todas las obras complementarias, estipulando también el período y la utilización futura u opciones.

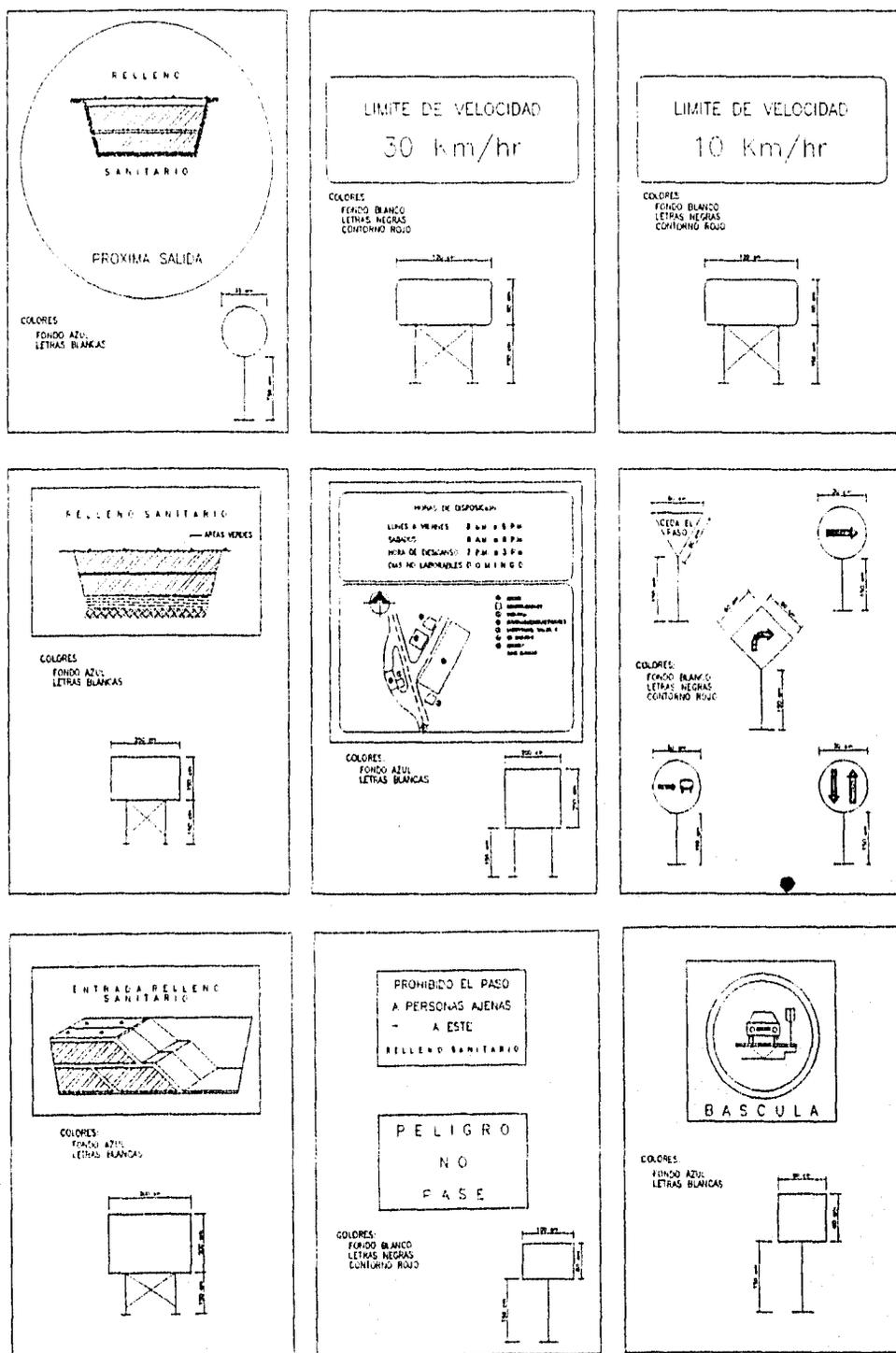


FIGURA 5.11 SEÑALAMIENTOS QUE PUEDEN EMPLEARSE EN UN RELLENO SANITARIO

- En caso de que el Municipio obtenga de particulares el arrendamiento del terreno para la construcción del relleno sanitario, será necesario siempre contar con un convenio o contrato firmado y debidamente legalizado por ambas partes.
- En todos los casos el terreno deberá quedar debidamente arreglado en el Registro Público de la propiedad, y se deberá establecer en el Plan de Desarrollo Municipal que será de uso restringido.

3. Afectación a la salud pública y ocupacional

a. Elevación del nivel de ruido y vibración

- Disminuir la cantidad de ruido de la fuente generadora (utilizando la menor cantidad de equipo y maquinaria que se requiera, minimizando los recorridos de los camiones de carga tanto dentro como fuera del sitio del proyecto, etc.)
- Evitar que la gente que labora en el relleno sanitario esté expuesta a períodos prolongados de ruido con niveles superiores a los 80 dBA.
- En caso de ser necesario, brindar protección individual del oído a las personas que trabajen de manera permanente en el sitio del proyecto.
- Instalar áreas de amortiguamiento y barreras contra el ruido (paredes, árboles, etc.), de tal manera que las zonas aledañas al sitio del proyecto no se vean afectadas por los niveles de ruido que se generan durante la construcción y operación de una obra de este tipo.

b. Contaminación del agua subterránea

- Realizar periódicamente (al menos trimestralmente) un programa de monitoreo que incluya tanto las instalaciones de extracción de lixiviados como los pozos de monitoreo, determinando principalmente flujo y composición de lixiviados.
- En caso de detectarse fugas de lixiviados que pongan en riesgo la salud ocupacional, o bien, la calidad del agua subterránea, se tendrán que tomar en forma inmediata las medidas correspondientes (detectar la fuga de lixiviados, reparar la zona afectada, captar y conducir los lixiviados que se estén fugando, etc.) para resolver dicho problema.

c. Contaminación del aire

- Realizar al menos mensualmente, un programa de monitoreo que incluya tanto las instalaciones de extracción de biogás como los pozos de monitoreo, determinando principalmente flujo, presión, explosividad y composición de biogás. Además es importante realizar mediciones eventuales de partículas en el aire (partículas suspendidas totales y microorganismos en el aire).
- En caso de que se llegaran a encontrar concentraciones de los componentes del biogás (metano, bióxido de carbono, etc.) o de partículas en el aire que pongan en riesgo la salud pública y ocupacional, se tendrán que tomar en forma inmediata las medidas

correspondientes para resolver el problema.

- Algunas medidas o acciones para mitigar el impacto en la salud pública y ocupacional causado por la contaminación del aire, se mencionan a continuación:
 - Revisar periódicamente el sistema de captación y extracción de biogás, con el fin de detectar posibles fugas. En caso de que se encontrara alguna fuga de biogás, actuar de forma inmediata para reparar la zona dañada.
 - En caso de ser necesario (por altas concentraciones de contaminantes en el aire), suspender temporalmente las actividades en el frente de obra.
 - Ejecutar las medidas de prevención indicadas en el apartado A.4 de este capítulo, con el fin de disminuir las concentraciones de partículas en el aire.
 - Proveer de protectores buconasales con filtros de aire a las personas que trabajan en el frente de obra y obligarlos a utilizarlos.

d. Basura y desperdicios

- Se deberá realizar un programa de medicina preventiva dirigido al personal del relleno sanitario y de recolección, a través de constantes chequeos médicos y la aplicación de vacunas para prevenir enfermedades. Este programa debe hacerse extensivo a las familias de los trabajadores y a los habitantes de las zonas aledañas al sitio.
- Se deberá establecer un sistema de recuperación controlada de subproductos en el sitio del proyecto, de tal manera que se cumpla con las disposiciones sanitarias correspondientes.
- Se recomienda incorporar al gremio de pepenadores en el sistema de limpia (barrido, recolección, relleno sanitario, etc.).
- Se recomienda integrar a los pepenadores en los programas de reciclamiento de residuos sólidos o en la operación de plantas de procesamiento de residuos sólidos, a través de cooperativas u organismos privados.

4. Accidentes

a. Riesgo de accidentes para el personal técnico y administrativo

- El proyecto ejecutivo deberá definir las medidas específicas para contar con un sistema de control de la seguridad en el interior del relleno sanitario, enfocado a la protección del personal y de la población en general.
- El personal adscrito a labores administrativas deberá contar con uniforme (overol o bata) para la realización de sus actividades diarias. Al inicio de sus labores deberá cambiar su vestimenta por el uniforme y no se permitirá el desempeño de sus actividades sin uniforme.

- El personal técnico y operativo contará con overoles, botas, casco, lentes protectores, mascarilla y guantes, y no podrá acceder a las zonas operativas sin el equipo completo.
- Se deberá proveer de equipo de seguridad a los visitantes, dependiendo de las áreas a observar.
- Se deberá realizar un programa de información acerca de las medidas de seguridad en el interior del sitio, con permanentes simulacros de desalojo y control de emergencias.

b. Riesgos del uso de explosivos en la realización de cortes en roca

- En caso de requerirse el uso de explosivos por causa plenamente justificada, se cumplirá en todo momento con la Ley Federal sobre Explosivos y Armas de Fuego.
- Los explosivos y los detonantes se depositarán separadamente en polvorines independientes, secos, ventilados, a prueba de balas y resistentes al fuego. Dichos polvorines deberán estar alejados de la carretera y de las casetas del campamento.

c. Riesgos de accidentes en el uso de maquinaria

- Si el operador desciende de la máquina, aunque sea momentáneamente, deberá cuidar que la hoja topadora o el cucharón se halle lo más bajo posible o en su defecto sobre el suelo, que la máquina permanezca inmóvil y el motor apagado en lo posible.
- Mientras funciona el motor, no se deberá cargar combustible ni realizar ajustes.
- Se deberá trabar la transmisión y los frenos al estacionarse. En caso de dejar la máquina por varios días parada, se deberán adoptar medidas de seguridad, tales como: apagar el encendido, quitar las llaves y cerrar el paso de combustible.
- Si se deja la máquina sobre una pendiente, se deberá ubicar en forma transversal y asegurarla atrás y adelante con tacos o bloques.
- Nunca se deberá llevar acompañantes sobre la máquina ni elementos de distracción (radio, televisión, revistas, periódicos, etc.).

d. Riesgo de explosión debido a la generación de metano

- Se monitoreará la generación de gases en el relleno sanitario y dependiendo de los resultados, se propondrá o no la instalación de quemadores o sistemas de captación y aprovechamiento. Para este monitoreo deberá contratarse una empresa de consultoría especializada.

5.4 Factores Económicos

1. Incremento de impuestos

- Se deberá tomar muy en cuenta desde el diseño de un proyecto de relleno sanitario, todos los aspectos de costos de la obra, procurando siempre minimizarlos.
- El ingeniero residente de obra así como el organismo operador, deberán asegurarse de que se cumplan a tiempo los programas de construcción y operación establecidos para el proyecto, procurando siempre incrementar rendimientos y abatir costos de operación y mantenimiento.
- Deberá existir un estricto control de las autoridades municipales en los aspectos de inversión, costos de operación, sistemas tarifarios y de administración en el relleno sanitario.
- El financiamiento de un proyecto de relleno sanitario, se debe realizar de tal manera que se cause la menor repercusión económica para la o las comunidades que por medio de sus impuestos solventan este tipo de proyectos.

5.5 Factores Estéticos

1. Modificación al paisaje natural

- Se deberá realizar la restauración ecológica del sitio de proyecto, colocando una cubierta vegetal (pasto y otras especies vegetales) sobre la superficie final del relleno sanitario.
- Como medida global de mitigación o mejoramiento, se recomienda colocar una cortina vegetal en el perímetro del predio con fines estéticos.
- Al término de la vida útil del relleno sanitario, se dará al predio un uso restringido como área verde.

2. Olores desagradables

- Se recomienda colocar una cortina vegetal en el perímetro del predio (franja de amortiguamiento), de tal manera que las zonas aledañas al sitio del proyecto no se vean afectadas por la generación de olores en el relleno sanitario.
- Se deberán cubrir diariamente los residuos sólidos que se dispongan en el relleno sanitario con material impermeable y compactable, para evitar que se generen olores desagradables.
- Se deberá monitorear la generación de gases en el relleno y dependiendo de los resultados, se propondrá o no la instalación de quemadores o sistemas de captación y aprovechamiento.

3. Basura y desperdicios

- Se recomienda que durante las etapas de preparación del sitio y construcción de la infraestructura requerida en un relleno sanitario, se utilicen depósitos de basura los cuales deberán ser conducidos al sitio que en ese momento se esté utilizando para la disposición final de residuos sólidos.
- En caso de ser necesario, se deberá utilizar cercas móviles en el frente de obra, de tal manera que se evite que los residuos sólidos se dispersen por el viento en el momento en que el camión los esté descargando.
- Se recomienda que los camiones descubiertos que transportan residuos sólidos así como material de cubierta al relleno sanitario, estén equipados con coberturas de lona de tamaño suficiente para evitar el derrame de sobrantes.

CAPITULO 6

CASO ESTUDIO:

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO DE RELLENO SANITARIO PARA LA CIUDAD DE IRAPUATO, GUANAJUATO

En este capítulo se aplican las técnicas de identificación, predicción y evaluación de impactos ambientales descritas en los capítulos anteriores, así como las medidas de mitigación correspondientes, para realizar el estudio de impacto ambiental del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto.

El proyecto ejecutivo de relleno sanitario para la ciudad de Irapuato, Gto., fue realizado por la compañía Coplain Ingenieros Civiles S.A. de C.V. para la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) a finales de 1994, estimándose que su construcción iniciaría a principios de 1996.

Cabe señalar que tanto los listados, matrices, descripción de impactos y medidas de mitigación que se mencionan en los capítulos anteriores, deberán adecuarse a las características propias (medio natural y socioeconómico, procesos constructivos y operativos, etc.) de este proyecto.

6.1 Aspectos generales del medio natural y socioeconómico

6.1.1 Rasgos físicos

El sitio propuesto para la construcción del relleno sanitario de la ciudad de Irapuato, Gto., se localiza al norte de dicha ciudad, aproximadamente a seis kilómetros de la mancha urbana, sobre el lado oriente de la elevación topográfica conocida como Cerro Blanco, a una

altura promedio de 1,800 msnm. El terreno se encuentra limitado al norte por terrenos de la localidad El Copalillo, al sur por un predio propiedad del Sr. Librado Chávez Reyes; al poniente por un terreno agrícola y al oriente por la carretera Panamericana No 45 México - Ciudad Juárez, en el tramo Irapuato - León. Aproximadamente a 400 m al sur se encuentra la localidad de El Copalillo y a 300 m al oriente la localidad El Copal. En la Figura 6.1, se muestra la localización del sitio propuesto para la construcción del relleno sanitario de Irapuato, Gto.

- Climatología

En la zona propuesta para construir el relleno sanitario existe una sola estación climatológica, que corresponde a la de Irapuato.

