



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR
UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN RELLENO
SANITARIO COMO SOLUCION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

OSCAR ALEJANDRO ARROYO SEPULVEDA

JOSE ENRIQUE BUENO PEREZ

ARTURO CACHEUX ENRIQUEZ

MARTIN ABEL REYES VERGARA

JORGE CARLOS SIMON DOMINGUEZ



MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

280720
1999



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.

PAGINATION

DISCONTINUUA-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/095/98

Señores

OSCAR ALEJANDRO ARROYO SEPULVEDA
JOSE ENRIQUE BUENO PEREZ
ARTURO CACHEUX ENRIQUEZ
MARTIN ABEL REYES VERGARA

Presentes

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. NARCISO TALAMANTES CHAVEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION"

INTRODUCCION

OBJETIVO

- I. ANTECEDENTES Y NORMATIVIDAD**
 - II. TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS**
 - III. RELLENO SANITARIO**
 - IV. COSTOS**
- #### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a ustedes 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.

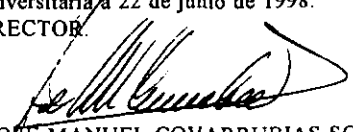
Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 22 de junio de 1998.

EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/087/98

Señor
JORGE CARLOS SIMON DOMINGUEZ
Presente

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

"RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION"

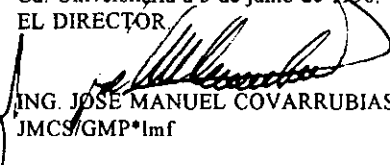
INTRODUCCION

- I. OBJETIVO**
- II. ANTECEDENTES Y NORMATIVIDAD**
- III. TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS**
- IV. RELLENO SANITARIO**
- V. COSTOS**
- 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 3 de junio de 1998.
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf

A todos nuestros seres queridos por su incondicional gratitud y cariño, nuestro respeto y admiración.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería, a los Profesores que en ella laboran; nuestro agradecimiento por la formación e información académica recibida.

Nuestro reconocimiento al Programa de Apoyo a la Titulación. Con especial mención al Sr. Ing. Narciso Talamantes Chávez, por su valiosa colaboración y tiempo brindado a la elaboración de este trabajo.

**“RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y
CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION”**

III.3 MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL	III - 21
III.3.1 Identificación de impactos ambientales	III - 21
III.3.2 Medidas de prevención y mitigación de los impactos	III - 23
III.3.3 Conclusiones para el proyecto de construcción del relleno sanitario	III - 36
CAPITULO IV COSTOS	IV - 1
IV.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	IV - 1
IV.1.1 Conceptos de planeación	IV - 1
IV.1.2 Financiamiento de capital el desarrollo de proyectos y mejoras	IV - 3
IV.1.3 Análisis económico del proyecto	IV - 4
IV.1.4 Costos de construcción	IV - 5
IV.1.5 Costo de clausura o conclusión	IV - 6
IV.1.6 Costo de cuidado al largo plazo	IV - 6
IV.1.7 Costo de operación	IV - 7
IV.1.8 Análisis financiero general	IV - 12
IV.1.9 Selección de una alternativa de solución	IV - 13
IV.2 RELACION COSTO-BENEFICIO	IV - 14
IV.2.1 Puntos de vista	IV - 15
IV.2.2 Elección de la tasa de interés	IV - 16
IV.2.3 Estimación de los factores de costo-beneficio	IV - 16
IV.2.4 Sobrecuenta	IV - 17
IV.2.5 Proyectos de usos múltiples	IV - 17
IV.2.6 Problemas con la razón costo-beneficio	IV - 17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	C y R - 1
BIBLIOGRAFIA	BIBLIOGRAFIA - 1
ANEXO A MAQUINARIA ESPECIAL PARA RELLENOS SANITARIOS	A - 1
ANEXO B NORMA OFICIAL MEXICANA	B - 1

INDICE

INDICE

	Página
INTRODUCCION	INTRODUCCION -1
OBJETIVO	OBJETIVO -1
CAPITULO I ANTECEDENTES Y NORMATIVIDAD	I - 1
I.1 ANTECEDENTES	I - 1
1.1.1 Disposición actual de los desechos	I - 2
1.1.2 Cuantificación del problema	I - 3
1.1.3 Gráficos	I - 5
I.2 NORMATIVIDAD	I - 10
1.2.1 Conceptos fundamentales	I - 10
1.2.2 Normatividad actual para la disposición de residuos sólidos	I - 11
a) Leyes referentes a la disposición de residuos sólidos	I - 11
b) Reglamentos referentes a la disposición de residuos sólidos	I - 14
c) Normas Oficiales Mexicanas (NOM) referentes a la disposición de residuos sólidos	I - 17
CAPITULO II TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS	II - 1
II.1 CARACTERISTICAS GENERALES	II - 1
a) Identificación de caminos en los contaminantes	II - 2
b) Consolidación del relleno sanitario	II - 2
c) Impresiones y perspectivas	II - 2
d) Cuantificación del problema y clasificación del lugar	II - 3
e) Ensayo ambiental	II - 3
f) Valoración preliminar	II - 5
g) Inspección del lugar	II - 6
h) Análisis de la clasificación del peligro	II - 7
i) Soluciones para los rellenos sanitarios de residuos peligrosos	II - 7
j) Eliminación de la fuente del problema	II - 9
k) Atenuación para reducir la severidad del problema	II - 11
l) Supervisión de la atenuación del problema	II - 11
II.1.1 Ubicación	II - 12
II.1.1.1 Ubicación del área actual	II - 12
II.1.2 Geomorfología	II - 12
II.1.2.1 Orografía	II - 14
II.1.2.2 Suelos	II - 14
II.1.2.3 Climatología	II - 15
II.1.2.4 Tipo de clima	II - 15
II.1.2.5 Temperatura	II - 16
II.1.2.6. Precipitación	II - 16
II.1.3 Hidrología y Geología	II - 17
II.1.3.1 Caracterización litológica e hidrogeológica	II - 17
II.1.3.2 Vegetación	II - 19
II.1.3.3 Fauna	II - 20
II.2 PROYECTO DE CLAUSURA	II - 21
II.2.1 Alternativas de solución	II - 21
II.2.1.1 Alternativa 1	II - 22
II.2.1.2 Alternativa 2	II - 23

**"RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y
CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION"**

II.2.2 Acciones básicas de restauración	II - 24
II.2.2.1 Recuperación del manto freático	II - 26
II.2.2.2 Tratamiento del sistema por medio de biofiltros	II - 27
II.2.2.3 Recuperación de la estética por reforestación	II - 28
II.2.2.4 Manejo de gases	II - 29
II.2.3 Procedimientos de control	II - 30
II.2.3.1 Uso de la materia orgánica	II - 31
II.2.3.2 Drenaje	II - 33
II.2.4 Informe preventivo del proyecto de clausura	II - 34
II.2.4.1 Vida útil del proyecto	II - 35
II.2.4.2 Programa de trabajo	II - 35
II.2.4.3 Ubicación física del proyecto	II - 36
II.2.5 Perfil estratigráfico	II - 39
II.2.6 Procedimiento constructivo	II - 39
CAPITULO III RELLENO SANITARIO	III - 1
III.1 CARACTERISTICAS GENERALES	III - 1
III.1.1 Descripción general	III - 1
III.1.1.1 Nombre del proyecto	III - 2
III.1.1.2 Naturaleza del proyecto	III - 2
III.1.1.3 Objetivos y justificación del proyecto	III - 3
III.1.1.4 Programa de trabajo	III - 4
III.1.1.5 Políticas de crecimiento a futuro	III - 4
III.2 ETAPAS DE CONSTRUCCION y ABANDONO	III - 5
III.2.1 <i>Etapa de selección del sitio</i>	III - 5
III.2.1.1 Ubicación física del proyecto	III - 5
III.2.1.2 Urbanización del área	III - 6
III.2.1.3 Criterios para la selección del sitio	III - 6
III.2.1.4 Superficie requerida	III - 7
III.2.1.5 Uso actual del suelo en el predio seleccionado	III - 7
III.2.1.6 Colindancias del predio seleccionado	III - 7
III.2.1.7 Situación legal del predio seleccionado	III - 8
III.2.1.8 Vías de acceso al área donde se desarrollará la obra	III - 8
III.2.1.9 Sitios alternativos que hayan sido evaluados	III - 8
III.2.1.10 Evaluación de las alternativas	III - 10
III.2.2 Programa de trabajo	III - 14
III.2.3 Preparación del terreno para la construcción del relleno sanitario	III - 15
III.2.4 Recursos que serán alterados	III - 16
III.2.5 Área que será afectada	III - 16
III.2.6 Equipo utilizado	III - 16
III.2.7 Materiales	III - 17
III.2.8 Obras y servicios de apoyo	III - 17
III.2.9 Descripción de obras	III - 18
III.2.9.1 Caminos de acceso	III - 18
III.2.9.2 Caminos para la construcción del relleno sanitario	III - 18
III.2.9.3 Obras de drenaje, consideraciones generales	III - 19
III.2.9.4 Construcción de pozos de monitoreo	III - 19
III.2.10 Personal utilizado	III - 20
III.2.11 Requerimientos de energía	III - 20
III.2.12 Requerimientos de agua	III - 20
III.2.13 Residuos generales	III - 21
III.2.14 Desmantelamiento de la infraestructura de apoyo	III - 21

**“RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y
CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION”**

III.3 MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL	III - 21
III.3.1 Identificación de impactos ambientales	III - 21
III.3.2 Medidas de prevención y mitigación de los impactos	III - 23
III.3.3 Conclusiones para el proyecto de construcción del relleno sanitario	III - 36
CAPITULO IV COSTOS	IV - 1
IV.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	IV - 1
IV.1.1 Conceptos de planeación	IV - 1
IV.1.2 Financiamiento de capital el desarrollo de proyectos y mejoras	IV - 3
IV.1.3 Análisis económico del proyecto	IV - 4
IV.1.4 Costos de construcción	IV - 5
IV.1.5 Costo de clausura o conclusión	IV - 6
IV.1.6 Costo de cuidado al largo plazo	IV - 6
IV.1.7 Costo de operación	IV - 7
IV.1.8 Análisis financiero general	IV - 12
IV.1.9 Selección de una alternativa de solución	IV - 13
IV.2 RELACION COSTO-BENEFICIO	IV - 14
IV.2.1 Puntos de vista	IV - 15
IV.2.2 Elección de la tasa de interés	IV - 16
IV.2.3 Estimación de los factores de costo-beneficio	IV - 16
IV.2.4 Sobrecuenta	IV - 17
IV.2.5 Proyectos de usos múltiples	IV - 17
IV.2.6 Problemas con la razón costo-beneficio	IV - 17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	C y R - 1
BIBLIOGRAFIA	BIBLIOGRAFIA - 1
ANEXO A MAQUINARIA ESPECIAL PARA RELLENOS SANITARIOS	A - 1
ANEXO B NORMA OFICIAL MEXICANA	B - 1

INTRODUCCION

INTRODUCCION

A lo largo de la evolución de la especie humana, nuestro planeta se ha transformado cada vez más en forma acelerada, debido principalmente al desarrollo social, económico, cultural y tecnológico.

En algunos países del mundo se observa un rápido incremento poblacional, que a su vez trae consigo una mayor presión sobre el uso de los recursos naturales, así como un alto porcentaje de generación de desechos. No obstante, la humanidad como grupo pensante ha creado alternativas que le permitan aprovechar y optimizar algunos recursos.

Es así como a través de la mecanización de actividades, ha podido incrementar la velocidad de producción de los artículos que consume y al haber logrado este objetivo, proporciona al mundo elementos que no son precisamente de primera necesidad, pero que forman parte importante en la actividad actual de la sociedad.

El problema de la disposición inadecuada de los residuos sólidos no es particular de los países subdesarrollados, así por ejemplo, a lo largo y a lo ancho de los Estados Unidos de Norteamérica y de otros países altamente desarrollados, pueden encontrarse depósitos de residuos sólidos clausurados, fuera de servicio o abandonados, de diversos tamaños. Es hasta finales de los años setenta, cuando la Agencia Protectora Ambiental de los Estados Unidos (EPA), por sus siglas en inglés, obligó a la identificación y eliminación de los basureros a cielo abierto, ya que cada parcela de terreno y cada zona húmeda accesible, era un candidato para el depósito de residuos y después el lugar era abandonado sin procedimientos adecuados de mantenimiento a largo plazo para proteger el ambiente circundante.

Los tiraderos o rellenos sanitarios clausurados, fuera de servicio o abandonados, quedaron como problemas potenciales para las comunidades del futuro. Los problemas ocasionados por estos lugares, pueden ser más graves y costosos de solucionar que supervisar y construir tiraderos y rellenos sanitarios nuevos.

México, como país, no está exento de la evolución modernista de su sociedad, por lo que dadas las características de desarrollo tecnológico y algunas condiciones biogeográficas, han originado cambios significativos en sus recursos naturales y por lo tanto en la calidad de vida de sus habitantes.

El manejo de los residuos sólidos de origen municipal ha sido un factor de preocupación de los diversos sectores productivos de México, principalmente en el sector social donde se involucra una población que ha experimentado un acelerado crecimiento en las últimas décadas, creciendo en forma paralela la tasa de generación de residuos sólidos de origen municipal.

O B J E T I V O

OBJETIVO

Sirviendo de apoyo a la Introducción de este estudio se observa que el objetivo del presente trabajo es la proposición de la metodología para llevar a cabo la clausura de un tiradero de residuos sólidos a cielo abierto y la quema tradicional sin ningún control, así como la construcción de un relleno sanitario anexo y su manifiesto de impacto ambiental.

Con esta alternativa se proponen soluciones a conflictos sociales en el manejo de la basura y de salud pública, ya que los tiraderos de residuos sólidos son un punto de generación de vectores de enfermedades; así como la prevención y control de la contaminación de aguas del subsuelo.

Dentro de las alternativas revisadas, destacan las opciones que combinan el control de los desechos más recientemente depositados, con el control de lixiviados y con la recuperación de la calidad del sistema freático afectado a lo largo de los años de operación del basurero.

Inobjetablemente, la clausura representa una erogación adicional para el municipio, pero también ofrece la oportunidad de reivindicar a la sociedad municipal con la naturaleza y de aprender a través de estos procesos el costo real de la protección ambiental.

De no tomarse en consideración lo antes expuesto y lo que se propone más adelante en este trabajo, nuestras ciudades podrán tener seria consecuencias en el ámbito de salud y de impacto ambiental.

A continuación se presenta como ejemplo la restauración de una zona afectada por un tiradero y construcción de un relleno sanitario como solución en la ciudad de Mérida, Yucatán, pero sin perder de vista que el objetivo de este estudio es la descripción de la metodología que puede ser aplicable a muchas otras ciudades del país, con problemas similares en cuanto al manejo de residuos sólidos.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

Y

NORMATIVIDAD

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y NORMATIVIDAD

En este capítulo se presentan en la parte de antecedentes, la problemática de la ciudad de Mérida. Yucatán, relacionado con los residuos sólidos municipales y en la sección de normatividad lo referente a dependencias federales, estatales y municipales, en cuanto a sus leyes, reglamentos y normas para la disposición de residuos sólidos

I.1 ANTECEDENTES

A continuación se exponen los antecedentes correspondientes a los datos de la región en estudio; la disposición actual de los desechos y la cuantificación del problema.

La ciudad de Mérida cuenta con una población de 639,263 habitantes (censo poblacional 1994. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI) y alrededor de 14,800 establecimientos comerciales, con una generación aproximada de 470 toneladas diarias de basura de la cual se recicla solamente una cantidad equivalente a un 10% del total generado, en forma de composta.

Con éstas condiciones el problema que representa el manejo de los residuos sólidos, dado el alto volumen que diariamente se deposita, la carencia de técnicas adecuadas de confinamiento y la inexistencia de una normatividad orientada a promover la participación del sector social en el manejo de los desechos, se ha generado un cuadro de alto impacto ambiental, considerando el perjuicio a la estética del paisaje de la ciudad de Mérida y a las características físico-químicas del sistema de aguas subterráneas en las inmediaciones del actual basurero municipal.

Así la clausura del basurero municipal es un acto obligado por parte de la Administración Municipal, con el fin de reducir las condiciones de deterioro generadas a lo largo de los 30 años de operación de este tiradero a cielo abierto y también con el propósito de establecer condiciones de confinamiento adecuadas tanto técnicas como económicas que permitan la participación de la *sociedad en las acciones de protección ambiental.*

De ésta forma las medidas de clausura del basurero municipal representan una oportunidad de crecimiento para la sociedad meridiense dado que la recuperación de un espacio con belleza escénica, se convertirá en un factor de generación de empleos directos e indirectos tanto en el corto como en el largo plazo.

En este proyecto se plantean las alternativas de restauración y manejo consideradas como viables para las acciones de clausura del basurero municipal de Mérida.

1.1.1 Disposición actual de los desechos

Durante los últimos veinte años la ciudad de Mérida ha presentado el fenómeno de urbanización acelerada, contrariando el desarrollo inicial de retícula perfectamente ordenada, provocando crecimientos anárquicos de colonias y falta de integración entre las mismas. Asimismo, el servicio de recolección de basura, que siempre tuvo un orden, generó espontáneamente la creación de organismos desarticulados para satisfacer las diferentes demandas.

Por el tipo de urbanización que predominó hasta los años setentas, un gran porcentaje de las viviendas contaban con amplios patios, los cuales permitían ir acumulando la basura, hasta que su volumen se convertía en un problema y entonces se procedía a quemarla. Aún en estos tiempos es común observar por todos los rumbos de la ciudad, el apilamiento y quema de basura proveniente de la poda de árboles, corte de pasto y barrido de hojas secas a pesar de que lo prohíbe expresamente el “Reglamento de Aseo y Manejo de los Residuos Sólidos en el Municipio de Mérida, Yucatán.

El almacenamiento de la basura generada en las casas habitación requiere el empleo de grandes recipientes capaces de contener los desechos generados en una semana, ya que la frecuencia de recolección es semanal, misma que se considera sumamente inapropiada según el clima imperante en la región.

Los desechos sólidos recolectados, se depositan principalmente en el tiradero municipal y como alternativa en el del noroeste de la ciudad, a orillas del anillo periférico. En ambos lugares se queman los desechos periódicamente.

En 1982 cuando se reubicaron estos tiraderos, la zona cercana a los mismos se encontraba poco poblada, pero en la actualidad el mayor crecimiento de la ciudad se ha efectuado en esa dirección, lo que ha originado que muchos de los nuevos fraccionamientos se vean frecuentemente afectados por los humos de los tiraderos.

Como puede observarse, el problema del manejo de los desechos sólidos de la ciudad de Mérida es complejo. El desarrollo de la misma no ha ido a la par con el manejo de sus desechos, por lo que es imperativo encontrar soluciones tanto al problema de recolección como al de disposición de los residuos sólidos. La recolección debe ser efectuada por un solo organismo, de preferencia municipal.

I.1.2 Cuantificación del problema

En la ciudad de Mérida se generan aproximadamente 350 toneladas de residuos sólidos cada día de las 470 toneladas diarias de basura generadas, para los cuales se requieren labores de recolección, transporte y disposición de la manera más adecuada, con el propósito de evitar primordialmente posibles impactos negativos sobre la calidad del medio ambiente y eventualmente sobre la salud pública.

Aún cuando existe plena conciencia de los diferentes sectores gubernamentales para resolver los problemas inherentes al manejo integral de la basura, todavía se tiene que soportar el problema adicional que representa el costo de la opción del manejo final de los desechos sólidos.

Bajo las condiciones actuales de restricción económica en el país, se vuelve aún más imperativo identificar opciones para la disposición final de los desechos sólidos que satisfagan un doble requisito:

- 1) Cumplir con los lineamientos de la Protección Ambiental enmarcados por la Ley Mexicana del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- 2) Incorporar esquemas técnicos adecuados a nuestras condiciones económicas y de desarrollo tecnológico.

Con esta condición y partiendo de las recomendaciones del H. Ayuntamiento, se identificaron las alternativas más apropiadas tanto técnica como económicamente para desarrollar el relleno sanitario de la ciudad de Mérida, Yucatán.

El primer prestador organizado del servicio de recolección en la ciudad de Mérida, Yucatán, fue el Sindicato Unico de Trabajadores de Limpieza en Yucatán Pedro Pamplona (SUTLY), fundado en julio de 1935, integrado por los propietarios de las unidades y el personal de recolección (choferes y peones).

En los últimos cinco años, por demandas de sociedad, tuvo que crecer rápidamente pasando de 27 a 64 unidades de recolección, todas ellas camiones viejos adaptados para tales fines, ninguno de los cuales se encuentra en condiciones aceptables y muy lejos de cumplir con el Reglamento de Aseo y Manejo de los Residuos Sólidos en el Municipio de Mérida Yucatán (RAMARSOM).

Ante el incremento en la demanda de un adecuado servicio de recolección, el ayuntamiento de Mérida formó con participación de la iniciativa privada, la empresa paramunicipal Servilimpia, S.A. de C.V., la cual fue equipada con vehículos específicos para este tipo de tareas, los cuales, a pesar de algunos esfuerzos, presentan condiciones de deterioro que inducen a pensar en la inmediata necesidad de su reemplazo.

A la fecha, Servilimpia cuenta con 8 rutas de recolección domiciliaria y 6 para dar servicio a comercios, de acuerdo a su padrón cuenta con 12,704 clientes y 26 unidades recolectoras. Además proporciona un servicio gratuito a colonias de escasos recursos, básicamente al sur de la ciudad.

Además del Sindicato Unico de Trabajadores de Limpieza en Yucatán Pedro Pamplona (SUTLY) y Servilimpia, existen otras entidades que se encargan de la recolección de los residuos sólidos generados en mercados, parques y jardines, en el barrido de calles y servicios especiales.

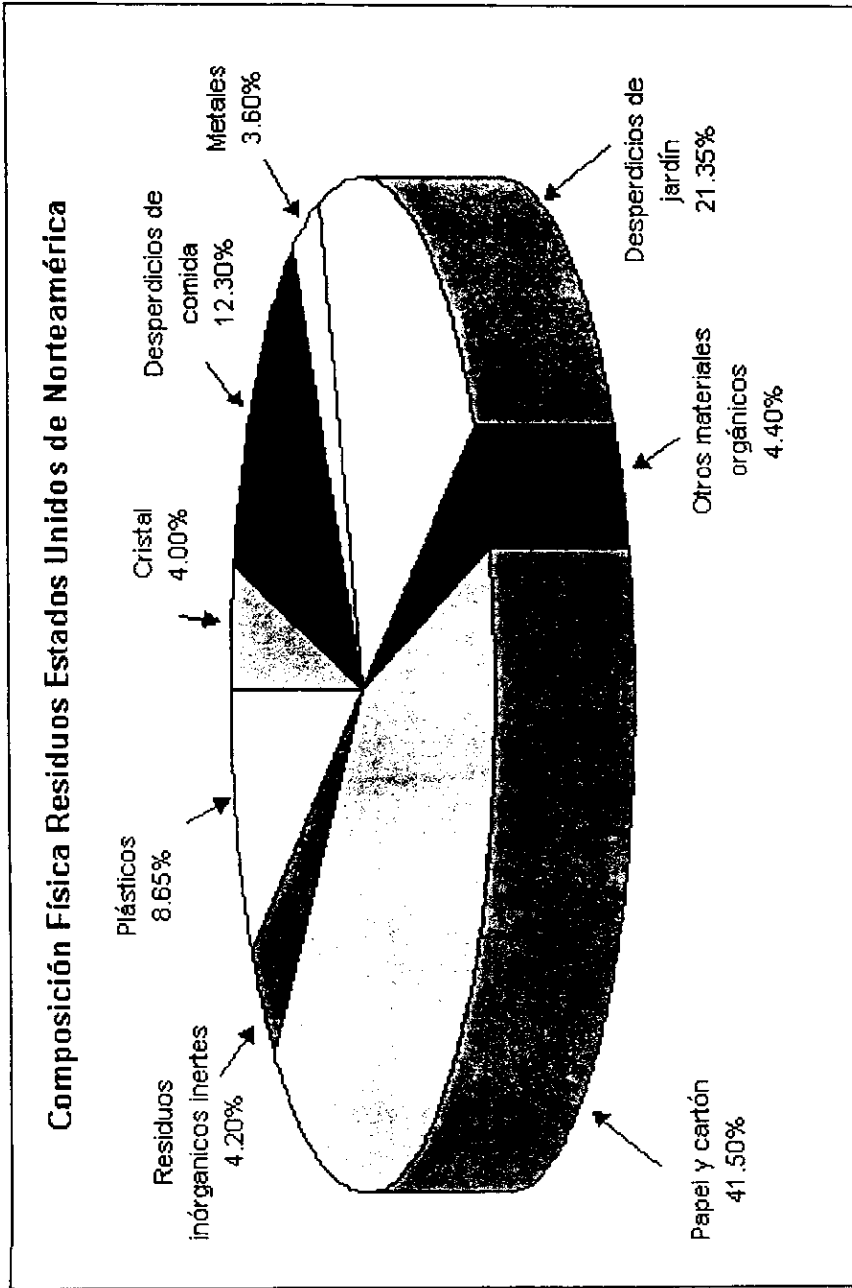
La recolección y transporte de los residuos de mercados está a cargo de la Subdirección de Aseo Urbano, dependiente de la Dirección de Servicios Públicos Municipales, reportándose una generación promedio de 9 toneladas por día.

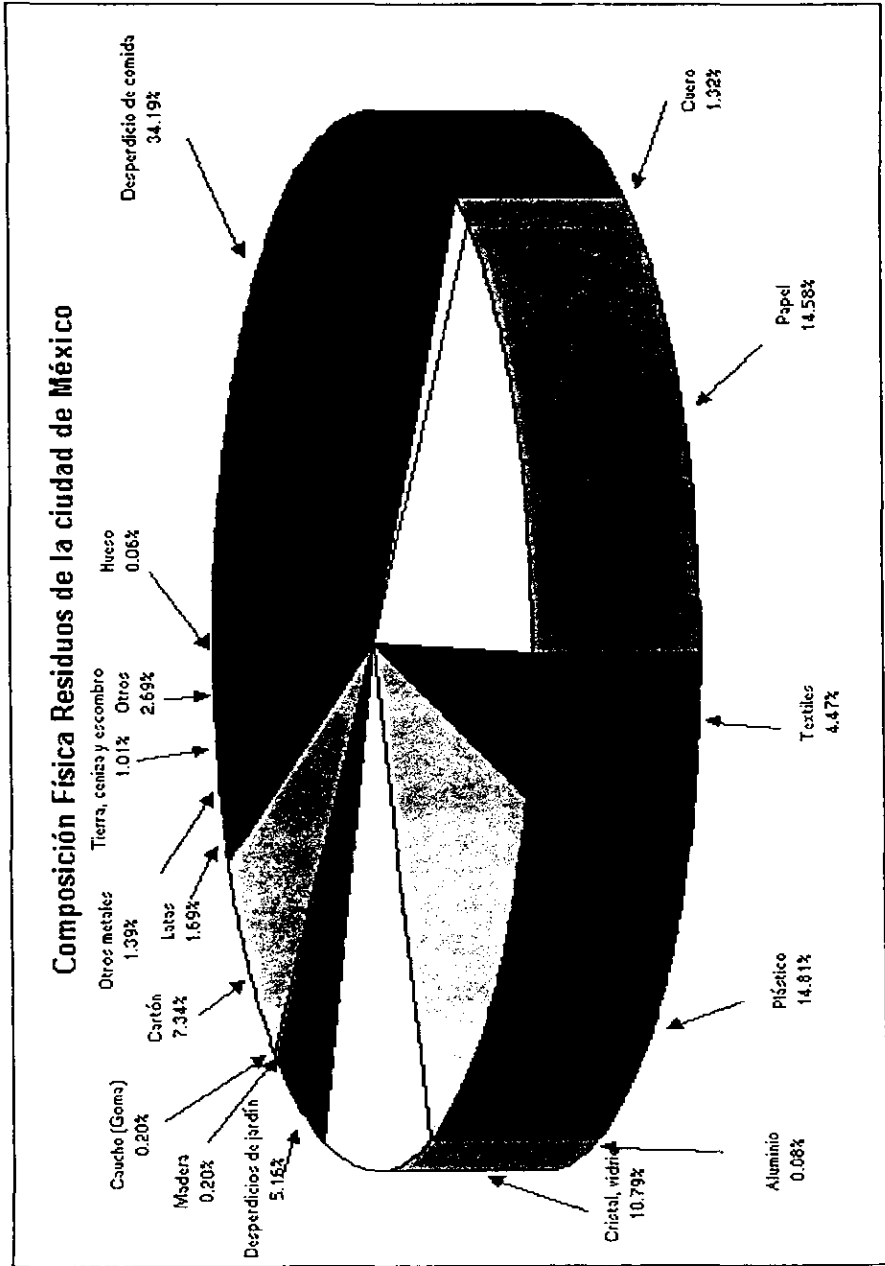
En cuanto al barrido de calles, a cargo también de la Subdirección de Asco Urbano, el valor promedio de la recolección diaria es de 30 ton/día, aproximadamente. Además de estos, la descacharrización, la recolección en comisarías y los servicios extraordinarios, la limpieza y recolección de residuos en parques y jardines de la ciudad de Mérida, Yucatán, están a cargo de la Subdirección de Parques y Jardines, no contándose con información particularizada. El dato que se conoce es que, en promedio, de todos estos servicios, excluyendo la generación en mercados, se tiene una recolección diaria de 66 toneladas, es decir, que a los últimos señalados corresponden 36 ton/día.

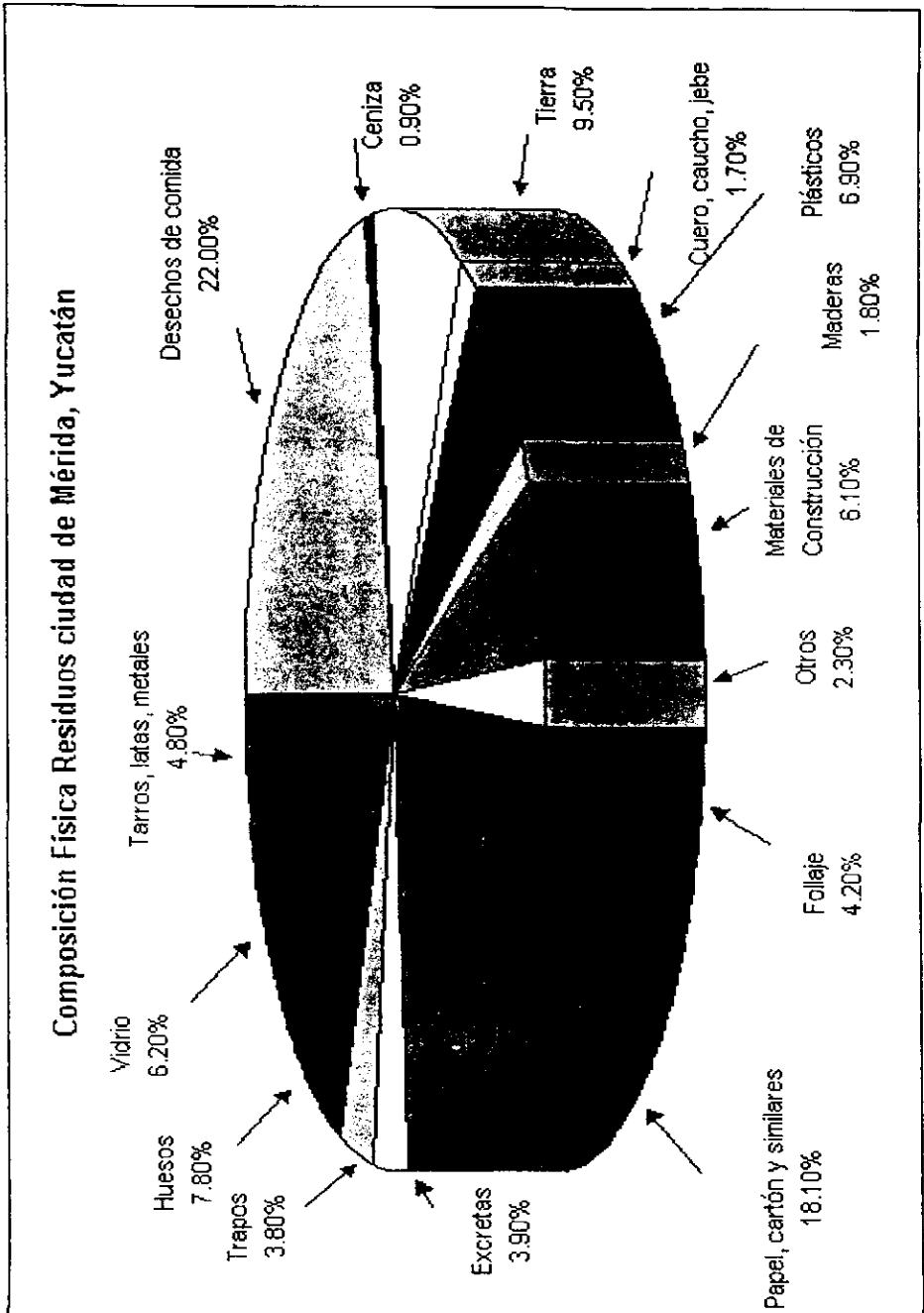
La recolección de los residuos producidos en clínicas y hospitales estaba a cargo, tanto de Servilimpia como del Sindicato Unico de Trabajadores de Limpieza en Yucatán Pedro Pamplona (SUTLY), hasta agosto de 1991, cuando se puso en servicio el incinerador municipal, que cuenta con su propio sistema de recolección. En la ciudad de Mérida están registradas del orden de 60 clínicas y hospitales, con un número aproximado de 1,500 camas, con una ocupación promedio del 70%, *estimándose una generación promedio de residuos de alto riesgo, esto es, que deben incinerarse*, de 3.0 kg./cama/día, lo que corresponde a una generación promedio diaria, en conjunto, de 3.15 ton/día. De acuerdo con la información proporcionada por el personal de servicio, este cuenta actualmente con 33 clientes, recolectando un promedio de 550 contenedores por mes, con capacidad de 32 galones, lo que equivale, aproximadamente, a 1 ton/día; es decir, que la recolección debe mejorarse para alcanzar la cobertura total, o que los generadores, no entregan al incinerador todos los residuos biomédicos producidos.