De acuerdo a la clasificación de Köpen, modificada por E. García, el clima en la zona del proyecto es del tipo semicálido subhúmedo (menor humedad) A (C), con porcentajes de lluvia invernal menor de cinco. La temperatura media anual varía de 18 a 20 °C.

El mes más cálido es mayo, con temperaturas medias entre 23 y 24 °C; las temperaturas más bajas se presentan en enero, registrándose temperaturas medias de 15 a 16 °C.

Las heladas en la zona de estudio están relacionadas directamente con el clima, observándose que su frecuencia es menor de 10 días por año y en algunas áreas del centro y sureste, el fenómeno es inapreciable.

Los rangos de precipitación media anual fluctúan entre los 700 y 800 mm, siendo agosto el mes más lluvioso, con una precipitación de 170 mm; el mes menos lluvioso es febrero, con una precipitación menor a 5 mm.

Los vientos son templados con pequeñas variaciones durante el año; los vientos dominantes provienen del noreste en la temporada primavera-verano y del sureste (con menos velocidad) en el periodo otoño-invierno, con velocidades variables, siendo la mínima de 0 - 1 m/s (hasta 3.6 km/hr) y la máxima de 4 - 5 m/s (hasta 20 km/hr). En la Figura 6.2 se presenta la rosa de los vientos anual para la localidad de Irapuato, con datos de 1975 a 1987.

- Geología

El terreno seleccionado se encuentra ubicado totalmente sobre roca basáltica; bajo dicha roca se encuentran capas de sedimentos lacustres, los cuales se pueden ver físicamente en un perfil de aproximadamente ocho metros, en la pared de un antiguo banco de material ubicado al sur del predio.

Inmediatamente por abajo de los basaltos, se encuentran dos capas muy delgadas de tobas. La primera con aspecto arcilloso y de textura fina; la segunda de grano fino, textura granular y con cuarzo y fragmentos de roca y vidrio volcánico

Por abajo de estas dos capas se observa una de 0.5 metros de espesor de una toba arcillosa lacustre de grano muy fino y compacto, con lentes delgados de arena subredondeada. Inmediatamente después se localiza una toba lacustre de aspecto arcilloso con grano muy fino. Lo anteriormente expuesto se puede ver en forma gráfica en la Figura 6.3.

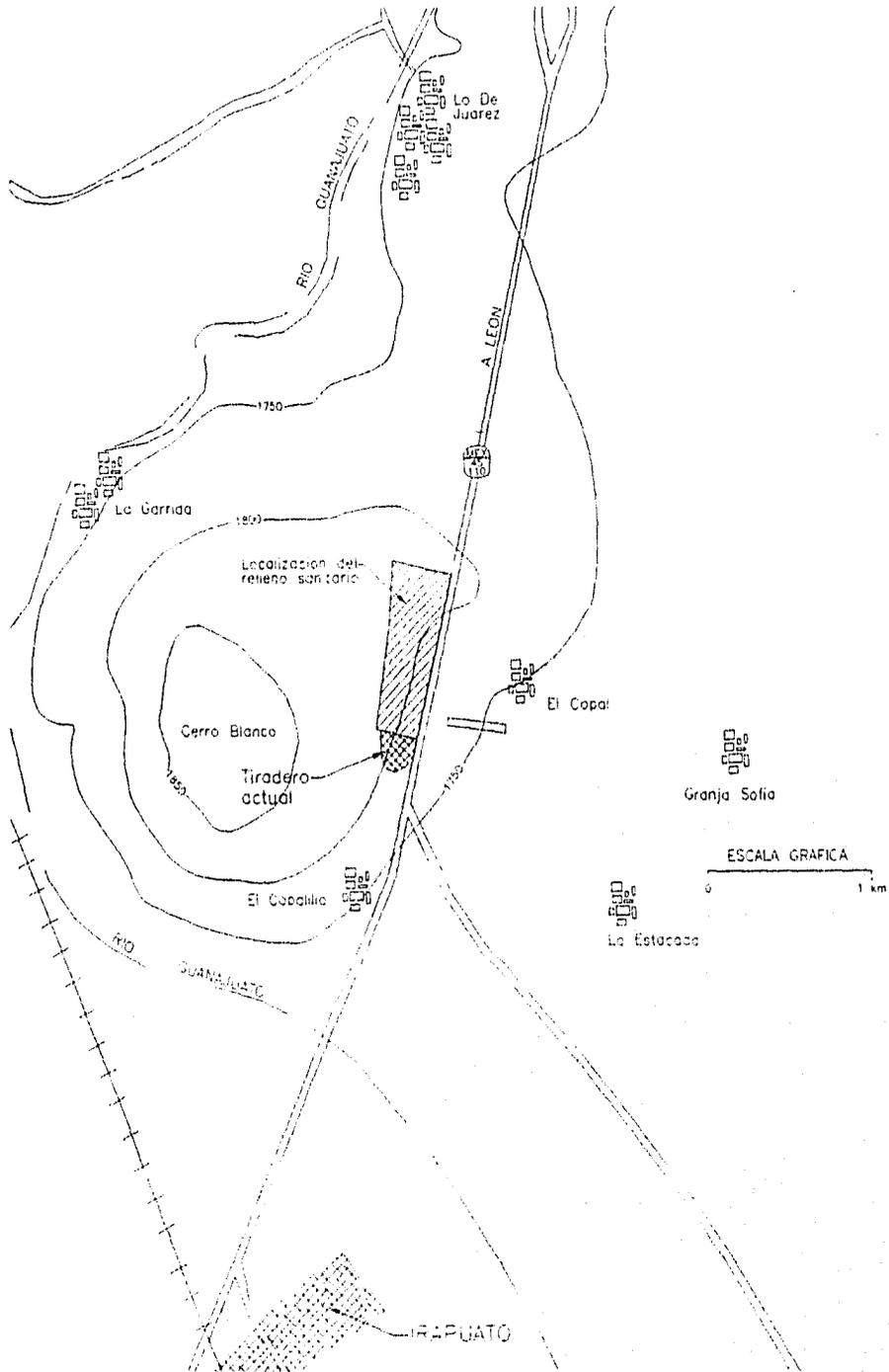
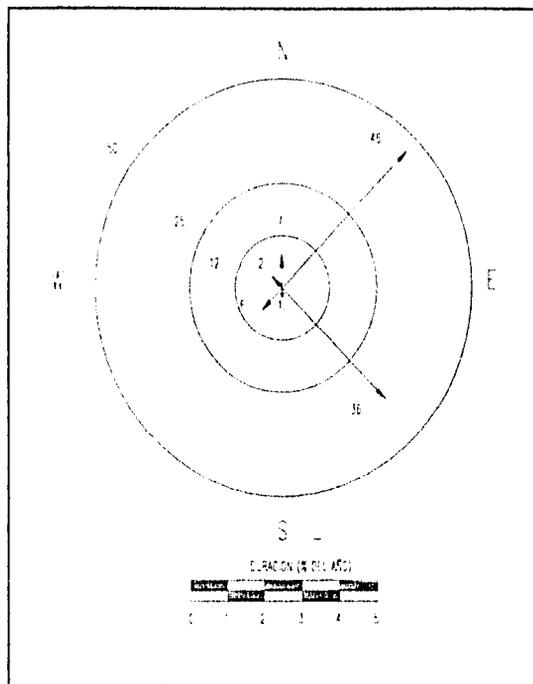


FIGURA 6.1 LOCALIZACION DEL RELLENO SANITARIO DE IRAPUATO, GTO.



FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional, CNA-SARH, Estación Irapuato, periodo 1978-1988

FIGURA 6.2 ROSA DE LOS VIENTOS ANUAL PARA IRAPUATO

- Topografía

El terreno seleccionado para la construcción del relleno sanitario de Irapuato, Gto., presenta dos relieves principales. El primero, ubicado al norte del predio abarca el 87.20% de la superficie total (21.80 ha). En éste se manifiestan tres pendientes generales (3.5, 5.3 y 5.9%). El segundo relieve, localizado al sur del terreno, se caracteriza por tener una gran depresión, con un desnivel de hasta 21 metros desde su punto más alto hasta su parte más baja. La existencia de esta gran depresión se debe a que en años anteriores, esta parte se explotó como banco de material pétreo. Así, la superficie que abarca este gran agujero es de 3.2 ha (el 12.80% del predio). Lo anteriormente expuesto se presenta en forma gráfica en la Figura 6.4.

- Hidrología

A 2 km al sur del predio asignado para el relleno sanitario atraviesa el río Guanajuato y aproximadamente a 4.5 km, también al sur, pasa el río Silao, siendo éstos los principales cuerpos de agua y los más cercanos al predio mencionado. Asimismo, en esta dirección se ubica a 1 km aproximadamente, una batería de pozos con los cuales se abastece a una parte de la población de la zona.

En la zona donde se ha proyectado ubicar el relleno sanitario no existen cuerpos de agua ni arroyos superficiales. No se tienen datos de calidad del agua subterránea y el nivel freático se encuentra a una profundidad aproximada de 70 a 80 m; el flujo subterráneo corre en una dirección noroeste - sureste.

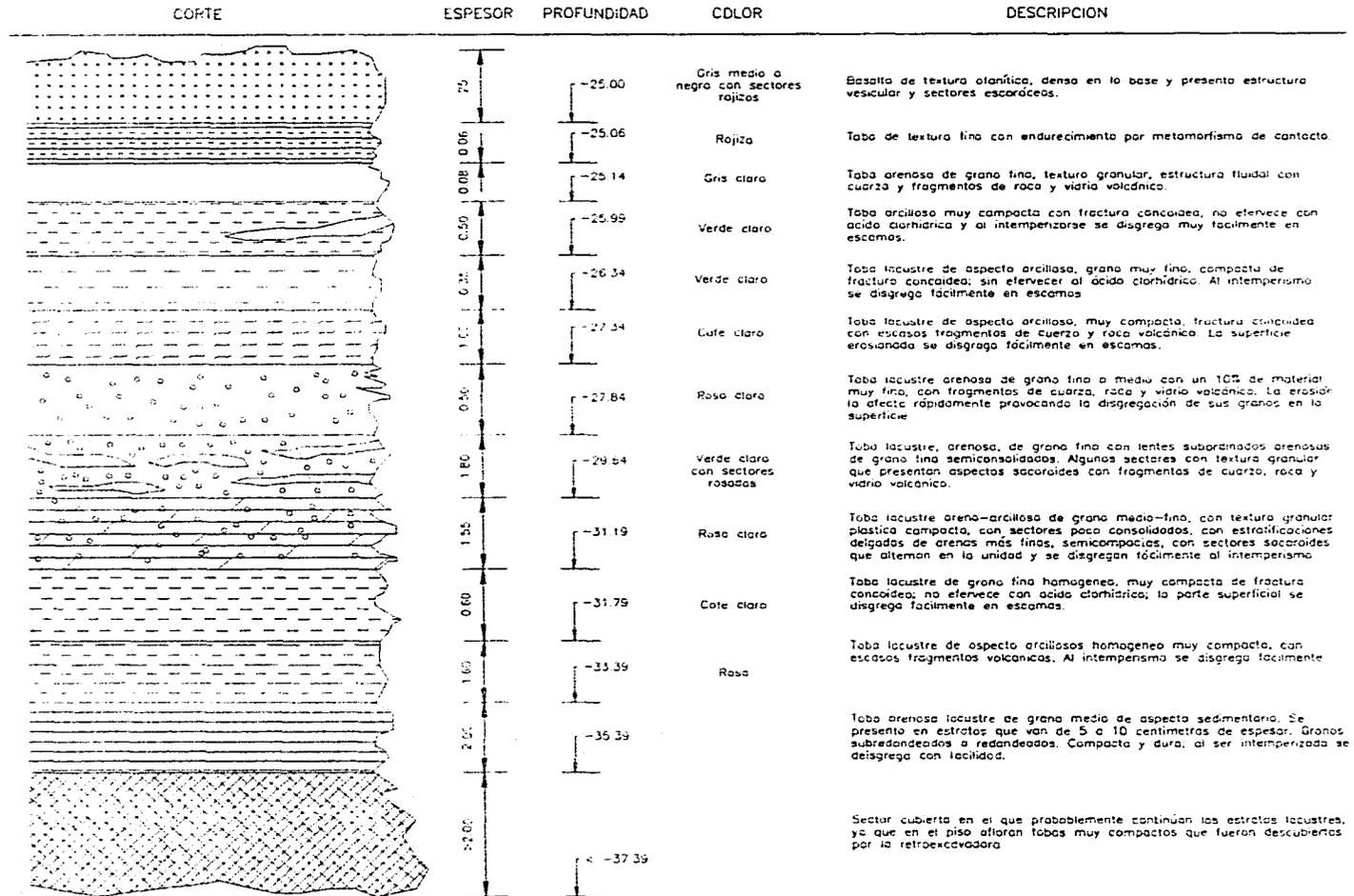


FIGURA 6.3 ESTRATIGRAFIA EN LA ZONA DEL PROYECTO

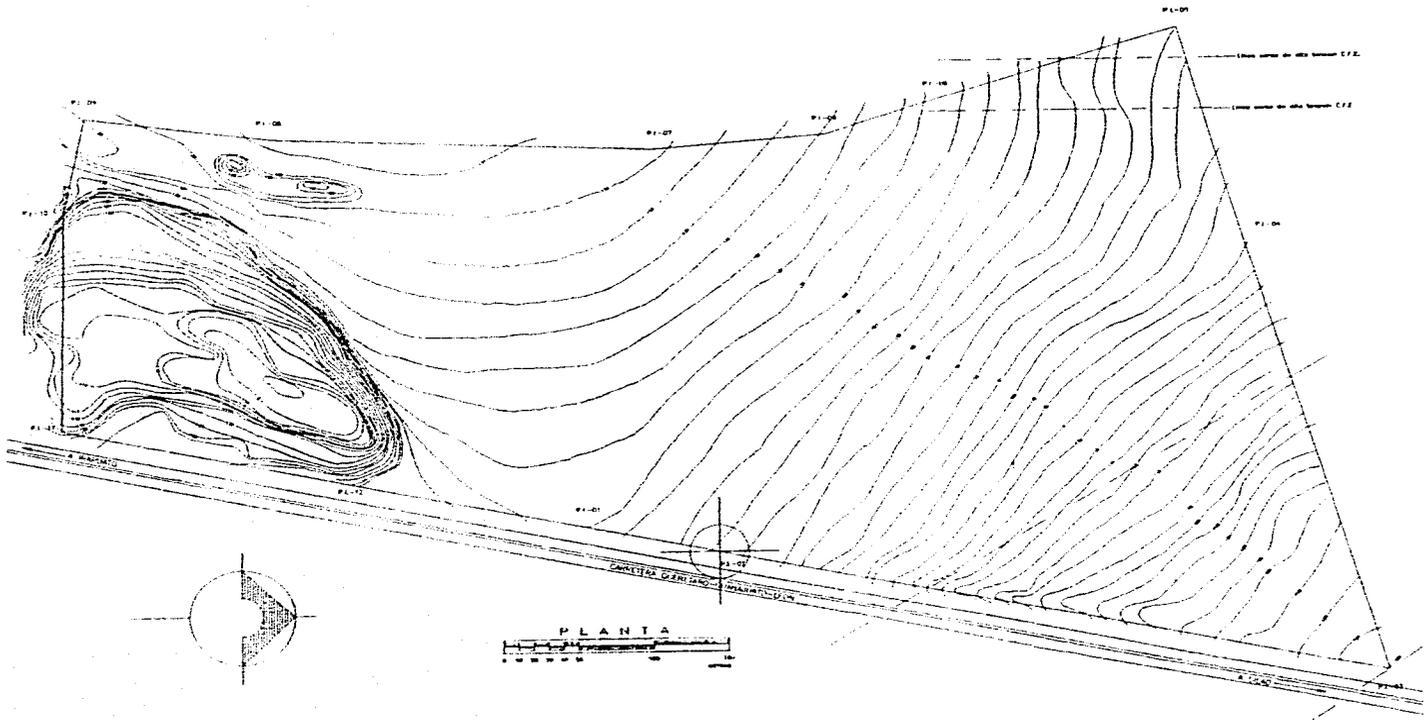


FIGURA 6.4 TOPOGRAFIA DEL PREDIO DEL PROYECTO

6.1.2 Rasgos biológicos

- Vegetación

Debido a las diversas actividades antropogénicas que se han llevado a cabo en el predio y sus alrededores, tales como la explotación de material pétreo, la construcción de la carretera No. 45, la construcción de la línea de energía eléctrica de alta tensión, el uso agrícola en la fracción poniente del terreno y la disposición final de basura en el tiradero localizado al sur del predio, la vegetación existente en el sitio está compuesta en un 85% por pastos y algunas plantas de nopal, las cuales alcanzan alturas de uno a tres metros. El 15% restante del predio está carente de vegetación, debido a la explotación que se hizo en esa área del material basáltico.

- Fauna

El predio destinado al proyecto del relleno sanitario de Irapuato presenta un alto grado de alteración debido a las actividades antropogénicas mencionadas, por lo que la fauna original se ha desplazado del sitio. Persisten, sin embargo, reptiles pequeños y roedores atraídos por la basura que se dispone en el terreno colindante con el predio.

- Ecosistema y paisaje

En la zona donde se ha proyectado la realización del relleno sanitario no existen cuerpos de agua ni arroyos superficiales. En este sentido y de acuerdo al tipo de actividades que se han llevado a cabo (extracción de material pétreo), las comunidades de fauna se han visto desplazadas y las de flora se han destruido en una gran parte, especialmente en lo que es el banco de materiales. Así, el paisaje lo conforman pastos pequeños y nopales de mediano tamaño dispersos en el predio; en las zonas aledañas se puede observar el mismo tipo de vegetación excepto en la zona poniente donde, como se ha comentado existen pequeñas zonas de cultivo de temporal. Por lo anterior, la zona no se considera con atractivo turístico.

6.1.3 Rasgos socioeconómicos

- Vías de comunicación

La ciudad de Irapuato es un centro radial con vías carreteras que lo comunican con las principales ciudades del estado y la República Mexicana. Se tiene la carretera México - Ciudad Juárez; tienen comunicación a Guadalajara por la vía La Piedad de Cabadas y a Morelia por la vía Salamanca - Valle de Santiago, así como con la ciudad de Guanajuato de la que dista sólo 46 km. En la cabecera municipal se localiza una importante estación ferroviaria que comunica con la ciudades de México, Guadalajara y Ciudad Juárez.

Respecto al predio donde se proyecta construir el relleno sanitario, la única vía de acceso con la ciudad es la carretera Panamericana No. 45 México - Ciudad Juárez, la cual atraviesa Querétaro e Irapuato. La distancia entre la ciudad de Irapuato y el predio es de seis km aproximadamente.

- Servicios públicos

El gobierno municipal proporciona a la población los servicios de agua potable, alcantarillado, alumbrado público, limpia y recolección de basura, mercados y centrales de abasto, parques y jardines, seguridad pública, regulación urbana y estacionamientos públicos, entre otros.

No se prevee que este tipo de servicios se incremente por la construcción del relleno sanitario. En todo caso podrían mejorarse, como el servicio de limpia y recolección de basura que tendrá un lugar para su adecuada disposición.

- Uso actual del suelo

Actualmente en el predio donde se construirá el relleno sanitario no existe ningún tipo de actividad. Antaño parte del sitio se utilizó como banco de materiales pétreos, pero esta actividad ha cesado. En las zonas norte y sur aledañas al predio se tienen terrenos ociosos, ya que en ellos no se lleva a cabo ningún tipo de actividad. En cambio, en la zona poniente colindante con el terreno, existe un área de cultivo de temporal, en donde se siembra maíz.

En el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Irapuato, no se destina ningún tipo de uso al suelo donde se ha propuesto la construcción del relleno sanitario.

6.2 Descripción general del proyecto

Para el diseño del relleno sanitario de la ciudad de Irapuato, Gto., se partió del estudio topográfico del predio el cual presenta dos relieves principales. La porción norte, que abarca el 87% del predio, es una ladera con pendientes generales de 3.5, 5.3 y 5.9%; la porción sur restante es una depresión que se efectuó en esa parte del predio con el propósito de extraer roca basáltica. La presencia de los dos relieves descritos determinó la conveniencia de efectuar el diseño del relleno sanitario considerando dos etapas, correspondiendo la primera al relleno de la parte norte del predio y la segunda a la parte sur. La Figura 6.5 muestra el arreglo general del proyecto de relleno sanitario para la ciudad de Irapuato, Gto.

Debido a las características topográficas y geotécnicas del predio se propuso utilizar el método de área para la disposición de residuos sólidos; sin embargo, para el relleno del predio en la segunda etapa deberán efectuarse cortes y nivelación de la roca con el fin de mejorar las condiciones del antiguo banco de material desde el punto de vista constructivo, además de que con ello se incrementará notablemente la capacidad volumétrica del sitio.

En ambas etapas constructivas del relleno se tendrán cinco capas de residuos de 3 m de altura en promedio; el frente de trabajo será de 10 a 15 m dependiendo de las condiciones particulares del terreno, procurando que sea constante en cada una de las capas. Como en el sitio del proyecto no existe material para la cobertura de la celda diaria, deberá traerse de banco. A 2 km al oeste del predio se encuentra una presa fuera de servicio cuyo material de azolve se puede utilizar para la cobertura de los residuos sólidos, su volumen se ha calculado en aproximadamente 100,000 m³. Otros bancos deberán identificarse durante la operación de la primera etapa, para satisfacer el volumen total de material de cubierta de aproximadamente 285,000 m³ durante los 10 años de vida útil del relleno sanitario.

En el Cuadro 6.1 se presentan las cantidades (en toneladas) de residuos sólidos generados por año en cada una de las etapas del proyecto, así como el volumen anual que se requiere para su disposición, considerando el peso volumétrico compactado de los residuos (0.895 ton/m^3) y un 25% del volumen de residuos como material de cobertura.

CUADRO 6.1
RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS POR AÑO Y VOLUMEN NECESARIO PARA SU DISPOSICION

AÑO	GENERACION (kg/hab/día)	GENERACION ANUAL (ton)	VOLUMEN ANUAL GENERADO (m3)	VOLUMEN ANUAL DE RESIDUOS SOLIDOS Y COBERTURA (m3)	VOLUMEN ACUMULADO (m3)	ETAPAS DE OPERACION
1996	0.656	82798.35	92512.13	115640.16	115640.16	Etapa 1
1997	0.669	88288.71	98978.38	123722.97	239363.13	
1998	0.683	94139.95	105538.06	131922.57	371285.7	821790.8 m3
1999	0.696	100367.78	112519.93	140649.92	511935.61	
2000	0.71	107014.41	119971.32	149964.14	661899.75	
2001	0.724	114098.25	127912.84	159891.05	821790.8	
<hr/>						
2002	0.739	121665.33	135938.91	169923.64	991714.44	Etapa 2
2003	0.754	129709.48	144926.79	181158.49	1172872.93	
2004	0.769	138307.27	154533.26	193166.57	1366039.5	966869.64 m3
2005	0.784	147454.62	164753.77	205942.21	1571981.71	
2006	0.8	155141.97	173342.98	216678.73	1788660.44	

Fuente: SEDESOL "Proyecto Ejecutivo de Relleno Sanitario y Estudio de Impacto Ambiental de Irapuato, Gto.", Capítulo 7, 1994

En el Cuadro 6.2 se enlistan las principales actividades que se realizarán en el proyecto, tanto en la parte de infraestructura como en la parte de construcción y operación del relleno sanitario, así como los tiempos en que se estima realizar dichas actividades.

La preparación del sitio que se menciona en el Cuadro 6.2 se refiere a realizar las actividades de desmonte, despalle, cortes, terraplenes, etc. El área de servicios y edificaciones, se refiere a realizar la construcción de la caseta de vigilancia, control, oficina administrativa, taller y cobertizo, así como la pavimentación del área de servicios y construcción de jardines en dicha área.

Durante la construcción y operación de cada una de las capas de residuos sólidos que se mencionan en el Cuadro 6.2, se realizarán diversas obras de control ambiental, tanto para los lixiviados como para los gases que se generen en el relleno sanitario.

6.3 Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos ambientales, consiste en detectar separadamente las actividades del proyecto que podrían provocar impactos sobre el ambiente en las etapas de selección y preparación del sitio, construcción, operación, mantenimiento y abandono al término de la vida útil (clausura). Asimismo se identifican los factores ambientales y sus atributos que se verían afectados.

De acuerdo a lo que se mencionó en el Capítulo 3, para realizar la identificación de impactos ambientales directos o indirectos que pueden suscitarse en un relleno sanitario, se recomienda seguir el procedimiento que se presenta a continuación:

- Elaborar una lista de actividades del relleno sanitario que pueden producir un efecto significativo en el medio.
- Elaborar una lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por las actividades del relleno sanitario.
- Elaborar una matriz de identificación de impactos en la etapa de:
 - Selección y preparación del sitio
 - Construcción y operación
 - Mantenimiento y conservación

6.3.1 Lista de actividades del relleno sanitario que pueden producir un efecto significativo en el medio

Para obtener la lista de actividades del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto. que pueden producir un efecto significativo en el medio, se recomienda tomar como base la lista de actividades que se presenta en el Cuadro 3.1, así como, la información dada en los dos incisos anteriores de este capítulo. De acuerdo a lo anterior, la lista de actividades del relleno sanitario de Irapuato, Gto. que pueden producir un efecto significativo en el medio, se presenta en el Cuadro 6.3.

6.3.2 Lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por las actividades del relleno sanitario

Para obtener la lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por las actividades del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., se recomienda tomar como base la lista de factores ambientales que se presenta en el Cuadro 3.2, así como, la información dada en los dos incisos anteriores de este capítulo. De acuerdo a lo anterior, la lista de factores ambientales que son potencialmente afectados por las actividades del relleno sanitario de Irapuato, Gto., se presenta en el Cuadro 6.4.

CUADRO 6.3
LISTA DE ACTIVIDADES DEL RELLENO SANITARIO DE IRAPUATO, GTO. QUE PUEDEN
PRODUCIR UN EFECTO SIGNIFICATIVO EN EL MEDIO

A. SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO	
1.	Campamentos
2.	Desmonte y despalle
3.	Cortes y nivelación
4.	Préstamos de bancos de material
5.	Transporte de material y movimiento de equipo
6.	Construcción de caminos de acceso e interiores
B. CONSTRUCCION Y OPERACION	
1.	Edificaciones
2.	Sistema de impermeabilización
3.	Sistema de drenaje de lixiviados
4.	Transporte de material y movimiento de equipo
5.	Construcción de celdas
6.	Sistema de captación de biogas
7.	Sistema de captación y conducción de aguas de escurrimiento pluvial
8.	Pozos de monitoreo
9.	Cercas fija y móvil
10.	Señalamientos
11.	Vigilancia
C. MANTENIMIENTO Y CONSERVACION	
1.	Reparación de áreas dañadas
2.	Cobertura vegetal
3.	Monitoreo ambiental

CUADRO 6.4
LISTA DE FACTORES AMBIENTALES QUE SON POTENCIALMENTE AFECTADOS POR
LAS ACTIVIDADES DEL RELLENO SANITARIO DE IRAPUATO, GTO.

A. FACTORES FISICOS	
1.	Procesos erosivos
2.	Drenaje natural
3.	Calidad del agua
4.	Infiltración
5.	Nivel freático
6.	Calidad del aire
7.	Calidad del suelo
8.	Nivel de ruido
9.	Vibración
B. FACTORES BIOTICOS	
1.	Cubierta vegetal en el predio
2.	Vegetación en el medio circundante
3.	Fauna silvestre
C. FACTORES SOCIALES	
1.	Vías de comunicación terrestre
2.	Tenencia de la tierra
3.	Salud pública y ocupacional
4.	Accidentes
D. FACTORES ECONOMICOS	
1.	Fuentes de empleo
E. FACTORES ESTETICOS	
1.	Paisaje natural
2.	Olores
3.	Basura y desperdicios

6.3.3 Matrices de identificación de impactos para cada etapa del proyecto

Para la identificación de los impactos causados por las actividades que se realizan en las diferentes etapas del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., las listas de los Cuadros 6.4 y 6.5 pueden ser confrontadas en una Matriz de Identificación. Se recomienda tomar como base las matrices de identificación de impactos del Capítulo 3, así como, la información dada en los dos incisos anteriores de este capítulo. Los Cuadros 6.5, 6.6 y 6.7 muestran la Matriz de Identificación para cada etapa del proyecto. En caso de existir una relación entre actividad y factor ambiental, la celda correspondiente aparece sombreada.

6.4 Predicción y evaluación de los impactos ambientales identificados

De acuerdo a lo que se mencionó en el Capítulo 4, para realizar la predicción y evaluación de los impactos en los factores ambientales causados por las diversas actividades que constituyen el proyecto de un relleno sanitario, se recomienda utilizar la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3) propuesta para cada una de las etapas del proyecto.

Los Cuadros 6.8, 6.9 y 6.10 muestran la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales para cada una de las etapas del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto. Estas matrices de evaluación se realizaron tomando como base la identificación de impactos que se hizo en el inciso anterior, así como las características propias de este proyecto.

Las matrices de evaluación de los impactos ambientales se complementan con una descripción de los procesos de cambio que se manifestarán en los factores ambientales por las acciones del proyecto; dicha descripción se hace mediante el análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de modelos matemáticos, o bien a través del análisis cualitativo efectuado por especialistas. Los resultados permiten prever las medidas de mitigación, que pueden ser de prevención, restauración y control, las cuales serán implantadas en la construcción y operación del relleno sanitario de Irapuato, Gto.

A continuación se describen los impactos en los factores ambientales, como consecuencia de las obras y actividades que se realizan en el proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., tomando como base la descripción de impactos que se presenta en el Capítulo 4, así como las características propias de este proyecto.