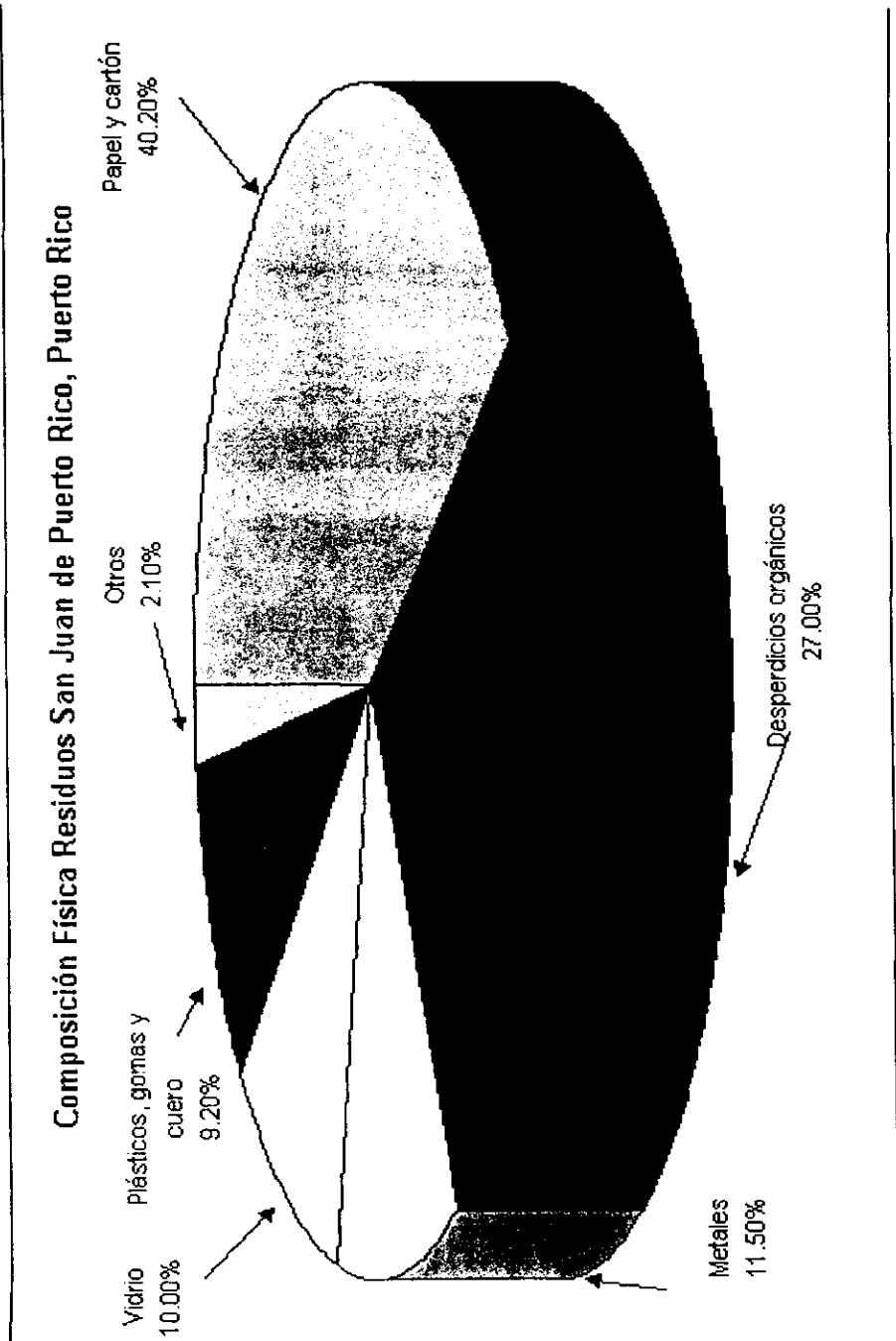
I.1.3 Gráficas

A continuación se presentan cuatro gráficas con la composición física de residuos en los Estados Unidos de Norteamérica, la ciudad de México, la ciudad de Mérida, Yucatán y la ciudad de San Juan de Puerto Rico, Puerto Rico, esto con la finalidad de identificar que en cada caso, los desechos varían en cantidad y tipo.









I.2 NORMATIVIDAD

A continuación se presentan los conceptos fundamentales y la normatividad (Leyes, Reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas) referentes a la disposición de los residuos sólidos.

I.2.1 Conceptos fundamentales

El marco legal para manejo de los residuos sólidos municipales, existe en México en los niveles federales, estatal y municipal desde hace aproximadamente 20 años.

Las reformas realizadas a los artículos 27 y 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que elevaron a rango constitucional la protección al ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico, son la base principal de sustento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, sus reglamentos y normas.

La Constitución en su artículo 115, fracción III que “Los Municipios, con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes, tendrán a su cargo los siguientes servicios públicos :

- a) Agua potable y alcantarillado.
- b) Alumbrado público.
- c) Limpia.
- d) Mercados y centrales de abasto.

En cuanto a un ordenamiento más específico que establece criterios relativos al manejo de los residuos sólidos municipales, en el nivel federal se tiene fundamentalmente la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 1998. Expedidas por las dependencias del Ejecutivo Federal.

Se destaca que, dentro de estas normas, no se contempla ninguna relativa al cierre de tiraderos de residuos sólidos, sino más bien a la construcción de rellenos sanitarios y a su posterior clausura.

I.2.2 Normatividad actual para la disposición de los residuos sólidos

En lo subsecuente, únicamente se hará referencia a los Artículos y Reglamentos que sean pertinentes de las Leyes y Reglamento referentes a los Rellenos Sanitarios.

a) Leyes referentes para la disposición de los residuos sólidos

Existe la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada originalmente por la extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en 1988 (SEDUE) y que abroga la Ley Federal de Protección al Ambiente publicada en 1982, dando así una mayor flexibilidad para su aplicación en el territorio nacional. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de 1988 ha sido revisada y modificada por la actual Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), teniendo actualmente la versión que fue publicada el 13 de diciembre de 1996 en el Diario Oficial de la Federación.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece inicialmente una delimitación de responsabilidades que corresponden a la autoridad federal por una parte, y a las entidades federativas por otra. En forma específica, establece tanto las responsabilidades de los estados de la República como del Distrito Federal, capital del país. Asimismo, define una serie de criterios relativos a la prevención de la contaminación en el suelo originada por el mal manejo de los residuos sólidos.

A continuación se citan los artículos y fracciones **más relevantes** de esta Ley en materia de residuos sólidos municipales. Cuando se hace mención a “la Secretaría”, se refiere a la ya mencionada Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).

Artículo 3o.- Para los efectos de esta Ley se entiende por:

XXVI. Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Artículo 7o.- Corresponden a los estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VI. La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente Ley;

Artículo 8o.- Corresponden a los Municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

IV. La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no están considerados como peligrosos, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 137 de la presente Ley;

Artículo 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

- I. No es relevante para lo que se está tratando.
- II. Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;
- III. Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; Incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje; Así como regular su manejo y disposición final eficientes;

Artículo 135.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se considerarán, en los siguientes casos:

- I. No es relevante para lo que se está tratando.
- II. La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios;

III. La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

Artículo 136.- Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar contaminación.

Artículo 137.- Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Gobierno del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.

La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

Artículo 138.- La Secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

I. La implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales; y

II. La identificación de alternativas de reutilización y disposición de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

Además, en la totalidad de las entidades federativas del país se cuenta ya con la Ley Estatal equivalente a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, variando su nombre dependiendo de la entidad de que se trate.

Al estado de Yucatán corresponde la “Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Yucatán”, publicada en el Diario Oficial del Gobierno del Estado del 21 de diciembre de 1988, y que incluye entre sus artículos más relevantes, los que a continuación se citan:

Artículo 5o.- Son asuntos de competencia del Estado de Yucatán:

Del I al IX No son relevantes para lo que se está tratando.

X. La regulación del manejo y disposición final de los residuos sólidos que no sean peligrosos conforme a la definición de la Legislación supletoria.

Artículo 68.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo se considerarán los siguientes criterios:

I. No es relevante para lo que se esta tratando.

II. Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos

III. Es necesario racionalizar la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; e incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje.

Artículo 69.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se considerarán en los siguientes casos:

I. No es relevante para lo que se está tratando.

II. La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios, y

III. Las autorizaciones para la instalación y operación de confinamientos o depósitos de residuos.

Artículo 71.- Queda sujeto a la autorización de los ayuntamientos, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en su circunscripción territorial.

b) Reglamentos para la disposición de los residuos sólidos

Existen Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos, Impacto Ambiental, Contaminación Atmosférica, etc. Sin embargo, no existe a la fecha en México un Reglamento de la Ley General del Equilibrio

Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de residuos sólidos municipales.

El Reglamento de la Ley en Materia de Residuos Peligrosos fue publicado en el Diario Oficial de la Federación del 25 de noviembre de 1988, habiendo entrado en vigor al día siguiente de su publicación.

La aplicación de este reglamento compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a otras dependencias del propio Ejecutivo Federal. Las autoridades del Distrito Federal, de los Estados y los Municipios podrán participar como auxiliares de la Federación en la aplicación del presente reglamento (artículo 2).

Le compete a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) :

Determinar y publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF) los listados de residuos peligrosos, así como sus actualizaciones, en los términos de la Ley.

Autorizar la instalación y operación de sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos.

Dar a los residuos peligrosos la disposición final que corresponda de acuerdo con los métodos previstos en el Reglamento y conforme a lo dispuesto por las normas oficiales mexicanas aplicables.

Se requiere autorización de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) para instalar y operar sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos, así como prestar servicio en dichas operaciones; sin perjuicio de las disposiciones aplicables en materia de salud, seguridad e higiene en el trabajo (artículo 10).

Para las instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, previo a obtener la autorización indicada en el artículo anterior, el responsable del proyecto debe

presentar ante la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) la manifestación de impacto ambiental (artículo 11).

El transportista y el destinatario de los residuos peligrosos deben entregar a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) un informe semestral sobre los residuos que hayan recibido durante ese periodo, para su transporte o disposición final (artículo 25).

Los sistemas de disposición final previstos en el reglamento son:

- 1 Confinamientos controlados.
- 2 Confinamientos en formaciones geológicas estables.
- 3 Receptores de agroquímicos.

La selección del sitio, así como el diseño y construcción de confinamientos controlados y de receptores de agroquímicos deben sujetarse a las normas oficiales mexicanas respectivas (artículo 32).

El proyecto para la construcción de un confinamiento controlado debe comprender como mínimo, celdas de confinamiento, obras complementarias y en su caso, celdas de tratamiento (artículo 32).

Una vez que los residuos peligrosos han sido depositados bajo alguno de los sistemas referidos, el generador o en su caso la empresa de servicios contratada para la disposición final, deben presentar a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) un informe mensual con la siguiente información (artículo 34):

- 1 Cantidad, volumen y naturaleza de los residuos peligrosos depositados.
- 2 Fecha de disposición final de los residuos peligrosos.
- 3 *Ubicación del lugar de disposición final.*
- 4 Sistema de disposición final utilizado para cada tipo de residuo.

A su vez, los lixiviados que se originen en las celdas de confinamiento o de tratamiento de un

confinamiento controlado, deben recolectarse y tratarse para evitar la contaminación del ambiente y el deterioro de los ecosistemas (artículo 35).

La Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) puede determinar que ciertos residuos no deben ser depositados en ninguno de los sitios a que se refiere el reglamento. Estos residuos deben tratarse de acuerdo a las normas correspondientes (artículo 40).

Por otro lado, no se concederá autorización para la importación de residuos peligrosos, cuyo único objeto sea su disposición final en el territorio nacional (artículo 53).

c) Normas oficiales mexicanas (NOM) para la disposición de los residuos sólidos

En el ámbito federal, existen también normas relativas a la determinación de diversos parámetros de los residuos sólidos municipales. La mayoría de las normas relacionadas con los residuos sólidos municipales fueron elaboradas y publicadas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) con la denominación Norma Oficial Mexicana (NOM); posteriormente, la extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) elaboró un cierto número de Normas Técnicas Ecológicas (NTE), aunque enfocadas fundamentalmente al manejo de los residuos peligrosos. Cabe mencionar que a la fecha existe una carencia de normas relativas al barrido, recolección transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales, debido posiblemente a la atención prioritaria otorgada a los residuos peligrosos, campo en el que se carecía totalmente de normas.

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización de junio de 1992 ha unificado criterios respecto a la nomenclatura de las normas en México, modificando la antigua denominación utilizada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). De esta forma, las Normas Técnicas Ecológicas en materia de residuos pasaron a ser Normas Oficiales Mexicanas.

En materia de residuos sólidos municipales, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) ha elaborado y publicado un cierto número de normas desde hace más de diez años, que si bien no se refieren a los rellenos sanitarios en particular, se enlistan a continuación por considerarse de interés y en estrecha relación con el tema del presente capítulo:

NOM-AA-16-1984	Determinación de humedad
NOM-AA-18-1984	Determinación de cenizas
NOM-AA-24-1984	Determinación de nitrógeno total
NOM-AA-25-1984	Determinación de pH. Método potenciométrico
NOM-AA-92-1984	Determinación de azufre
NOM-AA-15-1985	Método de cuarteo
NOM-AA-19-1985	Peso volumétrico "in situ"
NOM-AA-21-1985	Determinación de materia orgánica
NOM-AA-22-1985	Selección y cuantificación de subproductos
NOM-AA-33-1985	Determinación de poder calorífico
NOM-AA-52-1985	Preparación de muestras en laboratorio para su análisis
NOM-AA-67-1985	Determinación de la relación carbono-nitrógeno
NOM-AA-68-1986	Determinación de hidrógeno
NOM-AA-90-1986	Determinación de oxígeno

Cabe señalar que actualmente la autoridad competente se encuentra en proceso de actualizar las normas arriba listadas.

En materia de disposición final de residuos sólidos municipales, la entonces Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de junio de 1994, el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994, que establecía las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales. Posteriormente, el lunes 25 de noviembre de 1996, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. En esta norma se establecen los lineamientos que deben observarse en México para la selección de sitios para ubicar un relleno sanitario. Por la importancia de esta norma, se anexa al presente texto como parte integrante del mismo.

Por otra parte, la misma Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) se encuentra elaborando el proyecto de NOM-084-ECOL-1997, que establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario. Este proyecto se encuentra en un grado de avance significativo y es de esperar su publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en fecha próxima, para consulta de los interesados. El título de la norma explica por sí sólo su contenido.

CAPITULO II

TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS

CAPITULO II

TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS

En este capítulo se presentan las características generales de la zona de estudio, así como el proyecto de clausura del tiradero.

II.1 CARACTERISTICAS GENERALES

Los tiraderos y rellenos sanitarios fuera de servicio constituyen serios problemas, solamente cuando originan un impacto sobre la salud pública o sobre el ambiente, producido directamente por los residuos o por los subproductos de los mismos, tales como emisiones de gases y sus migraciones del relleno sanitario así como la producción de lixiviados.

En muchas situaciones, el relleno sanitario permanece como un vecino benigno, sufriendo los procesos naturales de descomposición que suceden sin ser detectados y no son peligrosos. No obstante, como el incremento de la población ha producido cambios en la utilización del terreno, los rellenos sanitarios fuera de servicio y abandonados, pueden llegar a producir impactos sobre la actividad humana. En este contexto, dentro de las comodidades se debate mucho acerca de los impactos del relleno sanitario, reales o percibidos. La opinión pública quiere saber que hay en el relleno sanitario fuera de servicio y que impactos tendrá sobre sus hogares.

Los pasos que hay que seguir para responder a esta situación son los siguientes: 1) Identificación del lugar, 2) Identificación y estudio de los caminos que pueden seguir los contaminantes para afectar a la población y al ambiente; 3) Análisis de los impactos debido al asentamiento del relleno sanitario; 4) Verificación de los impactos visuales y 5) Medición de las reacciones del público respecto al problema.

a) Identificación de caminos en los contaminantes

Los contaminantes pueden surgir como gases en el aire y suelo o como lixiviados en las aguas superficiales y subterráneas. Si se detecta contaminación en la zona del relleno sanitario, es importante definir las rutas de movimiento constante y el camino desde el relleno sanitario hasta el punto de detección. En el caso de las aguas superficiales, el camino a menudo es el canal de un riachuelo a una superficie erosionada. Para las aguas subterráneas, normalmente el camino es el acuífero superior de las mismas. Los gases del suelo se trasladarán desde las zonas menos permeables, a las más permeables hasta que entren en la atmósfera. Una vez establecido el camino, la práctica común es identificar todas las actividades, humanas y otras a lo largo, del camino para poder complementar una valoración de los impactos de los contaminantes.

b) Consolidación del relleno sanitario

Cuando se descomponen los residuos en un relleno sanitario, se consolida la superficie del terreno. Muchos rellenos sanitarios abandonados, actualmente están cubiertos por una capa de pavimento y/o formado parte de desarrollos urbanísticos. La consolidación de la superficie, produce depresiones que destruyen los caminos de circulación del agua superficial. Las acumulaciones de agua resultantes, originan problemas para el tráfico, así mismo aceleran la rotura del pavimento. Las quebraduras del pavimento y las aguas estancadas, pueden ser una forma de identificar un relleno sanitario abandonado. Tal evidencia física puede complementarse con datos históricos procedentes de archivos y con entrevistas en la zona. Los impactos de la consolidación incluyen: destrucción de los caminos superficiales para el flujo del agua, roturas de pavimentos, incremento del flujo de gas procedente de los residuos y daños en las tuberías y en los conductos de servicios públicos.

c) Impresiones y perspectivas

El impacto de un tiradero abandonado, sobre los residentes de una comunidad, es negativo, produciendo inquietudes y temores acerca de la posible contaminación de las aguas y

posibles explosiones del gas del relleno sanitario. Estas inquietudes y temores se manifiestan en demandas de acción por parte de las autoridades elegidas, que perciben que están dejando sin resolver un problema importante. En el Estado de California, E.U.A, la legislatura estatal respondió a estas inquietudes, aprobando una ley que obligó a realizar investigaciones sobre las aguas subterráneas y el aire, en los tiraderos o rellenos sanitarios, para determinar los impactos sobre los ciudadanos del Estado. Estos ensayos sobre valoración de residuos sólidos, actualmente se llevan a cabo en los vertederos activos y clausurados, con un costo importante para los residentes del Estado. En la mayoría de los casos, estos costos se recuperan cobrando a los usuarios actuales de las instalaciones comunitarias las cuotas necesarias para la disposición final de los residuos sólidos. Las opiniones del público pueden tener un impacto económico significativo sobre el costo de un sistema de gestión de residuos.

d) Cuantificación del problema y clasificación del lugar

Las actividades correctivas para un lugar de disposición final de residuos, están muy influidas por las normatividades federales y estatales sobre la salud pública y el ambiente. En la mayoría de los casos, las normativas están estructuradas para establecer límites según el contaminante, teniendo los contaminantes tóxicos las normas más restrictivas sobre cantidades permitidas en el ambiente, el tipo y la cantidad de contaminantes en un lugar activo, será la base para solucionar los problemas del lugar. Aunque no es posible definir la multitud de problemas que podrían desarrollar los contaminantes en un lugar fuera de servicio, sí se puede definir un procedimiento a seguir para responder a un problema identificado.

e) Ensayo ambiental

Cuando se ha identificado que un lugar de disposición final de residuos fuera de servicio origina problemas ambientales, es importante llevar a cabo ensayos de campo para definir los tipos y cantidades de contaminación que provocan el problema. Las investigaciones en campo para identificar el tipo y la cantidad de contaminantes, son costosas e interrumpen la utilización actual del terreno en el lugar o en el camino que se prevea sigue el movimiento de

los contaminantes. Cuantificar el movimiento subterráneo de contaminantes desde un lugar de disposición final de residuos fuera de servicio, es costoso, porque normalmente se sabe poco o nada sobre los estratos inferiores. Por los tanto, es prudente hacer una aproximación estructurada de la recolección de datos de campo, que lleve la investigación a través de una serie de pasos, cada uno de los cuales tendrá un objetivo concreto y un presupuesto para llevarlos a cabo. En la tabla 1, se presenta el procedimiento.

Después de cada paso y antes de empezar el siguiente, el investigador, tiene la oportunidad de modificar el plan original general de investigación, para encajar mejor los datos obtenidos en el trabajo de campo.

TABLA 1

Procedimientos para el análisis ambiental en un relleno sanitario fuera de servicio.

Paso	Objetivo
Reunirse con la plantilla de la agencia reguladora u organismo.	Para abrir una línea de comunicación, desarrollar un conocimiento preliminar sobre que regulaciones podrían aplicarse al problema; obtener una lista de necesidades de datos para la agencia, basados en valoraciones preliminares del problema.
Revisar la documentación.	Recolectar y revisar todos los informes previos y trabajos de campo hechos en el lugar.
Planificar y llevar a cabo una investigación de campo de primera etapa.	Para definir mejor el tipo y la concentración de contaminantes, desarrollar una forma rentable de perforaciones de suelo y pozos de supervisión de agua subterránea para definir el problema; identificar la extensión del área afectada y las concentraciones de los contaminantes; utilizando los datos obtenidos de la revisión de documentos y de entrevistas empleados con antigüedad, determinar si los contaminantes son del mismo tipo que aquellos encontrados en los rellenos sanitarios de residuos sólidos.
Desarrollar un modelo para el movimiento de contaminante.	Para predecir la eficacia de las acciones correctoras; cumplir los requisitos de la agencia sobre precisión de modelos para la hidráulica y el transporte de solutos; fijar normativas de limpieza para los suelos, agua subterránea y aguas superficiales.
Planificar y llevar a cabo una investigación de campo de segunda etapa	Para verificar el modelo y fijar los bordes de la zona que será corregida, definir la extensión del agua subterránea y las dimensiones horizontales y verticales de la contaminación del suelo hasta los límites de las acciones correctoras por un contratista de construcción.
Reunirse con la agencia reguladora u organismo.	Informar sobre el resultado del ensayo.

f) Valoración preliminar

El paso de valoración preliminar se utiliza para identificar el potencial de peligro en un lugar determinado. Los objetivos primarios de la Valoración Preliminar son: 1) Determinar si se ha

producido una emisión de contaminantes desde el lugar, 2) Determinar si hay algún peligro inmediato para las personas residentes o que trabajan en las inmediaciones del lugar y 3) Determinar si es necesaria una inspección de la zona. La valoración preliminar implica los siguientes pasos :

- Revisión de la información existente.
- Determinación del lugar.
- *Determinación de penetraciones preliminares y proyectadas.*
- Aplicación de criterios cualitativos.
- Prioridad para la inspección del lugar.
- Preparación del informe.
- Documentación.
- Desarrollo de la información.

Basándose en los resultados de la valoración preliminar del lugar, puede optarse por una de las siguientes acciones :

1. Si no hay amenaza para la salud pública o para el ambiente, no son necesarias más acciones.
2. Se necesita información adicional para completar la valoración preliminar.
3. Es necesaria la inspección del lugar.

g) Inspección del lugar

La inspección del lugar implica el muestreo para determinar los tipos de contaminantes y para identificar la extensión de la contaminación. Antes de inspeccionar el lugar deben prepararse y aprobarse un plan detallado y un plan de seguridad de la zona. Los objetivos de la investigación del lugar son : 1) Determinar qué emisiones son una amenaza para la salud pública y el ambiente, 2) Determinar si existe alguna amenaza inmediata para las personas que viven cerca del punto o lugar de emisión del contaminante y 3) Recoger datos para determinar si el lugar debería incluirse en la Lista de Prioridades Nacionales (LPN). Por lo

general, si los contaminantes están en la lista publicada de materiales peligrosos y tóxicos, la clasificación se realizará de acuerdo con las normativas estatales o locales.

h) Análisis de la clasificación del peligro

El paso final para determinar si un lugar debería estar en la Lista de Prioridades Nacionales es clasificar el lugar utilizando el Sistema de Clasificación del Peligro (SCP) de la Agencia de Protección Ambiental. La clasificación SCP se basa en la probabilidad de daño para las poblaciones humanas y para el ambiente por la migración de sustancias peligrosas implicando a las aguas subterráneas, aguas superficiales o aire. Se desarrolla una puntuación compuesta, basada en las puntuaciones para cada una de las rutas posibles de migración de contaminantes. La puntuación para cada ruta migratoria se obtiene asignando un valor numérico basado en líneas directrices predeterminadas, de acuerdo con las definidas en la Lista de Prioridades Nacionales, según una serie de condiciones o factores que pueden utilizarse para caracterizar el potencial de la emisión para causar daño.

i) Soluciones para rellenos sanitarios de residuos peligrosos

Las alternativas para solucionar los problemas asociados a los residuos que han sido designados como lugares de residuos peligrosos, están limitados a aquellas incluidas en las líneas directrices establecidas por las agencias federales y gubernamentales.

La Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos) ha establecido una serie fija de procedimientos para proponer medidas correctivas en los lugares de residuos peligrosos que han sido designados de acuerdo con el Sistema de Clasificación del Peligro. Cuando se encuentran residuos peligrosos en un relleno sanitario fuera de servicio, la solución requerida normalmente es la separación de la fuente de la contaminación. La separación total de los materiales peligrosos es especialmente importante cuando el relleno sanitario fuera de servicio está localizado cerca o debajo de estructuras ocupadas. El público no puede comprender ni aceptar una solución que deje los residuos peligrosos cerca de sus hogares. El

alto nivel de sentimientos negativos del público no permiten el uso de acciones tradicionales de clausura y postclausura de rellenos sanitarios para un problema de residuos peligrosos.

Los procedimientos en los lugares incluido en el superfondo se resumen en la tabla 2. El costo de la solución bajo el superfondo es muy alto, y cuando los rellenos sanitarios de residuos sólidos no contienen residuos peligrosos, no es la solución normalmente elegida para un relleno sanitario fuera de servicio.

TABLA 2.
Procedimiento de lugares incluidos en el superfondo.

Acción	Observaciones.
Investigación Correctora/Estudio de Viabilidad (IC/EV).	La IC/EV es la segunda acción más costosa en una acción correctora de Superfondo, ya que afronta: 1) las condiciones en el lugar, incluye fuentes y extensión de la contaminación, caminos y exposición potencial; 2) un plan de control de calidad para el muestreo de datos y 3) los planes de salud y seguridad utilizados durante la acción correctora.
Archivo de Decisiones (AD)	El AD es la selección oficial de la alternativa preferida de la IC/EV. El AD incluye un diseño conceptual y una estimación preliminar de los closets.
Diseño de la Acción Correctiva (DAC).	El DAC es el Diseño de ingeniería detallado que se utilizará para construir la alternativa seleccionada en el AD. El DAC incluye planes y especificaciones y requisitos operacionales detallados para las alternativas que requieren una operación a largo plazo, tales como correcciones sobre aguas subterráneas.
Acción Correctora (AC).	La AC es la acción de la limpieza. La AC incluye la construcción y operación de la acción correctora y será la actividad más costosa en la corrección.

La Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos) ha preparado líneas directrices sobre el diseño de acciones correctoras en rellenos sanitarios. En la práctica, estas líneas directrices se han convertido en normas obligatorias frente a las que se contrastan las actuaciones.

Las soluciones para rellenos sanitarios fuera de servicio que contienen residuos peligrosos, requieren acciones similares a las adoptadas para la clausura de los rellenos sanitarios existentes y para el mantenimiento postclausura. La naturaleza única de las soluciones para rellenos sanitarios fuera de servicio es más evidente cuando el lugar ha sido edificado o tiene otro uso provechoso. Según la gravedad de la contaminación, los usos actuales pueden verse afectados severamente llegando incluso al abandono del lugar. En casos extremos, el costo de la solución puede ser alto para desplazar la instalación existente.

Una solución completa para un relleno sanitario fuera de servicio, en la mayoría de los casos, tendrá tres partes: una parte de solución, que elimina todo o una parte importante del problema, una parte de atenuación, que reduce la severidad del problema, y una parte de supervisión, utilizada para controlar la solución en el fin de asegurar que el problema ha sido eliminado. La agencia reguladora y el propietario del vertedero determinarán la contribución relativa de cada parte a la solución del problema.

j) Eliminación de la fuente del problema

En la tabla 3 se presentan los tipos de problemas y las acciones necesarias para eliminar los mismos en el origen. Los problemas listados, son los más comunes en los rellenos sanitarios de residuos no peligrosos. El problema de la erosión del suelo se soluciona con un costo razonable cuando el relleno sanitario fuera de servicio no ha sido mejorado para usos productivos. Los problemas de metano y otros gases serán los más caros de solucionar, si el relleno sanitario y el terreno circundante han sido mejorados para usos productivos, porque el equipo de perforación y las máquinas para excavar zanjas no tendrán un buen acceso a las zonas de trabajo.

TABLA 3

Tipos de problemas en los rellenos sanitarios fuera de servicio y las acciones para eliminar los problemas en el origen.

Tipo de problema	Acción en el origen para eliminar el problema.
Asentamiento superficial del terreno	Llevar suelos adicionales al lugar para rellenar las zonas de asentamiento; repavimentar las zonas pavimentadas donde sea necesario; plantar vegetación nueva cuando sea necesario para eliminar vistas antiestéticas y proteger el suelo contra la erosión.
Erosión del suelo y exposición de los residuos.	Llevar suelos adicionales al lugar para rellenar las canales de erosión; instalar tuberías de metal o canales de concreto para llevar las aguas pluviales, cruzando el relleno sanitario hasta puntos de descarga fuera del lugar; devolver todos los residuos al lugar que fueron trasladados cuando estuvieron expuestos, y enterrarlos debajo de los suelos nuevos que rellenan las canales de erosión.
Gas metano en edificio en el relleno sanitario.	Instalar un sistema de ventilación de gas por debajo del edificio y operar el sistema cuando sea necesario para extraer el gas.
Gas metano en edificio fuera del relleno sanitario.	Instalar un sistema perimétrico para controlar la migración del gas; operar el sistema cuando sea necesario para prevenir el movimiento del gas fuera del lugar; si se genera suficiente gas en un relleno sanitario fuera de servicio; instalar pozos de extracción de gas en el relleno sanitario y utilizar éste para generar energía.
Lixiviados en el relleno sanitario que se mueven fuera del lugar con las aguas subterráneas.	Interceptar los lixiviados en el punto de rotura superficial en el relleno sanitario; bombear los lixiviados a una instalación de tratamiento apropiada.
Lixiviados del relleno sanitario fuera del lugar.	Interceptar los lixiviados debajo del suelo en el borde del relleno sanitario, utilizando una zanja interceptora o muro de retención en las aguas subterráneas; instalar equipos para bombardear lixiviados para su tratamiento.

k) Atenuación para reducir la severidad del problema

Cuando la contaminación que produce un relleno sanitario fuera de servicio tiene una *solución rápida difícil, o cuando requiere una acción que no es una solución, para preservar la salud pública*, entonces habrá una acción de atenuación para el lugar. En algunas situaciones, las acciones de atenuación se producirán mientras se desarrollan las acciones.

Las acciones de atenuación para los lixiviados pueden clasificarse en tres tipos :

1. Sellar el lugar para prevenir la entrada de agua en los residuos, reduciendo así la cantidad de lixiviados en el relleno sanitario (un sellado típico sería una capa nueva impermeable colocada encima de la cobertura actual).
2. Abandonar los pozos de agua contaminados e instalar líneas nuevas de servicio de agua para las viviendas servidas por los pozos contaminantes.
3. Añadir equipamiento para tratar el agua en la cabeza del pozo separando la contaminación hasta los niveles seguros para el agua potable.

La acción de atenuación para gases de rellenos sanitarios requiere la compra y derribo de los edificios que no estén seguros a causa de la migración del gas. Esta atenuación extrema y costosa se utilizaría solamente si el gas se está moviendo en suelos de alta permeabilidad y la cantidad de gas es tan grande como para hacerse impracticable cualquier otra solución bajo las condiciones económicas existentes.

l) Supervisión para la atenuación del problema

Las agencias reguladoras requieren la supervisión de la solución como una forma de comprobar la eliminación del problema de contaminación. El tipo y el número de puntos de supervisión dependerán del problema resuelto. Un problema de lixiviados necesitará la supervisión de aguas subterráneas. Un problema de gas necesitará la supervisión de los suelos y el aire.

II.1.1 UBICACION

El municipio de Mérida pertenece al Estado de Yucatán. Este se localiza al norte de la península de Yucatán, limita al norte con el Golfo de México, al Sureste con el estado de Quintana Roo y al Suroeste con el estado de Campeche. Su principal vía de acceso es por la carretera del Golfo a 252 Km de Mérida-Campeche.

El municipio de Mérida es territorio de la región metropolitana, se ubica a 36 Km del Puerto de Progreso. Se encuentra dentro de la región administrativa No. 32 que comprende la planicie de Yucatán; colinda al norte con el municipio de Progreso, al este con los municipios de Chicxulub pueblo, Conkal, Yaxkukul, Tixkokob, Tixpénhual, Kanasín y Timucuy; al sur con el municipio de Abalá y al Oeste con los municipios de Umán y Ucú.

Su superficie es de 858.41 Km²; representa el 2% de la superficie territorial del Estado y el 0.04% del territorio nacional; con coordenadas extremas, Norte 21° 11'; al Sur 20°41' de latitud Norte; al Este 89° 29' de longitud Oeste y al Oeste 89° 48'.

II.1.1.1 Ubicación del área actual

El tiradero municipal se localiza en el extremo noroeste, sobre la margen derecha del periférico de la ciudad en dirección norte-sur, abarcando una superficie de 23 hectáreas.

II.1.2 GEOMORFOLOGÍA

La Península de Yucatán está constituida por sedimentos marinos del periodo Terciario, los cuales están compuestos por sedimentos de tipo calcáreos.

De acuerdo a criterios fisiográficos, el estado de Yucatán está comprendido por la provincia del mismo nombre, que a su vez se divide en dos subprovincias, denominadas Llanuras con Dolinas y Plataforma de Yucatán.

La Subprovincia Llanuras con Dolinas abarca las porciones norte y centro de la entidad, se considera como una cosa calcárea, que posee relieve ondulado donde se alternan crestas y depresiones, se diferencia por su topografía Kárstica, originada por la acción disolvente del agua. Con numerosas cavidades de disolución, variando su tamaño desde oquedades minúsculas hasta grandes depresiones, conocidas localmente como cenotes.