6.4.1 Factores Físicos

1. Procesos erosivos

En aproximadamente el 15% del predio el impacto es de gran intensidad y se está produciendo como consecuencia de la explotación del material basáltico que se hizo en este sitio. Como en la zonas del predio explotadas la vegetación es escasa ya que no se llevaron a cabo actividades de restauración, no se tiene la regulación del proceso erosivo que la vegetación lleva a cabo como retenedora del suelo.

CUADRO 6.5

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO

FACTORES AMBIENTALES:	ACTIVIDADES EN LA ETAPA DE SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO:					
	1	2	3	4	5	6
A. FACTORES FISICO						
1. Procesos erosivos						
2. Drenaje natural						
3. Calidad del agua						
4. Infiltración						
5. Nivel freático						
6. Calidad del aire						
7. Calidad del suelo						
8. Nivel de ruido						
9. Vibración						
B. FACTORES BIOTICOS						
1. Cubierta vegetal en el predio						
2. Vegetación en el medio circundante						
3. Fauna silvestre						
C. FACTORES SOCIALES						
1. Vías de comunicación terrestre						
2. Tenencia de la tierra						
3. Salud pública y ocupacional						
4. Accidentes						
D. FACTORES ECONOMICOS						
1. Fuentes de empleo						
E. FACTORES ESTETICOS						
1. Paisaje natural						
2. Olores						
3. Basura y desperdicios						

CUADRO 6.6

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION Y OPERACION

FACTORES AMBIENTALES:	ACTIVIDADES EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION Y OPERACION:										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A. FACTORES FISICOS											
1. Procesos erosivos											
2. Drenaje natural											
3. Calidad del agua											
4. Infiltración											
5. Nivel freático											
6. Calidad del aire											
7. Calidad del suelo											
8. Nivel de ruido											
9. Vibración											
B. FACTORES BIOTICOS											
1. Cubierta vegetal en el predio											
2. Vegetación en el medio circundante											
3. Fauna silvestre											
C. FACTORES SOCIALES											
1. Vías de comunicación terrestre											
2. Tenencia de la tierra											
3. Salud pública y ocupacional											
4. Accidentes											
D. FACTORES ECONOMICOS											
1. Fuentes de empleo											
E. FACTORES ESTETICOS											
1. Paisaje natural											
2. Olores											
3. Basura y desperdicios											

CUADRO 6.7

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

FACTORES AMBIENTALES:	ACTIVIDADES EN LA ETAPA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION:		
	1	2	3
A. FACTORES FISICOS			
1. Procesos erosivos	■	■	
2. Drenaje natural			
3. Calidad del agua			■
4. Infiltración			
5. Nivel freático			
6. Calidad del aire		■	■
7. Calidad del suelo			
8. Nivel de ruido			■
9. Vibración			
B. FACTORES BIOTICOS			
1. Cubierta vegetal en el predio		■	
2. Vegetación en el medio circundante			
3. Fauna silvestre		■	
C. FACTORES SOCIALES			
1. Vías de comunicación terrestre			
2. Tenencia de la tierra		■	
3. Salud pública y ocupacional	■		■
4. Accidentes	■		■
D. FACTORES ECONOMICOS			
1. Fuentes de empleo	■	■	■
E. FACTORES ESTETICOS			
1. Paisaje natural		■	
2. Olores		■	
3. Basura y desperdicios	■		

En el sitio del proyecto se tendrá un incremento en los procesos erosivos en las fases iniciales de la preparación del sitio y construcción, pero el impacto se considera de baja magnitud en virtud de que ya se está dando en el predio, además de que la transformación del terreno con el relleno sanitario conducirá paulatinamente a la formación de un nuevo suelo.

El impacto causado por las actividades antes descritas se considera adverso, directo, temporal y reversible, siempre y cuando se lleven a cabo las medidas de mitigación adecuadas, con lo cual se estima que será de magnitud baja.

2. Drenaje natural

La alteración del drenaje natural en el predio es un impacto que ya se dio; sin embargo, las actividades de preparación del sitio continuarán modificando el drenaje natural. En este caso el impacto se considera adverso pero de baja magnitud.

Una de las obras complementarias más importantes es el sistema de captación y conducción de aguas de escurrimiento. El objetivo que se persigue con este sistema es reducir la entrada de agua al relleno y desalojarla rápidamente. Las principales fuentes de aportación de aguas al predio son la precipitación directa y el escurrimiento del agua del terreno adyacente.

El impacto causado por esta actividad se estima que será benéfico para el uso del suelo que se dará en el predio; indirecto, permanente, localizado e irreversible. La magnitud del impacto se considera que será alta debido a la necesidad que se tiene de evitar la introducción de agua en el propio relleno, ya que de lo contrario se incrementaría la producción de lixiviados.

3. Calidad del agua

El proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., contempla la impermeabilización de su base y la instalación de un sistema de captación y conducción de lixiviados hasta un cárcamo de 100 m³ de capacidad (uno para cada etapa), que también tendrá la función de estanque de evaporación.

Sin embargo, no debe soslayarse la posibilidad de que por una deficiente impermeabilización de la base del relleno o por una operación inadecuada, se infiltren lixiviados a través de los basaltos fracturados.

La Figura 6.6 muestra la dirección y comportamiento de los lixiviados en caso de que llegaran a infiltrarse; éstos escurrirían rápidamente a través de los basaltos fracturados, pero las capas impermeables de calizas y lutitas que se encuentran debajo impedirían la afectación del acuífero regional. Los lixiviados infiltrados tendrían entonces un flujo horizontal sobre la base de los basaltos y aflorarían en los flancos del Cerro Blanco en puntos cuya ubicación no es posible precisar.

Se estima que el carácter de dicho impacto potencial sería adverso, indirecto, extensivo e irreversible. Se considera que de aplicarse las medidas de mitigación correspondientes, la probabilidad de ocurrencia del impacto será media y de presentarse sería de magnitud alta.

Con el fin de evaluar la magnitud de este impacto, a continuación se presenta el cálculo de la producción de lixiviados para el proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., de acuerdo al método de balance de agua en rellenos sanitarios propuesto por el Dr. Tchobanoglous, el cual se explicó en el Capítulo 4.

Los cálculos se harán hasta completar 5 capas de residuos sólidos ya que en ambas etapas de operación coincide dicha condición. No se estima la producción de lixiviados en años subsecuentes al fin de la última capa debido a que se impermeabilizará la superficie con un recubrimiento compuesto, con lo cual disminuirá considerablemente la cantidad de lixiviado producido. Para simplificar los cálculos, se determinará la cantidad de lixiviados producidos en un área unitaria de 1 m² y luego se convertirá la solución para tomar en cuenta la cantidad total de residuos depositados en el relleno.

CUADRO 6.8
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE SELECCION Y PREPARACION DEL SITIO

	OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN EVALUACION																		
	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS					DETERMINACION					EVALUACION								
	1	2	3	4	5	6	7	8		9									
	BENEFICO	ADVERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MEDIDA DE MITIGACION	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	B	A	M	B	MAGNITUD	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO	
											SI	NO	A	M	B				
FACTORES AMBIENTALES																			
A. FACTORES FISICOS																			
1. Procesos erosivos																			2,3,4
2. Drenaje natural																			2,3,4,6
3. Calidad del agua																			1,2,3,4,6
4. Infiltración																			2,3,4
5. Nivel freático																			2,3,4
6. Calidad del aire																			1 a 5
7. Calidad del suelo																			1,2
8. Nivel de ruido																			2 a 5
9. Vibración																			3,4
B. FACTORES BIOTICOS																			
1. Cubierta vegetal en el predio																			2
2. Vegetación en el medio circundante																			4
3. Fauna silvestre																			2 a 5
C. FACTORES SOCIALES																			
1. Vías de comunicación terrestre																			5,6
2. Tenencia de la tierra																			1,2,3,4,6
3. Salud pública y ocupacional																			2,3,5
4. Accidentes																			3,4,5
D. FACTORES ECONOMICOS																			
1. Fuentes de empleo																			1 a 6
E. FACTORES ESTETICOS																			
1. Paisaje natural																			1,2,3,4,6
2. Olores																			5
3. Basura y desperdicios																			1,2

CUADRO 6.9
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION Y OPERACIÓN

OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN EVALUACION										
1. Edificaciones	7. Sist. de captación y conducción de aguas de escu. pluvi									
2. Sistema de impermeabilización	8. Pozos de monitoreo									
3. Sistema de drenaje de lixiviados	9. Cercas fija y móvil									
4. Transporte de material y movimiento de equipo	10. Señalamientos									
5. Construcción de celdas	11. Vigilancia									
6. Sistema de captación de biogás										

	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS										DETERMINACION				EVALUACION			
	1		2		3		4		5		6		7		8			9
	BENEFICO	ADVERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MEDIDA DE MITIGACION	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	BAJA	MODERADA	ALTA	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA	DE IMPACTO	
										SI	NO	A	M	B				
FACTORES AMBIENTALES																		
A. FACTORES FISICOS																		
1. Procesos erosivos																		
2. Drenaje natural																		7
3. Calidad del agua																		2,3
4. Infiltración																		1,2,7
5. Nivel freático																		1,2,7
6. Calidad del aire																		5,6
7. Calidad del suelo																		
8. Nivel de ruido																		4
9. Vibración																		
B. FACTORES BIOTICOS																		
1. Cubierta vegetal en el predio																		
2. Vegetación en el medio circundante																		
3. Fauna silvestre																		
C. FACTORES SOCIALES																		
1. Vias de comunicación terrestre																		10
2. Tenencia de la tierra																		1
3. Salud pública y ocupacional																		3 a 6
4. Accidentes																		4,6
D. FACTORES ECONOMICOS																		
1. Fuentes de empleo																		2 a 6 y 11
E. FACTORES ESTETICOS																		
1. Paisaje natural																		1,5,9
2. Olores																		3 a 6
3. Basura y desperdicios																		5

EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LOS RELLENOS SANITARIOS

CUADRO 6.10
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS EN LA ETAPA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

	OBRAS Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO EN EVALUACION															
	1. Reparación de áreas dañadas 2. Cobertura vegetal 3. Monitoreo ambiental															
	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS					DETERMINACION		EVALUACION								
	1	2	3	4	5	6	7	8		9						
BENEFICO	ADVERSO	DIRECTO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MEDIDA DE MITIGACION	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	BAJA	MODERADA	ALTA	DBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO	
										SI	NO	A	M	B		
FACTORES AMBIENTALES																
A. FACTORES FISICOS																
1. Procesos erosivos																
2. Drenaje natural																
3. Calidad del agua																
4. Infiltración																
5. Nivel freático																
6. Calidad del aire																
7. Calidad del suelo																
8. Nivel de ruido																
9. Vibración																
B. FACTORES BIOTICOS																
1. Cubierta vegetal en el predio																
2. Vegetación en el medio circundante																
3. Fauna silvestre																
C. FACTORES SOCIALES																
1. Vías de comunicación terrestre																
2. Tenencia de la tierra																
3. Salud pública y ocupacional																
4. Accidentes																
D. FACTORES ECONOMICOS																
1. Fuentes de empleo																
E. FACTORES ESTETICOS																
1. Paisaje natural																
2. Olores																
4. Basura y desperdicios																

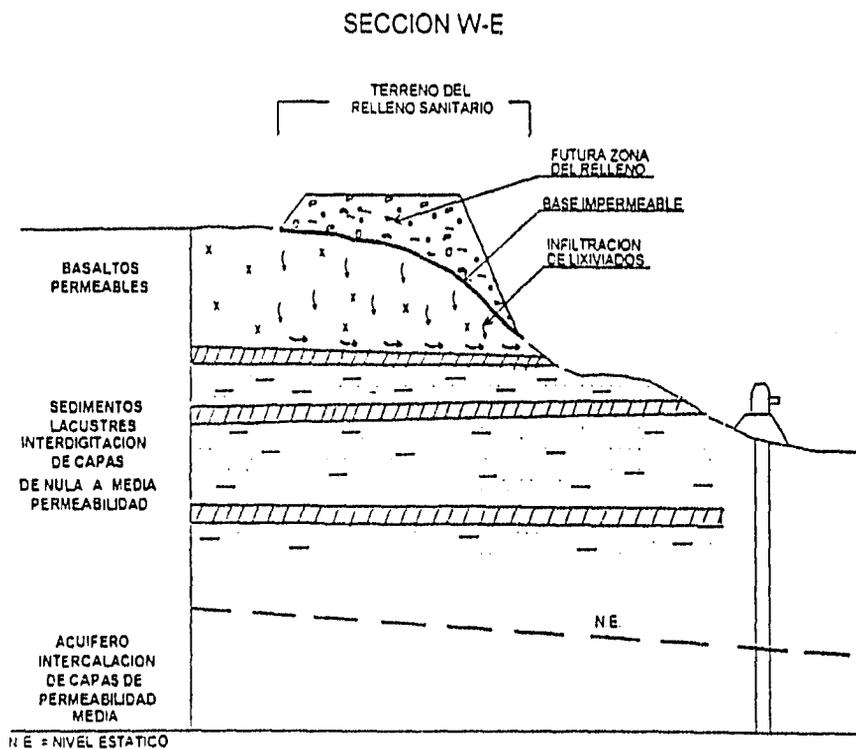


FIGURA 6.6 INFILTRACION DE LIXIVIADOS

Datos**1. Cantidad de residuos**

- a) Residuos depositados por día = 268.62 ton
- b) Número de días de operación = 312
- c) Residuos depositados por año = 83,809.44 ton

2. Características de los residuos

- a) Peso volumétrico compactado = 0.895 ton/m³
- b) Contenido de humedad de los residuos = 30% en masa

3. Características del relleno

- a) Altura de la capa = 3.15 m (promedio)
- b) Proporción de residuos a cobertura = 1:0.25 por volumen
- c) Número de capas = 5
- d) Peso específico del material de cobertura = 1,780 kg/m³ (incluye humedad)
- e) Producción de gas

Se estima que la producción de gas de una columna de 1 m² de área y 3 m de altura será: (28.75 kg/m³ de CH₄ + 85.64 kg/m³ de CO₂) X 3 m³ = 343.17 kg totales.
 Que corresponden a: 343.17/7 años = 49.02 kg/año

4. Cantidad de lluvia que se infiltra en el relleno

Para determinar la cantidad de lluvia que se infiltra en el relleno es necesario hacer un balance entre la precipitación, evaporación y escurrimiento. Se consideraron datos promedio mensuales de precipitación y evaporación, y se estimó en 30% el coeficiente de escurrimiento. Adicionalmente se debe conocer el déficit inicial de humedad del material de cobertura, el cual se determina a continuación:

FC = 0.27* X 10 mm/cm = 2.7 mm/cm (Capacidad de campo del material de cobertura)
 PWP = 0.12* X 10 mm/cm = 1.2 mm/cm (Porción seca permanente del mat. de cober.)
 SM = (2.7 mm/cm - 1.2 mm/cm) X 30 cm = 45 mm (Capacidad de almacenamiento de humedad del mat. de cober.)

* Porcentajes obtenidos del Cuadro 4.8

El déficit inicial de humedad del material de cobertura es:

$$SM_d = (2.7 \times 0.5 - 1.2) \times 30 \text{ cm} = 4.5 \text{ mm}$$

En el siguiente cuadro se muestra el análisis para determinar la lluvia infiltrada.

Mes	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Escurrimiento (mm)	Humedad Ganada (+) o Perdida (-) (mm)	Déficit de Humedad del Material de Cobertura (mm)	Infiltración Potencial (mm)
Enero	4.08	3.98	1.22	-1.12	-5.62	0
Febrero	7.42	5.63	2.23	-0.44	-6.06	0
Marzo	3.87	7.5	1.16	-4.79	-10.85	0
Abril	7.85	8.33	2.36	-2.84	-13.69	0
Mayo	36.83	8.14	11.05	17.64	0	3.95
Junio	113.62	7.62	34.09	71.91	0	71.91
Julio	203.63	6.2	61.09	136.34	0	136.34
Agosto	135.47	6.2	40.64	88.63	0	88.63
Septiembre	106.3	5.58	31.89	68.83	0	68.83
Octubre	33.67	5	10.1	18.57	0	18.57
Noviembre	5.18	4.31	1.55	-0.68	-0.68	0
Diciembre	12.88	3.72	3.86	5.3	0	4.62
SUMA =						392.85

Se estima que la lluvia infiltrada en el relleno sanitario por año es de 392.85 mm

Desarrollo

1. Definición de los elementos del balance de agua para la primera capa

- a) Peso del material de cobertura: $1,780 \text{ kg/m}^3 \times 3.15 \text{ m} \times 0.05 \times 1 \text{ m}^2 = 280.35 \text{ kg}$
- b) Peso de los residuos sólidos: $892 \text{ kg/m}^3 \times 3.15 \text{ m} \times 0.95 \times 1 \text{ m}^2 = 2,669.3 \text{ kg}$
- c) Peso seco de los residuos sólidos: $2,669.3 \text{ kg} \times 0.7 = 1,868.51 \text{ kg}$
- d) Contenido de humedad en los residuos sólidos: $2,669.3 \text{ kg} \times 0.3 = 800.79 \text{ kg}$
- e) Peso de la lluvia que entra al relleno cada año: $0.39 \text{ m} \times 1 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 393 \text{ kg}$
- f) Peso total de la capa: $280.35 \text{ kg} + 2,669.3 \text{ kg} + 393 \text{ kg} = 3,342.3 \text{ kg}$

2. Balance de agua para la capa 1 y determinación de lixiviado esperado en la capa 1

- a) Cantidad de agua requerida en la producción de gas

Agua consumida: 0 kg en la primer capa

- b) Peso del gas producido: 0 kg en la primera capa

- c) Cálculo del peso del agua en el residuo sólido de la capa 1

Peso del agua: $800.79 + 393 \text{ (precipitación)} = 1,193.79 \text{ kg}$

- d) Cálculo del peso seco de los residuos sólidos en la capa 1

Peso seco del residuo: $1,868.51 - 0 \text{ (gas)} = 1,868.51 \text{ kg}$

- e) Peso promedio: $0.5 (1,868.51 + 1,193.79) + 280.35 = 1,811.5 \text{ kg}$

- f) Cálculo del factor de capacidad de campo

$$FC = 0.6 - 0.55 (W / (10,000 + W))$$

$$FC = 0.6 - 0.55 (3,993.67 / (10,000 + 3,993.67)) = 0.44$$

- g) Cantidad de agua que puede ser retenida en el residuo sólido

Agua retenida en la capa 1: $0.44 \times 1,868.51 \text{ kg} = 822.14 \text{ kg}$

- h) Cantidad de lixiviado formado

Lixiviado formado: $1,193.79 - 822.14 = 371.65 \text{ kg}$

- i) Peso total de la capa

Peso total: $1,868.51 + 822.14 + 280.35 = 2,971.00 \text{ kg}$

3. Balance de agua para las capas 1 y 2 al final del año 2 y determinación del lixiviado esperado en la capa 1

a) Cantidad de agua requerida en la producción de gas

$$\text{Agua consumida: } 3.24 / 27.98 \times 104.73 \text{ kg/m}^3 \times 3 \text{ m}^3 = 36.38 \text{ kg}$$

$$\text{Cada año: } 36.38 / 7 = 5.20 \text{ kg}$$

b) Peso del gas producido: 49.02 kg

c) Cálculo del peso del agua en el residuo sólido de la capa 1 al final del año 2

$$\text{Peso del agua: } 822.14 - 5.20 + 371.65 = 1,188.59 \text{ kg}$$

d) Cálculo del peso seco de los residuos sólidos en la capa 1 al final del año 2

$$\text{Peso seco del residuo: } 1,868.51 - 49.02 = 1,819.49 \text{ kg}$$

e) Peso promedio de los residuos

$$\text{Peso promedio: } 2,971.00 \text{ (capa 2)} + 0.5 (1,819.49 + 1,188.59) + 280.35 = 4,755.39 \text{ kg}$$

f) Cálculo del factor de capacidad de campo

$$FC = 0.6 - 0.55 (W / (10,000 + W))$$

$$FC = 0.6 - 0.55 (10,483.73 / (10,000 + 10,483.73)) = 0.32$$

g) Cantidad de agua que puede ser retenida en el residuo sólido

$$\text{Agua retenida en la capa 1: } 0.32 \times 1,819.49 \text{ kg} = 582.24 \text{ kg}$$

h) Cantidad de lixiviado formado

$$\text{Lixiviado formado: } 1,188.59 - 582.24 = 606.35 \text{ kg}$$

i) Peso total de la capa 1 al final del año 2

$$\text{Peso total: } 1,819.49 + 582.24 + 280.35 = 2,682.08 \text{ kg}$$

4. Balance de agua para las capas 1,2 y 3 al final del año 3 y determinación de lixiviado esperado en la capa 1

a) Cantidad de agua requerida en la producción de gas

$$\text{Agua consumida: } 3.24 / 27.98 \times 104.73 \text{ kg/m}^3 \times 3 \text{ m}^3 = 36.38 \text{ kg}$$

$$\text{Cada año: } 36.38 / 7 = 5.20 \text{ kg}$$

Agua consumida: $2 \text{ capas} \times 5.20 \text{ kg} = 10.40 \text{ kg}$

b) Peso del gas producido: $2 \times 49.02 \text{ kg} = 98.04 \text{ kg}$

c) Cálculo del peso del agua en el residuo sólido de la capa 1 al final del año 3

Peso del agua: $582.24 - 10.40 + 606.35 = 1,178.19 \text{ kg}$

d) Cálculo del peso seco de los residuos sólidos en la capa 1 al final del año 3

Peso seco del residuo: $1,819.49 - 98.04 = 1,721.45 \text{ kg}$

e) Peso promedio de los residuos

Peso promedio: $2,971.00 \text{ (capa 3)} + 2682.08 \text{ (capa 2)} + 0.5 (1,721.45 + 1,178.19) + 280.35 = 7,383.25 \text{ kg}$

f) Cálculo del factor de capacidad de campo

$FC = 0.6 - 0.55 (W / (10,000 + W))$

$FC = 0.6 - 0.55 (16,277.11 / (10,000 + 16,277.11)) = 0.26$

g) Cantidad de agua que puede ser retenida en el residuo sólido

Agua retenida en la capa 1: $0.26 \times 1,721.45 \text{ kg} = 447.58 \text{ kg}$

h) Cantidad de lixiviado formado

Lixiviado formado: $1,178.19 \text{ kg} - 447.58 \text{ kg} = 730.61 \text{ kg}$

i) Peso total de la capa 1 al final del año 3

Peso total: $1,721.45 + 447.58 + 280.35 = 2,449.38 \text{ kg}$

El balance de agua para las capas 4 y 5, se realiza de la misma forma que las capas anteriores.

Resultados

El Cuadro 6.11 muestra un resumen de las cantidades esperadas del lixiviado correspondientes a las dos etapas del relleno consideradas, ya que tienen características constructivas semejantes.

**CUADRO 6.11
PRODUCCION DE LIXIVIADOS**

CAPA No.	TOTAL	
	kg/m ²	m ³ /m ²
1	371.65	0.372
2	606.35	0.606
3	730.61	0.731
4	808.35	0.808
5	862.14	0.862

El Cuadro 6.12 muestra el cálculo de la producción aproximada de lixiviados en la primera etapa del relleno de acuerdo al avance en la construcción de capas.

**CUADRO 6.12
PRODUCCION DE LIXIVIADOS EN LA PRIMERA ETAPA DEL RELLENO**

Avance en la Construcción de Capas	Area Cubierta m ²	Producción Unitaria m ³ /m ² /año	Total			
			m ³ /año	m ³ /mes	m ³ /día	l/s
1	28663	0.372	10662.64	888.55	29.21	0.34
2	15859	0.372	23269.33	1939.11	63.75	0.74
	28663	0.606				
3	23889	0.372	39468.1	3289.01	108.13	1.25
	15889	0.606				
	28663	0.731				
4	11072	0.372	53348.15	4445.68	146.16	1.69
	23889	0.606				
	15859	0.731				
	28663	0.808				
5	11072	0.606	61694.07	5141.17	169.02	1.96
	23889	0.731				
	15859	0.808				
	28663	0.862				

El Cuadro 6.13 muestra el cálculo de la producción aproximada de lixiviados en la segunda etapa del relleno de acuerdo al avance en la construcción de capas.

4. Infiltración

Debido a la preparación del predio mediante el sistema de impermeabilización, así como a la construcción y operación de obras de captación y conducción de aguas de escurrimiento, se provocará la disminución de la infiltración de las aguas superficiales al acuífero libre en forma paulatina conforme al avance en la ocupación del predio por el relleno. Esto se traducirá en una disminución del volumen de recarga.

El impacto se considera adverso para la infiltración de aguas pluviales al acuífero libre; indirecto, permanente, localizado e irreversible. En virtud de que el área impermeabilizada será de aproximadamente 20 ha (80% del predio), se estima que será de magnitud alta.

CUADRO 6.13
PRODUCCION DE LIXIVIADOS EN LA SEGUNDA ETAPA DEL RELLENO

Avance en la Construcción de Capas	Area Cubierta m ²	Producción Unitaria m ³ /m ² /año	Total			
			m ³ /año	m ³ /mes	m ³ /día	l/s
1	39903.5	0.372	14844.1	1237.01	40.67	0.47
2	39903.5	0.606	24181.52	2015.13	66.25	0.77
3	39903.5	0.731	29169.46	2430.79	79.92	0.92
4	39903.5	0.808	32242.03	2686.84	88.33	1.02
5	15801.89	0.862	33095.32	2757.94	90.67	1.05
	24101.6	0.808				

5. Nivel freático

La disminución del volumen infiltrado al acuífero libre tendrá como impacto secundario el descenso del nivel freático, dicho impacto se estima que será adverso, indirecto, permanente, extensivo en virtud de que el efecto se manifestará a distancia, e irreversible. No existe medida de mitigación para este impacto de probabilidad de ocurrencia alta y magnitud también alta.

6. Calidad del aire

Entre las actividades de preparación del sitio y construcción, el desmonte, despalme, cortes, nivelación, suministro de combustible y transporte de material, implicarán el uso de maquinaria cuya operación generará humos, polvos y gases ermitidos a la atmósfera.

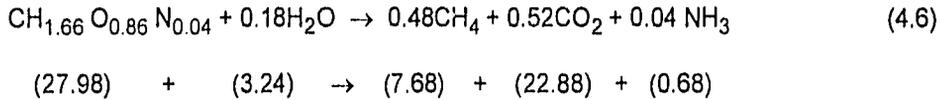
El impacto causado por las actividades antes descritas se considera adverso, directo, permanente y reversible. La magnitud de este impacto se considera baja, ya que en la actualidad en esa zona la atmósfera tiene una fuente de emisión de línea como es la carretera panamericana No. 45, la cual tiene un elevado volumen de tránsito.

El impacto ambiental que es verdaderamente significativo para la calidad del aire, es la emisión de biogás a la atmósfera. Las deficiencias en el diseño o en la construcción del sistema de captación de biogás y/o en la superficie final, pueden causar la emisión descontrolada del biogás que ponga en riesgo la calidad del aire.

Con el fin de evaluar el impacto en la calidad del aire como consecuencia de la emisión de biogás a la atmósfera, a continuación se presenta el cálculo para determinar los gastos de bióxido de carbono y metano que es posible que se generen en el proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto. Para ello, se utilizará el procedimiento descrito en el Capítulo 4.

Datos

1. Ecuación estequiométrica balanceada que gobierna la descomposición anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos.



2. De acuerdo al análisis de subproductos efectuado en el estudio de generación, los materiales orgánicos y su peso en una muestra de 1 m³ se muestran en el Cuadro 6.14.

CUADRO 6.14
MATERIALES DEGRADABLES EN LOS RESIDUOS SOLIDOS MUESTREADOS

MATERIALES DEGRADABLES	PORCENTAJE PROMEDIO	PESO EN kg POR m ³ DE MUESTRA
Residuos de alimentos	32.12	74.38
Residuos de jardinería	18.03	41.75
Papel	11.48	26.58
Cartón	2.98	6.9
Total	64.61	149.61

3. Considerando un contenido de humedad aproximado de 30%, la cantidad neta de material orgánico será de 104.73 kg/m³.

Desarrollo

1. La generación en kg de gas por metro cúbico de residuo dispuesto, será aproximadamente la siguiente:

$$\text{Metano} = \frac{7.68}{27.98} (104.73) = 28.75 \text{ kg de CH}_4 \text{ por m}^3 \text{ de residuo}$$

$$\text{Bióxido de carbono} = \frac{22.88}{27.98} (104.73) = 85.64 \text{ kg de CO}_2 \text{ por m}^3 \text{ de residuo}$$

2. De acuerdo a Tchobanoglous se estima que aproximadamente 30% de los gases calculados se generarán en los primeros dos años y 70% en los próximos cinco años. Tomando un promedio de 14.30% anual durante siete años, en el Cuadro 6.15 se calcularon los gastos de emisión de bióxido de carbono y metano desde el inicio supuesto de operación en 1996, hasta los siete años posteriores a su abandono, durante los cuales continuará emitiéndose gas por la descomposición de los residuos más recientemente dispuestos.