La plataforma de Yucatán se extiende en la parte Suroeste del Estado, dentro de la cual se nota la sierra de Ticul conformada por dos lomeríos en cadenas paralelas, una cruza la porción meridional y se interna en Quintana Roo, la otra conocida como sierra de Maxcanú, se extiende desde los poblados de Halachó hasta Peto, prolongándose hacia el estado de Campeche.

La estratigrafía y la secuencia histórica es relativamente sencilla, en el Paleozoico gran parte de la misma, ya era de carácter platafórmico y se supone que permaneció emergida hasta el Triásico y Jurásico. A partir del Cretácico inferior, se inició la depositación de caliza, dolomitas y anhidritas, prevaleciendo las mismas condiciones hasta el Cretácico superior y casi todo el terciario, en el terciario medio y superior, la parte media y Sur de la Península aparece como una plataforma sumergida, con oscilaciones a poca profundidad y en donde se depositaron principalmente calizas litorales y neríticas. Al final del Plioceno y Cuaternario, la Península adquiere su forma actual, desarrollando alineamientos de arrecifes de tipo biostromal al Norte del Banco de Campeche.

La entidad está constituida por rocas sedimentarias de origen marino del período Terciario hasta el reciente. Las rocas más antiguas son las calizas cristalinas, de coloración clara, dolomitizadas y solidificadas sin fósiles, que datan del Paleoceno hasta el Eoceno inferior y afloran en la sierra de Ticul. Sobre estas rocas yacen calizas fosilíferas del Eoceno medio, microcristalinas de coloración clara, grano fino, estratificación masiva del Eoceno superior; al sur de la ciudad de Mérida afloran calizas y calcarenitas del Oligoceno.

La estructura geológica de la entidad se determinó en dos eventos especiales: un proceso comprensivo, acontecido durante el Eoceno, plegó ligeramente las formaciones, configurando el relieve de la porción Sur del Estado, y el proceso distensivo, que tuvo lugar durante el Mioceno y el Plioceno, originó dos sistemas de fracturas con orientación NE-SW y NW-SE.

Se producen fenómenos de intemperismo que están ligados principalmente por procesos químicos que producen disolución de la roca (caliza) y es causante de un sinnúmero de conductos y cavidades subterráneas comunicadas entre sí. Los procesos erosivos, en particular la erosión vertical, provocan el transporte del suelo que forma la débil capa vegetal, depositándose en oquedades de la masa rocosa, formando suelos blandos conocidos como "coqueras".

II.1.2.1 Orografía

El territorio municipal se caracteriza por la ausencia de desniveles orográficos en toda su extensión. La pendiente del terreno es inferior al 5% con tendencia descendente hacia el Norte.

II.1.2.2 Suelos

El origen Geológico del municipio de Mérida corresponde al área tectónica más reciente de fines de la era Terciaria.

Los suelos son sumamente calcáreos y pedregosos. Están formados por material calizo permeable, margas y calcíferas y de una capa vegetal superficial de pequeña profundidad (50 cm). Existen suelos del tipo redzina al Norte y Sur, y en el centro del tipo litosol.

Los sedimentos calizos que forman la parte superior de la losa yucateca, son depósitos pertenecientes al Cenozoico.

La losa caliza, que debido a sus condiciones de sedimentación y origen principalmente orgánico, carece de estratificaciones claras y bien definidas, sufrió seguramente los efectos de compresión por tectonismo.

II.1.2.3 Climatología

De acuerdo a su posición geográfica, el estado de Yucatán, queda localizado dentro del Cinturón Intertropical, lo cual determina el paso del sol por el cenit dos veces al año, antes y después del solsticio de verano, lo que motiva un régimen climático predominantemente caluroso. No obstante, por ser parte de una península, favorece influencias marítimas de vientos húmedos y frescos que marcan la diferencia térmica entre el día y la noche, lo que permite una homogeneidad relativa de alta temperatura.

II.1.2.4 Tipo de clima

El clima es predominantemente caluroso y subhúmedo con régimen de lluvias de verano. Se presentan los grupos climáticos A y B:

Clima A: Cálidos húmedos y subhúmedos, cuya diferencia fundamental corresponde a su porcentaje de lluvias invernales, regularmente estimadas en 10.2%.

Clima B: Cálidos semisecos con régimen de lluvias de verano y una precipitación invernal mayor de 10.2%.

II.1.2.5 Temperatura

Los valores de las temperaturas máximas, media y mínima obtenidas en la cabecera municipal son: 40.2°C, 26.2°C y 14°C respectivamente.

La temperatura media mensual y anual registrada en las diferentes estaciones muestran como mes más cálido a mayo con 28.1°C en primera estación (Mérida), 29.6°C en la segunda estación y 28.9°C en la estación de Chacsikín y en el mes menos cálido a diciembre y enero con 23.1°C, para la primera estación, 23.5°C y 23.6°C para los mismos meses en la segunda estación y 22.3°C y 22.2°C en los mismos meses en la estación de Chacsikín. La estación primera y Chacsikín registran una temperatura media anual de 25.9°C y la segunda 26.8°C la cabecera municipal registra tipo de clima Aw0 que significa clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Aunque en las inmediaciones de la parte Norte de la ciudad se presenta el clima Bsl(h3) w(x3) que significa seco muy cálido con lluvias en verano.

II.1.2.6 Precipitación

La humedad relativa máxima es de 83%, la media de 72%, y la mínima de 61%. La precipitación pluvial varía de 470 a 930 mm anuales. Normalmente el periodo de lluvias se inicia en los meses de mayo y junio y termina por lo general en septiembre y octubre. De noviembre a febrero se presentan los nortes. Los vientos dominantes proceden del Sureste y del Noroeste.

Dentro del municipio se localizan tres estaciones meteorológicas, dos en la ciudad de Mérida y una ubicada en Chacsikín. Todas se encuentran a una altitud de 10 metros sobre el nivel del mar y el tiempo de registro de las observaciones es variable. La precipitación anual promedio es de 927.8 mm en 55 años de observaciones en la estación de Mérida, 1,005.33 mm en la segunda estación de Mérida con 27 años de registro, y de 1,175 mm en la estación de Chacsikín con un periodo de registro de 16 años, el mes más lluvioso es Septiembre con

175.7, 210.8 y 248.3 respectivamente y el menos lluvioso, para la primera estación en Marzo con 15.4 mm, para la segunda es abril con 14.8 mm y para Chacsikín es marzo con 15.2 mm.

Los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre registran precipitaciones copiosas que varían desde arriba de los 70 mm hasta casi 250 mm.

II.1.3 HIDROLOGIA Y GEOLOGIA

La mayor parte de la península de Yucatán constituye una zona arréica, prácticamente sin drenaje superficial, pues se trata de una gran extensión de escaso relieve y roca madre muro permeable, por lo cual toda o casi toda la circulación del agua es subterránea.

El terreno por su gran permeabilidad absorbe gran parte del agua de lluvia, evitando el escurrimiento superficial e impidiendo la formación de ríos, arroyos y encharcamientos. En el subsuelo se forman depósitos conocidos comúnmente como cenotes. En algunos casos los techos de éstos se desploman y forman las aguadas.

II.1.3.1 Caracterización Litológica e Hidrogeológica.

La clasificación litológica realizada en el estudio para evaluar la contaminación al acuífero por parte de la sección de Hidrología de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) a los núcleos de perforación fue hecha tomando en consideración sus características físicas, es decir, su textura, consolidación, compactación, densidad, porosidad y la presencia de fósiles, analizando cada una de esas características de manera visual por no contar con el equipo necesario para una clasificación más sofisticada.

Los barrenos, en términos generales, indican que el subsuelo del área explorada esta constituido por una caliza alterada y recristalizada muy fracturada de baja permeabilidad aflorando y sobresaliendo a una secuencia de areniscas calcáreas alternando con una arenisca fosilífera y coquinoide en los primeros 32 metros de profundidad, por debajo de la cual y hasta los 50 metros de profundidad existe caliza parcialmente recristalizada y bien cimentada de color beige y de baja porosidad.

Los horizontes hidrogeológicos se definieron en base a los resultados de pruebas de permeabilidad realizadas a los núcleos de los barrenos exploratorios. En total 6 núcleos fueron estudiados. Su selección se hizo considerando que cada núcleo sea representativo de los diversos estratos litológicos arriba definidos. El análisis individual de los núcleos revela que éstos pueden considerarse como isotropos, ya que la permeabilidad horizontal y vertical es muy baja del orden de 1 a 2.5, indicando que existen pequeñas diferencias entre ambas permeabilidades.

Tres núcleos de arenisca calcárea provenientes de diversas profundidades revelan que el estrato de arenisca entre los 6.5 y 9.5 metros de profundidad es hidrogeológicamente isotrópico y homogéneo ya que la relación entre las permeabilidades horizontales de ambos núcleos es de 1.01 y en el sentido vertical su relación es de 1.75. Este primer estrato de arenisca es menos permeable que el existente a los 5 metros. Para efectos prácticos podría considerarse que los primeros 30 metros del acuífero, constituidos por arenisca calcárea y fosilífera son una unidad hidrogeológica homogénea e isotrópica. Por debajo de esta unidad existe otra de características isotrópicas y heterogéneas.

En términos generales se definen dos horizontes hidrogeológicos, que desde el punto de vista de la permeabilidad primaria, uno es más permeable que el otro, el superior constituido por arenisca calcárea y fosilífera cuya potencia media es de 30 metros a partir del nivel del suelo y con un rango de permeabilidad de 10 E-4 a 10 E-5 m/seg y subyaciendo a éste se encuentra el inferior cuyo espesor determinado es de 15 metros y esta representado por calizas parcialmente registradas y bien cementadas con una permeabilidad del orden de 10 E-8 m/seg alternando con areniscas con conductividades hidráulicas del orden de 10 E-5 m/seg, no obstante, puesto que la conductividad hidráulica determinada en el laboratorio a los núcleos de roca no consideran las cavidades de disolución, planos de estratificación y las fracturas presentes en el subsuelo. Los factores arriba mencionados incrementan la permeabilidad del acuífero y le confieren su característica heterogénea y anisotrófica desde un punto de vista macroscópico. Sin embargo, simulaciones numéricas de las características

del acuífero de Yucatán demostraron que a pesar de que existe un sistema cárstico bien desarrollado, este acuífero puede ser tratado como un medio poroso equivalente. El modelo que mejor se ajusta a los datos de campo es un sistema de dos capas, de las cuales la superior, que abarca los primeros 50 metros a partir del nivel freático, produjo una conductividad hidráulica de 0.1 m/seg.

De acuerdo a lo establecido en los párrafos anteriores se puede describir en forma conceptual, el mecanismo de infiltración por el cual el agua pluvial recarga al acuífero. Aún cuando la permeabilidad primaria de la caliza densa y recristalizada que aflora en la superficie es nula, el intemperismo y el débil tectonismo han desarrollado un sistema de fracturas que permite la rápida infiltración del agua pluvial al subsuelo a través de ellas. Se cree que el sistema de fracturas originado por el intemperismo es poco profundo y está limitado por la potencia del estrato de roca que varía entre 1 y 2.5 metros de espesor. Sin embargo, las fracturas desarrolladas por los movimientos tectónicos pueden alcanzar decenas y hasta centenas de metros. Así el agua de infiltración puede recargar el acuífero en forma directa a través de las fracturas más profundas o bien percolar en medio de los intersticios de la arenisca calcárea que subyace a la roca y cuya permeabilidad primaria es del orden de $10E^{-4}$ a $10E^{-5}$ m/s. En otras palabras, el proceso de infiltración en la zona de aereación puede ocurrir de manera dual, ya sea que percole a través de los intersticios granulares de la roca como sucede en acuíferos constituidos por arenas o bien se infiltre a lo largo de las fisuras y conductos de disolución estableciéndose regímenes típicos del caso.

II.1.3.2 Vegetación

En forma general se describe la vegetación del estado de Yucatán como selva baja espinosa caducifolia, selva baja subperennifolia, selva mediana subcaducifolia y selva alta perennifolia, así como sabanas, tulares y popales, petenes y vegetación de dunas costeras, entre otras características de suelos calcáreos.

Dadas las características de éstas selvas no se obtienen productos maderables de importancia económica. No obstante, los cultivos de henequén (*Agave fourcroydes*) representan la contraparte a esta situación, siendo la base económica para muchos agricultores yucatecos. Una de las familias botánicas mejor representadas es la de las leguminosas, que predomina en número de especies sobre las demás familias.

En Yucatán, el bosque espinoso de 5 a 10 m. de alto es secundario y sucesor del bosque tropical caducifolio, que se establece como resultado de la agricultura semi-nómada practicada en esta región. Algunas especies de árboles más comunes que se observan son: *Acacia gaumeri*, *Acacia riparioides*, *Cassia emarginata*, *Mimosa hemiendyta* y *Pithecellobium albicans*. Después del abandono del cultivo se presenta una comunidad de plantas herbáceas y la primera fase del bosque secundario se caracteriza por la dominancia absoluta de *Gimnopodium* o de *Mimosa*.

En el sitio de estudio se observa que la vegetación predominante está representada por matorrales espinosos y por selva baja subcaducifolia principalmente y en las áreas con mayor proporción de humedad se presentan algunos elementos indicadores de vegetación riparia, así como pequeño estrato herbáceo.

II.1.3.3 Fauna

Las especies más comunes que habitan en el municipio de Mérida son mamíferos como conejos, tuzas, zarigüeyas y zorrillos, entre otros. Los reptiles abarcan a una gran variedad de iguanas y serpientes. En el grupo de las aves destacan las golondrinas, palomas y tzutzuy, además de las existentes en la reserva natural de Dzibichaltum.

En el tiradero municipal y sus alrededores se observa fauna nociva, principalmente ratas y zopilotes, además de algunos insectos como moscas, mosquitos y cucarachas.

II.2 PROYECTO DE CLAUSURA

A continuación se exponen las alternativas de solución, las acciones básicas de restauración de la zona afectada, los procedimientos de control, el proyecto de clausura, perfil estratigráfico de la zona y el procedimiento constructivo.

II.2.1.- ALTERNATIVAS DE SOLUCION

La búsqueda de un sistema apropiado para la clausura del tiradero actual de residuos sólidos, deberá de contemplar tres aspectos principales: a) que represente una solución ambientalmente apropiada. Esto es, que elimine los efectos ambientales negativos que hasta el momento se han observado; b) que sea económicamente factible y c) que sea ejecutable desde el punto de vista técnico.

Difícilmente podrá obtenerse una solución que cumpla totalmente con los tres aspectos; sin embargo, es posible lograr una solución eficiente que combine en cierto grado todos ellos.

Para la preparación del sitio, es necesaria la cuantificación del área requerida, para lo cual fue necesario realizar un trabajo de nivelación, que consistió en el levantamiento de secciones topográficas orientadas en dirección E-W, y espaciadas cada 10 m, sobre los apilamientos de material no estabilizado y del material estabilizado.

Cuantificación del volumen actual de residuos sólidos. Con base en los resultados del levantamiento topográfico practicado en el sitio actual de disposición de los residuos, se determinó que el basamento de las pilas de basura, se encuentra en promedio a 9.20, msnm y la pila de altura máxima es de 14.92 msnm resultando un apilamiento máximo de 5.72 m de altura. Los volúmenes son :

Residuos estabilizados		Residuos no estabilizados.	
No. Pila.	Volumen (m3)	No. Pila.	Volumen (m3)
1	292.5	11	428.35
2	394.875	12	85,525.00
3	10,317.53		
4	480.93		
5	4,209.01		
6	529.22		
7	894.75		
8	1,080.44		
9	2,216.00		
10	3,214.14		
Total	23,629.445	Total	85,953.35

A continuación, se proponen dos alternativas técnicamente posibles para la clausura del tiradero :

II.2.1.1 Alternativa No. 1

Esta opción, implica la construcción en todas sus etapas de un relleno sanitario a un costado de las pilas de residuos no estabilizados, donde se confirmarán los mismos, seguido de su posterior clausura, de las medidas de monitoreo y del proyecto de utilización final del sitio.

Las etapas a considerar serán las siguientes :

- a) Preparación del sitio para el confinamiento de los residuos no estabilizados.
- b) Traslado de los residuos hasta el sitio de disposición final, utilizando el sistema de relleno sanitario por zona.
- c) Construcción del área de cobertura final y programa de reforestación.
- d) Construcción de los sistemas de control de las aguas superficiales.

- e) Construcción de los sistemas de control de gases.
- f) Construcción de los sistemas de control de lixiviados.
- g) Elaboración de un programa de supervisión ambiental.

II.1.2.2 Alternativa No. 2

La clausura de un tiradero municipal implica reorientar el uso del suelo, sin embargo no puede ser cualquier uso, se recomienda enfocarlo a actividades deportivas o de esparcimiento. En este sentido y dada la magnitud del área (23 ha), se deberán realizar acciones tendientes a restaurar el paisaje, así como la calidad ambiental, que permitan aprovechar un área con tales dimensiones.

En este sentido, se proponen las siguientes acciones :

- 1) Manejo extensivo de los desechos sólidos recientes no estabilizados.
- 2) Extracción de aguas del sistema freático impactado para su tratamiento in-situ.
- 3) Redistribución de los materiales sólidos ya estabilizados para formar un biofiltro que permita efectuar un tratamiento de recuperación del sistema freático a largo plazo.
- 4) Recuperación de la estética del escenario natural mediante reforestación y creación de jardines.
- 5) Manejo de gases.
- 6) Manejo de aguas pluviales.
- 7) *Uso intensivo del material orgánico con fines culturales (creación de un vivero).*
- 8) *Uso extensivo de las áreas disponibles con fines recreativos.*

El objetivo final de la clausura, alberga múltiples opciones de uso, entre ellas la creación de un jardín botánico, el establecimiento de un vivero y la conformación de un área deportiva.

Estas tres funciones englobadas en un solo concepto, pueden fomentar y fortalecer los programas que en materia de educación ambiental esté realizando el municipio, ya que de

alguna manera, iducirá a la población en el proceso de selección, manejo y disposición final de los desechos domésticos, así como en el reciclamiento, reuso y reducción de los mismos.

El jardín botánico por si solo constituye un importante concepto cultural ya que el enfoque que se le puede dar es variado; es decir, puede ser su espacio demostrativo de flora regional o exclusivamente *etnobotánico*, destacando aspectos de importancia económica, agrícola, ornamental, medicinal o ritual, entre otros.

El establecimiento del vivero apoyaría los programas de reforestación urbana de Mérida, tratando de mantener siempre árboles en buen estado tanto en las principales avenidas, como en escuelas o parques ubicados en distintos sitios de la ciudad.

La conformación de un espacio deportivos cumpliría con uno de los principales objetivos de esparcimiento, dado que cercano a este tiradero se ubica un fraccionamiento, el cual puede canalizar a los habitantes a hacer un uso apropiado de estas instalaciones.

II.2.2.- ACCIONES BASICAS DE RESTAURACION

Uno de los mayores problemas que existen en un proceso de clausura es el manejo de los residuos con mayor potencial de contaminación, proveniente de las características intrínsecas de los materiales. En particular, el sitio del tiradero municipal de la ciudad de Mérida contiene altos volúmenes de desechos sólidos no estabilizados que están generando en la actualidad fuertes concentraciones de lixiviados, que inobjetablemente están adicionando un mayor nivel de contaminación al sistema freático de la localidad.

En ese sentido, se vuelve imperativo un esquema de manejo para los desechos sólidos recientes, que permita controlar los mecanismos de liberación de lixiviados. Para este fin, se han contemplado dos propuestas aplicables el confinamiento de los desechos. La decisión de cualquier alternativa a adoptar, estará dictada por la disponibilidad de los recursos económicos requeridos para la ejecución del proyecto correspondiente.

En forma específica, en la primera de las alternativas (procedimiento activo) se considera la implementación de una celda de relleno sanitario para el confinamiento de las basuras recientes, considerando una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 70,000 m³, suficiente para contener de manera compactada el total de la basura de más reciente depositación.

Para esta opción, se plantea la construcción de una celda de 1.0 hectáreas, con una elevación hasta de 9 metros a partir del nivel natural del suelo. La ubicación de la celda se establece sobre el área que actualmente ocupan las lagunas de oxidación, cuya superficie representa cerca del 50% del área requerida. Los otros 5,000 m² de fondos compactados e impermeabilizados pueden ser construidos mediante áreas cementadas adicionales, o bien recurrir a la aplicación de membranas sintéticas de doble capa, para un manejo adecuado de los lixiviados potencialmente generados.

Para la construcción del sistema de control de lixiviados de la celda, se consideró la posibilidad de construir un sistema de drenaje a base de ductos de PVC ranurado de 6" inmersos en una matriz de grava de cuarzo, para favorecer la captación hacia un sistema de tratamiento. En el vaso recolector, se encontrará con un mecanismo manual de neutralización mediante la adición de cal activada y de precipitación por incremento del pH hasta niveles de las 10.3 unidades. Una vez floculado, el material sedimentado podría ser canalizado hacia la construcción de bloques, con el fin de asegurar un confinamiento físico seguro.

Por otra parte, los sobrenadantes del lixiviado ya tratado serían canalizados hacia el vaso regulador, donde serán sometidos a un proceso de dilución y de aireación simultáneamente. de esta manera, se podrá asegurar un manejo más confiable de los lixiviados.

La segunda alternativa, se fundamenta en la consideración de que los desechos compactados y ya estabilizados, pueden funcionar como una barrera impermeable contra los lixiviados generados por las basuras más recientes no-estabilizadas ubicadas en las capas más superficiales de los montículos de basura.

Para este fin, se desarrolló un esquema de manejo de las basuras, donde se plantea la compactación y acomodo de los desechos hasta formar un basamento de 5-6 hectáreas con una altura de 1.5 metros. Este basamento estaría confinado superficialmente mediante la construcción de un dique perimetral hecho de piedra negra o roca caliza cementado, para evitar los escurrimientos de los lixiviados de manera lateral. Adicionalmente, se consideró en la propuesta, la implementación de barreras laterales subterráneas alrededor del basamento, hechas a base de materiales impermeabilizantes, como mezclas de sashcab con coracal, para evitar los escurrimientos subterráneos de lixiviados hacia áreas aledañas a la estructura de confinamiento pasivo. Este basamento estaría recubierto con capas alternadas de sashcab y basura estabilizada, a fin de crear una barrera con capacidad de reducir la infiltración de las aguas pluviales o de riego.

Los escurrimientos pluviales superficiales serían canalizados mediante pendientes, hacia un vaso regulador ubicado estratégicamente en la porción mas baja del sitio del tiradero municipal.

II.2.2.1 Recuperación del manto freático

Dada la magnitud del impacto del manto freático por el lixiviado de la materia orgánica que por 10 años se ha venido descomponiendo y a la vez estabilizado, se propone como alternativa de recuperación, la extracción de agua, mediante 8 pozos profundos ubicados en la periferia del área impactada.

Los pozos estratégicamente ubicados se operarán a base de veletas movidas por la fuerza del viento (fuente eólica) con el objeto de evitar algún posible gasto de energía eléctrica, por lo que la operación de dichos pozos será económicamente rentable. La experiencia ha demostrado que la extracción de agua por medio del sistema antes mencionado es factible de operar a bajo costo, con una vida útil de por lo menos 15 años y con un mínimo de esfuerzo.

El agua recuperada de los pozos, misma que puede estar bastante contaminada, se utilizará para regar áreas verdes de la zona en cuestión. El proceso de rehabilitación es el siguiente:

El agua extraída de los pozos, será conducida hacia 3 tanques elevados 88 metros) con capacidad de 10 m³, los cuales distribuirán el agua para su aspersión en las áreas verdes. Este proceso es propuesto porque se ha reconocido la funcionalidad de los biofiltros.

La presencia de las veletas de viento pueden ser difundidas como parte del proceso de educación y concientización de la labor de restauración aplicada; y se pueden convertir en el símbolo de recuperación de un área impactada.

II.2.2.2 Tratamiento del sistema por medio de biofiltros

Proceso de Filtración Rápida (FR) es la aplicación controlada de aguas residuales a una cuenca en suelos rápidamente permeables (Por ejemplo, franco-arenoso, limo-arenoso y arenoso) *con alta velocidad*. El tratamiento es realizado a través de interacciones biológicas, químicas y físicas, en la matriz de suelos con estratos cercanos están las zonas más activas.

El diseño requiere de un sendero de flujo de infiltración y típicamente canales laterales para el flujo del sitio de aplicación. Una aplicación cíclica, es la típica forma de operación con periodos de inundación, seguidos por periodos de desecación. Esto permite la restauración aeróbica de la superficie de infiltración y drenaje de la percolación aplicada.

Los aspectos geohidrológicos del sitio son más críticos que para otros procesos, ya que debido a las condiciones del subsuelo y de los sistemas locales de aguas subterráneas son esenciales para el diseño. Una porción muy grande de aguas residuales aplicadas llegan a los mantos freáticos o acuíferos con bajo coeficiente de suelos tratados. El agua percolada es colectada para reuso por drenaje subterráneo.

En algunos casos el agua percolada puede moverse directamente hacia acuíferos subterráneos dentro de corrientes cercanas.

El principal objetivo de un sistema de rápida infiltración, es el tratamiento de aguas contaminadas y para esto se implementa un sistema definido de capas de material orgánico, para el cual los criterios de operación son desarrollados para alcanzar la meta.

El agua, al pasar por un proceso de aireación, se enriquece con oxígeno, con lo cual se o remueve cerca del 50% de nitrógeno presente en el agua, el fósforo se remueve en un rango de 70 a 95% al ser utilizado por los vegetales de las áreas verdes. Por otro lado los coliformes fecales y sólidos suspendidos son removidos a un nivel, en la mayoría de los casos, por lo que el agua en su retorno hacia el manto freático ha sufrido un proceso de depuración, y mejoramiento en la calidad de la misma.

El agua tratada de esta manera será primordialmente aplicada al mantenimiento de las áreas verdes del parque. Sin embargo, hay otros objetivos con respecto a la utilización de la disposición final de las aguas tratadas. Ellas son :

- 1) Recarga de aguas subterráneas.
- 2) Recuperación de agua tratada para reuso subsecuente o descarga.
- 3) Recarga de corrientes superficiales.
- 4) Almacenamiento estacional de aguas tratadas debajo del sitio con recubrimiento y reuso agrícola durante la fase de crecimiento.

Dado que el proceso de biofiltrado será un proceso cíclico, la recuperación del manto freático se dará de manera gradual y constante. No obstante, se reconoce que la duración del proceso de tratamiento puede extenderse por más de 10 años.

II.2.2.3 Recuperación de la estética por reforestación

Después de la recuperación del área se llevarán a cabo acciones para la restauración del paisaje, las cuales proporcionarán un beneficio a la población cercana a la zona. Se plantea que con las acciones de reforestación se contará con un espacio propicio para el hábitat de muchas especies animales, principalmente aves.

En este aspecto se recomienda la plantación de árboles de especies nativas en toda la periferia, así como algunos frutales que servirán de alimento para la fauna del lugar y posiblemente para dar sustento a las acciones de rescate de algunas especies en peligro de extinción.

Así mismo, las áreas forestadas permitirán contribuir a la calidad atmosférica ya que sirven de barrera física a la dispersión de polvos y gases, además de que son un elemento fundamental para la protección del suelo contra la erosión del viento, la lluvia, el sol y la evaporación.

Finalmente, la forestación contribuiría a elevar la calidad de vida de la población, así como a la concientización de la importancia que tienen las áreas verdes en la población del medio ambiente.

II.2..2.4 Manejo de gases

La degradación de los residuos sólidos provoca entre otras cosas la emisión de gases, como producto de los procesos de descomposición anaeróbica que experimentan las basuras una vez que han sido confinadas en un ambiente carente de oxígeno. Entre los principales gases que se generan en estos procesos se caracterizan los niveles de bióxido de carbono, de metano y en ocasiones, cuando existe carencia de humedad, se producen altos niveles de sulfuro de hidrógeno.

Como todos los compuestos gaseosos, estas emanaciones tienden a dispersarse o acumularse, dependiendo de las condiciones de manejo. Por esta razón, cuando las emisiones gaseosas no son tratadas o manejadas adecuadamente, pueden causar efectos adversos al ambiente, entre ellos, malos olores y daño a los organismos que habitan en las inmediaciones. En casos extremos, se pueden generar condiciones de explosividad.

El proyecto de clausura contempla como medida de restauración la elaboración de una celda, en la cual se instalará la basura más recientemente apilada y compactada hasta una altura de

8 a 10 metros, a fin de confinar los componentes más impactantes de los volúmenes de basura acumulada.

Con el propósito de evitar problemas de difusión lateral y/o acumulación hasta niveles explosivos, se hace necesario el control de los gases que pudieran ser emitidos dentro de la celda. Una forma eficiente para el manejo de los gases emitidos en esquemas de esta naturaleza es la implementación de un sistema de extracción de condición pasiva.

Por esta condición, la celda propuesta contará con pozos de extracción de gas, que estarán integrados mediante pilares de llantas sostenidas con varillas de construcción, estos pilares se rellenarán con grava de piedra, cuya permeabilidad permitirá la difusión de los gases y de esta manera se reducirá la actividad de los compuestos gaseosos.

II.2.3 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL

Durante la fase de diseño de clausura de un tiradero, muchos problemas pueden ser evitados si se da una atención apropiada de las condiciones del sitio y el diseño de un perímetro detallado. Por ejemplo, la selección más difícil de las condiciones del área es el drenaje y por lo tanto, el más importante elemento de diseño es el plan de Drenaje/Desagüe.

Es por lo tanto crítico adoptar un plan integrado de relleno, que cubra diseño y control de drenaje para manejar el incremento en el nivel de agua de los mismos.

En el diseño del Plan de drenaje, drenaje temporal y pozas de drenaje y detención de áreas sedimentadas, puede ser necesario minimizar los efectos adversos sobre las áreas colindantes. Para mitigar el potencial de azolvamiento o suspensión de partículas coloidales o de arcillas dentro de áreas sensibles, el diseño del sistema de drenaje en el sitio deberá examinar los siguientes elementos, como mínimos :

- Existencia propuesta de patrones de drenaje incluyendo áreas de subsecuencia.

- Areas de aspecto crítico (por ejemplo, humedades, superficies de cuerpos de agua, colindancia con propiedades, etc.).
- Lluvias de diferentes periodos de tormentas (2 años, 3 años, etc.).
- Existencia y propuesta de pozas de drenaje y estructuras de salidas de control.
- Areas de detención de sedimentos temporales/permanentes.
- Areas de control de erosión y protección de derrames.

El azolvamiento es uno de los impactos adversos más significativos creados por aguas superficiales de escurrimiento sobre superficies de áreas de suelos perturbados. Este problema es comúnmente observado durante el seguimiento de la construcción o de algún evento significativo como las tormentas.

Los problemas creados por azolvamiento pueden a menudo indicar claramente la adecuación de la existencia del plan de drenaje. Es una buena práctica por lo tanto, establecer azolvamientos temporales y erosiones controladas hasta que la superficie de suelo se estabilice con una buena postura de pasto.

El patrón de drenaje necesita ser manejado para proteger las colindancias sensibles del área, previo al inicio de construcción, no después que el daño ha ocurrido. Las condiciones de un sitio como un relleno, son altamente variables durante la construcción de la clausura. Todos los rellenos a menudo, también los mas viejos son ubicados anexos a áreas de humedades, las cuales pueden ser severamente impactadas por una larga escala de problemas de erosión que puede ocurrir debido a la perturbación temporal de suelo en pendiente.

II.2.3.1 Uso de la materia orgánica

El basurero municipal se conforma de un área de 23 hectáreas, ubicándose en él dos tipos de basura, la estabilizada y la no estabilizada. El primer tipo consiste en basura con más de tres años de haber sido depositada y que además ya está degradada, pudiéndose entonces emplear como abono.

Por otra parte, el segundo tipo de basura es la que fué confinada hace menos de tres años, la cual por sus características deberá experimentar todavía una degradación. Por esta razón, este volumen de basura será confinado en el área del mismo sitio, en una celda de aproximadamente 1.5 hectáreas, siendo ésta cubierta por una capa de materia orgánica extraída de las lagunas de oxidación, además dicha celda será ubicada sobre un sistema de recolección de lixiviados, construidos con tubería de PVC, inmerso en una base de grava. De esta manera, se podrán captar los escurrimientos lixiviados generados de la celda, los cuales serán enviados a un sistema de estabilización mediante neutralización y aireación.

La basura ya estabilizada se empleará para conformar un basamento de 50 cm de altura con una superficie de 6 a 8 hectáreas aproximadamente; dicho basamento será también recubierto por una capa de materia orgánica extraída de las lagunas de oxidación. Con el fin de aprovechar la alta capacidad de fertilización de esta celda se establecerá un vivero para la reproducción de diversas especies de plantas (ornamentales, maderables, comestibles entre otras), locales y regionales e introducidas, para emplearlas con fines de reforestación urbana y así contribuir para la belleza del paisaje y en la conservación de germoplasmas tanto de valor cultural como ecológico y económico.

En base al contexto anterior, esta actividad puede considerarse productiva, ya que su establecimiento permitirá generar 20 empleos permanentes para algunas familias de pepenadores del lugar y ayudar así a los mismos.

Al reorientar el uso del suelo del tiradero municipal, se aprovechará aproximadamente el 60% del total del mismo para la creación de áreas con fines recreativos o de esparcimiento. La ejecución de estas acciones, permitirá contribuir al mejoramiento de la calidad del ambiente y el paisaje será más agradable para los habitantes de la zona.

Las áreas recreativas propuestas en el Plan de Clausura se plantean a continuación:

- 1) Canchas de Futbol.
- 2) Canchas de Beisbol.

- 3) Estacionamiento.
- 4) Area de servicio al público.
- 5) Area de Reforestación y Jardín Botánico.
- 6) Vaso regulador con cascada.
- 7) Vivero.
- 8) Mirador.

El espacio deportivo quedará ubicado cerca de un fraccionamiento, por lo que será de gran utilidad para las familias que lo habitan.

De igual manera, el Jardín Botánico y el Vivero, le darán la importancia cultural a esta área, ya que dicho vivero va a apoyar los programas de reforestación urbana de la ciudad de Mérida y de ésta manera, poder mantener los árboles en buen estado, en escuelas, parques y avenidas.

El Jardín Botánico puede ser utilizado como un espacio demostrativo de la flora regional, resaltando la importancia económica, agrícola y medicinal de la península dándole a la ciudadanía un espacio cultural muy importante.

Estos espacios, pueden también ser utilizados para implementar programas de educación ambiental de diversos tipos, como selección, manejo y disposición final de la basura, cuidado de los árboles, entre otros que esté realizando el municipio.

II.2.3.2 Drenaje

Para el buen desalojo de aguas pluviales, se propone la construcción de un sistema de drenes longitudinales que capturen el agua pluvial y así darle una salida hacia el vaso regulador.

Para la construcción de los drenes se requiere de una cama de material de relleno poroso grueso que funcione como filtro, conformando en este caso por tres estratos (material de la zona, grava de ¼", ½" de diámetro). El agua infiltrada será captada por tubo de asbesto-cemento perforado que a su vez desembocará en un pozo de visita cuya función es la de

evitar que los finos lleguen hasta el vaso regulador y sean extraídos regularmente; el pozo de visita será construido con tabique rojo recocido en muros, con una base de nivel de arrastre de concreto armado $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y varillas de $\frac{1}{4}$ " diámetro, espesor de 8.00 cm y rejilla de acero.

II.2.4 INFORME PREVENTIVO DEL PROYECTO DE CLAUSURA

El continuo desarrollo económico y social que experimenta el país, sobre todo en el marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, tiene implicaciones en materia de impacto ambiental, tal es el caso de la contaminación de sistemas acuíferos, como resultado de un mal manejo de los residuos sólidos tanto urbanos como industriales. La tecnología para el tratamiento y control de estos residuos, ha sido comparativamente más rápida que el desarrollo de sistemas de tratamientos a éstos.

Este esquema, determinado por factores intrínsecos de una población no conforman el problema de los desechos sólidos. En primer término, el crecimiento de la población en las últimas dos décadas en Mérida ha sido impresionante, los programas tendientes a reducir o por lo menos frenar la tasa anual de crecimiento de la población no han sido exitosos.

Acompañado al crecimiento poblacional, se da el proceso de urbanización, así en la última década el porcentaje de urbanización en la ciudad también ha ido en aumento. Como corolario de este crecimiento de la población, se tiene un aumento de la generación de desechos sólidos en la relación directa, así como el progreso de urbanización más acelerado implica problemas de desechos sólidos muy acentuados. Cabe mencionar, que el Producto Nacional Bruto es un indicador indirecto de la generación de desechos sólidos, ya que la cantidad de desechos dependen en gran medida, del crecimiento económico. De esta manera, las sociedades de consumo tienden a incrementar la producción de desechos sólidos.

De esta manera, el H. Ayuntamiento del Municipio de Mérida y de cara a la realidad nacional, es responsable de su entorno ambiental, por lo que se ha propuesto una Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de Mérida.

Cabe hacer mención, que ha sido comprobada la afectación de los mantos acuíferos en la zona del tiradero municipal, por los problemas de generación de lixiviados, situación que pone en riesgo las fuentes de abastecimiento de agua, y la salud pública.

De esta manera, la naturaleza del proyecto se ubica dentro del rubro de infraestructura para la clausura del tiradero actual.

II.2.4.1 Vida útil del proyecto

La vida útil del proyecto, dependerá de las alternativas de uso posterior a la clausura del tiradero pudiendo ser de uso recreativo, botánico y/o productivo. Así mismo como su impacto sobre la sociedad.

II.2.4.2 Programa de trabajo

El programa de trabajo dependerá de las alternativas de uso final del tiradero actual.

Cabe mencionar que existen dos propuestas de clausuras: La opción pasiva y la opción activa.

La primera consiste en el confinamiento actual de la basura, sepultándola e impermeabilizándola, utilizando este espacio para un jardín botánico municipal, con la creación de un cuerpo de agua como vaso regulador.

La segunda consiste en la remoción y esparcimiento de los desechos actuales, cubriéndolos con una capa protectora; en este espacio se plantea la creación de áreas deportivas con servicios.

Programa de campo para la opción pasiva.

	MESES					
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6
Preparación						
Construcción						

Programa de campo para la opción activa.

	MESES					
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6
Preparación						
Construcción						

En ambas opciones la preparación y construcción se maneja a la par, por las características propias del proyecto.

La etapa de finalización de ambas propuestas consiste en el uso posterior a la clausura, siendo en la activa, de infraestructuras deportivas y áreas recreativas, y en la pasiva de infraestructura paisajística, consistente en un jardín botánico municipal y un cuerpo de agua como vaso regulador.

II.2.4.3 Ubicación física del proyecto

El área del proyecto se encuentra localizada en el estado de Yucatán.

El área del proyecto pertenece al municipio de Mérida.

El tiradero municipal se ubica al noroeste de la ciudad, por un costado del Anillo Periférico.

Localización en coordenadas

Localización	Grados	Minutos	Segundos
Latitud N	21	2	24
Latitud W	89	39	17

El municipio de Mérida cuenta con alrededor de 20 localidades entre las que destacan Mérida, Cuzco, Cosgaya, Chablekal, Cholul, Churburná de Hidalgo, Dzityá, Dzununcán, Komchén, Molas, San José Dzal, Sierra Papacal y Sitpach.

La cabecera municipal registra un tipo de clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Aunque en las inmediaciones de la parte Norte de la ciudad se presenta el clima seco muy cálido con lluvias en verano. Los valores de las temperaturas máximas, media y mínimas

obtenidas en la cabecera municipal son : 40.2° C, 26.2° C y 14° C respectivamente. El mes más cálido es mayo con 28.1° C y el mes menos cálido diciembre y enero con 23.1° C.

La mayor parte de la Península de Yucatán constituye una zona erreática, prácticamente sin drenaje superficial, pues se trata de una gran extensión de escaso relieve y roca madre muy permeable, por lo cual toda o casi toda la circulación del agua es subterránea.

El terreno por su gran permeabilidad absorbe gran parte del agua de lluvia, evitando el escurrimiento superficial e impidiendo la formación de ríos, arroyos y encharcamientos. En el subsuelo se forman depósitos conocidos comúnmente como cenotes. En algunos casos los techos de estos se desploman y forman las aguadas.

Anteriormente como gran parte del territorio estatal, ésta estaba constituida por vegetación de bosque tropical. El resultado primeramente de la agricultura semi nómada fue la destrucción de este ecosistema brindando las oportunidades a árboles más comunes como: Acacia gaumeri, A. Riparioides, Cassia emarginata, Gymnopodium antigonoides, Mimosa hemiendyta, Pithecellobium albicans. Presentándose después del abandono una comunidad de plantas herbáceas.

Las especies más comunes que habitan en el tiradero son aves: golondrinas, palomas, tzutzuy, zopilotes, fauna indeseable como ratas y ratones además de moscas y mosquitos vectores de enfermedades infecciosas.

Existe un asentamiento cerca del basurero municipal, conocido como Fraccionamiento Montejo, cuenta con una superficie total de 2,373 has., una población de 571,733 hab., hasta 1993.

Para la clausura del tiradero municipal se utilizarán las 23 hectáreas de superficie que abarca el tiradero.

La zona en cuestión se localiza sobre el área de alta preservación ecológica, por lo que está rodeada de propiedades del municipio. Hacia el Noroeste, a una distancia de

aproximadamente 2 km., colinda con la localidad de Szityá, hacia el este en dirección Sureste-Noroeste colinda con el Anillo Periférico, en dirección Sureste colinda con el fraccionamiento Montejo y en dirección Noreste con la zona industrial no contaminante.

Se accesa al Tiradero Municipal por el Noroeste de la ciudad, por costado del anillo Periférico.

El proyecto de clausura se encuentra vinculado con el área de equilibrio ecológico del plan de desarrollo de la ciudad de Mérida.

Cumpliendo el Plan arriba mencionado como los siguientes objetivos:

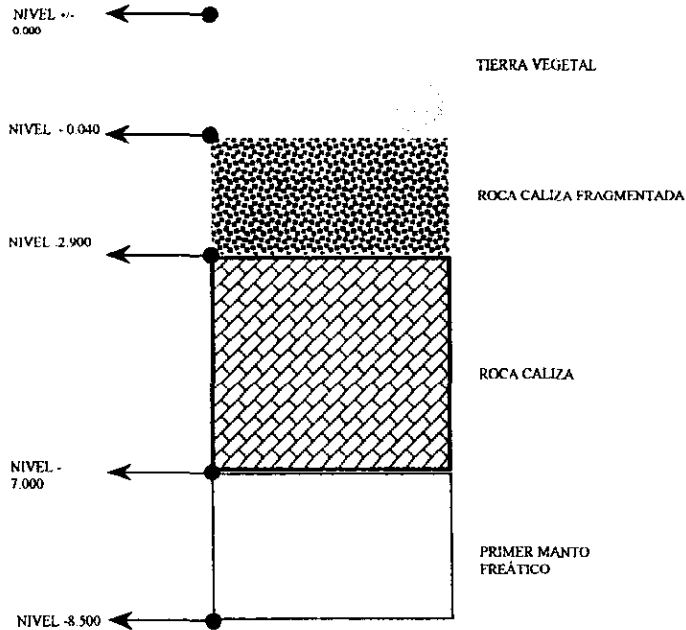
- a) Preservar el contexto ecológico del territorio en el que actúa la ciudad.
- b) Conservar y mejorar las condiciones del clima y de la atmósfera.
- c) Elevar la calidad de vida, la imagen urbana y la ecología de la ciudad.

Opción pasiva, durante la etapa de construcción se utilizarán 3 cuadrillas compuestas por 12 personas.

Opción activa, se utilizará una cuadrilla de 12 personas, en esta opción la mayor parte del trabajo de construcción lo realizarán las maquinarias.

II.2.5 PERFIL ESTRATIGRAFICO

A continuación se presenta el perfil estratigráfico de la zona en estudio.



II.2.6 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Los materiales a utilizar para la preparación, construcción y mantenimiento del sitio son :

- Material estabilizado y/o sashcab para celda y cubierta final.
- Cubierta vegetal.
- Material pétreo (para regulación de producción de gases).

Durante las diferentes etapas del desarrollo del proyecto, se utilizarán los siguientes equipos.

Descripción del equipo requerido para la opción activa.

Cantidad	Equipo.
2	Tractor de oruga
4	Traxcavos
1	Compactador

Se utilizará el método de trinchera y área para la opción activa. Se puede definir como el método empleado para colocar y compactar en el menor volumen posible sobre la superficie del terreno natural los desechos sólidos diarios recibidos, cubriéndola con material común con una capa de 15 cm de espesor.

El equipo mínimo cumplirá las siguientes funciones :

- a) Formación de celda extendiendo los desechos.
- b) Compactación de los desechos sólidos de las celdas.
- c) Cobertura extendiéndose sobre el talud y toda la superficie.

Descripción del equipo requerido para la opción pasiva.

Cantidad	Equipo
2	Tractor de oruga
4	Traxcavos
1	Compactador

Los recursos naturales que serán aprovechados en las diferentes etapas serán principalmente, material estabilizado del vertedero (suelos), agua y árboles para el proceso de reforestación.

El combustible será transportado desde la ciudad de Mérida.

Los requerimientos de agua para el mantenimiento del proyecto serán abastecidos por la creación de pozos cercanos a la construcción.

No se presentarán emisiones de importancia significativa, ya que la maquinaria operante lleva un proceso de verificación vehicular.

Para el control de la generación de gases provenientes del tiradero, durante la etapa de construcción se implementarán unas zanjas de grava para el control de la generación de éstos.

El proyecto no contempla generar residuos sólidos. En caso de generar estos serán sepultados en el vertedero.

Los rótulos que se presentarán en la duración del proyecto son de las operaciones de las maquinarias, y estos desaparecerán una vez que la fase de construcción haya terminado.

C A P I T U L O I I I

R E L L E N O S A N I T A R I O

CAPITULO III

RELLENO SANITARIO

En este capítulo se presentan las características generales del relleno sanitario, las etapas de construcción y abandono, el manifiesto de impacto ambiental y sus conclusiones.

III. 1 CARACTERISTICAS GENERALES

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, (American Society Civil Engenering) (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”. 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, como objetivo específico, podrá citarse la recuperación de ciertas áreas.

III.1.1 DESCRIPCION GENERAL

A continuación se describen el Nombre del proyecto, la Naturaleza del proyecto, Objetivos y justificaciones del proyecto, Programa de trabajo, Proyectos asociados y las Políticas de crecimiento a futuro.

III.1.1.1 Nombre del Proyecto

El proyecto en estudio se denomina Gestión Integral de Residuos Sólidos de la ciudad de Mérida.

III.1.1.2 Naturaleza del Proyecto

El manejo de los residuos sólidos de origen municipal ha sido un factor de preocupación de los diversos sectores productivos de México, principalmente en el sector social donde se involucra una población que ha experimentado un acelerado crecimiento en las últimas décadas, creciendo en forma paralela la tasa de generación de residuos sólidos de origen municipal, de la cual la ciudad de Mérida no es la excepción.

Ante el acelerado crecimiento de la tasa de generación de residuos sólidos y los esquemas de confinamiento final, mediante tiraderos a cielo abierto y la quema sin control, el gobierno municipal de la ciudad de Mérida se propone la construcción de un relleno sanitario. Con esta alternativa se dan soluciones a conflictos sociales en el manejo de la basura (en su recolección, disposición y tratamiento), y de salud pública (los tiraderos de residuos sólidos son un punto de generación de vectores de enfermedades), así como la prevención y control de la contaminación de cuerpos receptores acuáticos y terrestres, dándole especial atención a la contaminación de aguas del subsuelo. Con el Relleno Sanitario se reduce el riesgo de impacto al ambiente que implica el inadecuado manejo de los residuos sólidos y que constituyen fuentes de contaminantes y de vectores de enfermedades que atentan contra la salud pública.

Cabe hacer mención, que estudios recientes del subsuelo han comprobado la afectación de los mantos acuíferos en la zona del actual tiradero del municipio de Mérida, debido principalmente al impacto causado por los lixiviados generados de los desechos ahí almacenados, situación que pone en riesgo las fuentes de abastecimiento de agua y la salud pública. Basándose en el planteamiento anterior, se presenta la urgencia de diseñar y construir un relleno sanitario, incluyendo medidas preventivas para la protección del acuífero inmediato al sitio seleccionado.

El relleno sanitario es una alternativa de disposición de residuos sólidos que evita, en su mayoría, los efectos adversos de un tiradero a cielo abierto el cual existe en los alrededores de la

ciudad de Mérida. El relleno sanitario consiste en un área del terreno en la cual se depositan y compactan los desechos sólidos municipales y se cubren diariamente con una cubierta de suelo compactado.

III.1.1.3 Objetivos y justificación del Proyecto

El propósito de implementar un Relleno Sanitario en la ciudad de Mérida, es el de manejar adecuadamente los residuos sólidos generados por la población de la zona y de esta manera contribuir a la prevención y control de la contaminación del agua y de cuerpos receptores terrestres. Así mismo sentar las bases a nivel ejecutivo y constructivo de todas y cada una de las estructuras del Relleno Sanitario, para un horizonte de proyecto en el siglo XXI.

La superpoblación a escala nivel mundial a contribuido en gran medida a la generación de impactos directos hacia el equilibrio ecológico de los ecosistemas terrestres.

Para la ciudad de Mérida, en tiempos remotos, la evacuación de estos residuos no planteaba problemas significativos, ya que la tasa de crecimiento de la población era reducida y la disposición final de los residuos se efectuaba en predios con un área superior y la cantidad generada no lograba causar impactos ambientales severos debido a que la capacidad de autodepuración de los cuerpos receptores no había sido alterada en su equilibrio ecológico. En la actualidad, un sin número de ecosistemas acuáticos y terrestres, han sido impactados e inclusive empleados como cuerpos receptores de los desechos domésticos y/o industriales.

La ciudad de Mérida en la actualidad, en aspectos del medio ambiente, presenta dos problemas importantes en el manejo del recurso agua y son la contaminación del acuífero y su relación directa con el agotamiento de fuentes de abastecimiento del agua de buena calidad destinada al consumo humano.

Por otra parte, los problemas que acarrea la mala disposición de los desechos sólidos, trae consigo, la aparición de faunas nocivas y vectores de enfermedades, tales como roedores y moscas.

Con todo lo anterior, se justifica emprender las acciones correctas para resolver, el problema de los residuos sólidos en la ciudad de Mérida. Los procedimientos emprendidos deberán realizarse en los términos establecidos en la legislación ambiental mexicana para la prevención y control de la contaminación ambiental.

III.1.1.4 Proyectos asociados

Se contempla dentro del manejo integral de desechos sólidos los siguientes proyectos:

- **Clausura del tiradero municipal de la ciudad de Mérida.**
- **Optimización del manejo de la planta de composta existente.**

El desarrollo de los proyectos antes mencionados permitirá lograr el éxito del relleno sanitario, debido a lo siguiente:

Considerando el aspecto operativo del relleno, es necesario que éste reciba la totalidad de la basura generada en la ciudad de Mérida para justificar su inversión. La presencia y operación de un tiradero a cielo abierto representa un problema para el desarrollo del relleno sanitario, el cual entre sus objetivos se encuentra el manejo adecuado de residuos sólidos y la eliminación de procedimientos de disposición final que atentan al equilibrio ecológico y a la salud de la población.

Por su parte, la integración de la planta de composta permitirá la reducción del volumen de residuos sólidos y así lograr la ampliación de la vida útil del relleno sanitario y finalmente aprovecha los residuos orgánicos para la fabricación de composta.

III.1.1.5 Políticas de crecimiento a futuro

La creación de un relleno sanitario implica la planeación adecuada de este mismo, tomando en cuenta el crecimiento socioeconómico de la región lo que permita el uso apropiado del relleno, así como una larga vida útil de éste, el crecimiento de la zona de relleno sanitario o de nuevas alternativas de manejo, dependerá del crecimiento antes mencionado en el próximo siglo así como las expectativas de nuevas tecnologías para el manejo de los desechos sólidos. Es conveniente mencionar que los límites de crecimiento del relleno sanitario se limitan a un terreno de 20 hectáreas. No se tiene proyectado que el relleno sanitario tenga un crecimiento mayor,

debido a limitantes como la disponibilidad de terrenos en la zona y la aproximación hacia la ciudad de Mérida en caso de continuar su crecimiento hacia esta dirección (hacia el poniente del predio seleccionado).

III.2 ETAPAS DE CONSTRUCCION Y ABANDONO

A continuación se relacionan las diferentes de etapas del proyecto: Selección del sitio y Construcción.

III.2.1 ETAPA DE SELECCION DEL SITIO

En esta etapa se presenta el proceso de selección del sitio de construcción del relleno sanitario que para nuestro caso es el de la ciudad de Mérida.

III.2.1.1 Ubicación física del Proyecto

El área destinada para el relleno sanitario se ubica aproximadamente a 8 Km en dirección Oeste de la ciudad de Mérida, se localiza en la margen izquierda del camino junto a la planta de composta, a 1 Km del periférico.

Coordenadas: latitud 20° 58' 6.5" N y longitud 89° 42' 37.84" W.

Estado: Yucatán.

Municipio: Mérida.

Localidad: ciudad de Mérida.

III.2.1.2 Urbanización del área

El predio se localiza en una zona suburbana.

III.2.1.3 Criterios para la selección del sitio

Se pretendió determinar, en primera instancia, un área global o macro-región, dentro de la cual se preseleccionaran los sitios probables para la disposición final de los desechos sólidos generados por la ciudad de Mérida mediante el método de relleno sanitario.

Para definir esta macro-región de disposición, se toman en consideración diversos factores como son: políticas de regularización y usos del suelo, dirección de los vientos dominantes, cercanía a centros poblados, aspectos geohidrológicos de gran visión, etc.

Habiendo observado los lineamientos contenidos en el plan de desarrollo urbano para la ciudad de Mérida, se rechaza de entrada las áreas de reserva urbana delimitadas por el anillo periférico, debido a consideraciones obvias de no establecer sitios de disposición final dentro de centros de población actuales futuros.

También se descarta la zona de recarga acuífera al sur de la ciudad, la cual es fuente de abastecimiento de la población, definida en el citado plan urbano con zona de preservación ecológica de alta restricción.

Dado que los vientos dominantes circulan en la ciudad de Mérida de sureste a noreste es conveniente ubicar los sitios probables para el relleno sanitario al poniente y norponiente de la localidad, de manera que los vientos soplen de la ciudad hacia el relleno, minimizando el riesgo de problemas ambientales. Por tanto los terrenos al poniente del periférico, quedan definidos como la mejor alternativa para la ubicación del relleno sanitario.

Una vez definida la zona de estudio, se procedió a localizar dentro de ella los sitios que presentaran condiciones favorables para el establecimiento de un relleno sanitario. Considerando que la península de Yucatán es una planicie desprovista de barrancas, oquedades naturales u otros accidentes topográficos aprovechables para los fines que se persiguen, se planteó preliminarmente utilizar las canteras abandonadas, las cuales tienen la ventaja de contar con un volumen disponible para rellenar.

Por otra parte, mediante la interpretación de fotografías aéreas e inspección directa, se localizaron las áreas que presentan capas de suelo natural más profundas, ya que la disponibilidad del material de cubierta, es uno de los factores críticos para la operación del relleno sanitario, en terrenos calcáreos como los de la ciudad de Mérida.

III.2.1.4 Superficie requerida

El proyecto ejecutivo contempla la utilización de una superficie de 20 hectáreas donde se desarrollarán las celdas de compactación de basura, los caminos de acceso, áreas verdes y áreas administrativas.

III.2.1.5 Uso actual del suelo en el predio seleccionado

El uso actual del suelo para el sitio seleccionado se encuentra dentro de la definición de terreno suburbano. *La mayoría del sitio seleccionado no presenta ningún tipo de uso, salvo en pequeñas áreas donde se localizan las piletas de composta de la planta adyacente, en las que se da el proceso de maduración, el restante terreno esta constituido por la vegetación de tipo secundaria integrada en su mayor parte por especies arbustivas con predominancia de leguminosas.*

III.2.1.6 Colindancias del predio seleccionado

El predio seleccionado se encuentra dentro de un terreno destinado a reservas naturales del estado de Yucatán.

La predominancia de vegetación arbustiva de poco interés ecológico y comercial, leguminosas en su mayoría, se presenta en gran parte de los terrenos colindantes, donde se observaron actividades agropecuarias de tipo doméstico. *En el área cercana al sitio seleccionado se observa baja densidad de población, por lo que se interpreta que el uso actual del suelo es compatible con los terrenos colindantes.*

III.2.1.7 Situación legal del predio seleccionado

El terreno seleccionado para realizar el Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario, es propiedad del Ayuntamiento de Mérida.

III.2.1.8 Vías de acceso al área donde se desarrollará la obra

La vía de acceso al sitio seleccionado se inicia en la zona poniente del anillo periférico circulando en dirección sur a norte, posteriormente se toma el camino a Chalmuch a 1 Km del

anillo periférico hasta llegar a la planta de composta, con la cual colinda el predio para el relleno sanitario, ahí finalmente se encuentra la entrada al predio seleccionado.

III.2.1.9 Sitios alternativos que hayan sido evaluados

Se seleccionaron tres sitios factibles para la ubicación del relleno sanitario:

Alternativa "A". Terreno ubicado en el ejido de Chuburná

El sitio se localiza al noreste de la ciudad en terrenos rústicos correspondientes al ejido Chuburná y cubre una superficie aproximada de 90 hectáreas con un espesor de suelo entre 15 y 20 centímetros en promedio, dato obtenido mediante sondeos directos en el sitio.

Se llega a la zona, tomando sobre el anillo periférico una desviación hacia el poniente, localizada aproximadamente a 2.5 km al norte de la carretera a Cauce (prolongación Avenida Jacinto Canek). El camino de acceso es terracería, difícil de transitar, y tiene una longitud aproximada de 1.0 km. Partiendo del periférico se tienen las dos vías de abordaje rápidas que son entrando por el norte y por el sur del periférico, puede ser abordando por la vialidad secundaria de tránsito lento que inicia en el Circuito Colonias y pasa por el subcentro urbano Tanlum.

Las profundidades del nivel freático abajo del terreno natural son el promedio de 4.5 m.

La distancia del sitio a la zona de captación de agua subterránea ubicada al sur de la ciudad, es de aproximadamente 12 km y se encuentra aguas abajo de ésta, de acuerdo a la dirección del flujo de aguas subterráneas.

Alternativa "B". Cantera abandonada en Susulá

Se propone utilizar un banco de material explotado y abandonado en las cercanías de Susulá (hacienda ubicada al poniente de la ciudad). La oquedad existente tiene una profundidad promedio de 6.5 m y una superficie aproximada de 1.6 hectáreas,

lo que arroja un volumen disponible de alrededor de 100,000 m³. Junto a esta cantera, que se encuentra dentro del ejido CauceI, se localiza al poniente una superficie de aproximadamente 50 hectáreas de terreno de propiedad particular, la cual se está explotando actualmente como banco de materiales.

El acceso al sitio es por un camino de terracería en condiciones regulares de 600 m de longitud aproximada, entrando por el anillo periférico.

Se observa en el fondo de una zona del banco abandonado, afloramiento del manto freático a una profundidad de 6.3 m aproximadamente, lo cual representa un peligro para la calidad del acuífero subterráneo.

La distancia aproximada del sitio a la zona de captación es de 8.0 km y el sentido de escurrimiento del acuífero subterráneo es de la captación hacia el sitio.

Alternativa "C". Terreno ubicado en el ejido CauceI

Consistente en un terreno de aproximadamente 1.0 km de ancho por 2.0 km de largo, ubicado al poniente de la ciudad sobre el camino de terracería, en regulares condiciones que conduce a la hacienda de Chalmuch, la cual dista 1.6 km del sitio. El periférico se encuentra a 1.5 km del inicio del terreno, hacia el oriente de éste, además de presentar capas de suelo con espesores entre 20 y 30 cm en promedio, según sondeos directos en el sitio.

La profundidad del manto freático en las cercanías del terreno es de aproximadamente 6.5 m y se localiza a 8.0 km aguas abajo de la zona de captación que abastece de agua a la ciudad de Mérida.

III.2.1.10 Evaluación de las alternativas

Los factores que normalmente se toman en cuenta para seleccionar el sitio donde se llevará a cabo un relleno sanitario son:

- a) Disponibilidad de material para cubierta.
- b) Protección del acuífero subterráneo.
- c) Vías de acceso.
- d) Volumen disponible.
- e) Distancia a la zona de captación de agua.
- f) Distancia al área de generación de residuos sólidos.
- g) Facilidad para la adquisición del terreno.

En el caso tan particular de la ciudad de Mérida, localizada en una planicie calcárea con manto freático somero y capa de suelo muy pequeña, es difícil encontrar sitios que cumplan con varios de los requisitos establecidos para el relleno sanitario. Por consiguiente, es necesario fijar un orden de prioridades, asignando pesos a los diferentes factores que intervienen en la selección.

En virtud de la gran distancia de los sitios propuestos respecto a la zona de captación de agua para suministro público y el sentido de escurrimiento del acuífero subterráneo, se reduce la posibilidad de contaminar el manto freático por causa del líquido percolado (lixiviados), que producirán las basuras compactadas; por lo que este parámetro no se considera el más crítico.

Por su parte la disponibilidad del material de cubierta, de acuerdo con las características del suelo de la región, representa el problema principal a resolver ya que eleva los costos de operación de relleno.

Otros factores que se deben tomar en cuenta en la evaluación son las vías de acceso a los sitios preseleccionados, así como el costo del terreno que es función del régimen de tenencia.

Los factores restantes influyen de manera menos decisiva en la selección de la alternativa definitiva, por lo que sus pesos son similares entre sí. La distribución de pesos que se propone es la siguiente:

Tabla III.1 Distribución de peso relativo en la decisión de alternativas

Factor	Peso relativo
a) Disponibilidad de material en cubierta	0.3
b) Protección de acuífero subterráneo	0.2
c) Vías de acceso	0.1
d) Volumen disponible	0.1
e) Distancia de la zona de captación de agua	0.1
f) Distancia al área de generación de residuos sólidos	0.1
g) Facilidad para la adquisición del terreno	0.1

Por su parte, las alternativas propuestas para la localización del sitio de disposición final, se ponderaron respecto a cada uno de los criterios o factores de selección, mediante el método denominado "Técnica de la decisión forzada".

Finalmente, se elaboró la matriz para la selección del sitio más adecuado de disposición de residuos sólidos, resultando ser la alternativa C (terreno al poniente de la ciudad de Mérida, en el ejido Caucel), para este propósito ver la tabla siguiente:

Tabla III.2. Matriz para la ponderación de alternativas del sitio

Criterio de selección	Alternativas	Ponderación	Decisiones positivas	Peso relativo (%)
Disponibilidad de material de cubierta	A	10	1	0.333
	B	00	0	0.000
	C	11	2	0.667
Protección del acuífero	A	10	1	0.333
	B	00	0	0.000
	C	11	2	0.667
Vías de acceso	A	00	0	0.000
	B	11	2	0.667
	C	10	1	0.333
Volumen disponible	A	00	0	0.000
	B	11	2	0.667
	C	10	1	0.333
Distancia a zona de captación de agua	A	11	2	0.667
	B	01	1	0.333
	C	00	0	0.000
Distancia al área de generación de residuos sólidos	A	01	1	0.333
	B	11	2	0.667
	C	00	0	0.000
Facilidad para la adquisición del terreno	A	10	1	0.333
	B	00	0	0.000
	C	11	2	0.667

Los resultados de la ponderación de esta matriz indican que la alternativa "C" (terreno al poniente de la ciudad de Mérida, en el ejido Caucel) es la de mayor peso relativo en los criterios de selección de mayor importancia tales como la disponibilidad del material de cubierta (factor importante en los costos de operación del proyecto), protección al acuífero (problema prioritario para el municipio de Mérida) y la facilidad de adquisición del terreno.

Tabla III.3 Matriz para la selección del sitio de disposición final de residuos sólidos.

Criterio de selección	Peso relativo del criterio	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Disponibilidad de material de cubierta	0.30	0.333 0.100	0.000 0.000	0.667 0.200
Protección del acuífero subterráneo	0.20	0.333	0.000	0.667
Vías de acceso	0.10	0.000 0.000	0.667 0.666	0.333 0.033
Volumen disponible	0.10	0.000 0.000	0.667 0.066	0.333 0.033
Distancia a la zona de captación agua	0.10	0.667 0.066	0.333 0.033	0.000 0.000
Distancia al área de generación de residuos sólidos	0.10	0.333 0.033	0.667 0.066	0.000 0.000
Facilidades para la adquisición del terreno	0.10	0.333 0.033	0.000 0.000	0.667 0.066
	Mérito final	0.298	0.231	0.462

III.2.2 PROGRAMA DE TRABAJO

El programa de trabajo de construcción del relleno sanitario de la ciudad de Mérida se presenta a continuación a través de la siguiente tabla :

Tabla III.4 Programa de trabajo.

Actividad	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Desmante	■					
Despiedre						
Nivelación		■				
Construcción de bordo		■	■			
Impermeabilización				■		
Drenaje pluvial					■	
Control de gas						■
Caminos			■			

Para el programa de trabajo en la operación del relleno, éste se realizará conforme al criterio constructivo en el cual se irán construyendo las celdas que conformarán franjas. Estas a su vez integrarán capas o niveles, hasta alcanzar 8 niveles. Como la conformación de las celdas no tiene una dimensión unitaria debido al aumento en la generación de residuos cada año no se presenta un calendario de la operación del relleno. Sin embargo, la capacidad volumétrica permitirá a este una vida útil de 10 años o más si se adoptan medidas de reducción de volumen como se plantea con la instalación de una banda transportadora para recuperar materiales.

III.2.3 Preparación del terreno para la construcción del relleno sanitario

El primer paso en el proceso implica la preparación de la zona para la construcción del relleno sanitario. Se debe modificar el drenaje natural existente para canalizar la corriente fuera de la zona elegida para el relleno sanitario. La recalificación del drenaje natural es particularmente importante para los rellenos sanitarios tipo barranco, donde puede drenarse a través de la zona una importante cuenca. Además, el drenaje natural debe modificarse para canalizar el agua fuera de la zona inicial de relleno. Otras tareas de preparación incluyen la construcción de caminos de acceso y de instalaciones de pesaje, además de la instalación de vallas.

El siguiente paso en el desarrollo de un relleno sanitario es la excavación y preparación del fondo del relleno sanitario y de las superficies laterales. Los rellenos sanitarios modernos normalmente se construyen en secciones. El trabajo por secciones permite, en cualquier momento, la exposición a la precipitación de solamente una pequeña parte de la superficie no protegida del relleno sanitario. Además, las excavaciones se llevan a cabo gradualmente, no preparando todo el fondo del relleno sanitario en una sola vez. Se puede almacenar el material extraído sobre el suelo no excavado cerca de la zona activa, minimizándose así el problema de la precipitación que pueda acumularse en la excavación. Cuando se recubre de una sola vez todo el fondo del relleno sanitario, se debe hacer provisión para separar la corriente de aguas de tormenta fuera de la porción del relleno sanitario que está siendo utilizada.

Para minimizar costos, es deseable conseguir en el mismo lugar los materiales de cubierta de la zona del relleno sanitario. La zona de trabajo inicial del relleno sanitario se excava hasta la

profundidad diseñada, y se almacena el material excavado para su utilización posterior. La zona aireada (zona entre la superficie del suelo y las aguas subterráneas permanentes), y el equipamiento para supervisar las aguas subterráneas se instala antes de colocar el recubrimiento del relleno sanitario. El fondo del relleno sanitario se prepara para proporcionar drenaje para el lixiviado y se instala un recubrimiento de baja permeabilidad. Las instalaciones para la recogida y extracción del lixiviado se localizan dentro o encima del recubrimiento.

Normalmente, el recubrimiento se extiende hasta las paredes excavadas en los laterales del relleno sanitario.

Pueden instalarse zanjas horizontales para la recuperación del gas en el fondo del relleno sanitario, particularmente si se piensa que van a ser problemáticas las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), procedentes de los residuos recientemente colocados. Para minimizar el escape de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), se aplica un vacío y el aire se aspira a través de las áreas ya utilizadas del relleno sanitario. El gas que se separa tiene que quemarse en condiciones controladas para destruir los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Antes de empezar el relleno, se construye una berma de suelo en el lado a favor del viento dentro de la zona planificada de relleno. La berma sirve como cortavientos para controlar el vuelo de materiales y también sirve para compactar contra ella los residuos. Para los rellenos sanitarios excavados, la pared de excavación normalmente sirve como cara inicial de compactación.

III.2.4 Recursos que serán alterados

Se utilizará el material Sah-Cab para el recubrimiento de los residuos sólidos depositados en las celdas. Dicho material será obtenido de fuentes cercanas al predio seleccionado.