CUADRO 6.15
ESTIMACION DE LA GENERACION DE GASES EN EL RELLENO SANITARIO

ANO	GENERACION ANUAL kg	VOLUMEN ANUAL * m3	CO2 ANUAL kg	CO2 kg/día	CH4 ANUAL kg	CH4 kg/día
1996	69.798 x 10E6	3.01014 x 10E5	3.686 x 10E6	10099.65	1.237 x 10E6	3390.53
1997	74.418 x 10E6	3.2138 x 10E5	7.622 x 10E6	20881.61	2.558 x 10E6	7008.97
1998	79.301 x 10E6	3.4246 x 10E5	11.816 x 10E6	32372.45	3.966 x 10E6	10865.59
1999	84.34 x 10E6	3.879 x 10E5	16.566 x 10E6	45387.47	5.561 x 10E6	15234.94
2000	89.82 x 10E6	4.123 x 10E5	21.615 x 10E6	59219.84	7.256 x 10E6	19879.64
2001	95.46 x 10E6	4.388 X 10E5	26.989 x 10E6	73941.84	9.060 x 10E6	24821.96
2002	101.61 X 10E6	4.668 X 10E5	32.706 x 10E6	89604.59	10.979 x 10E6	30079.81
2003	108.10 X 10E6	4.968 X 10E5	35.092 x 10E6	96142.47	11.780 x 10E6	32274.95
2004	114.80 X 10E6	5.272 X 10E5	37.612 x 10E6	103047.58	12.626 x 10E6	34593.02
2005	122.07 X 10E6	5.605 X 10E5	40.282 x 10E6	110362.12	13.522 x 10E6	37047.55
2006			35.532 x 10E6	97347.95	11.927 x 10E6	32676.71
2007			30.483 x 10E6	83515.07	10.232 x 10E6	28032.88
2008			25.109 x 10E6	68791.78	8.428 x 10E6	23090.41
2009			19.392 x 10E6	53128.77	6.509 x 10E6	17832.88
2010			17.006 x 10E6	46591.78	5.708 x 10E6	15638.36
2011			14.486 x 10E6	39687.67	4.862 x 10E6	13320.55
2012			11.816 x 10E6	32372.6	3.966 x 10E6	10865.75
2013			0	0	0	0

* Residuos no compactados

3. Para evaluar el impacto en la calidad del aire por la emisión de gases generados en el proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., se utilizó el modelo de dispersión gaussiana explicado en el Capítulo 4. Debido a la cantidad de datos de concentraciones a nivel de piso que se deberían generar, fue necesario aplicar un programa de computadora que proporciona gráficas del área de influencia de las concentraciones en planta, permitiendo evaluar el efecto de la dispersión de gases en sitios de interés.

4. La información que se requirió para alimentar al programa fueron los datos de emisiones máximas estimados en el relleno sanitario que se muestran en el Cuadro 6.15, los cuales son para el CO₂ de 110,362.12 kg/día (1,277.34 g/s) y para el CH₄ de 37,047.55 kg/día (428.79 g/s), que corresponden al año 2005, además se consideró la dirección del viento predominante que es del noroeste con una velocidad mínima a 10 m del suelo de 1 m/s y una condición de estabilidad atmosférica A (que es la más desfavorable). Se consideró la altura de emisión de 84 m, siendo el desnivel existente con respecto a la Ciudad de Irapuato.

Resultados

1. Del análisis del modelo en la computadora se obtuvieron las gráficas que se muestran en la Figura 6.7 para las emisiones de CO₂ y CH₄, correspondientes a concentraciones a nivel de la ciudad. Como se observa en las gráficas, las áreas de influencia de las plumas de emisión no afectan a la ciudad de Irapuato y tampoco al poblado más cercano, denominado El Copal; en ambos casos se determinaron niveles de concentración nulos.

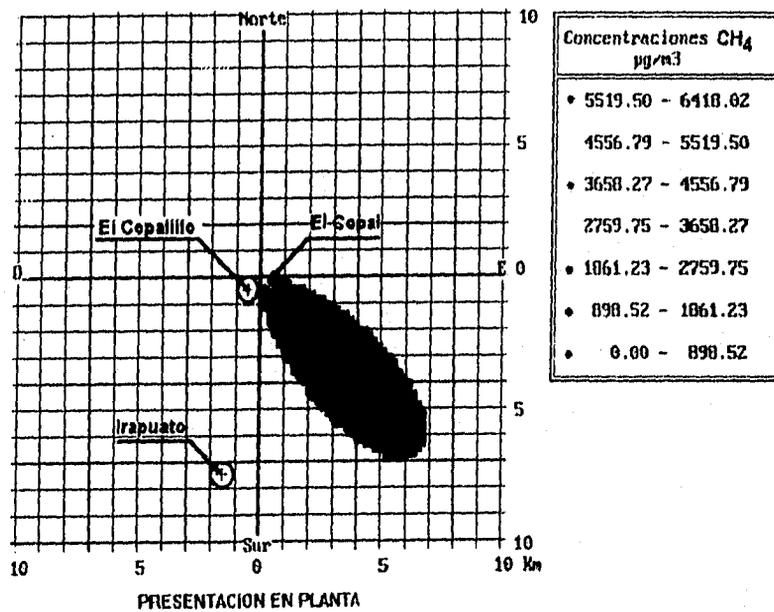
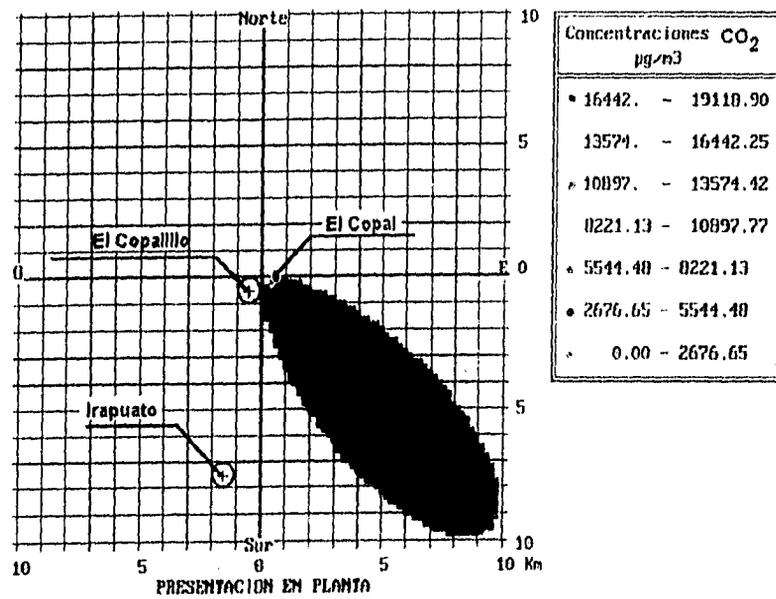


FIGURA 6.7 AREA DE INFLUENCIA Y CONCENTRACIONES DE CO₂ Y CH₄ QUE SE GENERAN EN EL RELLENO SANITARIO DE IRAPUATO, GTO.

2. Por lo anterior, el impacto causado en la calidad del aire por la emisión de gases será adverso, directo, permanente, extensivo y reversible. La magnitud de este impacto será moderada en caso de que se tomen las medidas de mitigación correspondientes, ya que las características climatológicas y topográficas del sitio donde se ubicará el proyecto permitirán una fácil difusión de los gases en la atmósfera.

7. Calidad del suelo

En virtud de que la mayor parte del predio será modificada por el proyecto, el suelo existente será removido y debido a lo superficial de la roca basáltica no será posible retirar la capa de suelo vegetal previamente a las actividades de preparación del sitio para su ulterior utilización en la restauración de la cobertura vegetal en el predio.

El impacto causado por el desmonte y despalle en el suelo se estima que será adverso, directo, permanente, localizado e irreversible. Se prevé que la magnitud del impacto será baja debido al deterioro actual del suelo existente en el predio después de haber sido alterado por otras actividades que han intensificado los procesos erosivos.

8. Nivel de ruido

Todas las actividades de preparación del sitio y construcción serán fuentes generadoras de ruido, en particular: desmonte y despalle, barrenación y voladura de la roca basáltica en los cortes determinados en el proyecto, y transporte del material. La modificación del nivel de ruido como consecuencia del proyecto será provocado fundamentalmente por el funcionamiento de las máquinas.

A continuación se presenta el cálculo de los niveles de ruido que pueden generarse en el relleno, como consecuencia del uso de equipo y maquinaria pesada. Para ello se utilizará el procedimiento descrito en el Capítulo 4.

Datos

1. El límite de la población más cercana al predio del proyecto (El Copal), se encuentra aproximadamente a 300 m
2. Durante la operación del relleno se tendrá como máximo dos tractores y cuatro camiones recolectores funcionando simultáneamente. El Cuadro 4.12 muestra los niveles de presión acústica de estos equipos medidos a 15 m, los cuales se muestran a continuación:

Camión de volteo	86 dB(A) a 15m
Tractor o Bulldozer	94 dB(A) a 15 m

Desarrollo

1. Nivel de presión acústica de los sonidos combinados a 15 m

a) Presión sonora del camión

$$P_c = \sqrt{10^{(NPA/10)}} (P_0) = \sqrt{10^{(86/10)}} (0.0002) = 3.99 \mu\text{bares}$$

b) Presión sonora del tractor

$$P_t = \sqrt{10^{(NPA/10)}} (P_o) = \sqrt{10^{(94/10)}} (0.0002) = 10.02 \mu\text{bares}$$

c) Presión de los sonidos combinados

$$P_{\text{comb}} = \sqrt{(4P_c)^2 + (2P_t)^2} = \sqrt{[4(3.99)]^2 + [2(10.02)]^2} = 25.62 \mu\text{bares}$$

d) Nivel de presión acústica

$$NPA = 10 \log \left(\frac{P_{\text{comb}}}{P_o} \right)^2 = 10 \log \left(\frac{25.62}{0.0002} \right)^2 = 102.15 \text{ dB(A) a 15 m}$$

2. Nivel de presión acústica percibido en la población El Copal

$$NPA_2 = NPA_1 - 20 \log \left(\frac{D_2}{D_1} \right)$$

$$NPA_2 = 102.15 - 20 \log \left(\frac{300}{15} \right) = 76.13 \text{ dB(A) a 300 m}$$

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos el impacto se considera adverso, directo, permanente, extensivo y reversible. La magnitud del impacto será moderada en caso de que se apliquen las medidas de mitigación correspondientes, ya que el nivel de presión acústica desde el cual se causaría estrés en la población expuesta es de 70 dB(A).

9. Vibración

Para la realización de los cortes determinados por el proyecto, se requerirá el empleo de maquinaria de percusión, tal como martillos neumáticos, debido a que el material de corte es roca basáltica. En cuanto al uso de explosivos, éste será mínimo. La zona habitada más cercana se localiza aproximadamente a 300 m, pero la carretera No. 45 colinda con el predio en su límite Este, por lo que de presentarse un nivel de vibración excesivo pudiera afectarse dicha estructura. En consecuencia, se estima que el impacto de la realización de los cortes en roca será adverso, directo, temporal, extensivo, reversible, con baja probabilidad de ocurrencia y magnitud moderada.

6.4.2 Factores Bióticos

1. Cubierta vegetal en el predio

En el sitio destinado para el proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., existe vegetación secundaria en su mayor parte debido a las diversas actividades antropogénicas que se han llevado a cabo en el predio y sus alrededores. Aproximadamente el 13% de su superficie fue desmontada con el fin de utilizarlo como mina de material pétreo, sin que al cese de dichas actividades se hayan efectuado medidas de restauración ecológica de las áreas afectadas. La escasa vegetación se compone principalmente de pastos y algunas plantas de nopal.

Las actividades que afectarán la vegetación existente en el predio son el desmonte y despalde. El impacto adverso será directo, permanente, localizado e irreversible, con alta probabilidad de ocurrencia. Debido a las características y densidad de la vegetación en el predio, se estima que el impacto será de baja magnitud.

2. Vegetación en el medio circundante

La vegetación existente en los alrededores del predio del proyecto no será afectada como consecuencia de las actividades constructivas y operativas del relleno sanitario; sin embargo, debido a que en el predio se carece de material de cobertura para los residuos, será necesario explotar bancos de material, y pudieran entonces tenerse impactos adversos a la vegetación en caso de existir en esos sitios. El impacto se considera adverso, indirecto, temporal, localizado e irreversible, pero de baja magnitud si se llevan a cabo las medidas de mitigación correspondientes.

3. Fauna silvestre

En el predio destinado al proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., no se ha observado la presencia de fauna, lo cual es probable que se deba a las diversas actividades antropogénicas que se han llevado a cabo en el sitio del proyecto y sus alrededores. Sin embargo, no se soslaya la existencia de pequeños reptiles, roedores e insectos diversos que serán impactados adversamente por las actividades de desmonte y despalde en las porciones del predio en que aun no se han llevado a cabo este tipo de actividades. Los cortes en el macizo rocoso, para los cuales es probable que sea necesario el uso discrecional de explosivos así como de maquinaria pesada de construcción, provocarán la migración de algunos animales hacia los predios vecinos, debido al ruido y vibración producidos.

Por las razones expuestas se estima que el impacto del proyecto sobre la fauna existente en el predio será adverso, indirecto, permanente, localizado e irreversible. Dicho impacto es de probabilidad de ocurrencia alta pero de baja magnitud.

6.4.3 Factores Sociales

1. Vías de comunicación terrestre

La única vía de acceso al predio donde se proyecta construir el relleno sanitario de la Cd. de Irapuato, Gto., es la carretera panamericana No. 45 México-Cd. Juárez, la cual atraviesa Querétaro e Irapuato.

Lo anterior implica la necesidad de realizar un entronque entre el camino de acceso al relleno y la carretera, dicho entronque provocará afectaciones en la carretera que se considera una vía rápida. Las afectaciones pueden ir desde molestias para el tránsito vehicular hasta accidentes viales. El impacto se considera adverso, directo, permanente, localizado e irreversible. La probabilidad de ocurrencia de este impacto será alta al igual que su magnitud.

2. Tenencia de la tierra

Para el predio del proyecto debe considerarse únicamente la adquisición por parte del Ayuntamiento, y de ninguna manera el préstamo o concesión, ya que al término de la vida útil del relleno, el predio debe ser controlado por el Ayuntamiento asignándole un uso de suelo estrictamente restringido. Para ello, se tramitó un documento de "promesa de venta" firmado por el propietario.

Debido a las precauciones legales y técnicas desde el punto de vista de uso del suelo que se han tenido en la elección del predio del proyecto, se estima que el impacto será benéfico ya que el Ayuntamiento será el único usufructuario del terreno; directo, permanente, localizado e irreversible, con magnitud alta. Sin embargo, es importante advertir que de no cumplirse las disposiciones legales y técnicas mencionadas, al momento de la clausura podrían tenerse efectos adversos.

3. Salud pública y ocupacional

Para las personas que participen en las actividades de preparación del sitio y construcción que son generadoras de ruido y vibración, su salud puede ser afectada. Los efectos en la salud producidos por el ruido y vibración van desde dolores de cabeza, calambres e insomnio, hasta trastornos en el sistema digestivo y nervioso central.

En caso de que los lixiviados generados en el relleno sanitario llegaran a contaminar las aguas subterráneas, se pondría en riesgo la salud de las poblaciones de El Copal y El Copalillo, ya que aproximadamente a 1 km del predio en dirección sur, se encuentra una batería de pozos que abastecen de agua potable a las poblaciones mencionadas.