III.2.5 Area que será afectada

El área que será utilizada para la construcción del relleno sanitario es de 20 hectáreas y se localiza a un costado de la Planta de Composta existente en la latitud 20° 58' 6.5" Norte y longitud 89° 42' 37.84" Oeste

III.2.6 Equipo utilizado

Durante la preparación del terreno, en el proceso del desmonte, el material vegetal será factible de ser utilizado en el proceso de cubierta, el material grueso como troncos serán triturado en la planta de composta y aprovechada por la misma. Para esto se utilizarán equipos tales como tractores, bulldozers, traxcavos y camiones de volteo.

III.2.7 Materiales

El material utilizado en la construcción de los bordos perimetrales se tomará del producto de la nivelación del terreno, así como del banco seleccionado por la empresa en caso de requerimientos mayores.

III.2.8 Obras y servicios de apoyo

Se tiene proyectada la construcción de las obras y servicios de apoyo que a continuación se mencionan:

- a) Areas de acceso y de espera de transporte de residuos
- b) Cerca perimetral y de seguridad
- c) Caseta de vigilancia
- d) Caseta de pesaje y báscula
- e) Laboratorio
- f) Caminos
- g) Area de almacenamiento temporal
- h) Area de emergencia
- y) Area de limpieza
- j) Drenaje
- k) Instalaciones de energía eléctrica
- l) Señalamientos
- m) Pozos de monitoreo
- n) Area de amortiguamiento
- o) Taller de mantenimiento
- p) Area administrativa

- q) Servicios de primeros auxilios y
- r) Servicios sanitarios.

III.2.9 Descripción de obras

A continuación se presenta la descripción de las obras requeridas para el acceso y preparación del sitio.

III.2.9.1 Camino de acceso

El sitio seleccionado para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, actualmente se comunica con la ciudad mediante un camino de terracería que intersecta en la parte oriente al anillo periférico.

Su longitud es de aproximadamente 1.5 kilómetros y ancho transitable de 4 metros. En términos generales se encuentra en condiciones regulares para ser transitado. Para dejarlo en condiciones que permitan el tránsito de vehículos de 12 toneladas, como los recomendados para el servicio de recolección, es necesario efectuar los siguientes trabajos:

- a) Ampliación del ancho del camino actual hasta siete metros.
- b) Nivelación de la superficie rodante utilizando Sah-Cab proveniente de un banco de préstamo y compactar al 95%.
- c) Aplicación de un riego de impregnación con asfalto de FM-1 a razón de 1.5 litros/metro cuadrado (l/m^2).
- d) Transcurridos cuatro días de aplicado el riego de impregnación, se tenderá la carpeta de un riego con asfalto de FR-3 a razón de 1.0 litros/metro cuadrado (l/m^2) y material pétreo 3-A (gravilla), a razón de 10 litros/metro cuadrado (l/m^2).

III.2.9.2 Camino para la construcción de relleno sanitario

La construcción de este camino atiende a los requerimientos planteados por el procedimiento constructivo propuesto para el relleno sanitario y la expectativa de ampliación del área requerida para la disposición de los residuos sólidos. Se desarrollará a lo largo del terreno en su lindero sur con una longitud de 730 metros y ancho de 7 metros. Se recomienda construirlo por etapas de

100 metros aproximadamente, desarrolladas de oriente a poniente con el objeto de que el extremo de estos tramos sean los puntos donde se inicien los caminos internos que conducen a los frentes de trabajo.

El procedimiento constructivo del camino para la construcción del relleno es el siguiente:

- a) En toda el área de desplante del terraplén debe efectuarse el despalme en un espesor de 20 centímetros aproximadamente, (hasta llegar a roca firme).
- b) Una vez despalmado el terreno, se construirá un cuerpo de terraplén con Sah-Cab proveniente de un préstamo de banco con un espesor aproximado de 40 cm y compactado al 95 %.
- c) Se barrerá la superficie y se le aplicará un riego de impregnación con asfalto FM-1 a razón de 1.5 litros/metro cuadrado (l/m^2).
- d) Cuatro días después de haber aplicado el riego de impregnación se tenderá una carpeta con asfalto tipo FR-3 a razón de 1.0 litro/metro cuadrado (l/m^2) y material pétreo 3-A (gravilla), a razón de 10 litros/metro cuadrado (l/m^2).

III.2.9.3 Obras de drenaje

El alto grado de permeabilidad de los suelos de la región fenómeno que se manifiesta por la ausencia de corrientes superficiales, hace innecesarias la construcción de un sistema de alcantarillado pluvial, para drenar las áreas aledañas al relleno sanitario. En cuanto al drenaje del líquido percolado que se genera normalmente en un relleno sanitario, consideramos que en el caso muy particular de la ciudad de Mérida este tipo de obra no se justifica por las siguientes razones:

- a) El tipo de residuos sólidos que serán alojados en el relleno es en su mayoría material inorgánico producto de la separación de residuos orgánicos en la planta de reciclaje-composta.
- b) La configuración topográfica, plan de la base del terreno sobre el cual se construirá el relleno implica que de construirse el sistema de recolección de lixiviados, éste se profundice en forma considerable, encareciendo notablemente

sus costos, adicionalmente este costo se vería incrementado por los requerimientos de nivelación e impermeabilización del fondo del relleno.

III.2.9.4 Construcción de pozos de monitoreo

Con el fin de tener un conocimiento real del grado de contaminación del acuífero, se recomienda construir cuatro pozos de monitoreo y control a 100 metros aguas arriba y aguas abajo del relleno sanitario.

Se recomienda que la profundidad de los pozos sea de 35 metros y sé ademe el tipo I, con tubería de PVC, sin ranura hasta los 25 metros de profundidad y de los 25 metros a los 35 metros con tubería de PVC ranurada, el tipo II, con tubería de PVC sin ranurar, hasta los 7 metros y de los 7 a los 35 metros de profundidad con tubería de PVC ranurada. El pozo tipo I tendrá un sello sanitario de concreto de los 6 hasta los 20 metros de profundidad, y el tipo II del nivel del terreno hasta los 7 metros de profundidad. En todos los casos el diámetro del ademe de PVC será de 6 pulgadas. El brocal de los pozos deberá protegerse con una caja de mampostería con tapa de registro.

III.2.10 Personal utilizado

El personal básicamente para esta fase del proyecto serán operarios de la maquinaria pesada y de las unidades de apoyo (combustible). Asimismo, se requerirá de unidades de acarreo de materiales. Se necesitarán cuadrillas de obreros para la construcción del bordo de contención y obras de drenaje pluvial, así como el personal especializado para la instalación del sistema de impermeabilización (membranas sintéticas) y colectores de lixiviados y gases.

III.2.11 Requerimiento de energía eléctrica

En cuanto a la energía eléctrica, ésta no se requiere, debido a que la etapa de operación y construcción se realizará en horarios matutino y vespertinos. En caso de requerirse energía eléctrica esta se obtendrá de la planta de composta existente.

Para la operación de la maquinaria pesada se emplearán como combustibles el diesel y la gasolina en las actividades de preparación del terreno, y se almacenará en tanques de 200 litros en la caseta de control.

III.2.12 Requerimiento de agua

Se requieren 100 metros cúbicos (m³) de agua cruda, acarreada en barriles de 200 litros y en pipas. No se tiene contemplado el almacenamiento del agua cruda para esta etapa.

III.2.13 Residuos generados

No se generarán residuos, excepto las bolsas de cemento y otros materiales propios de la construcción los cuales podrían disponerse finalmente en el relleno sanitario o aprovecharlo en la nivelación del terreno.

III.2.14 Desmantelamiento de la infraestructura de apoyo

No se tiene contemplado utilizar infraestructura de apoyo importante y se utilizarán materiales reusables, así como caseta u oficinas desmontables para ser utilizadas en otras obras.

III.3. MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL

A continuación se identificarán los impactos ambientales y se darán las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales

III.3.1 Identificación de impactos ambientales

Existe una gran diversidad de métodos para identificar los impactos ambientales que una obra o actividad pudiese causar en el entorno donde se desarrolla, para el caso que nos ocupa se combinarán las ideas basándose en los posibles efectos que el relleno sanitario pudiese provocar tomando como referencia otros rellenos realizados, y analizando sus diferentes fases (preparación del sitio, operación del relleno y abandono del sitio) dando énfasis a la fase de abandono del sitio en la cual deberán combinarse diversos métodos de compensación y restauración ecológica que además de garantizar la disposición óptima de los residuos, se permita dar una alternativa de uso al predio en un largo plazo. Se identifican de antemano

elementos del ecosistema que habrán de analizarse para la evaluación como son la protección del acuífero, el paisaje, las emisiones a la atmósfera etc., los cuales serán analizados de una manera espacial dentro de una matriz de interacción cruzada la cual nos identificará otros elementos del ecosistema global que habrán de considerarse específicamente en la aplicación de las medidas preventivas, correctivas o de compensación. Los factores a considerar son las características ambientales susceptibles a ser impactadas. Finalmente en la columna extrema derecha se indicarán las obras o actividades generadoras de impactos con números de identificación predeterminados y mencionados en el recuadro superior extremo derecho.

III.3.2 Medidas de prevención y mitigación de los impactos

Con el objetivo de identificar los impactos ambientales inherentes a la construcción del proyecto ejecutivo del Relleno Sanitario para la ciudad de Mérida, se utilizó una matriz donde se involucran los diferentes factores relativos al entorno físico, natural y socioeconómico (ver matriz de impacto), clasificando los impactos como adversos mitigables y favorables, utilizando metodología de evaluación basada en la experiencia sobre la apreciación de impactos ambientales y definiendo impactos de forma subjetiva.

Con base en lo anterior, se logró determinar, que en su mayoría los impactos directos al ambiente, caen dentro de la clasificación de adversos mitigables y temporales. Así mismo, se encontró una fuerte tendencia de beneficio al medio natural y socioeconómico lo que se traduce en beneficios a la población. Los impactos adversos significativos para el proyecto mencionado son hacia el uso del suelo y la demanda de recursos naturales de la zona, principalmente para el material de recubrimiento a utilizar en el desarrollo de las celdas. Para ello es recomendable que la extracción de los recursos se haga de forma controlada y racional. En general los impactos se refieren a una microlocalización en el esquema del desarrollo del estado de Yucatán, no obstante el impacto ambiental benéfico originado por el desarrollo del proyecto de relleno sanitario en el municipio de Mérida traerá una fuerte repercusión, en el ámbito estatal, en la cultura ecológica sobre el manejo de los residuos sólidos, lo que se traduciría en beneficios a largo plazo para el medio natural y la población en general. Otros aspectos benéficos que traerá el proyecto será la derrama económica a largo plazo, conservación del empleo de pepenadores y recolectores de

residuos sólidos, flujo de dinero reflejándose en la economía local con la generación de negocios para abastecer de insumos al proyecto, incrementando el ingreso de la hacienda pública lo cual se revierte positivamente en los habitantes de la zona. Los impactos adversos al medio ambiente, pueden ser controlados con la aplicación de programas de prevención y control de la contaminación que considere los siguientes aspectos.

1. Utilización de recursos de agua cruda para la preparación del sitio y la operación del mismo. Las fuentes de abastecimiento de agua deberán estar enfocadas a la extracción del subsuelo con un volumen de extracción racional, controlado y adecuado. Se deberá evitar el uso de cuerpos de agua superficiales.
2. El evitar las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo, básicamente las contaminadas con lixiviados.
3. Consideración del manejo adecuado de residuos sólidos generados en la ciudad de Mérida durante el transporte hacia el relleno sanitario, esto implica el establecimiento de rutas fijas.
4. El evitar la modificación del equilibrio del uso del suelo con las áreas necesarias para comunicaciones y servicios. Esto es, evitar el movimiento excesivo de tierras en áreas adecuadas para caminos de acceso y de operación dentro del relleno. Así como el evitar la afectación a los caminos de acceso y las vías de comunicación existentes.
5. Aplicar medidas de control de emisiones contaminantes en el sistema de extracción de gas metano de las capas subyacentes que se formen en las celdas. Se recomienda que se establezcan procedimientos escritos de seguridad para disminuir los factores de riesgo durante el manejo del gas metano.
6. Minimizar la emisión de ruido, el cual se va a ver disminuido con la construcción de un talud de tres metros de altura para el confinamiento de los residuos sólidos en un total de seis celdas. Cabe mencionar que la emisión de ruido, durante la operación del relleno será despreciable.
7. Continuar con las medidas de seguridad para estar capacitados en la atención de emergencias. La disminución de los factores de riesgo deberá implementarse para evitar un efecto dominó durante una contingencia ambiental o de alto

- riesgo en el relleno sanitario y que afecte a la Planta de composta localizada en el terreno adyacente.
8. Durante la evaluación e identificación de los impactos ambientales, se detectó la predominancia de impactos adversos mitigables de carácter temporal. Así mismo, se identificaron impactos favorables en diversos factores del ambiente.
 9. Se prevé que los impactos adversos se eliminarán con las medidas de mitigación correspondiente y la mayoría de ellos serán corregidos cuando finalice la construcción del relleno sanitario.
 10. Los impactos adversos detectados son de intensidad baja a moderada, esto se debe a que la obra se planea llevar a cabo la construcción del relleno sanitario está clasificado como pastizal de poco interés ecológico y comercial. A continuación se desarrolla la información relativa a las medidas propuestas para la prevención y/o mitigación de los impactos. Estos temas se agrupan por etapas o fases del proyecto: preparación del terreno, construcción, operación y abandono.

A continuación se presentan cuatro cuadros con el Manifiesto de Impacto Ambiental

GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE MERIDA
MANIFIESTO DEL IMPACTO

H. AYUNTAMIENTO DE MERIDA RELLENO SANITARIO MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL GENERAL	ETAPA DEL PROYECTO				1. DESMONTAJE				5. SUMINISTRO DE AGUA CRUDA			
	ACTIVIDADES EN EVALUACION				2. EXCAVACION, CORTES Y RELLENOS				6. TALLERES Y ALMACENES			
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES	3. TRANSPORTE Y MOVIMIENTO DE EQUIPO				7. INFRAESTRUCTURA				8. TALLERES Y ALMACENES			
	4. SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE				9. SUMINISTRO DE AGUA CRUDA				10. TALLERES Y ALMACENES			
ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER IMPACTADOS	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS							DETERMINACION			EVALUACION	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	BENEFICIO	INDIRECTO	TEMPORAL	PERMANENTE	LOCALIZADO	EXTENSIVO	PROXIMO	LEJANO	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE	MAGNITUD	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO
MICROCLIMA												
CALIDAD DEL AIRE												
NIVEL DE RUIDO												
GEOMORFOLOGIA												
USO DEL SUELO												
AGUAS SUBTERRANEAS												
CALIDAD DEL AGUA												
MAMIFEROS												
AVES												
REPTILES												
PASTIZAL												
EMPLEO												
ECONOMIA REGIONAL												
TRANSPORTE												
SERVICIOS												
COMERCIO												
VIVIENDA												
ACTIVIDADES PRODUCT.												

GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE MERIDA
MANIFIESTO DEL IMPACTO

H. AYUNTAMIENTO DE MERIDA RELLENO SANITARIO MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL GENERAL	ETAPA DEL PROYECTO				1. CAMINOS DE ACCESO				5. SUMINISTRO DE AGUA CRUDA Y ENERGIA					
	EVALUACION				2. OBRAS DE APOYO				6. TALLERES Y ALMACENES					
	CONSTRUCCION				3. TRANSPORTE Y MOVIMIENTO DE EQUIPO				7. INFRAESTRUCTURA DE APOYO					
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES	EVALUACION												12	
	DETERMINACION													
	CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS													
	ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER IMPACTADOS													
	MICROCLIMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO
	CALIDAD DEL AIRE													
	NIVEL DE RUIDO													
	GEOMORFOLOGIA													
	USO DEL SUELO													
	AGUAS SUBTERRANEAS													
	CALIDAD DEL AGUA													
	MAMIFEROS													
AVES														
REPTILES														
PASTIZAL														
EMPLEO														
ECONOMIA REGIONAL														
TRANSPORTE														
SERVICIOS														
COMERCIO														

Tabla III.5 Propuesta para la fase de preparación del terreno

Concepto afectado	Medidas de mitigación para el desmonte
Microclima	El impacto ejercido sobre el microclima del sitio seleccionado es considerado como adverso mitigable, ya que el desmonte ejercido sobre el terreno afecta considerablemente el microclima del área, se considera como una medida de mitigación la reforestación en las zonas perimetrales del relleno y en la fase de clausura del relleno cuando termine su vida útil. Para entonces se tendrán condiciones microclimáticas normales dado que toda el área quedará reforestada.
Uso del suelo	El suelo será afectado en el proceso del desmonte de manera considerable donde se perderá el primer horizonte del suelo constituido por materia orgánica principalmente, no obstante se considera mitigable para cuando la vida útil del relleno halla finalizado y se inicie el programa de reforestación.
Fauna	Se afectará de manera significativa a los diversos grupos faunísticos que habitan actualmente en el terreno. Se espera que las poblaciones emigren a zonas aledañas y la recuperación de especies en estas mismas zonas permitirá mitigar esta afectación de manera indirecta. Posteriormente, cuando el terreno tenga otro uso distinto al del relleno, se implementará un programa de repoblación de especies típicas del lugar tales como aves, reptiles (iguanas, víboras, etc.), ratones de campo y zarigüeyas.
Vegetación	El impacto del sitio seleccionado por acción del desmonte se considera adverso mitigable, afectando todos los estratos de la vegetación. Se debe implementar un programa de reforestación con el propósito de servir como barrera contra olores y emisiones gaseosas.
Empleo y recursos humanos	Se considera un impacto de tipo positivo, ya que demandará mano de obra local.
Paisaje estético	Se verá afectado al carecer de la zona de vegetación durante la operación del relleno, no obstante en la fase de post-clausura del mismo se recuperará el paisaje estético mediante un programa de reforestación en todo el relleno.
Geomorfología	El impacto ejercido sobre la geomorfología del sitio es considerado como mitigable, pues los cambios inducidos tienen que ver con la capa de suelo superficial.
Empleo y recursos humanos	Se considera un impacto de tipo positivo, ya que generará empleos.
Paisaje estético	Es un impacto adverso, ya que afecta la visión estética de la zona. La implementación de un programa de reforestación disminuirá el impacto ejercido.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para el desmonte
Empleo y recursos humanos	Se considera un impacto de tipo positivo ya que genera la mano de obra local.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para polvos
Calidad del aire	Se considera que puede ser afectada la calidad del aire, debido a las partículas generadas por el arrastre y la compactación del terreno. Aunque es una fase de corta duración se recomienda efectuar operaciones de riego, con el fin de eliminar los niveles de emisión de polvos y partículas.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para residuos sólidos
Paisaje	Aunque se considera un impacto adverso, la disposición adecuada de los residuos en la fase de operación, mitigará los efectos de éstos, ya que al final de la vida útil del relleno y con la implementación del programa de reforestación se tendrá la presencia de un paisaje excepcional para las condiciones actuales del sitio seleccionado.

Tabla III.6 Propuesta para la fase de construcción

Concepto afectado	Medidas de mitigación para revestimiento de canales y diques
Agua subterránea	El impacto ejercido sobre el agua subterránea es de tipo positivo ya que el revestimiento de canales y diques con membranas de polietileno de alta densidad, prevé el control del drenaje de los lixiviados para que estos no contaminen los mantos acuíferos.
Empleo y recursos humanos	Cualquier obra de infraestructura necesita de mano de obra por lo que el impacto será favorable para el empleo de la región.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para barreras (vallados)
Paisaje estético	El impacto ejercido es adverso al paisaje estético, sin embargo es característico para el establecimiento de límites de una propiedad, posteriormente se implementará una campaña de implementación de cercos vivos con árboles de la región, preservando así los valores estéticos del área circundante.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para modificación del drenaje
Agua subterránea	El impacto ejercido sobre el agua subterránea es de tipo positivo, la modificación del drenaje para el control de lixiviados o desviación de las corrientes por lluvias, evitará la contaminación de los mantos acuíferos.
Empleo y recursos humanos	Cualquier obra de infraestructura necesita de mano de obra por lo que el impacto será favorable para el empleo de la región.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para requerimientos de energía
Calidad del aire	El tipo de energía utilizada será proporcionado por el combustible que utilizarán las maquinarias en operación, éstas tendrán emisiones controladas mediante la implementación de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para las maquinarias, cabe aclarar que la intensidad de los vientos permitirá el mezclado de los contaminantes de manera que no represente un problema de contaminación.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para ruido
Calidad del aire	Durante la fase de construcción se emitirán niveles de ruido superiores a los 65 decibeles, por acción de la maquinaria de trabajo, sin embargo el impacto ambiental se considera despreciable debido a la magnitud del terreno y a la baja densidad poblacional de en la zona.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para polvos y gases
Aire	Durante éste proceso se incrementará el nivel de polvos y partículas, así como también las emisiones gaseosas, por acción de las maquinarias de trabajo, afectando esto la calidad del aire del microclima en forma despreciable. Se recomienda el riego en esta fase para disminuir la afectación de polvos y partículas, y los gases serán dispersos por acción de los vientos.
Salud pública	Aunque existe un impacto, el riesgo para la población prácticamente no existe, ya que la zona no contempla asentamientos humanos en la cercanía del proyecto.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para requerimientos de energía
Calidad del aire	El tipo de energía utilizada será proporcionada por el combustible que utilizarán las maquinarias en operación, éstas tendrán emisiones, que provocarán un impacto adverso, cabe aclarar que la intensidad de los vientos permitirá el mezclado de los contaminantes de manera que no rebasaran los límites permisibles en cuestión de calidad del medio ambiente.
Salud pública	Aunque existe un impacto, el riesgo para la población prácticamente no existe, ya que la zona no contempla asentamientos humanos en la cercanía del proyecto.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para emisiones a la atmósfera
Calidad del aire	<p>Se contempla la emisión de gases de origen aerobio y anaerobio de la materia orgánica que se describe a continuación:</p> <p>El primer proceso ocurre aeróbicamente durante un corto periodo de tiempo, hasta que se agota el oxígeno inicialmente presente. El gas principal producido es bióxido de carbono (CO₂). Una vez consumido el oxígeno, la descomposición pasa a ser anaerobia y la materia orgánica se convierte en CO₂, CH₄, y cantidades traza de amoníaco y sulfuro de hidrógeno.</p> <p>Sin embargo, se considera que el impacto sobre la calidad del aire será mínimo y asimilable, debido a que en el diseño del relleno se contempló la instalación de mecanismos pasivos como chimeneas, zanjas perimetrales de intercepción y zanjas perimétricas interceptoras, que se utilizarán para controlar la migración del gas del vertedero.</p>

Concepto afectado	Medidas de mitigación para olores
Calidad del aire	<p>Se contempla la emisión de gases de origen anaeróbico como el metano, nitrógeno amoniacal y sulfuros.</p> <p>Sin embargo se considera que el impacto será mínimo debido a las corrientes existentes de vientos que permitirá una ventilación adecuada, evitando así la acumulación de gases en la áreas inmediatas, favoreciendo una constante dilución de las emisiones gaseosas en la atmósfera superior.</p>
Salud pública	Aunque existe un impacto, el riesgo para la población prácticamente no existe, ya que la zona no contempla asentamientos humanos en la cercanía del proyecto.

Concepto afectado	Medidas de mitigación para operación de maquinaria y equipo
Calidad del aire	El combustible que utilizarán las maquinarias en operación tendrán emisiones gaseosas producto de la combustión, que provocará un impacto adverso, aunque este es mínimo, la intensidad de los vientos permitirá el mezclado de los contaminantes de manera que no rebasen los límites permisibles en cuestión de calidad del medio ambiente.
Empleo y recursos humanos	Se considera un impacto de tipo positivo ya que genera mano de obra local.

Concepto afectado		Medidas de mitigación para infraestructura	
Geomorfología		La elaboración constante de las celdas alterará permanentemente la geomorfología del lugar, se considera como adverso mitigable ya que los cambios inducidos están de acuerdo al uso del suelo.	
Agua subterránea		La creación de un relleno sanitario con las especificaciones técnicas de seguridad, traen como consecuencia la protección adicional de los mantos acuíferos permitiendo preservar la calidad del mismo, siendo así un impacto positivo.	
Salud pública		Lo mencionado en el capítulo anterior trae como beneficio la preservación de los recursos acuáticos garantizando el uso de este recurso para la población. Otro beneficio adicional es la disposición adecuada de los residuos sólidos sin el riesgo producido por enfermedades transmitidas por vectores en tiraderos a cielo abierto.	
Educación		En este aspecto se puede ver favorecido el ámbito cultural en forma positiva, ya que este tipo de infraestructura crea conciencia en la población y mayores valores culturales sobre el manejo de los desechos sólidos.	

Concepto afectado		Medidas de mitigación para reforestación	
Microclima		Cualquier acción que involucre la revegetación de una zona, afectada de manera positiva el microclima de ésta, se recomienda un programa de reforestación con especies de la región, que sean tolerables a las condiciones del suelo.	
Uso del suelo		Este capítulo será afectado en forma positiva, ya que la reforestación implica una protección adicional a la cubierta del suelo.	
Fauna		La implementación de un programa de reforestación proporciona la oportunidad de recolonización faunística del lugar brindando un beneficio positivo al sitio.	
Vegetación		Mediante el programa de reforestación los diversos grupos botánicos pueden ser favorecidos de acuerdo al tipo de reforestación, si ésta es estética deberá resaltar el entorno del paisaje, si es ecológica procurará mantener e incrementar la diversidad de especies.	
Paisaje estético		La acción de reforestar el sitio del relleno en la fase de abandono, da la alternativa de mejorar el estilo del paisaje brindando un efecto positivo sobre el sitio y sus entornos.	

Concepto afectado	Medidas de mitigación para infraestructura
Agua subterránea	La consolidación de una estructura de relleno sanitario bajo las especificaciones técnicas del diseño, trae como beneficios, aún después de su etapa de operación, la preservación de los mantos acuíferos.
Calidad del aire	Durante la etapa de operación del relleno y posteriormente a ella, se tendrá actividad de los procesos biológicos y fisico-químicos sobre los residuos almacenados. Para su control se tiene contemplado un sistema de extracción de biogas el cual será implementado a un sistema de consumo. Con ello se lograría la mitigación del impacto que pueda generar la presencia de biogas en la atmósfera, principalmente en el microclima que impera en el sitio seleccionado.
Vegetación	La revegetación en la zona después de la etapa de abandono es un poco complicada si no se toman en cuenta las condiciones del suelo: pH, disponibilidad de nutrientes, así como los gases que se puedan difundir por el suelo. Se tiene contemplada la introducción de especies vegetales tolerables a los parámetros antes mencionados.
Salud pública	La preservación de los recursos acuíferos por la infraestructura desarrollada trae como consecuencia un beneficio social, por lo que se considera un impacto positivo.
Área de interés científico	El proceso que involucra el manejo de los residuos sólidos, hasta la clausura del relleno sanitario, realza los valores culturales y científicos, incrementando el interés de la población por infraestructuras que preserven el medio ambiente.

III.3.3 Conclusiones para el proyecto de construcción del relleno sanitario

En función del estudio de impacto ambiental en modalidad general realizado para el proyecto de construcción de un relleno sanitario, situado en la ciudad de Mérida, se plantean las siguientes conclusiones:

El proyecto de construcción del relleno sanitario, planteado por el Gobierno Municipal de Mérida, representa una alternativa, técnica y económica factible, para el manejo de los desechos sólidos municipales de Mérida. El relleno sanitario está diseñado bajo las consideraciones nacionales e internacionales referidos a las especificaciones de prevención y control de la contaminación ambiental. Por lo que se resolverá un problema de disposición final de residuos sólidos municipales, los cuales directa o indirectamente son responsables de un tipo de contaminación ambiental, implementado en forma paralela tecnologías de

control de la contaminación del ambiente. Todo ello coadyuva a la realización de políticas de desarrollo sustentable.

1. Considerando los resultados obtenidos en la realización del proyecto ejecutivo en relación con su eficiencia y su factibilidad técnica, se concluye que con procedimientos de construcción y de operación de alta calidad, se garantiza el éxito del sistema como una alternativa tecnológica para el tratamiento de los desechos sólidos respaldado por un sin número de proyectos en el ámbito internacional.
2. Los principales impactos ambientales del proyecto tienen relación con las etapas de preparación y mantenimiento, originando efectos adversos mitigables y de tipo favorables sobre la geomorfología, agua subterránea entre otros rubros.
3. Debido a las características del terreno y a las de construcción y abandono, se considera que estas no representan riesgos de impactar adversamente al ambiente. Sin embargo para los impactos identificados se tiene contempladas medidas de mitigación.
4. Dicho proyecto representa la posibilidad para desarrollar una cultura para la preservación del ambiente, vía manejo de los residuos sólidos, así como el reciclaje y aprovechamiento de los mismos.
5. De la misma manera, el proyecto permitirá promover en el corto plazo y durante la vida útil de éste bajo condiciones de temporalidad la creación de empleos beneficiando a la economía local.
6. Se considera así un proyecto de viabilidad técnica y de carácter prioritario para el desarrollo armónico de las actividades económicas de la región.
7. Para fines de conclusión general, la construcción del Relleno Sanitario en Mérida, Yucatán, muestra el camino para una serie de acciones encaminadas a

la aplicación de nuevas tecnologías ambientales para el manejo de residuos generados por las actividades económicas.

A continuación se presentan 15 croquis, con la localización y desarrollo del proyecto del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, Yucatán.

MEXICO

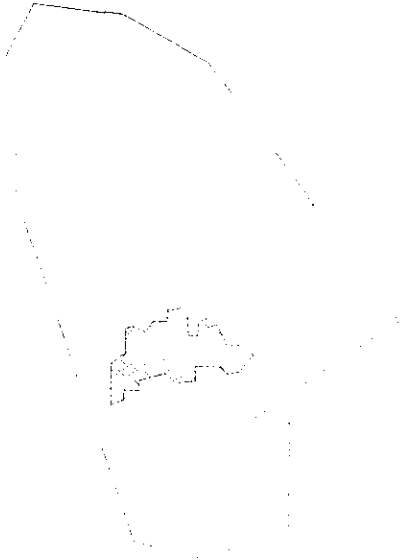


ESTADO DE YUCATAN



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO: RELLENO SANITARIO

ESTADO DE YUCATAN

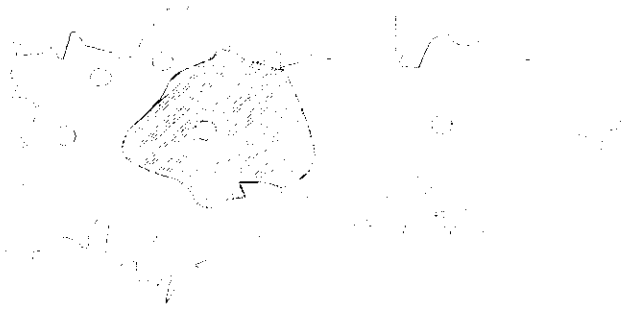


LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE MERIDA



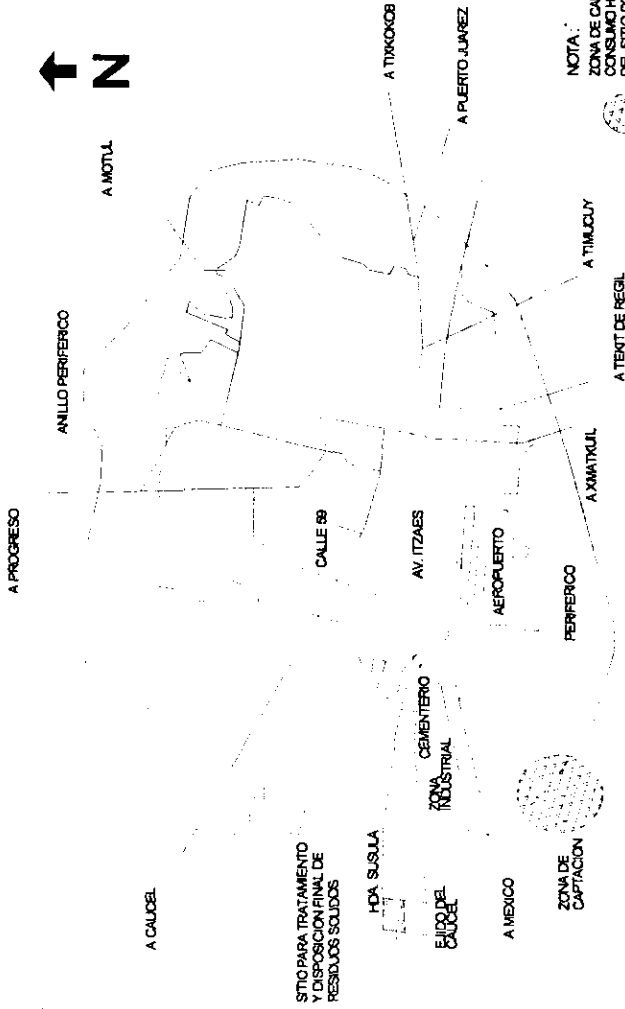
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TRAZADO Y CONSTRUCCION DE
UN PASEO SANITARIO COMO SOLUCION
PROTECTORA DEL RELENO SANITARIO

MUNICIPIO DE MERIDA



LOCALIZACION DEL AREA METROPOLITANA
DE LA CIUDAD DE MERIDA

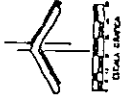
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TRAZADO Y CONSTRUCCION DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO: RELLENO SANITARIO



NOTA:
 ZONA DE CAPTACION DE AGUA PARA
 CONSUMO HUMANO Y LOCALIZACION
 DEL SITIO DONDE SE CONSTRUIRA LA
 PLANTA DE COMPOSTA Y RECICLAJE
 E INCINERADOR MUNICIPAL DE
 RESIDUOS SOLIDOS DE ALTO RIESGO.

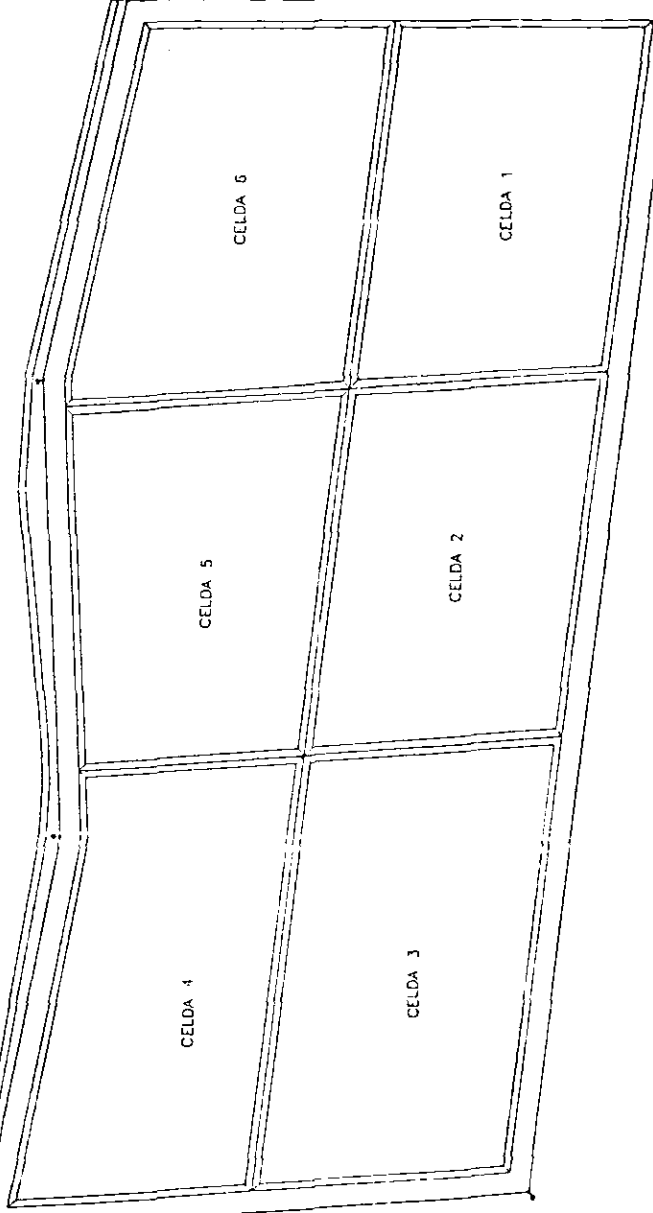
FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
 POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE
 UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
 PROYECTO RELLENO SANITARIO

Plano de la Ciudad de Mérida

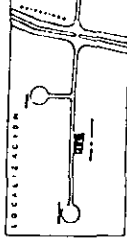


INIA
INSTITUTO NACIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

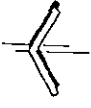
PLANTA DE COMPOSTEA



PLANTA GENERAL



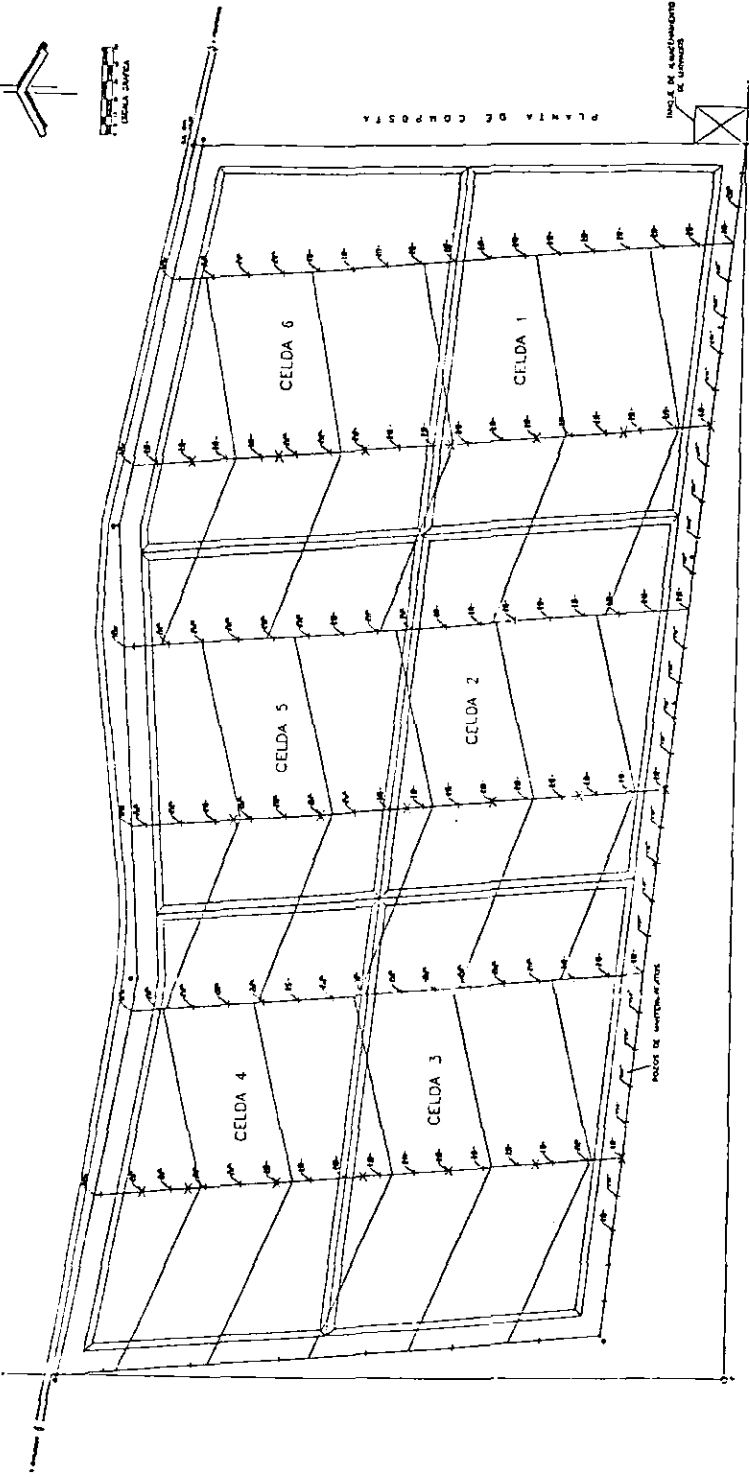
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS: RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO: RELLENO SANITARIO



ESCALA 1:500

PLANTA DE CORPORA

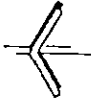
INICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUAS



RECUPERACION

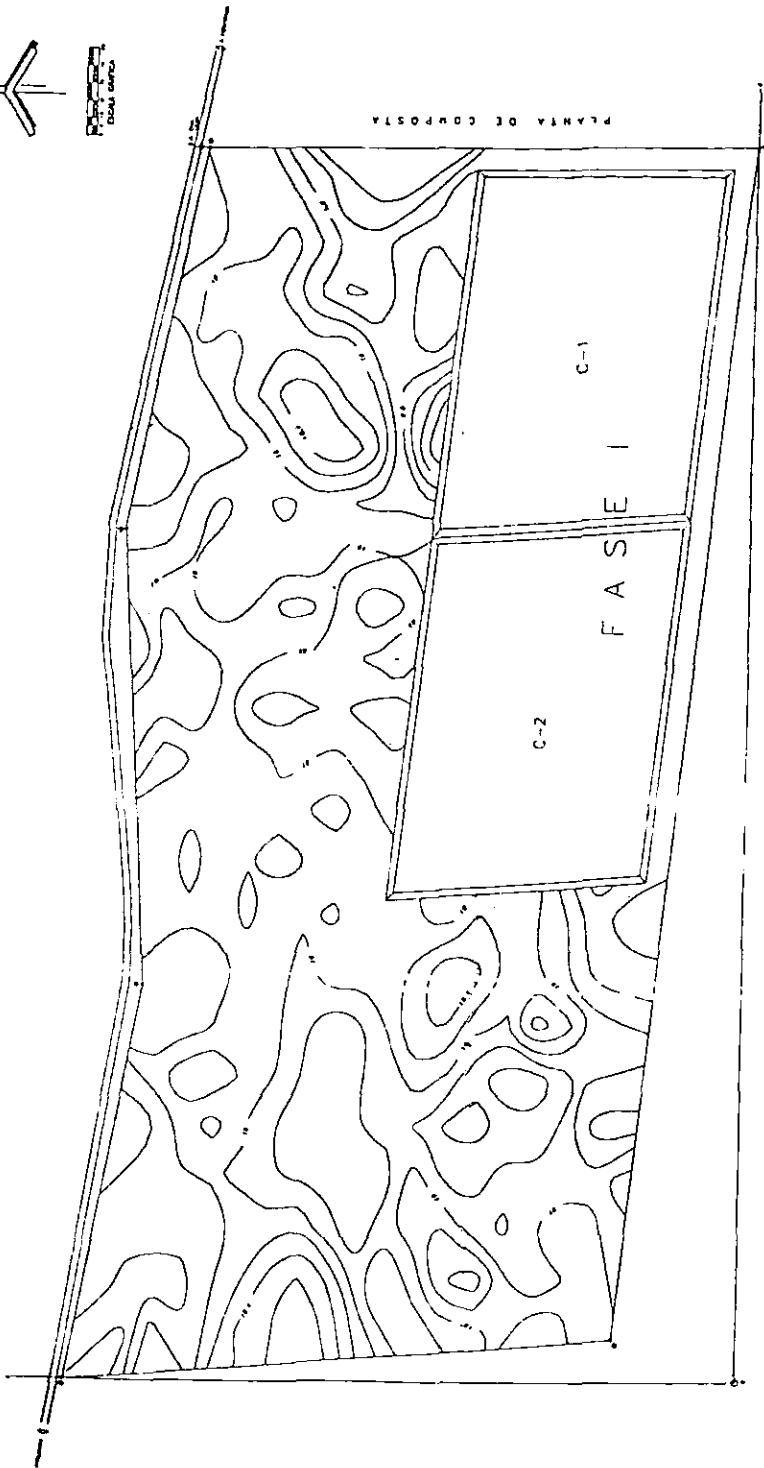


FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS: RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE
UN RILLERO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO: RILLETRO SANITARIO

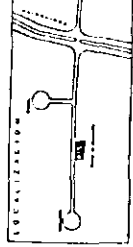


PLANTA DE
DISEÑO

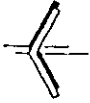
PLANTA DE COMPOSTA



ESCALA 1:500

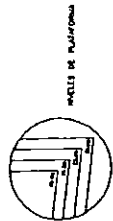
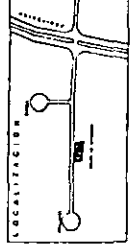
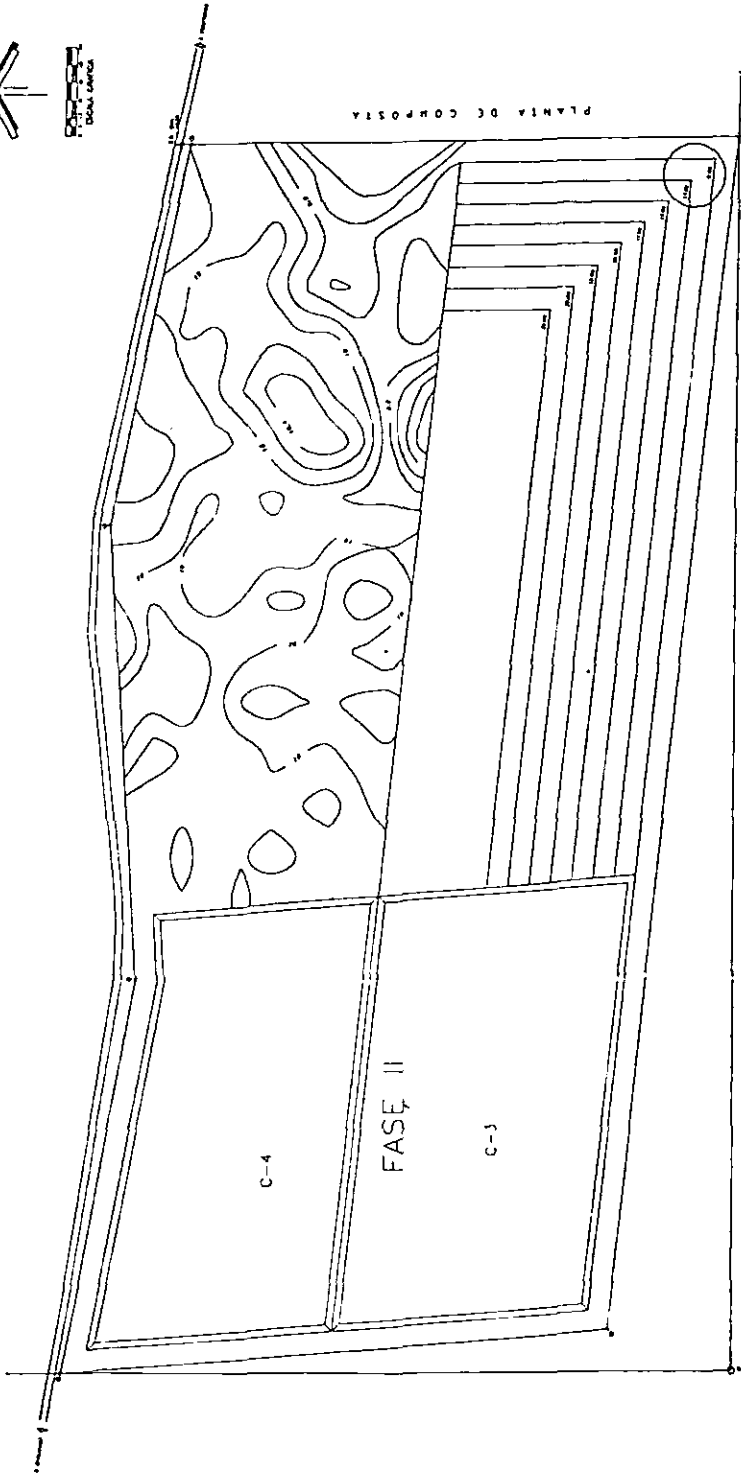


FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS RESISTENCIA DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO RELLENO SANITARIO



ESCALA
1:1000
DIGNO GARZA

PLANTA DE COMPOSTA

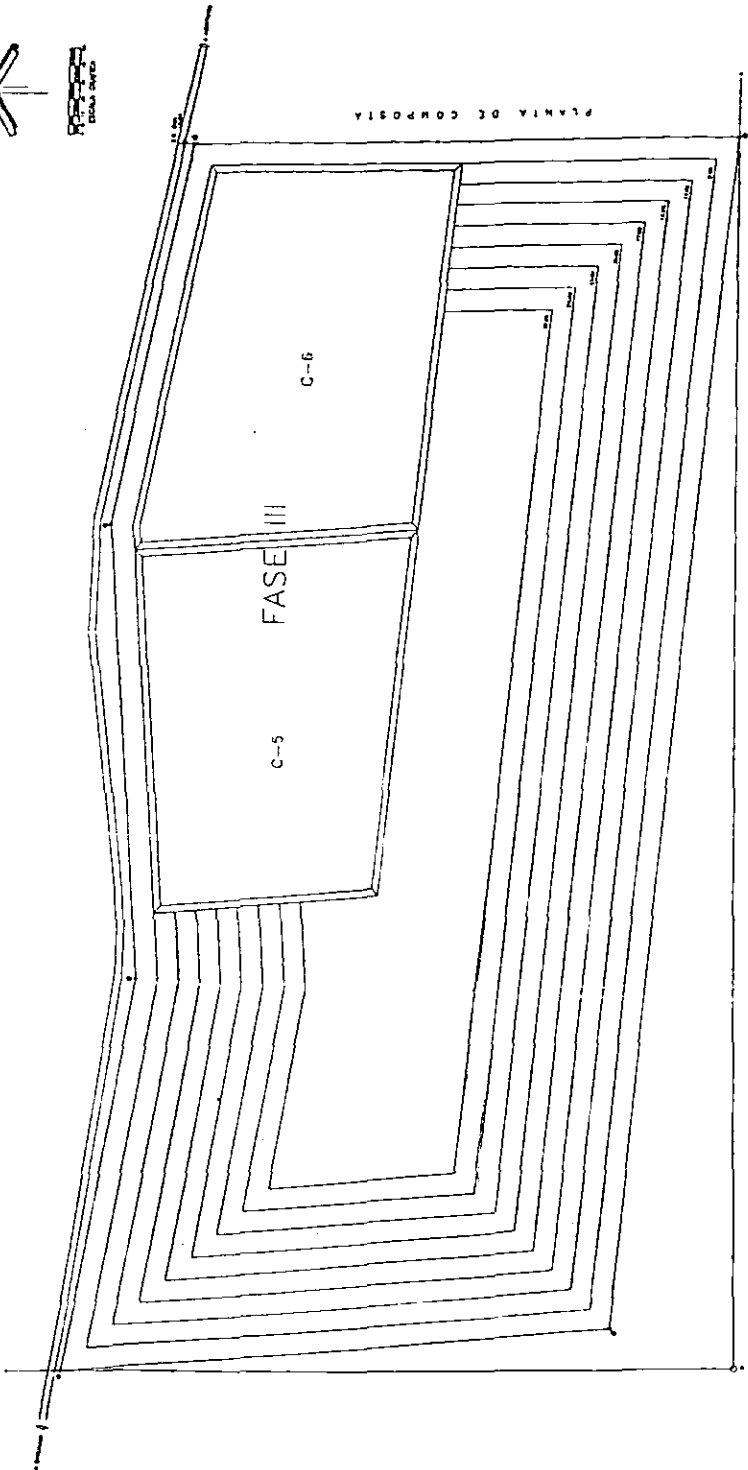


FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR MINERIA Y CONSTRUCCION DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO RELLENO SANITARIO

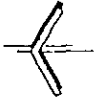


ESCALA: 1:500

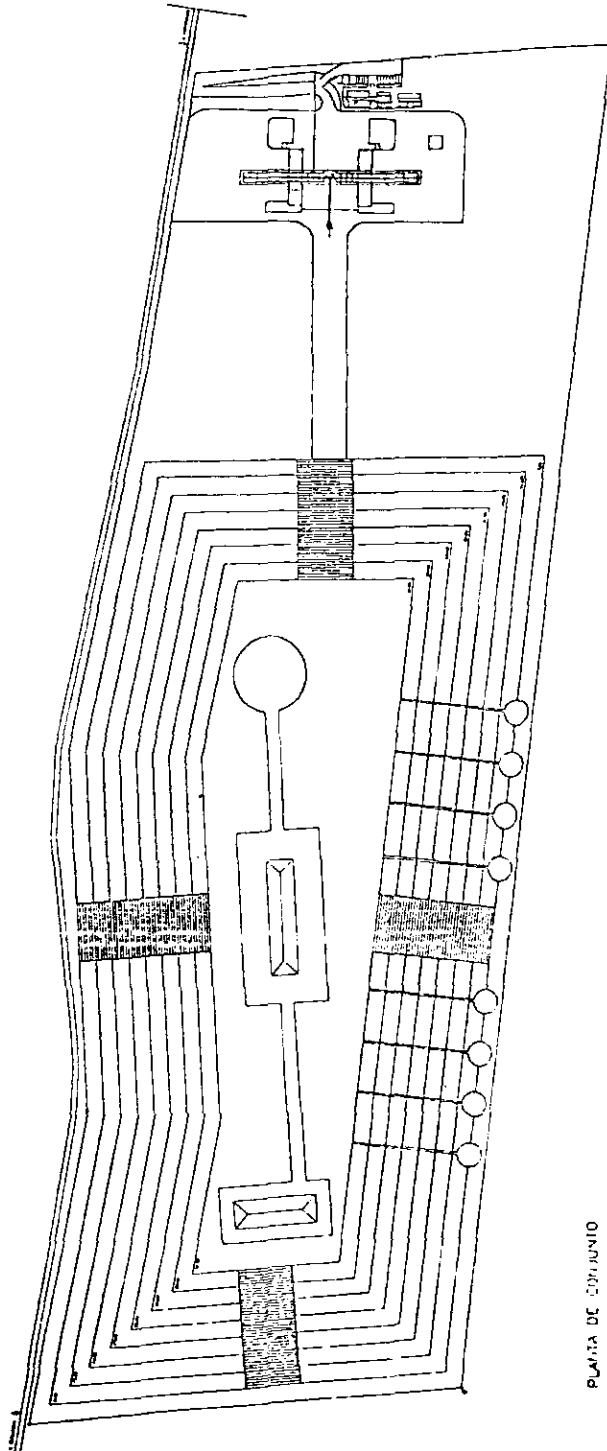
PLANTA DE COMPOSTA



FACULTAD DE INGENIERIA	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA	
POR UN THRADERO Y CONSTRUCCION DE	
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION	
PROYECTO: RELLENO SANITARIO	
LOCALIZACION	



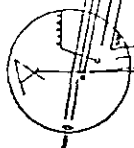
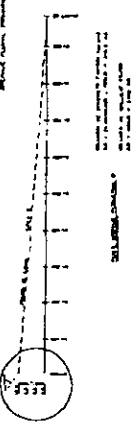
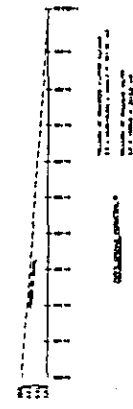
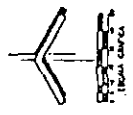
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Metros



	FACULTAD DE INGENIERIA
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TRAZADO Y CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION

PROYECTO RELLENO SANITARIO

PLANTA DE CONJUNTO



SECCION TRANSVERSAL DEL CANAL

SECCION LONGITUDINAL DEL CANAL

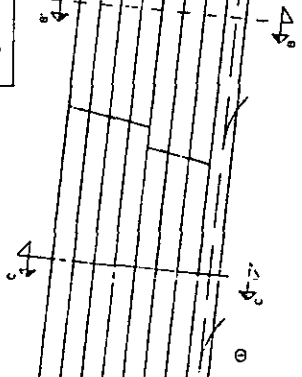
SECCION LONGITUDINAL DEL CANAL

SECCION LONGITUDINAL DEL CANAL

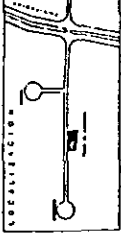
PRENSA DE PLANEA DE COMPOSITA

PRENSA

SIMBOLOGIA
 CANAL FONOTONIA | ORDENAMIENTO 21
 CANAL RECORRIDO | ANCHO 150 mm. CANAL CANAL 1 CANAL
 SAGUON A CADA 100 mm.



FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 TESIS REESTRUCTURACION DE UNA ZONA AFECTADA
 POR LA TRAZA Y CONSTRUCCION DE
 UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
 PROTECCION RELLENO SANITARIO



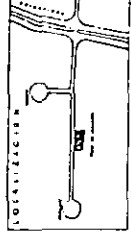
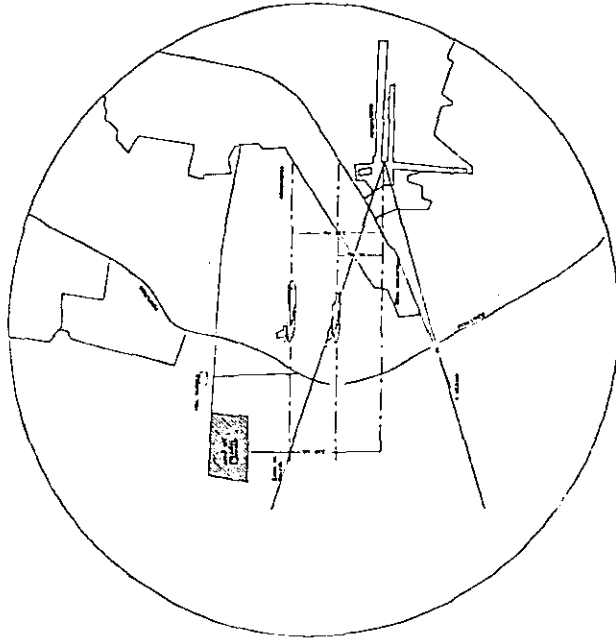


TIPO DE APROBACION	UNIVERSIDAD DE LA LOCALIDAD
Numero de	100000000
DE PLAZA	120000000

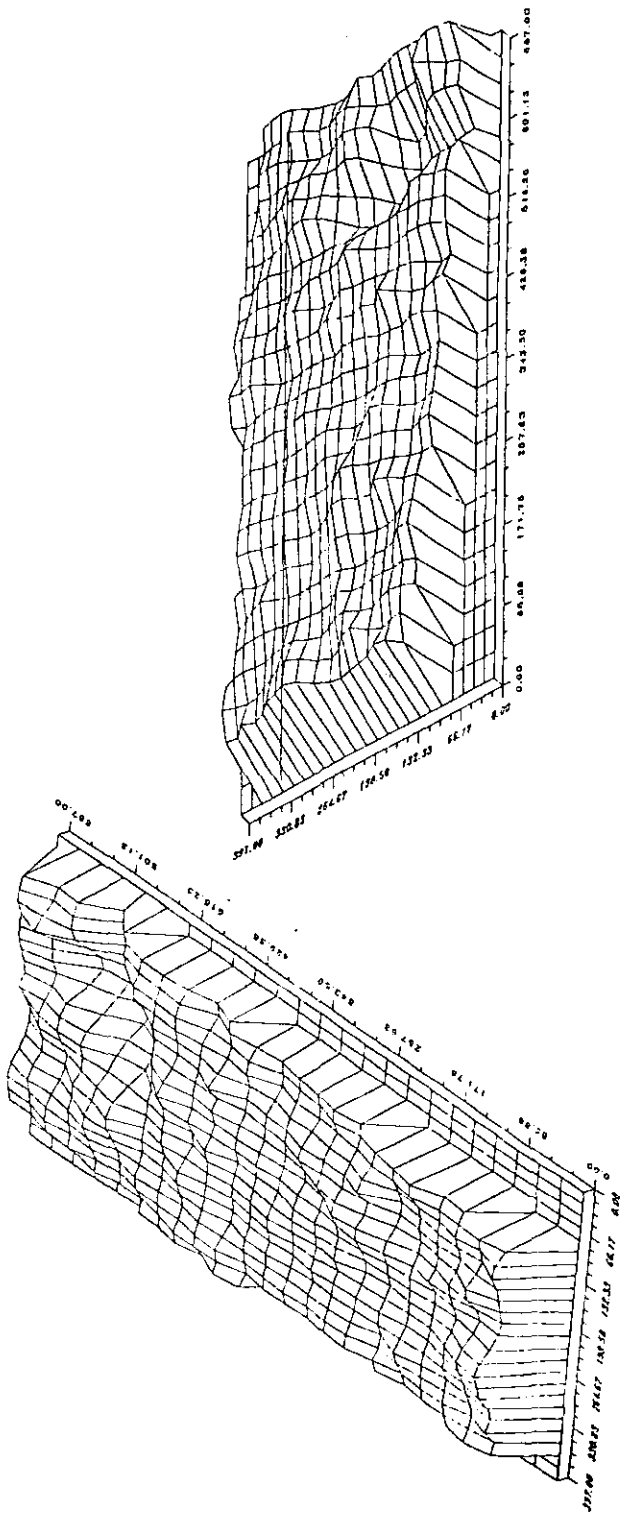
NOTAS: -

1. Este proyecto de saneamiento básico para el desarrollo urbano de la zona afectada por el terremoto de 1985, se realizó en el marco de la colaboración técnica de la Universidad de la Localidad y el apoyo financiero de la Universidad de la Localidad.

2. Este proyecto de saneamiento básico para el desarrollo urbano de la zona afectada por el terremoto de 1985, se realizó en el marco de la colaboración técnica de la Universidad de la Localidad y el apoyo financiero de la Universidad de la Localidad.



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
TESIS: RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TERREMOTO Y CONSTRUCCION DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO: RELLENO SANITARIO



CAPITULO IV

COSTOS

CAPITULO IV

COSTO

En este capítulo se presentan la forma de evaluar la factibilidad de desarrollar el proyecto y su impacto económico, así como de manera enunciativa la relación costo-beneficio.

IV.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

A continuación se hará mención a conceptos de planeación, análisis del proyecto y a los costos del mismo.

IV.1.1 Conceptos de planeación

El aumento demográfico y la gran variedad de nuevos usos para la tierra, y la insistencia de la gente de tener mayor acceso al sol y al aire libre hacen necesaria una planeación más intensiva del aprovechamiento de la superficie terrestre. La finalidad de la planificación consiste en aprovechar las áreas rurales y terrenos mal utilizados en las ciudades, a fin de poder vivir más eficiente, durable, confortable y económicamente. Hay que considerar que el trabajo no que terminado cuando el área ha quedado planificada. Se deben evaluar los efectos en el ambiente que implica el hacer o no los cambios planeados y se deben evaluar las alternativas apropiadas.

Deben diseñarse sistemas que operen en forma permanente para el suministro de agua, desechos de aguas negras, descarga de aguas de lluvia, transportación y suministro de electricidad, teléfono y gas. Otros servicios necesarios se organizan después de la ocupación, pero deben ser previsto en el plan. Los desechos sólidos, que incluyen basura doméstica, y que no son triturados y eliminados junto con las aguas negras, tienen que ser retirados de las propiedades. Debe escogerse una ubicación conveniente para los botes con basura, que ésta sea recolectada con regularidad y sea llevada en vehículos cerrados a su destino final. Este puede consistir en terrenos de relleno sanitario operados adecuadamente o bien en incineradores modernos ubicados donde no contaminen.

Deben recogerse las hojas, el pasto cortado, y el material que se poda de jardines y árboles durante las estaciones del año en que estos crecen. Deben tomarse medidas para retirar muebles viejos, troncos de árboles, refrigeradores inservibles, colchones de camas viejas, y otros materiales voluminosos, como automóviles antiguos abandonados en las calles. Estos objetos de desecho deben retirarse con prontitud.

Los desechos industriales varían desde simples desperdicios hasta los de los procesos complejos de minería, refinación de petróleo, procesamiento de alimentos, fabricación de papel, manufactura de medicinas, desengrase y cromado. Algunos contienen grandes cantidades de bacterias y una alta demanda de oxígeno. Otros son tóxicos, y por lo tanto dañinos a la gente y a la vida acuática. Los requisitos para el tratamiento de desechos industriales no puede generalizarse, sino que tienen que ajustarse a la necesidad individual.

Al destinar la tierra a múltiples usos, los proyectistas posponen a menudo, la solución del problema de eliminación de desechos sólidos, como basura, papel de desperdicio, y otros desechos. Esto es un error, pues los desechos sólidos se acumulan a razón de unas cuantos kilogramos por persona por día de basura doméstica hasta de toneladas de desperdicios especiales por parte de las industrias y comercios.

El método aceptado consiste en recolectar la basura doméstica varias veces a la semana. Dicho material se transporta a áreas designadas, o bien, se deposita en basureros para su uso en plantas que fabrican abonos, o se quema en incineradores, o lo que en nuestro caso es un relleno sanitario.

Para desarrollar los beneficios se deben tomar en cuenta siguientes factores:

- Económicos,
- Legales,
- Sociales,
- Físicos, y
- Características propias del área, los que tienen que ser relacionados
- Características del suelo y subsuelo.
- Estudios de población.
- Asignación de terrenos aprovechables.
- Tipos y propósitos de construcciones.
- Industria.

- Zonas habitacionales.
- Nivel socio-económico

IV.1.2 Financiamiento del desarrollo de proyectos y mejoras

El desarrollo de la tierra involucra el gasto de grandes cantidades de dinero de fuentes gubernamentales y privadas. En todos, los gastos e ingresos deben ser estimados y debe arreglarse un financiamiento a corto y a largo plazo.

Las políticas del Gobierno Local acerca del financiamiento de mejoras para desarrollo de la tierra tienen una influencia principal en el crecimiento ordenado de las áreas y en la naturaleza y el itinerario de los proyectos. La magnitud de los costos de desarrollo ha creado problemas económicos para muchos gobiernos locales, limitando las instalaciones disponibles en algunas áreas, y afectando el ambiente resultante en todos los casos.

El financiamiento de mejoras por dueños privados depende del costo y la disponibilidad de recursos económicos. Tal financiamiento depende de evaluaciones de mercado realizadas por las instalaciones financieras.

Para estimular la planeación de mejoras y el desarrollo de áreas, el Gobierno Federal ha creado muchos programas que otorgan préstamos y concesiones a particulares y Gobiernos locales. Estos fondos pueden usarse para asistencia técnica, investigación, planificación, viviendas, transporte, servicios, instalaciones para la comunidad, y proyectos recreativos y culturales. Muchos de los programas son específicos al desarrollo de áreas nuevas o la rehabilitación de áreas existentes.

El financiamiento público de capital para mejoras se realiza por muchos métodos, algunos de los cuales son apropiados y otros inequitativos. El método de financiamiento debe ser diseñado para evaluar el costo de las mejoras en las áreas o en personas beneficiadas. Los impuestos a los bienes raíces se aplican sobre metro lineal de frente de la propiedad, de acuerdo a los beneficios recibidos por cobros especiales del área o cargos por servicio de conexiones, por uso basado en las cantidades consumidas o eliminadas, cobros fijos, etc. Se usa estos y otros métodos de cobro.

En la realización de proyectos grandes de desarrollo de la tierra por empresas privadas, las instituciones financieras principales ven favorablemente que se empleen ingenieros, arquitectos y

proyectistas de reputación para la elaboración de los planes maestros y para poner en ejecución la construcción que resulte. En la mayor parte de los casos, la reputación del profesionista responsable del plan maestro es de las consideraciones más importantes para la aprobación del financiamiento.

IV.1.3 Análisis económico del proyecto

La disposición final en rellenos sanitarios cada vez se vuelve más cara. El costo total proveniente de esta opción de manejo se ha incrementado drásticamente. Los costos capitales de desarrollo de sitios modernos con sistemas de control de lixiviados y gases, han contribuido en alto grado a estos incrementos.

Los costos de un relleno sanitario son presentados en las tablas adjuntas. Muchos de estos costos son incurridos después de la clausura del sitio y por lo mismo, después de la recepción de ingresos por concepto de cobro de manejo de desechos. Consecuentemente, estos costos deben ser financiados a través de fondos depositados en fideicomisos e incrementados sobre el período de operación del relleno sanitario.

El organismo operador del relleno sanitario, incluyendo gobiernos locales, debe demostrar la capacidad financiera de ejecutar cualquier actividad requerida de clausura o postclausura o cualquier acción necesaria de remediación o restauración ecológica. De este modo, se hace imperativo durante el período de actividad del sitio que permita cubrir cualquiera de estos costos potenciales. El costo del ciclo de vida puede ser categorizado como sigue: construcción, operación (incluyendo el monitoreo), clausura y cuidado de largo plazo. En muchos casos el costo de acarreo está contemplado para ser el más alto sobre todo cuando los rellenos se localizan en áreas remotas.