Los principales componentes del biogás generado en el relleno sanitario son el metano y el bióxido de carbono. El metano es altamente explosivo en concentraciones entre 5 y 15% por volumen en el aire. Una concentración de 10% de bióxido de carbono en una atmósfera pura de oxígeno puede causar un envenenamiento involuntario. En lo que respecta a los compuestos a nivel de traza, se han identificado algunos cuyas características se asocian con propiedades carcinogénicas.

Los principales contaminantes en el aire por las emisiones de la maquinaria de construcción, que se usarán en el relleno sanitario y que ponen en riesgo la salud ocupacional son: monóxido de carbono, hidrocarburos, partículas y óxidos de nitrógeno.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos en el relleno sanitario, ya sea en el transporte, en las zonas de almacenamiento temporal o en la construcción de la celda diaria, puede generar la proliferación de fauna nociva como ratas, aves de rapiña, moscas y mosquitos; dicha fauna nociva es transmisora de múltiples enfermedades para las personas, lo cual pondría en riesgo la salud ocupacional.

En general, el impacto del proyecto sobre la salud pública y ocupacional se considera adverso, indirecto, permanente, extensivo e irreversible con medida de mitigación y probabilidad de ocurrencia media. En caso de llegarse a presentar el impacto será de magnitud alta.

4. Accidentes

Debido a la necesidad de hacer cortes en el macizo rocoso, pudiera requerirse el uso de explosivos. Sin embargo, esto se hará únicamente cuando no sea posible hacer el trabajo por medios mecánicos; por lo tanto no se contará con polvorines, sino únicamente se tendría el explosivo para el uso y manejo en el día programado para la voladura.

Debido a la localización del predio con respecto a la Cd. de Irapuato, los vehículos recolectores transitarán cargados de Sur a Norte por la carretera No. 45. Al llegar a la ubicación del relleno localizado en el lado izquierdo, los vehículos se colocarán en la bahía proyectada de la dirección Sur-Norte en donde esperarán el momento oportuno en función del tráfico para atravesar la carretera y poder entrar el predio del relleno. Esta operación constituye un alto riesgo de accidentes debido a que el volumen de tránsito en esa carretera es muy elevado y constante.

En la zona nor-poniente del predio cerca del límite con los terrenos agrícolas, pasa una línea de alta tensión cuya altura de catenaria respecto al nivel del terreno es de aproximadamente 12 m, por lo que se tendrán que tomar las medidas de prevención adecuadas para evitar accidentes.

Por otra parte, no debe soslayarse el riesgo de explosiones e incendios por la generación de gases en el relleno.

En general, el impacto se considera adverso, indirecto, permanente, localizado e irreversible con medida de mitigación y probabilidad de ocurrencia media. En caso de llegarse a presentar el impacto será de magnitud alta.

6.4.4 Factores Económicos

1. Fuentes de empleo

Uno de los impactos benéficos de las actividades de preparación del sitio y construcción será la generación de aproximadamente 50 empleos directos. La mayor parte de estos puestos de trabajo serán ocupados por habitantes de la zona. Sin embargo, este impacto benéfico será

temporal, durante aproximadamente un año.

En la etapa de operación no se espera un incremento significativo en el número de empleos directos, debido a que se continuará empleando a la plantilla actual de trabajadores asignados por el Ayuntamiento a disposición final.

En lo que se refiere al grupo de pepenadores que trabajan en el tiradero a cielo abierto colindante con el predio del proyecto, se deberá considerar su integración ya sea en la recuperación controlada de subproductos o bien realizando otras actividades dentro del relleno.

El impacto del proyecto en la generación de empleos será benéfico, directo, temporal (para los empleos de la preparación del sitio y construcción), localizado y reversible, de magnitud moderada.

6.4.5 Factores Estéticos

1. Paisaje natural

El paisaje natural en el sitio, aún cuando ya ha sido alterado por las actividades realizadas con anterioridad, será afectado por el proyecto. Debido a que el predio del proyecto colinda con la carretera panamericana No. 45, los viajeros podrán observar las modificaciones del paisaje natural como consecuencia del movimiento de tierras, construcción de infraestructura y el confinamiento de miles de toneladas de residuos sólidos.

El impacto se considera adverso, directo, permanente, localizado e irreversible. Con la implantación de medidas de mitigación, la magnitud del impacto será moderada.

2. Olores

La Figura 6.7 muestra el comportamiento de los principales gases que se generarán en el relleno sanitario (bióxido de carbono y metano). Una pluma similar se formaría para los olores, en caso de que no se hiciera una operación adecuada, cubriendo los residuos de acuerdo a las especificaciones establecidas en el proyecto. El olor no afectaría a las poblaciones cercanas de El Copal y El Copalillo, ni a la Cd. de Irapuato debido a la dirección y velocidad del viento. Sin embargo, el olor podría ser percibido en algunas horas del día por los usuarios de la carretera No. 45. El impacto se considera adverso, directo, temporal, extensivo, reversible y con medida de mitigación. La probabilidad de ocurrencia de este impacto de baja magnitud se considera media.

3. Basura y desperdicios

Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, se generará basura y desperdicios (residuos vegetales, escombros, tierra, etc.) que en caso de no disponerse en forma adecuada, provocarán un impacto estético adverso.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos en el relleno sanitario ya sea en el transporte, en las zonas de almacenamiento temporal o en la construcción de la celda diaria, provocará que los residuos sólidos se dispersen por diferentes zonas del predio. En caso de

presentarse el impacto, será adverso, directo, temporal, localizado y reversible. La probabilidad de ocurrencia del impacto es baja, pero de presentarse será de magnitud moderada.

6.5 Medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales identificados

Una de las principales medidas para evitar impactos adversos es que tanto El Contratista como el Organismo Operador conozcan y cumplan las medidas de mitigación que les correspondan, así como las leyes, reglamentos, normas oficiales mexicanas y demás disposiciones oficiales de carácter ambiental que guarden relación con sus actividades.

En el Capítulo 5 se mencionan las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes a rellenos sanitarios, así como los objetivos ambientales más importantes que deberán cumplir El Contratista y el Organismo Operador en un proyecto de este tipo.

A continuación se presentan las medidas de mitigación de los impactos ambientales identificados previamente, para cada factor ambiental; tomando como base las medidas de mitigación que se presentan en el Capítulo 5, así como las características propias de este proyecto.

6.5.1 Factores Físicos

1. Incremento de los procesos erosivos

- Se aplicarán medidas transitorias durante la ejecución de todo el proyecto, para evitar la intensificación de los procesos erosivos. Entre estas medidas se incluyen las siguientes: bermas, mallas, sembrado por etapas en las celdas terminadas, drenajes temporales (bordos, cunetas, etc.), fosas de sedimentación y vegetación.
- Las medidas transitorias antes descritas se complementarán con la construcción del drenaje permanente, diseñado en el proyecto para reducir en lo posible la cantidad de agua que entra al sitio de la obra y dar salida expedita al agua cuyo acceso sea inevitable.

Otras medidas de mitigación que se pueden aplicar en este proyecto, se mencionan en el Capítulo 5.

2. Contaminación del agua

a. Control del volumen de lixiviados

- Evitar al máximo la infiltración del agua de lluvia al relleno sanitario.
- Evitar los frentes de trabajo muy amplios, por lo que en las horas pico se recomienda establecer el tiro de los residuos tanto al pie como en la parte superior de la celda, con el fin de tener dos frentes de trabajo.

- La superficie final del relleno sanitario será una capa compuesta de materiales naturales (suelos arcillosos, granulares, tierra vegetal, etc.) y artificiales (membranas sintéticas, asfalto, materiales a base de bentonita, etc.), que impidan la infiltración del agua de lluvia a los estratos de residuos sólidos y que permitan a su vez el adecuado drenaje en la terrazas y taludes del relleno. La Figura 5.1 muestra la superficie final recomendada por la E.P.A. para rellenos sanitarios.

b. Control de la migración de lixiviados

- Impermeabilizar la base del relleno sanitario (paredes y piso) con una capa compuesta de materiales naturales (suelos arcillosos y granulares) y artificiales (membranas sintéticas, asfalto, diversos materiales a base de bentonita, etc.) que impidan la infiltración de lixiviados a los cuerpos de agua subterránea. La Figura 5.2 muestra un ejemplo de impermeabilización en la base de un relleno sanitario, mediante una capa compuesta de materiales naturales y artificiales.
- Construir un adecuado sistema de captación y extracción de lixiviados en la base del relleno sanitario. La Figura 5.3 muestra una zanja tipo para colección de lixiviados.
- Disponer en forma ambientalmente adecuada los lixiviados captados en la base del relleno sanitario. De acuerdo a lo que se mencionó en el inciso anterior, la máxima producción de lixiviados en la primera etapa del proyecto será de 169.02 m³/día y en la segunda etapa será de 90.67 m³/día; por lo tanto, se recomienda construir una laguna de evaporación de 100 m³ de capacidad en combinación con un sistema de recirculación de lixiviados, para cada una de las etapas del proyecto. Se considera que estas medidas serán suficientes para el manejo de los lixiviados que se generen en el proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto.

c. Sistema de monitoreo de lixiviados

En el Capítulo 5 se describe el sistema de monitoreo de lixiviados, el cual se puede aplicar íntegramente a este proyecto.

3. Contaminación del aire

a. Contaminación del aire con partículas y gases

- En las etapas de preparación del sitio y construcción, se evitará al máximo el fuego para la eliminación de cualquier material producto del desmonte.
- Utilizar en el relleno sanitario la maquinaria precisa y específica que demandan las principales actividades de operación. El Cuadro 5.2 muestra un ejemplo de selección de maquinaria con base en la cantidad de residuos sólidos por mover.
- Establecer un riguroso programa de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada y el equipo con que se haya dotado al relleno sanitario. El Cuadro 5.3 presenta recomendaciones para el mantenimiento preventivo de la maquinaria empleada generalmente en rellenos sanitarios.

Otras medidas de mitigación que se pueden aplicar en este proyecto, se mencionan en el Capítulo 5.

b. Control de la migración de biogás

- Debido a las características de este proyecto (confinamiento de residuos sólidos mediante el método de área, volumen de gases generados, disponibilidad de recursos económicos, etc.), se recomienda utilizar pozos de venteo pasivo en combinación con el sistema de barreras naturales o artificiales, que aseguren la migración vertical de los gases por dichos pozos.
- La Figura 5.8 muestra el corte esquemático de un pozo de venteo de biogás
- La Figura 5.9 muestra un corte esquemático de barreras artificiales formadas por una serie de capas de diferentes materiales, colocados en la parte lateral y superior de un relleno sanitario.
- La mayor concentración de metano que se puede generar en el relleno sanitario es de aproximadamente $6,418.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponden a una concentración en el aire de 0.001%, por lo que no se considera necesario instalar quemadores en los pozos de venteo de biogás. Sin embargo, resultados concluyentes se obtendrán del monitoreo del gas durante la operación del proyecto y posteriormente a su clausura.

c. Sistema de monitoreo de biogás

En el Capítulo 5 se describe el sistema de monitoreo de biogás, el cual se puede aplicar íntegramente a este proyecto.

4. Contaminación del suelo

- Los patios de maquinaria y talleres deberán contar con medidas de seguridad y prevención que eviten el derrame de contaminantes.
- Estabilizar el suelo en las áreas que no vayan a ser rellenadas mediante una cobertura vegetal permanente o el revestimiento con materiales apropiados.

5. Elevación del nivel de ruido y vibración

- Las actividades de preparación del sitio y construcción se realizarán de forma tal, que los niveles de ruido de fondo medidos a una actividad sensible al ruido no superen los 80 decibeles durante períodos de tal actividad.
- Se deberá monitorear el ruido durante la construcción y operación del relleno, para ello se utilizará un sonómetro.

6.5.2 Factores Bióticos

1. Eliminación de la cubierta vegetal en el predio y en los bancos de material

- Colocar una capa de 60 cm de tierra vegetal sobre la superficie final del relleno sanitario, con el fin de poder sembrar pasto u otras especies vegetales, según lo que se establezca en el proyecto ejecutivo correspondiente.
- Realizar una reforestación de los terrenos sujetos a explotación de material de cobertura así como de los caminos adaptados para tal efecto, mediante la colocación de coberturas vegetales con especies características de la zona.
- Se deberá dejar una franja perimetral de 50 m de ancho como área de amortiguamiento. El ancho de esta franja se medirá a partir de las colindancias del predio y quedará libre de cualquier instalación o depósito de material.

Otras medidas de mitigación que se pueden aplicar en este proyecto, se mencionan en el Capítulo 5.

2. Afectación a la fauna silvestre

- Se recomienda que la preparación del sitio del proyecto no se efectúe en forma inmediata en toda el área del predio, sino paulatinamente de acuerdo al calendario de llenado de las celdas. De esta manera se dará tiempo a la emigración de la fauna hacia áreas no perturbadas.
- Se recomienda que la cubierta vegetal de la superficie final del relleno sanitario, sea con especies naturales para atraer a la fauna original de la zona.

6.5.3 Factores Sociales

1. Afectación a las vías de comunicación terrestre

- El entronque en la carretera panamericana No. 45, deberá construirse de acuerdo a las especificaciones de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte). El diseño de dicho entronque deberá considerar como prioritario, que la obra tenga el mínimo riesgo de accidentes para los usuarios de la carretera.
- Deberán colocarse una serie de señalamientos en ambas direcciones de la carretera, que prevengan a los usuarios de la existencia del entronque al relleno sanitario.

Otras medidas de mitigación que se pueden aplicar en este proyecto, se mencionan en el Capítulo 5.

2. Tenencia de la tierra

- El predio del proyecto será comprado al propietario por el Ayuntamiento. En ningún caso se aceptarán contratos de arrendamiento o concesión.

- No se atacará ningún banco de materiales sin la previa autorización de los propietarios y del Ayuntamiento.

3. Afectación a la salud pública y ocupacional

- Evitar que la gente que labora en el relleno sanitario esté expuesta a períodos prolongados de ruido con niveles superiores a los 80 dBA.
- Se brindará protección individual del oído a las personas que trabajen de manera permanente en el sitio del proyecto.
- Instalar áreas de amortiguamiento y barreras contra el ruido (paredes, árboles, etc.).
- Realizar periódicamente (al menos trimestralmente) un programa de monitoreo que incluya tanto las instalaciones de extracción de lixiviados como los pozos de monitoreo, determinando principalmente flujo y composición de lixiviados.
- Realizar al menos mensualmente, un programa de monitoreo que incluya tanto las instalaciones de extracción de biogás como los pozos de monitoreo, determinando principalmente flujo, presión, explosividad y composición de biogás.
- Proveer de protectores buconasales con filtros de aire a las personas que trabajan en el frente de obra y obligarlos a utilizarlos.
- Realizar un programa de medicina preventiva dirigido al personal del relleno sanitario y de recolección, a través de constantes chequeos médicos y la aplicación de vacunas para prevenir enfermedades. Este programa debe hacerse extensivo a las familias de los trabajadores y a los habitantes de las zonas aledañas al sitio.