IV.1.4 Costos de construcción

La tabla 4.1 incluye una lista de partidas típicas de construcción para un relleno sanitario, estando ésta casi completa. Las bases para estimar los costos unitarios son también incluidos para dar alguna idea sobre que actividades podrán ser incluidas para arribar a costos unitarios. Las partidas de construcción para atenuación natural de un relleno pueden localizarse fácilmente en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Conceptos utilizados para la definición de los costos de construcción de un relleno sanitario

CONCEPTO	ALCANCE DEL TRABAJO
Limpieza y desmonte	Limpiar y desmontar la cubierta forestal
Sitios y caminos de acceso	Situación y compactación de grava (roca fracturada)
Quitar las capas de suelo superficial	Quitar y almacenar la capa de suelo superficial
Construcción de drenaje	Arado de aspereza y protección contra la erosión
Construcción de la cuenca de sedimentación	Bermas, refuerzos o cimientos y tubos de descarga
Excavación para profundizar celdas	Cortes para profundizar celdas
Construcción de bermas	Rellenos para los perímetros de las bermas (solo compactación)
Lisímetro de recolección	Excavación, recubrimiento, tubería, lavadores y pozos de almacenamiento.
Construcción de la capa de drenaje	Adquisición y transportación
Sistemas de tuberías de lixiviados	Excavación, relleno con grava, cubrimiento, tubería y filtros
Conductor de lixiviados al pozo de visita principal	Construcción de pozos, materiales
Limpieza de lixiviados	Excavación, tubería y compactación
Tanque de recolección de lixiviados	Excavación, colocación de tanque de fibra de vidrio, bomba
Sistema de recolección de gases	Construcción de pilares para pozos, tuberías, grava
Colocación de cubiertas impermeables	Adquisición y transporte
Sembrado y control de crecimiento o desarrollo de pasto	Adquisición de material vegetativo y colocación
Supervisión, documentación y técnicas de evaluación	Inspección, pruebas y reportes

IV.1.5 Costo de clausura o conclusión

La tabla 4.2, incluye una lista de partidas típicas de construcción necesarias para clausurar un relleno y las bases de la estimación del costo unitario. El costo unitario para esta etapa (de clausura) podría ser aproximadamente una tercera parte del costo total, en caso de que el organismo operador (especialmente si es privado) pudiera fallar en la clausura del relleno apropiadamente por carecer de fondos. En este caso, la Agencia Federal, Estatal o Municipal designada deberá clausurar el sitio.

En la mayoría de los casos la Agencia Federal, Estatal o Municipal designada tendrá que realizar la licitación para que una empresa o contratista realice el trabajo. Así el costo de cada partida debe

reflejar la tercera parte de los costos. Si el suelo está disponible en el sitio, el costo de adquisición de la misma puede no ser incluido en el costo unitario. Pero un documento legal hecho por la Agencia Federal o Estatal puede permitir el acceso al terreno. Un caso de escenario pésimo (por ejemplo, una fase se ha enriquecido al grado final pero no es cubierta y los desechos están siendo depositados en la próxima fase), podría ser considerado para estimar costos de clausura. Los costos de clausura en el ejemplo incluirán la cobertura final de la construcción en ambas fases y llena la segunda fase con suelo en el séptimo grado.

Tabla 4.2 Elementos para la estimación de los costos de clausura de un relleno sanitario.

ELEMENTO	ALCANCE DEL TRABAJO
Construcción de la cubierta final	Construcción de la capa barrera y otras capas, transporte y colocación, nivelación de la cubierta
Sembrado, fertilización y corte	Por hectárea
Pozo de control de lixiviados	Perforación e instalación de pozo(s)
Evaluación y documentación	Inspección, pruebas, preparación de reportes.
Contingencias	10 - 25 % del costo total

IV.1.6 Costos del cuidado a largo plazo

La tabla 4.3, incluye una lista de partidas típicas necesarias para la estimación de costos del cuidado a largo plazo para un contenedor tipo RELLENO.

Tabla 4.3 Conceptos referidos para la estimación de los costos de cuidado a largo plazo de un relleno sanitario.

CONCEPTOS	ALCANCE
Costos de uso de plan final	Remoción de árboles y arbustos
Inspección del sitio	Visitas técnicas
Servicio de cuidado del suelo	Evaluación y monitoreo
Manejo de lixiviados y gases	Supervisión y análisis
Monitoreo ambiental	Evaluación
Seguro	Compra

Aquí también el costo unitario deberá ser una tercera parte del costo total. El deterioro de áreas considerables de superficie por hectárea cerrada por año, puede ser considerado en la mayoría de los casos.

La erosión es alta en el primer año y decrece continuamente en un relleno bien mantenido. El costo del cuidado del área puede ser así ser reducido al 10% del valor original en un período de 7 a 10 años. El acarreo de lixiviados y su tratamiento están en las partidas a largo plazo. La tasa de producción de lixiviados es reducida significativamente en unos cuantos años, después de la clausura.

Cabe mencionar que la reducción en la tasa de lixiviados es difícil de estimar. Entre un 20 % y un 30 % de infiltración de la precipitación total puede ser usada para estimar la operación de lixiviados en los primeros años.

Los fondos necesarios para el manejo de lixiviados (acarreo y tratamiento) pueden ser ajustado en años subsecuentes basados en una guía de datos actuales. La tercera parte del costo para acarreo y tratamiento podría ser considerada aun cuando el relleno tenga su propia planta de tratamiento.

IV.1.7 Costos de operación

La tabla 4.4, incluye una lista de partidas para la estimación anual de costos de operación para un contenedor tipo relleno. Los costos del manejo de lixiviados y otras partidas interpelantes (por ejemplo: monitoreo lisimétrico) podrían ser excluidos cuando se estima el costo de operación de un relleno. Una tercera parte del costo necesita ser usada para estimar el costo de operación anual.

Tablas 4.4 Análisis de factibilidad

Tabla 4.4.1 Método combinado

ANALISIS DE FACTIBILIDAD			
OBRA:	RELLENO SANITARIO	OPCION:	1
LUGAR:	MÉRIDA, YUCATÁN	METODO :	COMBINADO
ESPECIALIDAD:	INGENIERIA AMBIENTAL	ANALISTA:	Martin Rcyes
CONCENTRADO DE TOTALES POR PARTIDA			

**Concentrado de totales por partida de la alternativa 1 (COMBINADO) para el
Estudio de Factibilidad de un Relleno Sanitario**

Núm.	NOMBRE DE LA PARTIDA	TOTAL	ACUMULADO
------	----------------------	-------	-----------

1	CAMINOS DE ACCESO	210.00	210.00
2	PREPARACION DEL SITIO DE TRABAJO	2,920.00	3,130.00
3	INSTALACIONES PARA EL CONTROL DE EROSION	2,500.00	5,630.00
4	SISTEMA DE RECOLECCION DE LIXIVIADOS	340.00	5,970.00
5	SISTEMA PARA EL MANEJO DE GASES	330.00	6,300.00
6	SISTEMA DE BASCULA	300.00	6,600.00
7	INSTALACIONES PARA MANTENIMIENTO	450.00	7,050.00
8	GASTOS ADICIONALES	300.00	7,350.00
9	TERRACERIAS	5,300.00	12,650.00
10	SISTEMA DE MEMBRANA	8,990.00	21,640.00
11	SISTEMA DE CUBIERTA	720.00	22,360.00
12	OPERACION GENERAL	21,800.00	44,160.00
13	COSTO DE CLAUSURA	2,200.00	46,360.00
14	COSTO DE CUIDADOS A LARGO PLAZO	1,090.00	47,450.00

TOTAL PRESUPUESTO BASE	47,450.00
-------------------------------	------------------

Notas Los importes están expresados en miles de pesos
Los importes corresponden a costos paramétricos de acuerdo con el estudio de terreno y a los planos constructivos

Tabla 4.4.2 Método Environ Protec Agency

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD			
OBRA:	RELLENO SANITARIO	OPCION:	2
LUGAR:	MERIDA, YUCATAN	METODO :	EPA
ESPECIALIDAD:	INGENIERIA AMBIENTAL	ANALISTA:	Martin Reyes
CONCENTRADO DE TOTALES POR PARTIDA			

**Concentrado de totales por partida de la alternativa 2 (EPA) para el
Estudio de Factibilidad de un Relleno Sanitario**

Núm.	NOMBRE DE LA PARTIDA	TOTAL	ACUMULADO
1	CAMINOS DE ACCESO	210.00	210.00
2	PREPARACION DEL SITIO DE TRABAJO	2,920.00	3,130.00
3	INSTALACIONES PARA EL CONTROL DE EROSION	2,500.00	5,630.00
4	SISTEMA DE RECOLECCION DE LIXIVIADOS	340.00	5,970.00
5	SISTEMA PARA EL MANEJO DE GASES	330.00	6,300.00
6	SISTEMA DE BASCULA	300.00	6,600.00
7	INSTALACIONES PARA MANTENIMIENTO	450.00	7,050.00
8	GASTOS ADICIONALES	300.00	7,350.00
9	TERRACERIAS	5,300.00	12,650.00
10	SISTEMA DE MEMBRANA	35,400.00	48,050.00
11	SISTEMA DE CUBIERTA	720.00	48,770.00
12	OPERACION GENERAL	15,600.00	64,370.00
13	COSTO DE CLAUSURA		64,370.00
14	COSTO DE CUIDADOS A LARGO PLAZO		64,370.00
TOTAL PRESUPUESTO BASE		64,370.00	

Notas Los importes están expresados en miles de pesos

Los importes corresponden a costos paramétricos de acuerdo con el estudio de terreno y los planos constructivos.

Tabla 4.4.3 Método Local

ANALISIS DE FACTIBILIDAD			
OBRA:	RELLENO SANITARIO	OPCION:	3
LUGAR:	MÉRIDA, YUCATÁN	METODO:	LOCAL
ESPECIALIDAD:	INGENIERIA AMBIENTAL	ANALISTA:	Martín Reyes
CONCENTRADO DE TOTALES POR PARTIDA			

**Concentrado de totales por partida de la alternativa 3 (LOCAL) para el
Estudio de Factibilidad de un Relleno Sanitario**

Núm.	NOMBRE DE LA PARTIDA	TOTAL	ACUMULADO
1	CAMINOS DE ACCESO	210.00	210.00
2	PREPARACION DEL SITIO DE TRABAJO	2,920.00	3,130.00
3	INSTALACIONES PARA EL CONTROL DE EROSION	2,500.00	5,630.00
4	SISTEMA DE RECOLECCION DE LIXIVIADOS	340.00	5,970.00
5	SISTEMA PARA EL MANEJO DE GASES	330.00	6,300.00
6	SISTEMA DE BASCULA	300.00	6,600.00
7	INSTALACIONES PARA MANTENIMIENTO	450.00	7,050.00
8	GASTOS ADICIONALES	300.00	7,350.00
9	TERRACERIAS	5,300.00	12,650.00
10	SISTEMA DE MEMBRANA	-	12,650.00
11	SISTEMA DE CUBIERTA	720.00	13,370.00
12	OPERACION GENERAL	21,800.00	35,170.00
13	COSTO DE CLAUSURA	2,200.00	37,370.00
14	COSTO DE CUIDADOS A LARGO PLAZO	1,090.00	38,460.00
TOTAL PRESUPUESTO BASE		38,460.00	

Notas Los importes están expresados en miles de pesos
Los importes corresponden a costos paramétricos de acuerdo con el estudio de terreno y a los planos constructivos

Tabla 4.5 Programa de inversiones (flujo de caja)

RESULTADOS DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA UN RELLENO SANITARIO
PROGRAMACIÓN DE INVERSIONES (FLUJO DE CAJA)

Nº	CONCEPTO	TOTAL	AÑOS										TOTAL
			1y2	3y4	5y6	7y8	9	10	11				
1	CAMINO DE ACCESO	210.00	105.00	42.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	210.00
2	PREPARACION DEL SITIO DE TRABAJO	2,920.00	2,482.00	438.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,920.00
3	INSTALACION PARA CONTROL DE EROSION	2,500.00	2,475.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,500.00
4	SIST. DE RECOLECCION DE LIXIVIADOS	340.00	299.00	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	340.00
5	SISTEMA DE MANEJO DE GASES	336.70	304.00	11.10	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	336.70
6	SISTEMA DE BASCULA	300.00	300.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300.00
7	INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO	450.00	450.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.00
8	GASTOS ADICIONALES	300.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	300.00
9	TERRACERIAS	5,300.00	1,487.99	1,168.00	1,058.00	1,058.00	1,058.00	1,058.00	1,058.00	1,058.00	1,058.00	1,058.00	5,300.00
10	SISTEMA DE MEMBRANAS	8,990.00	7,641.20	1,348.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,990.00
11	SISTEMA DE CUBIERTA	720.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	720.00
12	OPERACION GENERAL	21,800.00	6,104.00	4,796.00	4,360.00	4,360.00	4,360.00	4,360.00	4,360.00	4,360.00	4,360.00	4,360.00	21,800.00
13	COSTO DE CLAUSURA	2,200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,200.00
14	COSTOS DE CUIDADO A LARGO PLAZO (20 AÑOS)	21,600.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21,600.00
A	GASTOS PARCIALES	47,450.00	21,706.16	7,321.90	5,505.21	5,505.21	5,505.21	5,505.21	5,505.21	5,505.21	5,505.21	5,505.21	47,450.00
15	VOLUMEN CONF INADO tom/año/1000		356.83	364.67	414.68	414.68	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04	3,568.80
16	COSTO POR TONELADA [(45 + 45) / 1000]		0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
B	INGRESOS POR VENTAS		16,367.21	17,310.08	18,660.70	18,660.70	20,116.71	20,116.71	20,116.71	20,116.71	20,116.71	20,116.71	163,672.10
C	INGRESOS POR CREDITOS		11,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11,000.00
17	SALDOS INSOLUTOS		8,692.86	14,035.71	9,035.71	9,035.71	4,035.71	4,035.71	4,035.71	4,035.71	4,035.71	4,035.71	86,928.60
18	AMORTIZACION DEL CREDITO		2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00	25,000.00
19	COSTOS FINANCIEROS	6,942.86	2,833.93	2,105.36	1,365.36	1,365.36	605.36	605.36	605.36	605.36	605.36	605.36	6,942.86
D	TOTAL		5,333.93	4,605.36	3,365.36	3,365.36	3,105.36	3,105.36	3,105.36	3,105.36	3,105.36	3,105.36	53,339.30
(B + C)	TOTAL DE INGRESOS		27,057.21	17,310.08	18,660.70	18,660.70	20,116.71	20,116.71	20,116.71	20,116.71	20,116.71	20,116.71	218,660.32
(A + D)	TOTAL DE EGRESOS		21,323.45	12,534.94	3,369.55	3,369.55	8,519.59	8,519.59	8,519.59	8,519.59	8,519.59	8,519.59	213,234.50
	SALDO CAJA		326.66	5,764.71	23,273.60	23,273.60	45,151.09	45,151.09	45,151.09	45,151.09	45,151.09	45,151.09	79,668.17

Notas:
1. Este programa de inversión se toma de la alternativa 1 (Combinado)
2. Importes expresados en miles de pesos

A partir del análisis correspondiente se hace evidente que la opción 1 genera el mayor beneficio ambiental a una menor proporción de costo con relación a las otras alternativas planteadas.

El fondo económico de los desechos es un fondo administrado por algunos Estados en los cuales participa como propietario. El dinero del fondo puede ser usado para clausuras, acciones de remediación o para el cuidado de largo plazo de rellenos abandonados. Usualmente un honorario está basado o cargado sobre el tonelaje de desechos depositados en un relleno. Si en el fondo no existen los honorarios necesarios, no serán tomados en la estimación de costos de operación. Adicionalmente para costos de monitoreo, necesariamente el dinero para clausura y cuidados de largo plazo podrían ser invertidos durante la vida activa del sitio.

Así mismo, el dinero puede ser guardado para el desarrollo de futuros rellenos durante la vida de un relleno. Así, una vez que un relleno es construido, el usuario honorario puede ser estimado en tal forma que serán cubiertas todas las actividades futuras relativas a la disposición de desechos. En algunas instancias, los ingresos generados de los usuarios honorarios pueden ser voluminosamente subestimados si el volumen dispuesto es reducido significativamente de actividades o inadecuadamente estimados del volumen de la tasa de generación de desechos. La oportunidad de sobrestimar la tasa de generación es alta en pequeñas comunidades. Los pagos de cuidados podrían ser tomados cuando se estima la tasa de generación de desechos. Una discusión sobre el efectivo estimado es incluida en el anexo, la cual proveerá ayuda adicional en la estimación del costo de operación.

IV.1.8 Análisis financiero general

A través de una aplicación colateral de un programa de computo, se generaron análisis financieros para cada una de las opciones técnicas de estructuras del relleno sanitario. De esta manera se efectuó un análisis de egresos anuales considerando los rubros de inversión, operación, mantenimiento, administración y amortización del financiamiento. El anexo contiene las corridas de este ejercicio de igual forma a las tablas que representan las estimaciones presentadas para cada una de las opciones planteadas en el trabajo.

Partiendo de los resultados de la tabla sobre el análisis financiero desarrollado para la opción 1, cabe remarcar los siguientes resultados:

1. El costo estimado por tonelada confinada en el relleno sanitario es de \$ 45.00 (CUARENTA Y CINCO PESOS 00/100 M.N.).
2. El monto inicial del crédito requerido para el arranque del proyecto es de aproximadamente \$ 10,000,000.00 (DIEZ MILLONES DE PESOS 00/100 M.N.) para el primer año y sólo de \$ 1,000,000.00 (UN MILLÓN DE PESOS 00/100 M.N.) para el segundo año.
3. Posteriormente se establecerían condiciones de desarrollo que permitirían amortizar holgadamente el monto y los costos de servicios de la inversión.

IV.1.9 Selección de una alternativa de solución

Con base en los resultados obtenidos de lo análisis de costo-beneficio y finalmente de recuperación de inversiones se concluye que la opción 1 es la mejor alternativa para el desarrollo del relleno sanitario.

La implementación de una alternativa se basa en la seguridad funcional y operativa en términos ambientales, del relleno sanitario al menor costo posible tanto de inversión como de recuperación, y ahorro para la ciudadanía.

IV.2. RELACION COSTO-BENEFICIO

A continuación se mencionarán, y únicamente de manera ilustrativa, los conceptos para la evaluación de la relación costo-beneficio.

El método para seleccionar alternativas más comúnmente utilizado por las Agencias Federales para analizar la conveniencia de proyectos de obras públicas es la relación costo-beneficio (B/C). Como su nombre lo sugiere, el método beneficio-coste se basa en la relación de los beneficios a los costos asociados con un proyecto particular.

El primer paso en análisis es determinar qué elementos constituyen beneficios y cuáles costos.

BENEFICIOS, son ventajas en términos de dinero, que recibe el propietario. Por otro lado, cuando el proyecto bajo consideración comprende desventajas para el propietario, éstas se conocen como desbeneficios (D).

Finalmente, los **COSTOS** son los gastos anticipados para construcción, operación, mantenimiento, etc.; menos cualquier valor de salvamento. Como el análisis beneficio/costo siempre se utiliza en los estudios económicos realizados por las Agencias Federales, Estatales o Municipales, es útil pensar que el propietario es el público y el que incurre en los costos es el Gobierno.

Es importante expresar tanto el numerando (beneficio, desbeneficio) y el denominador (costo) en los mismos términos, así como el dinero en valor presente o el dinero en valor futuro.

La relación convencional beneficio-costo, es probablemente la más utilizada y será la que se aplicará en este trabajo. La relación convencional beneficio/costo se calcula como sigue:

$$B/C = \frac{\text{Beneficio - desbeneficios}}{\text{Costo}} = \frac{B - D}{C}$$

Una relación beneficio/costo mayor o igual a 1,0 indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso. En los análisis de beneficio/costo, los costos no van precedidos por el signo menos.

La relación modificada beneficio/costo, es un soporte de gran valor, incluye los **Costos de Operación y Mantenimiento (O & M)** en el numerados y se trata de manera similar a un desbeneficio. El denominados, entonces, contiene solamente el costo de inversión inicial. Una vez todas las cantidades sean expresadas en términos de valor presente, valor anual o valor futuro, la relación modificada de beneficio/costo se calcula como:

$$B/C \text{ Modificado} = \frac{\text{Beneficio - desbeneficio - Costo de O\&M}}{\text{Inversión inicial}}$$

Los análisis beneficio-costo están llenos de posibilidades de error, para eliminar los errores de los analistas y para ayudar a quienes deban revisar una evaluación equivocada.

Los temas principales que se deben considerar son los siguientes:

IV.2.1 Puntos de vista (Nacional, Estatal, Local e Individual).

IV.2.2 Elección de la tasa de interés.

IV.2.3 Estimación de los factores costo-beneficio.

IV.2.4 Sobrecuenta.

IV.2.5 Proyectos de uso múltiple.

IV.2.6 Problemas con la razón costo-beneficio.

IV.2.1 Puntos de vista

IV.2.1.1 Un individuo o grupo de individuos que se beneficiará o se perjudicará.

IV.2.1.2 Una organización gubernamental particular.

IV.2.1.3 Un área local, como una ciudad o un condado.

IV.2.1.4 Una región, como un estado.

IV.2.1.5 Toda la nación.

IV.2.2 Elección de la tasa de interés

IV.2.2.1 Una tasa de interés cero es apropiada cuando se usa momentáneamente dinero de los impuestos y que hay que pagar para el financiamiento.

IV.2.2.2 El valor de interés sólo debe reflejar la tasa de preferencia según el periodo de tiempo que se desee considerar.

IV.2.2.3 La tasa de interés debe igualar a la que se pagó por el dinero tomado en préstamo.

IV.2.2.4 La tasa de interés apropiada la dicta el costo de oportunidad de las inversiones desperdiciadas por los inversionistas privados que pagan impuestos o compran bonos.

IV.2.2.5 La tasa de interés apropiada la dicta el costo de oportunidad de las inversiones desperdiciadas por las dependencias gubernamentales debido a restricciones presupuestarias.

IV.2.3 Estimación de los factores costo-beneficio

IV.2.3.1. -Efectos “internos” son los que se acumulan directa o indirectamente en el individuo o la organización (o individuos u organizaciones) en los que el analista está interesado principalmente. Estos efectos se incluyen siempre en un análisis de costo-beneficio.

IV.2.3.2. -Efectos tecnológicos “externos” (o reales) son aquellos que causan cambios en las oportunidades físicas de consumo o producción.

IV.2.3.3. - Los efectos pecuniarios “externos” relacionan los cambios en la distribución de los ingresos, mediante cambios en los precios de bienes, servicios y factores de la producción. Por ejemplo, si la expansión de una firma es bastante grande para afectar los precios de la industria; es probable que un incremento de su producción provoque reducción en los precios de producción de otras empresas de la industria. Muchos autores concuerdan en que estos efectos pueden ser ignorados sin temor.

IV.2.4 Sobrecuenta

Una disfunción común de tratar de considerar una gran variedad de efectos en un análisis costo-beneficio es sobrecontar, o contra inadvertidamente dos veces algunos factores.

IV.2.5 Proyectos de usos múltiples

Los proyectos de uso múltiples reciben mucha atención, tanto a favor como en contra. Usos múltiples significa beneficios múltiples y a menudo se pueden obtener con ligeros incrementos de los costos de proyectos de un solo uso. Por supuesto, el incremento del capital y los costos netos de operación que se requieren para un uso adicional, deben proporcionar por lo menos un valor semejante para beneficios.

IV.2.6 Problemas con la razón costo-beneficio

Hay dos problemas frecuentes con la razón costo-beneficio que requieren una explicación y una advertencia. Se pueden obtener resultados engañosos a través de un análisis perfecto y elegir el proyecto inadecuado.

Primero, en ocasiones es difícil decidir si un proyecto es un beneficio para el público o un ahorro de costos para el Gobierno municipal. De igual modo, a menudo hay incertidumbre entre cargos y costos.

Una cuota o un cargo al usuario se considera como un pago o como un pago parcial por beneficios derivados, se puede afirmar que los beneficios netos que se reciben se reducen en el importe del pago. De igual modo, el importe del pago reduce el costo del proyecto para el Gobierno. Así la razón costo-beneficio cambiará pero la medida de mérito costo-beneficio permanecerá constante mientras permanezcan constantes los beneficios totales para el usuario.

De las observaciones precedentes se deduce que el valor de la relación costo-beneficio no puede tomarse como medida de la rentabilidad o valía económica de un proyecto. Dicho valor puede variar considerablemente, según la forma de calcularlo, y dar una idea equivocada del orden de prioridad económica de proyectos independientes. El valor presente o la tasa de rendimiento interno son parámetros más apropiados para ese fin.

La forma en que implícitamente se fijan las fronteras de un sistema público es considerar dentro del mismo a los grupos importantes que resultan afectados favorable o desfavorablemente por el proyecto, así como al gobierno que lo realiza y aporta los fondos necesarios para su adquisición, mantenimiento y operación. De esta manera, los costos y beneficios, referidos al sistema, quedan bien definidos.

Otorgar ciertos beneficios a determinado sector de la población, empleando para ello los fondos públicos, y afectando, quizá en forma desfavorable, a algún otro sector. Desde el momento en que se fijan los objetivos de un sistema público, se sientan las bases para delimitar la magnitud de sus efectos, tanto geográfica como socialmente.

El análisis costo-beneficio se fundamenta en las dos premisas que se presentan a continuación:

- a) **El valor social de un proyecto es igual a la suma de los valores que el mismo representa para cada miembro de la sociedad, considerado en forma individual.**
- b) **El valor de un proyecto para un individuo equivale a la suma que él estaría dispuesto a pagar por los productos o servicios recibidos.**

El análisis social beneficio-costo involucra varios pasos. Para cada una de las alternativas consideradas es necesario, en primer término, identificar y definir con claridad los beneficios y costos que debe incluir el análisis; esta tarea, que a primera vista puede parecer simple, requiere de experiencia y amplio criterio en la mayoría de los casos. Debe empezarse por listar los beneficios directos que recibirán los clientes o usuarios del sistema, y los costos de inversión y operación necesarios para integrarlo y mantenerlo en servicio. Enseguida se consideran las externalidades producidas por el sistema.

Pretender incluir en el estudio todos los derivados del proyecto resulta utópico; es preciso fijar un límite a las consecuencias significativas.

En este trabajo los costos más importantes serían los de construcción de las obras, operación de las instalaciones y afectación de terrenos.

**CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en revisión de registros administrativos y observaciones de campo, se aprecia que es necesario la formulación de planes de manejo que contemplen un conocimiento más objetivo de la situación del problema de los desechos sólidos. Es decir, encaminados al fortalecimiento en la orientación, formulación y aplicación de una política en el manejo de los desechos sólidos, considerando de una manera particular sus implicaciones en la planificación urbana y el uso del suelo para la disposición final. Asimismo, la implementación de una evaluación de la utilización de los limitados decursos que se destinan a éste sector y que se analice su concordancia con los planes de desarrollo económico y social.

Por otra parte, es necesario enriquecer el análisis de los efectos de los programas de manejo de los desechos sólidos en beneficio de la salud pública y la seguridad de las personas que trabajan en el sector, así como de la protección del medio ambiente y de la conservación de los recursos naturales.

Como producto de éste proyecto integral se tendrán planteamientos con nuevas alternativas en cuanto a los estudios y diseños, la extensión y calidad de servicios, mantenimiento de equipo, financiamiento, administración, etc., que permitan un análisis para su selección.

Finalmente, en éste contexto se incidirá en la constitución y ordenamiento de un organismo del sector de manejo de los desechos sólidos que indique las políticas de acción y lineamientos para la ejecución de los planes y programas en ésta materia.

a) Recursos humanos

Se pudo observar que en la ciudad de Mérida, es muy escaso el personal adiestrado con experiencia en el manejo de los desechos sólidos, que tenga capacidad de diseñar, operar y mantener los sistemas de los servicios desde el punto de vista técnico, financiero e institucional.

En este sentido, la formación del recurso humano está retrasada en relación con la compra de equipos modernos de las empresas de recolección, tales como vehículos compactadores.

Se sabe que la formación del recurso humano debe avanzar a la par, el progreso de los sistemas de manejo, de modo que todo el personal encargado de este adiestrado para hacer frente a las demandas de sus respectivas funciones.

Sin personal adecuado, calificado y motivado para diseñar, opera y mantener el sistema de acuerdo con las necesidades y potencialidades de las colonias, en estos sistemas resultaran en desperdicio, o bien no serán completamente aprovechados.

La formación del recurso humano es un factor de la administración del mismo y puede funcionar bien sólo cuando está llevada acabo de acuerdo a los avances en otros factores tales como procedimiento de reclutamiento, plan de salario y pago, beneficio marginal, condiciones de trabajo, programa de seguridad de trabajo, posibilidad de ascenso, etc.

b) Recursos físicos

En muchas colonias son desaprovechados los recursos físicos al tener rutas comunes distintas empresas recolectoras, así como en otras son insuficientes los recursos físicos tales como camiones recolectores. Por ejemplo, no se cuenta con sistema de balanzas, por lo cual no hay control suficiente sobre la carga realizada por cada camión disminuyendo la eficiencia por menos carga y causando desgaste prematuro de equipos por sobrecarga. También es común la falta de mantenimiento preventivo de los equipos confundiendo en su mayoría reparación con mantenimiento.

c) Legislaciones incompletas u obsoletas

Por otra parte es necesario revisar la legislación, la cual se debe considerar como uno de los ejes de apoyo para los sistemas de manejo de los desechos sólidos y se necesita promover los recursos legales apropiados a nivel del sector así como a nivel de la

institución encargada para que los servicios puedan cumplir su misión debidamente. Las legislaciones incompletas u obsoletas pueden impedir el desarrollo institucional del servicio así como su autonomía financiera.

d) Limitada participación de la comunidad

El interés de la comunidad actualmente se limita a que los desechos sean recogidos regularmente, en horas y lugares que les convenga. El comportamiento humano respecto a los desechos sólidos tiene mucho que ver en la ciudad con conceptos tales como educación sanitaria, participación comunitaria y el cumplimiento de la legislación dictada. Por ejemplo, en el caso de la recolección de desechos en zonas marginales hacia el sur en donde generalmente no existen suficientes condiciones de accesos para camiones recolectores, es casi imposible realizarla sin plena participación comunitaria.

También cuando se trata de racionalizar el servicio de recolección de vías y áreas públicas, lo más importante sería crear conciencia pública de que una ciudad es limpia, no porque se barre, sino porque no se ensucia.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

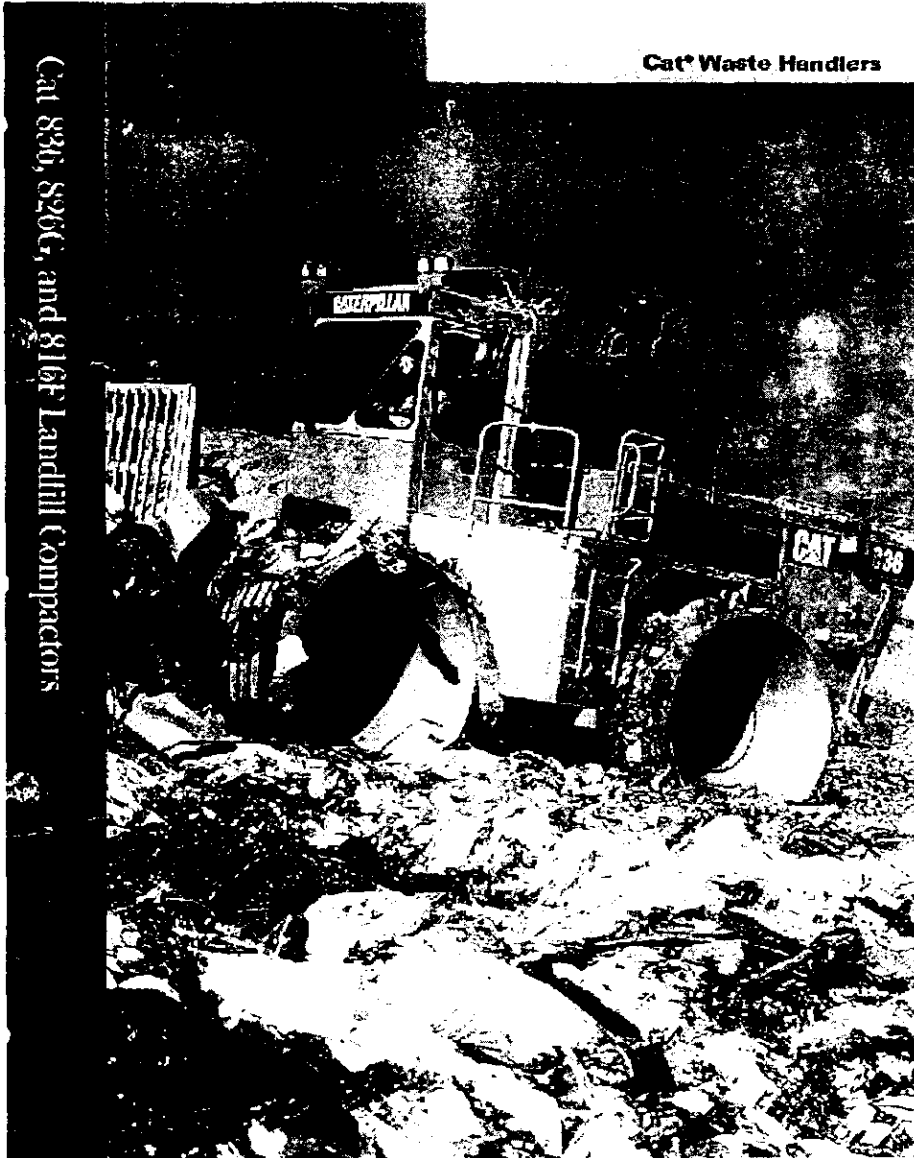
1. BAGHI, A.- **DESIGN, CONSTRUCTION AND MONITORING OF SANITARY LAND FILL.-** PUBLICACIONES WILEY AND SONS.- E.U.A..- 1990.
2. CONSEJO NACIONAL DE FOMENTO EDUCATIVO CONAFE.- **¿QUE HACER CON LA BASURA?.-** SERIE EDUCACION AMBIENTAL.- MEXICO.- 1989.
3. INEGI 1989.- **XIII CENSO INDUSTRIAL DEL ESTADO DE YUCATAN.-**MEXICO.- 1989.
4. INEGI 1990 **XI CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA.-** MEXICO.- 1990.
5. DAVIS, A. CORN WELL.- **INTRODUCTION ENVIROMENTAL ENGINEERING.-** MC GRAW HILL INTERNATIONAL EDITIONS.- E.U.A..- 1991.
6. SANCHEZ Y PINTO, VILLASUSO PINO.- **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANA GENERADA POR LA DISPOSICION DE DESECHOS SOLIDOS A CIELO ABIERTO.-** FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE YUCATAN.- MEXICO.- 1990.
7. REGISTRO ADMINISTRATIVO H. AYUNTAMIENTO DE MERIDA.- **CONTROL DE VEHICULOS, BASURERO MUNICIPAL.-**MEXICO.- ENERO-ABRIL 1995.
8. SAURI RIANCHO, CASTILLO BORGES.- **CARACTERISTICAS DE LOS LIXIVIADOS PRODUCIDOS DURANTE EL COMPOSTEO DE LOS DESECHOS SOLIDOS DE MERIDA.-** MEXICO.- 1992.
9. SISTEMA INTEGRAL DE LIMPIEZA DE MERIDA (SLIME).- **PROPUESTA DE CONCESION.-** SISTEMAS DE INGENIERIA SANITARIA S, A. DE C.V.- MEXICO.- 1993
10. UNDA OPAZA.- **INGENIERIA SANITARIA APLICADA A SANEAMIENTO Y SALUD PUBLICA.-** EDITORIAL LIMUSA.- 1993
11. VAZQUEZ V. C., SAURI RIANCHO. **GENERACION DE RESIDUOS DOMICILIARIOS EN LA CIUDAD DE MERIDA.-** MEXICO.- 1990.
12. TCHOBANOGLOUS Cr., THGEISEN H., A. VIGIL.- **GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS.-** EDITORIAL MC GRAW HILL.- ESPAÑA.- 1984

- 13.ROMAN SEDA.- **DISEÑO, CONSTRUCCION Y VIGILANCIA DE RELLENOS SANITARIOS.**- DEPTO DE INGENIERIA CIVIL, UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO.- 1997
- 14.MERRIK.- PLANIFICACION REGIONAL- **MANUAL DEL INGENIERO CIVIL.- SECCION 14.**
- 15.JOHN A. WHITE.- **TECNICAS DE ANALISIS ECONOMICO EN INGENIERIA.** LIMUSA.- MEXICO.- 1986.
- 16.ANTHONY T. BLANK, LELAND T. TARQUIN.- **INGENIERIA ECONOMICA.-** Mc GRAW HILL.- E.U.A. .-1993.
- 17.INGENIERIA AMBIENTAL DE MEXICO.- **PROYECTO DE CLAUSURA DEL TIRADERO ACTUAL Y DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO PARA LA CIUDAD DE MERIDA, YUCATAN.-** MEXICO.- 1995.