Otras medidas de mitigación que se pueden aplicar en este proyecto, se mencionan en el Capítulo 5.

4. Accidentes

- El proyecto ejecutivo deberá definir las medidas específicas para contar con un sistema de control de la seguridad en el interior del relleno sanitario, enfocado a la protección del personal y de la población en general.
- En caso de requerirse el uso de explosivos por causa plenamente justificada, se cumplirá en todo momento con la Ley Federal sobre Explosivos y Armas de Fuego.
- Deberá respetarse el derecho de vía de 20 m como mínimo en líneas de alta tensión, poliductos, gaseoductos, etc.
- Se monitoreará la generación de gases en el relleno sanitario y dependiendo de los resultados, se propondrá o no la instalación de quemadores o sistemas de captación y aprovechamiento.

Otras medidas de mitigación que se pueden aplicar en este proyecto, se mencionan en el Capítulo 5.

6.5.4 Factores Estéticos

1. Modificación del paisaje natural

- Se deberá realizar la restauración ecológica del sitio de proyecto, colocando una cubierta vegetal (pasto y otras especies vegetales) sobre la superficie final del relleno sanitario.
- Como medida global de mitigación o mejoramiento, se recomienda colocar una cortina vegetal en el perímetro del predio con fines estéticos.

2. Olores desagradables

- Se recomienda colocar una cortina vegetal en el perímetro del predio (franja de amortiguamiento), de tal manera que las zonas aledañas al sitio del proyecto no se vean afectadas por la generación de olores en el relleno sanitario.
- Se deberán cubrir diariamente los residuos sólidos que se dispongan en el relleno sanitario con material impermeable y compactable, para evitar que se generen olores desagradables.

3. Basura y desperdicios

- Se recomienda que durante las etapas de preparación del sitio y construcción se utilicen depósitos de basura, los cuales deberán ser conducidos al sitio que en ese momento se esté utilizando para la disposición final de residuos sólidos.
- Se deberá utilizar cercas móviles en el frente de obra, de tal manera que se evite que los residuos sólidos se dispersen por el viento en el momento en que el camión los esté descargando.
- Los camiones descubiertos que transportan residuos sólidos así como material de cubierta al relleno sanitario, estarán equipados con coberturas de lona de tamaño suficiente para evitar el derrame de sobrantes.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo al desarrollo de este trabajo, se derivan las siguientes conclusiones:

1. Un relleno sanitario es una obra de ingeniería para la disposición final de residuos sólidos en el suelo, que tiene como objetivo primordial evitar los impactos ambientales adversos que se presentan en los tiraderos a cielo abierto. Como toda obra de ingeniería que implica un movimiento de tierras constante, así como la construcción de una serie de obras complementarias (caminos interiores, edificaciones, sistemas de drenaje pluvial, etc.), no está exenta de generar impactos ambientales adversos; sin embargo, los impactos que son verdaderamente significativos en este tipo de obras, se deben principalmente a las siguientes causas:

- Inadecuada selección del sitio destinado a la disposición final de residuos sólidos
- Deficiencias en el diseño o construcción de la celda diaria (se llama celda a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos y al material de cubierta, compactados mediante un equipo mecánico).
- Deficiencias en el diseño, construcción u operación de las obras de control ambiental (sistema de impermeabilización, sistema de captación y disposición de lixiviados, sistema de captación de biogás, etc.).
- Falta de planeación y vigilancia en la operación del relleno sanitario

2. Las obras y/o actividades que se consideran de mayor importancia en un proyecto de relleno sanitario por sus posibles efectos en el ambiente, son las siguientes:

- Etapa de selección y preparación del sitio
 - Desmonte y despalle
 - Cortes y nivelación
 - Transporte de material y movimiento de equipo
- Etapa de construcción y operación
 - Sistema de impermeabilización
 - Sistema de captación y disposición de lixiviados
 - Celda diaria
 - Sistema de captación de biogás
 - Control y vigilancia
- Etapa de mantenimiento y conservación
 - Cubierta y paisaje
 - Monitoreo ambiental

3. Los factores ambientales que se consideran más afectados como consecuencia de las obras y actividades que se realizan en un proyecto de relleno sanitario, son los siguientes:

- Factores físicos
 - Procesos erosivos
 - Calidad del agua subterránea
 - Calidad del aire
 - Nivel de ruido y vibración
- Factores bióticos
 - Cubierta vegetal en el predio
 - Fauna silvestre
- Factores sociales
 - Vías de comunicación terrestre
 - Tenencia de la tierra
 - Salud pública y ocupacional
 - Accidentes
- Factores estéticos
 - Paisaje natural
 - Olores

4. Los impactos en los factores ambientales anteriormente mencionados que se consideran de mayor trascendencia por sus posibles efectos en el medio ambiente, así como por el peligro que representan para la salud y seguridad pública, son los siguientes:

- Factores físicos

Incremento de los procesos erosivos en el predio del proyecto, producto de las actividades de corte, desmonte y despalme.

Contaminación del agua subterránea por la infiltración de lixiviados. El lixiviado es uno de los contaminantes de mayor peligro que se genera en los rellenos sanitario, tanto por sus características altamente agresivas al ambiente (concentraciones de contaminantes comúnmente superiores en por lo menos 40 veces a los de las aguas residuales domésticas) como por los volúmenes que pueden llegar a generarse en el sitio de la obra. Para el caso del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., la producción máxima probable de lixiviados es de aproximadamente 169.02 m³/día.

Contaminación del aire por las emisiones del equipo y maquinaria pesada usados en un relleno sanitario, así como por las emisiones de biogás a la atmósfera. El biogás (junto con el lixiviado) es uno de los contaminantes de mayor peligro que se genera en los rellenos sanitarios, tanto por los elementos que componen a este gas (metano y bióxido de carbono, principalmente), como por los volúmenes que pueden llegar a generarse en el sitio de la obra. Para el caso del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., la máxima producción probable de bióxido de carbono es de aproximadamente 110, 362 kg/día y para el metano es de aproximadamente 37,047 kg/día.

Elevación del nivel de ruido y vibración como consecuencia de las actividades de preparación del sitio, construcción y operación en un relleno sanitario. El nivel de presión acústica que se podría generar durante la operación del proyecto de relleno sanitario de Irapuato, Gto., es de aproximadamente 76 dB(A) a 300 m, distancia a la cual se encuentra la población más cercana (El Copal).

- Factores bióticos

Eliminación de la cubierta vegetal en el predio del proyecto, producto del desmonte y despalme.

Afectación de la fauna silvestre como consecuencia de las actividades de preparación del sitio y construcción.

- Factores sociales

Afectación a las vías de comunicación terrestre por la intensa circulación de camiones que transportan material y residuos sólidos al relleno sanitario.

Problemas para conseguir la tenencia legal de un predio que reúna las características apropiadas (viad útil, topografía, geohidrología, etc.) para construir un relleno sanitario.

Daños a la salud pública y ocupacional por fallas en las obras de control ambiental (biogás y lixiviados), elevación del nivel de ruido y vibración, emisión de gases, polvos y partículas por el uso de equipo y maquinaria pesada, así como por el manejo inadecuado de los residuos sólidos en el relleno sanitario.

Riesgos de accidentes en la operación de un relleno sanitario por el movimiento constante de camiones de carga, equipo y maquinaria pesada, cuadrillas de trabajadores y en general la realización de diferentes actividades en forma combinada (preparación del sitio, caminos interiores, celda diaria, superficie final, etc.). Riesgos de explosiones debido a la generación de metano.

- Factores estéticos

Modificación del paisaje natural por el movimiento de tierras (desmante, despalme, cortes, etc.), construcción de infraestructura (edificaciones, caminos, cercado perimetral, etc.) y el confinamiento de miles de toneladas de residuos sólidos.

Generación de olores desagradables por el uso de equipo y maquinaria pesada, así como, por las emisiones de biogás a la atmósfera.

Recomendaciones

Algunas de las medidas de prevención y mitigación más importantes que se recomienda llevar a cabo en un proyecto de relleno sanitario, en base a los impactos descritos en el inciso anterior, son las siguientes:

- Factores físicos

Cumplir con las especificaciones que se establecen en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes a rellenos sanitarios (NOM-083-ECOL-1995 y NOM-084-ECOL-1995).

Instrumentar un programa de monitoreo ambiental que incluya tanto las instalaciones de extracción como las de monitoreo del sitio determinando principalmente flujo, presión, explosividad y composición de biogás, así como flujo y composición de lixiviados. Además es importante llevar a cabo mediciones eventuales de algunos otros impactantes: ruido ambiental, partículas viables y totales, microorganismos en el ambiente, temperatura en pozos de monitoreo y parámetros meteorológicos.

Colocar en la superficie final del relleno sanitario una capa compuesta de materiales naturales (suelos arcillosos, granulares, tierra vegetal, etc.) y artificiales (membranas sintéticas, asfalto, materiales a base de bentonita, etc.), que impidan la infiltración del agua de lluvia a los estratos de residuos sólidos y que permitan a su vez el adecuado flujo horizontal, tanto de lixiviados como del biogás que se generen en el relleno sanitario.

Impermeabilizar la base del relleno sanitario (paredes y piso) con una capa compuesta de materiales naturales (suelos arcillosos y granulares) y artificiales (membranas sintéticas, asfalto, diversos materiales a base de bentonita, etc.), que impidan la infiltración de lixiviados a los cuerpos de agua subterránea y la migración horizontal de los gases que se generen en el

relleno sanitario.

Disponer en forma ambientalmente adecuada los lixiviados captados en la base del relleno sanitario (lagunas de evaporación, sistema de recirculación de lixiviados, etc.).

Utilizar en el relleno sanitario la maquinaria precisa y específica que demandan las principales actividades de operación.

Construir un sistema pasivo o activo para el control del biogás, según las características de cada proyecto. En México para controlar la migración de biogás en un relleno sanitario, los sistemas de venteo pasivos (zanjas de grava, pozos de venteo, barreras naturales, etc.) son los que se utilizan comúnmente.

Las actividades de preparación del sitio y construcción es conveniente que se realicen de forma tal, que los niveles de ruido de fondo medidos a una actividad sensible al ruido, no superen los 80 dB(A) durante periodos de tal actividad.

- Factores bióticos

Colocar una cubierta vegetal (pasto y otras especies) sobre la superficie final del relleno sanitario.

Establecer una franja perimetral de 50 m de ancho como área de amortiguamiento. Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales de talla y follaje suficiente para que reduzca la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la construcción y operación del relleno sanitario.

La preparación del sitio del proyecto es conveniente que no se efectúe en forma inmediata en toda el área del predio, sino paulatinamente de acuerdo al calendario de llenado de las celdas. De esta manera se dará tiempo a la emigración de la fauna hacia áreas no perturbadas.

- Factores sociales

Colocar señalamientos de tránsito tanto dentro como fuera del relleno sanitario.

Los caminos interiores deberán construirse de tal forma que se asegure su transitabilidad en cualquier época del año.

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

Brindar protección individual del oído a las personas que trabajen de manera permanente en el sitio del proyecto.

Proveer de protectores buconasales con filtros de aire a las personas que trabajan en el frente de obra y obligarlos a utilizarlos.

Realizar un programa de medicina preventiva dirigido al personal del relleno sanitario, a través de constantes chequeos médicos y la aplicación de vacunas para prevenir las enfermedades. Este programa debe hacerse extensivo a las familias de los trabajadores y a los habitantes de las zonas aledañas al sitio.

Realizar un programa de información acerca de las medidas de seguridad en el interior del sitio, con permanentes simulacros de desalojo y control de emergencias.

- Factores estéticos

Realizar la restauración ecológica del sitio del proyecto (cubierta vegetal en la superficie final, franjas de amortiguamiento, etc.).

Por último, es importante recordar que en este trabajo se realiza un análisis general del impacto ambiental causado por los rellenos sanitarios, de tal manera que para un proyecto en particular, deberán realizarse las consideraciones necesarias, de acuerdo a las características tanto ambientales como operativas existentes en dicho proyecto.

BIBLIOGRAFIA

1. George Tchobanoglous. **Integrated Solid Waste Management**. Ed. McGraw-Hill, E.U.A., 1993.
2. SEDESOL. **Proyecto Tipo de Relleno Sanitario I**. Colegio de Ingenieros Civiles de México. México, 1994.
3. SEDESOL. **Manual para la Clausura de Tiraderos a Cielo Abierto I**. Colegio de Ingenieros Civiles de México. México, 1994.
4. SEDUE. **Manual de Rellenos Sanitarios**. Editado por el autor, México, 1984
5. EPA. **Seminario sobre el Diseño, Operación y Clausura de Vertederos Municipales de Residuos Sólidos**. EPA y SEMARNAP, México, 1995.
6. Soria Díaz Jesús. **Impacto Ambiental en los Sistemas de Manejo de los Residuos Sólidos Municipales**. Diplomado en Residuos Sólidos y Peligrosos, UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua. México, 1995.
7. Gutiérrez Avedoy Victor. **Impacto Ambiental en la Disposición Final de los Residuos Sólidos Municipales**. Diplomado en Residuos Sólidos y Peligrosos, UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua. México, 1995.
8. Vázquez González Alba, César Valdez Enrique. **Impacto Ambiental**. UNAM, Facultad de Ingeniería, México, 1993.
9. Lemus Vasquez Eddy. **Las Celdas de Control como Dispositivos para el Monitoreo Ambiental y para el Conocimiento de los Procesos de Estabilización en los Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos**. Tesis Profesional, IPN, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México, 1992.
10. Becerril Albarrán Josefina. **Estudio de la Calidad del Agua en Pozos Cercanos al Tiradero de Basura de Santa Catarina**. Tesis Profesional, UNAM, Facultad de Ingeniería. México, 1991.
11. SEDESOL. **Proyecto Ejecutivo de Relleno Sanitario y Estudio de Impacto Ambiental de Irapuato, Gto**. Editado por Caplain Ingenieros Civiles S.A. de C.V., México, 1994.

12. G.R. John, C. Wooten David. **Environmental Impact Analysis Handbook**. Ed. McGraw-Hill, E.U.A., 1980.
13. EPA. **Compilation of Air Pollutan Emission Factors**. EPA, Technology Transfer Seminar Publication, E.U.A., 1977.
14. Wark Kenneth, F. Warner Cecil. **Contaminación del Aire**. Ed. Limusa, México, 1990.
15. Turk Amos, Wittes T. Janet. **Ecología-Contaminación-Medio Ambiente**. Ed. Interamericana, México, 1973.
16. W. Canter Larry. **Environmental Health Impact Assesment**. Pan American Center for Human Ecology and Health, World Health Organization, México, 1986.
17. Vázquez Yañez Carlos, Orozco Segura Alma. **La Destrucción de la Naturaleza**. SEP, CONACIT, México, 1989.
18. **Diario Oficial de la Federación del 22 de junio de 1994**. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.
19. **Diario Oficial de la Federación del 22 de junio de 1994**. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.