ANEXO A

**MAQUINARIA
ESPECIAL
PARA
RELLENOS
SANITARIOS**

ANEXO A
**MAQUINARIA ESPECIAL
PARA RELLENOS SANITARIOS**







Las imágenes anteriores fueron tomadas de catálogos de la empresa Caterpillar (M.R.), facilitados por los mismos. Se presentan con la finalidad de dar a conocer los equipos especiales que se utilizan para los rellenos sanitarios actuales. Tomando en cuenta que se tienen cabinas totalmente cerradas para evitar que el operador reciba los olores del exterior directamente, aditamentos especiales para que la basura no obstruya el mecanismo oruga, y apizonadores especiales (pata de cabra) para que la basura no se adhiera al rodillo.

ANEXO B

NORMA OFICIAL

MEXICANA

(NOM)

A N E X O B
NORMA OFICIAL MEXICANA

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LAS
CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS A LA
DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.**

INDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Definiciones
3. Especificaciones
4. Procedimientos
5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
6. Bibliografía
7. Observancia de esta norma.

0. INTRODUCCION

0.1 Los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales generan lixiados que contienen diversos contaminantes que pueden afectar los recursos naturales, en especial los acuíferos y los cuerpos superficiales de agua. La aplicación de esta Norma permitirá proteger del ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los efectos contaminantes.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta Norma oficial Mexicana establece las condiciones de ubicación, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas que debe reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, y es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de disposición final de los residuos sólidos municipales.

2. DEFINICIONES

- 2.1 Acuífero. Es cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan agua subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.
- 2.2 Acuífero confinado. Es aquel Acuífero que está limitado en su parte superior por una unidad de baja conductividad hidráulica y el nivel piezométrico presenta un presión superior a la atmosférica.
- 2.3 Acuífero libre. Es un acuífero en el cual el nivel freático o nivel de saturación se encuentra a la presión atmosférica.
- 2.4 Acuífero semiconfinado. Aquel acuífero que tiene una unidad saturada de baja conductividad hidráulica en su parte superior o inferior, contribuye con un pequeño caudal (goteo) debido a los gradientes inducidos por bombeo del acuífero.
- 2.5 Acuitardo. Es cualquier formación geológica por la que circula muy lentamente agua subterránea por lo que generalmente no son utilizados para su explotación, uso o aprovechamiento.
- 2.6 Agua subterránea. Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas.
- 2.7 Areas naturales protegidas. Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección.
- 2.8 Capacidad de intercambio catiónico. Es el total de cationes intercambiables que puede absorber un suelo, expresado en miliequivalentes de los cationes por cada 100 g (cien gramos) de masa de suelo seco.
- 2.9 Carga hidráulica. Es la energía presente en un acuífero, normalmente tiene dos componentes a) la carga relacionada con la elevación con respecto a un punto de referencia que es normalmente el nivel medio del mar, y b) la carga de presión, o presión en poro.
- 2.10 Conductividad Hidráulica. Es la propiedad de un medio geológico de permitir el flujo de agua subterránea en un acuífero o acuitardo, considerando las condiciones de densidad y viscosidad del agua.

- 2.11 Contaminantes no reactivos. Son los contaminantes que viajan en solución, a la misma velocidad lineal que el agua subterránea. No sufren reacciones químicas ni biológicas con el medio granular.
- 2.12 Descripción estratigráfica. Es la descripción de los estratos del subsuelo en cuanto a sus propiedades físicas, químicas e hidráulicas, de acuerdo al código de nomenclatura estratigráfica vigente.
- 2.13 Discontinuidades. Superficie marcada por modificaciones radicales de las propiedades físicas de las rocas. Estas discontinuidades pueden ser por ejemplo, fallas o fracturas.
- 2.14 Disposición final. La acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuados para evitar daños al ambiente.
- 2.15 Falla. Es cuando se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultado de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.
- 2.16 Falla activa. Son aquellas fallas que han sufrido desplazamiento durante el holoceno (último millón de años).
- 2.17 Fracción de carbono orgánico. La fracción de carbono orgánico se refiere al porcentaje de carbono orgánico en el suelo, derivado de restos de plantas. Es importante en la retención de contaminantes orgánicos.
- 2.18 Fractura. Es una discontinuidad en las rocas producida por un sistema de esfuerzos.
- 2.19 Freatofitas. Son plantas que extienden sus raíces por debajo del nivel freático y extraen sus requerimientos de humedad directamente en la zona saturada
- 2.20 Geofísica. La ciencia que estudia las propiedades físicas de la tierra y el conocimiento de la estructura geológica de los materiales que la constituyen.
- 2.21 Geología. La ciencia que estudia la formación, evolución distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres.
- 2.22 Hidrogeología. Es el conjunto de actividades tales como perforaciones, determinación de la recarga, profundidades a nivel estático, interacción química agua-roca y propiedades hidráulicas que permiten conocer y localizar los sistemas de aguas subterráneas, su dirección y velocidad de movimiento.

- 2.23 Hidrología. La ciencia que estudia los componentes primarios del ciclo hidrológico y su relación entre sí, Considera la interacción y dinámica de la atmósfera con cuerpos de agua superficial tales como ríos, arroyos, lagunas, lagos, etc.
- 2.24 Infiltración. Introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua, el paso lento de ésta a través de los intersticios del suelo y del subsuelo.
- 2.25 Lixiviado. Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.
- 2.26 Nivel freático. La superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación de la de saturación.
- 2.27 Nivel piezométrico. Es el valor de la carga hidráulica observado de un acuífero o acuitardo a diferente profundidad en el mismo y en el medio saturado.
- 2.28 Parámetros hidráulicos. Son la conductividad hidráulica, la porosidad, la carga hidráulica, los gradientes hidráulicos de una unidad hidrológica, así como su coeficiente de almacenamiento.
- 2.29 Percolación. Es el movimiento descendiente de agua a través del perfil del suelo debido a la influencia de la gravedad.
- 2.30 Permeabilidad. La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.
- 2.31 Porosidad efectiva. Es la relación del volumen de vacíos o poros interconectados de una roca o suelo dividido por el volumen total de la muestra.
- 2.32 Potencial de contaminación. Es la interacción entre el tipo, intensidad, disposición y duración de la carga contaminante con la vulnerabilidad del acuífero; esta definida por las condiciones de flujo del agua subterránea y las características físicas y químicas del acuífero.
- 2.33 Residuo sólido municipal. El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios así como residuos industriales que no se deriven de su proceso.

- 2.34 Sistema de flujo. Es definido por la dirección de flujo que sigue el agua subterránea, considerando las zonas de recarga y descarga, las cargas y gradientes hidráulicos a profundidad y el efecto de fronteras hidráulicas. Incluye, además la interacción con el agua superficial y comprende sistemas locales, intermedios y regionales.
- 2.35 Talud. Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con el ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.
- 2.36 Unidades litológicas. Conjunto de materiales geológicos compuestos predominantemente de cierta asociación de minerales que tienen un origen común.
- 2.37 Volumen de extracción. Se refiere a la cantidad de agua subterránea que se extrae de un acuífero a través de pozos o norias.
- 2.38 Zona de aireación. La zona que contiene agua bajo presión menor a la de la atmósfera, esta delimitada entre la superficie del terreno y el nivel freático.
- 2.39 Zona de descarga. Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo de agua subterránea fluye de mayor profundidad hacia el nivel freático; es decir, el flujo subterráneo es ascendente.
- 2.40 Zona de inundación. Area sujeta a variaciones de nivel de agua por arriba del nivel del terreno, asociadas con la precipitación pluvial, el escurrimiento y las descargas de agua subterránea.
- 2.41 Zona de recarga. Es la porción del drenaje subterráneo de la cuenca en la cual el flujo del agua subterránea fluye del nivel freático hacia mayor profundidad; es decir, el flujo subterráneo es descendente.
- 2.42 Zona de saturación. El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua, su limite superior corresponde al nivel freático y su limite inferior es una unidad impermeable.
- 2.43 Zona no saturada. Es el espesor que existe entre la superficie del terreno y el nivel freático. Es equivalente a la profundidad del nivel freático.

3. ESPECIFICACIONES

- 3.1 Con el fin de cumplir con las diferentes especificaciones de ubicación, que debe satisfacer un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales, y facilitar la toma de

decisiones en las diferentes etapas de los estudios que describen en el punto 4 de esta Norma Oficial Mexicana, debe ser considerado el diagrama de flujo que se describe en el anexo 1.

3.2 Las condiciones mínimas que debe cumplir un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales, son las siguientes:

3.2.1 Aspectos Generales.

3.2.1.1. Restricción por afectación a obras civiles o áreas naturales protegidas.

3.2.1.1.1. Las distancias mínimas a aeropuertos son:

a) de 3,000 m. (Tres mil metros) cuando maniobren aviones de motor a turbina.

b) de 1,500 m. (Mil quinientos metros) cuando maniobren aviones de motor a pistón.

3.2.1.1.2. Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios, líneas de energía eléctrica, etc.

3.2.1.1.3. No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas.

3.2.1.1.4. Se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como olcoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos etc.

3.2.1.1.5. Debe estar alejado a una distancia mínima de 1,500 m (mil quinientos metros), a partir del límite de la traza humana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2,500 habitantes. En caso de no cumplirse con esta restricción, se debe de mostrar que no existir afectación alguna a dichos centros de población.

3.2.1.2. La localización de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, para aquellas localidades con una población de hasta 50,000 habitantes, o cuya recepción sea de 30 toneladas por día, de estos residuos; se debe hacer considerando exclusivamente las especificaciones establecidas en los puntos 3.2.3 y 3.2.4 de ésta Norma Oficial Mexicana.

3.2.2. Aspectos hidrológicos.

3.2.2.1. Se debe localizar fuera de zonas de inundación con períodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no exista la obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que provoquen arrastre de los residuos sólidos.

3.2.2.2. El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se deben de ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.

3.2.2.3. La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1,000 m. (Mil metros) como mínimo y contar con una zona de amortiguamiento tal que pueda retener el caudal de la precipitación pluvial máxima presentada en los últimos 10 años en la cuenca, definida por los canales perimetrales de la zona.

3.2.3. Aspectos geológicos.

3.2.3.1 Debe estar a una distancia mínima de 60 m. (sesenta metros) de una falla activa que incluya desplazamiento en un periodo de tiempo de un millón de años.

3.2.3.2 Se debe localizar fuera de zonas donde los taludes sean inestables, es decir, que puedan producir movimientos de suelo o roca, por procesos estáticos y dinámicos.

3.2.3.3 Se deben evitar zonas donde existan o se puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno, que incrementen el riesgo de contaminación al acuífero.

3.2.4. Aspectos hidrogeológicos.

3.2.4.1 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales este sobre materiales fracturados, se debe garantizar que no exista conexión con los acuíferos de forma natural y que el factor de tránsito de la infiltración (f) sea $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$.

3.2.4.2 En caso de que el sitio para la disposición final de los residuos sólidos municipales este sobre materiales granulares, se debe garantizar que el factor de tránsito de infiltración (f) sea $\leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$.

3.2.4.3 La distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m. (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m. (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar.

3.2.5. Consideraciones de selección.

3.2.5.1 En caso de que exista una probablemente contaminación a cuerpos de agua superficie y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

4. PROCEDIMIENTOS

4.1 La selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios.

4.2 Estudios geológicos

4.2.1 Se deben realizar estudios geológicos de tipo regional y local, de acuerdo con las siguientes características:

4.2.1.1 Estudio geológico regional. Determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos de agua, exploración geotécnica, petrolera o de otra índole.

4.2.1.2 Estudio geológico local. Determinar las unidades litológicas en el sitio, su geometría, distribución y presencia de fallas y fracturas. Asimismo, debe incluir estudios geofísicos para complementar la información sobre las unidades litológicas. El tipo de método a utilizar y el volumen de trabajo, debe garantizar el conocimiento tridimensional del comportamiento y distribución de los materiales en el subsuelo hasta una profundidad y distribución horizontal adecuada a las características geológicas e hidrogeológicas del área en que se ubica el sitio.

4.2.1.3 Si los resultados geológicos y geofísicos preliminares muestran que no existe conexión aparente entre las rocas fracturadas con acuíferos o que la distribución de unidades litológicas de baja permeabilidad es amplia, se debe realizar un mínimo de una perforación en la periferia del sitio.

4.3 Estudios hidrogeológicos

4.3.1 Los estudios hidrogeológicos deben considerar cinco etapas:

1. Evidencias y uso del agua subterránea.
2. Identificación del tipo de acuífero.
3. Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo.

4. Análisis del sistema de flujo.

5. Evaluación del potencial de contaminación.

- 4.3.1.1 Evidencias y uso del agua subterránea. Definir la ubicación y distribución de todas las evidencias del agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, a escala regional y local. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.
- 4.3.1.2 Identificación del tipo de acuífero. Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semiconfinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.
- 4.3.1.3 Determinación de parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, características físico-químicas del agua subterránea y características elementales de los estratos del subsuelo. Determinar la profundidad al nivel piezométrico en el sistema acuífero, dirección y velocidad del agua subterránea a partir de los parámetros de conductividad hidráulica, carga hidráulica y porosidad efectiva. Conocer la composición química del agua subterránea. Determinar la conductividad hidráulica (K), la fracción de carbono orgánico (FCO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes estratos del subsuelo de la zona no saturada.
- 4.3.1.4 Análisis del sistema de flujo. Con base en la información geológica y de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2 y 4.3.1.3 de esta Norma Oficial Mexicana y de otros elementos hidrogeológicos, tales como zonas de freatofitas, zonas de recarga y descarga, etc., se debe definir el sistema de flujo local y regional del área de estudio.
- 4.3.1.5 Evaluación del potencial de contaminación. Se debe integrar toda la información obtenida de los puntos 4.3.1.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 y 4.3.1.4 de esta Norma Oficial Mexicana, para determinar si el sitio es apto o si se requiere obras de ingeniería. Para ello se debe considerar la gráfica del Anexo 2, esta gráfica define la condición de tránsito de la infiltración aceptable que deben tener los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, su valor de frontera está definido por $(f) \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$ que representan el factor de tránsito de la infiltración, el cual relaciona a la velocidad promedio final de infiltración contra los diferentes espesores de los materiales de la zona no saturada incluyendo la porosidad de ellos, según la siguiente fórmula:

$$f = (K \cdot i) / (U \cdot d)$$

Donde:

f = factor de tránsito de la infiltración, (seg⁻¹).

d = espesor de la zona no saturada, (m).

U = porosidad promedio efectiva de los materiales de la zona no saturada, (adimensional).

i = gradiente hidráulico, (adimensional).

K = conductividad hidráulica promedio de los materiales de la zona no saturada, (m/s).

La velocidad promedio (V) se calcula a partir de la conductividad hidráulica saturada (K) de los materiales del subsuelo en la zona no saturada, dividida por la porosidad promedio efectiva (U), considerando un gradiente hidráulico unitario (i), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = Ki/U$$

El valor de (f) obtenido, para el caso del que se trate, debe graficarse para determinar su aptitud y viabilidad. Los sitios aptos son aquellos cuyo factor de tránsito de la infiltración es:

$$f \leq 3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$$

4.3.1.6 Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes. Previa autorización de los gobiernos de los estados o, en su caso de los municipios, con arreglo a las disposiciones de la presente Norma Oficial Mexicana se pueden elegir sitios de disposición final de residuos sólidos municipales que no reúnan alguna de las condiciones establecidas anteriormente. cuando se realicen obras de Ingeniería, cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendrían del cumplimiento de los requisitos previstos en los puntos 3.2.1.1, 3.2.2.3, 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.4.1, 3.2.4.2, 3.2.5.1, de esta Norma Oficial Mexicana; obras con las cuales se debe acreditar técnicamente que no se afectaría negativamente al medio ambiente.

5. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

5.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter técnico que existen en otros países, no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma se integran y complementa de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

6. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

- 6.1 Los sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos municipales que operan actualmente, tienen un plazo de tres años a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación para regularizar su situación de acuerdo a los preceptos de esta Norma.
- 6.2 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, a los Gobiernos del Distrito Federal, de los estados y municipios en el ámbito de su jurisdicción y competencia, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás ordenamientos jurídicos aplicables.
- 6.3 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de agosto de mil novecientos noventa y seis.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.-
Rúbrica.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NORM-084-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS
REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA
CONSTRUCCION DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS.**

1. OBJETIVO

La presente norma oficial mexicana tiene como objeto establecer los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

2. CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

3. DEFINICIONES

- 3.1 Residuo sólido municipal. El residuo sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así los residuos como industriales que no se deriven de su proceso.
- 3.2 Generación. La cantidad de residuos sólidos originados por el componente unitario de una determinada fuente en un intervalo de tiempo.
- 3.5 Peso volumétrico. El peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen.
- 3.6 Disposición. La descarga, depósito, inyección, vertido, derrame con colocación de cualquier tipo de residuo en o sobre el suelo o cualquier cuerpo de agua.
- 3.8 Relleno sanitario. La obra de ingeniería para la disposición final y segura de los residuos sólidos municipales.
- 3.9 Celda. El bloque unitario de construcción de un relleno sanitario.
- 3.10 Celda diaria. Las áreas definidas donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día, siendo cubiertos al final del mismo, con una capa de algún material que en caso de ser suelo, también se compacta.
- 3.11 Material de cubierta. El material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos con el propósito de controlar el ingreso de diversos organismos, así como controlar la humedad de los estratos de residuos, el movimiento de gas producido

por la degradación de la materia orgánica, el inicio y propagación de incendios, la dispersión de residuos y también proporcionar al sitio una apariencia adecuada.

- 3.12 Cubierta diaria. La capa de material natural o sintético con que se cubre a los residuos depositados durante un día de operación.
- 3.13 Cubierta intermedia. El estrato de material natural o sintético con que se cubre una franja o capa de residuos en un relleno sanitario.
- 3.14 Cubierta final. EL revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.
- 3.15 Lixiviado. La solución resultante de la disolución y suspensión de algunos constituyentes de los residuos en el agua que los atraviesa.
- 3.16 Biogás. La mezcla de gases, producto de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos.
- 3.17 Sistema pasivo de extracción. El sistema utilizado para controlar el movimiento del biogás a presión natural y mediante el mecanismo de convección.
- 3.18 Sistema activo de extracción. El control del movimiento del biogás mediante una presión negativa inducida (vacío).
- 3.19 Zona de impacto sísmico. El área que tiene una probabilidad mayor o igual al 10% de que la aceleración horizontal en roca dura exceda el 10% de la aceleración de la gravedad (g) en 250 años.

4. DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

4.1 El diseño de un relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales, deberá sujetarse al siguiente procedimiento

4.1.1 Topografía. Información referente a la forma superficial y del perímetro (límites) del sitio, que deberá cumplir con las siguientes especificaciones

4.1.1.1 Planimetría

Tolerancia Angular = $1/2 N$

Tolerancia lineal = $1/3000$

Donde:

N = Número de vértices de la poligonal

Ubicación de los límites del predio, cursos o cuerpos de agua superficial, áreas de inundación, caminos en servicio, líneas de conducción existentes en el sitio (luz, agua, drenaje, gas, teléfono, etc.), así como todo tipo de estructuras y construcciones existentes dentro del predio.

4.1.1.2 Altimetría. Una vez establecido un banco de nivel fijo y de fácil localización, se deberá efectuar una nivelación a lo largo de las poligonales abierta y cerrada con puntos de nivelación a cada 20 m, como máximo y especificar la altura de los sistemas de conducción que atraviesen el sitio, incluyendo sus

4.1.1.3 Secciones. Se deberán ubicar secciones a partir de la estación 0+000 del camino de acceso, debiendo referenciarse alas estaciones establecidas sobre el perfil del camino, las secciones serán siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y abarcarán 20 m a cada lado de dicho eje. Para la poligonal cerrada, se establecerá un eje central que divida al predio en dos áreas aproximadamente iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m, mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25 m aproximadamente para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50 m, en terrenos mayores a 8 hectáreas.

4.1.1.4 Configuración topográfica. Las curvas de nivel se trazarán de acuerdo a los siguientes requerimientos A cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y cada metro para ondulados y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

4.1.2 Cantidades y características de los residuos sólidos. Se deberá recabar información referente a las cantidades y características de los residuos sólidos, tanto actuales como proyectadas para un periodo mínimo igual a diez años o bien igual al periodo de vida útil del sitio. En caso de que estos datos no se encuentren disponibles, se deberán realizar los muestreos correspondientes conforme a lo establecido en las siguientes normas mexicanas:

NMX-AA-61-1985	DETERMINACION DE LA GENERACION
NMX-AA-15-1985	MUESTREO-METODO DE CUARTEO
NMX-AA-22-1985	SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS.
NMX-AA-19-1985	DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO "IN-SITU".

5. SELECCION DEL METODO

La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario, se deberá realizar con base a las condiciones topográficas, geomorfológicas y geohidrológicas del terreno elegido, seleccionando de entre los siguientes trinchera, área y combinado.

6. REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS

Los requerimientos volumétricos para el diseño del Relleno Sanitario, deberán obtenerse para los años estimados, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados tanto de los residuos sólidos municipales como del material de cubierta, empleando para ello la proyección de generación de residuos y los pesos volumétricos establecidos en la tabla 1.

TABLA 1
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

TAMAÑO DEL ASENTAMIENTO HUMANO	PARA DISEÑO DE LA CELDA DIARIA, PESO VOLUMETRICO TON/M3	PARA EL CALCULO DE VIDA UTIL PESO VOLUMETRICO TON/M3
HASTA 500,000 HABITANTES.	0.500	0.750
MAYORES DE 500,000 HABITANTES.	0.600	0.900

7. CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA

El cálculo de la capacidad volumétrica del sitio, deberá realizarse considerando la configuración topográfica que presente el predio donde se alojará el relleno sanitario, así como sus niveles de desplante. Se deberá reportar por cada curva de nivel la capacidad volumétrica parcial y acumulada.

8. CALCULO DE LA VIDA DEL SITIO

El cálculo de la vida útil del sitio deberá obtenerse por medio de la capacidad volumétrica total del sitio, la cantidad de residuos a disponer y el volumen de material de cubierta requerido, conforme a la siguiente ecuación:

$$U = V/(365 Gt)$$

Donde

U = Vida útil del relleno sanitario, expresado en años.

V = Volumen del sitio seleccionado, expresado en m³.

Gt = Volumen ocupado por la cantidad total diaria de residuos sólidos a disponer más la cantidad de material de cubierta demandado para cubrir esos residuos, expresado en m³.

9. DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA

9.1 Altura de la celda. La altura máxima deberá ser de 3.00 m, incluyendo el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido.

9.2 Ancho de la celda. El ancho de la celda (frente de trabajo) deberá estar determinado por la longitud necesaria para el funcionamiento adecuado y ejecución de maniobras del equipo, tanto de compactación como de transporte.

9.2.1 Para poblaciones de hasta 250,000 habitantes. El frente de trabajo se define conforme a la ecuación siguiente:

$$F = 0.0333NTX$$

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, expresado en metros.

N = Número de vehículos recolectores en la hora pico.

T = Tiempo promedio de descarga de cada vehículo recolector, expresado en minutos.

X = Ancho de los vehículos recolectores, expresado en metros.

9.2.2 Para poblaciones mayores de 250,000 habitantes. El ancho mínimo del frente de trabajo debe calcularse conforme a la ecuación siguiente:

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2}$$

Donde:

F = Longitud del frente de trabajo, expresado en metros.

X_i = Ancho de la hoja topadora de cada una de las máquinas que se utilizarán simultáneamente, expresado en metros.

I = Número de equipos.

9.2.3 El largo de la celda se deberá calcular en función de la altura y el ancho previamente determinados, conforme a la ecuación siguiente:

$$L = \frac{V}{WA}$$

Donde:

L = Largo de la celda, expresado en metros.

V = Volumen de la celda, expresado en m^3

W = Ancho de la celda, expresado en metros.

A = Altura de la celda, expresado en metros.

9.2.4 Con base al método de área las celdas se construirán inicialmente en un extremo del sitio y se avanza hasta terminar con el otro extremo, cuando existan ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizadas como respaldo conforme a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

Criterio constructivo:

- I. Se prepara el terreno para trabajarlo basándose en terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta.
- II. El frente de trabajo o ancho de la celda se calculará de acuerdo a lo establecido en los puntos 9.2.2
- III. Los cortes al terreno se harán, siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno.
- IV. El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3 ángulo de 18° .
- V. Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán franjas. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio.
- VI. Las franjas al irse juntando forman capas, estas se construirán 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 3 subíndices, uno indicando capa, el segundo indicará la franja y una tercera para la celda diaria.
- VII. Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cm. El espesor de la cubierta debe ser de 60 cm.
- VIII. La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado. Para obtener entre un 50 a 70 por ciento de reducción de su volumen.
- IX. Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán revegetar con especies propias de región.

9.2.5 Con base al método de trinchera las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será cubierta con el material excavado de la futura trinchera.

Criterio constructivo:

- I. La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m de los cuales 1.50 m será de residuos y el resto de material de cubierta.
- II. La trinchera deberá contar con una pendiente del 2 % que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud.
- III. El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00 m para facilitar la descarga de los y la operación de la excavación de la máquina.
- IV. El procedimiento constructivo, será el mismo a partir del punto IV de los criterios de construcción de las celdas por el método de área.

10. OBRAS COMPLEMENTARIAS

El relleno sanitario deberá comprender además del diseño de las celdas de confinamiento, con las obras complementarias que correspondan de acuerdo a la densidad de población expresada en la tabla 2.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**TABLA 2
RANGO DE POBLACION**

CONCEPTO INSTALACION DE	NUMERO DE HABITANTES			
	HASTA 50 MIL	50,001 A 200 MIL	200 MIL A 500 MIL	500 MIL EN ADELANTE
AREA DE ACCESO Y ESPERA		*	*	*
CERCA O AREA PERIMETRAL		*	*	*
CASETA DE VIGILANCIA	*	*	*	*
CASETA DE PESAJE Y BASCULAS		*	*	*
CAMINOS PERMANENTES	*	*	*	*
AREA DE EMERGENCIA DE DISPOSICION FINAL		*	*	*
DRENAJES PERIMETRALES E INTERIORES	*	*	*	*
INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA			*	*
POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS		*	*	*
SEÑALAMIENTOS FIJOS Y MOVILES	*	*	*	*
SISTEMA DE CAPACITACION DE BIOGAS	*	*	*	*
AREA DE AMORTIGUAMIENTO			*	*
ALMACEN Y COBERTIZO		*	*	*
AREA ADMINISTRATIVA		*	*	*
SERVICIOS SANITARIOS			*	*
SISTEMA DE MONITOREO DE BIOGAS			*	*
SISTEMA DE CAPTACION Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS		*	*	*

11. AREAS DE ACCESO Y ESPERA

- 11.1 Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección.
- 11.2 El acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00 m como mínimo.
- 11.3 Antes del acceso al frente de trabajo se deberá tener una área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico.

12. CERCA PERIMETRAL

El Relleno Sanitario deberá estar cercado, como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50 m de alto, a partir del nivel del suelo con postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3 m entre sí, para poblaciones de hasta 500,000 habitantes, y como mínimo con malla ciclónica de 2.20 m de alto para poblaciones mayores.

13. CASETA DE VIGILANCIA

Las dimensiones de la caseta de vigilancia tendrá como mínimo 4 m² y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región.

14. CASETA DE PESAJE Y BASCULA

14.1 Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 16 m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos.

14.2 La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:

14.2.1 Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga.

14.2.2 Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga.

14.2.3 La báscula deberá ser de una precisión de 5 Kg y su instalación deberá apearse a las especificaciones del fabricante.

15. CAMINOS

15.1 Los caminos serán de dos tipos exteriores e interiores.

15.2 Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

15.2.1 Ser de trazo permanente, y

15.2.2 Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.

15.3 Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos, se haga necesario la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante, en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir:

15.3.1 Una sub-base con espesor mínimo de 12 cm formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales y

15.3.2 Una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90 % de la prueba Proctor.

15.3.3 El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito.

15.4 Los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

15.4.1 Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.

15.4.2 Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5 %

16. CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE LOS CAMINOS

Los caminos interiores y exteriores deberán ser diseñados y construidos conforme a los criterios básicos establecidos en la tabla 3.

TABLA 3
CRITERIOS BASICOS PARA TIPOS DE CAMINOS

CLASES DE CAMINOS					
CAMINOS EXTERNOS			CAMINOS INTERNOS		
CARACTERISTICAS	PLANO Y ONDULADO	MONTAÑOSO	MUY ACCIDENTADO	PLANO Y ONDULADO	ACCIDENTADO
VELOCIDAD DE DISEÑO EN KM./H	60	40	30	40	25
GRADO MÁXIMO	11.00°	24.30°	44.00°	23.00°	57.00°
RADIO	105	47	26	50	20
MINIMO (m)					
ANCHO DE	6	6	6	4	4
CORONA (m)					
PENDIENTE	8	9	10	5	5
MÁXIMA (%)					
CARGA PARA DISEÑO	HS-20	HS-20	HS-20	HS-10	HS-10
CARGA SUPERFICIAL DE RODAMIENTO	REVESTIDO	REVESTIDO	REVESTIDO	TRANSITABLE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO	TRANSITABLE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO

17. AREA DE EMERGENCIA

17.1 El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en le frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición, o del barrido de calles para cubrir los residuos.

17.2 El área de emergencia deberá:

17.2.1 Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación.

17.2.2 Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de 6 meses.

17.2.3 Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos.

18. DRENAJE

18.1 Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal.

18.1.1 Las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas arriba, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción 1:5, la velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60 m/seg. ni mayor de 2.00 m/seg.

18.1.2 Las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, rellenos de grava de 3 cm. de tamaño máximo para evitar socavones, y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo.

18.1.3 Para los drenajes permanentes y temporales, el dimensionamiento de canales, se deberá efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o la fórmula de Burklicziegler.

Fórmula del método racional americano

$$Q = \frac{C_i A}{0.36}$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en L/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento.

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

A = Area por drenar expresado en ha.

0.36 = Factor de conversión.

Fórmula de Burklic Ziegler

$$Q = 27.78 C_i S^{1/4} A^{3/4}$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en l/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento (sin dimensiones).

i = Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr.

S = Pendiente del terreno expresado en milésimas.

A = Area por drenar expresado en ha.

27.78 = Factor de conversión.

Estas obras de drenaje, deberán diseñarse con capacidad para manejar caudales iguales o mayores al de una tormenta con periodo de retorno de 25 años.

19. INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA

Las instalaciones de energía eléctrica deberán satisfacer las necesidades de iluminación y energía en señalamientos exteriores e interiores, requerimientos en oficinas, e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo.

20. SEÑALAMIENTOS.

Los señalamientos se dividirán en 3 géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo y deberán ajustarse a lo establecido en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras, editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

21. SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION.

- 21.1 El sistema de impermeabilización será utilizado en aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m. de profundidad.
- 21.2 El sistema de impermeabilización deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen tanto natural como sintético, o bien alguna combinación de éstos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de 1×10^{-5} cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deteriorarán ni perderán sus propiedades y ser resistentes a los esfuerzos físicos que resulten del peso de los materiales y residuos que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización.
- 21.3 Los materiales de origen natural pueden ser importados o bien del mismo sitio y en ambos casos se deberá especificar el manejo o trato que deberá dárseles para reducir su

permeabilidad a los límites establecidos o en su defecto se deberá demostrar que su espesor es capaz de absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados, evitando su migración hacia los acuíferos.

22. SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LIXIVIADOS

- 22.1 Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización.
- 22.2 Los sistemas de captación de lixiviados deberán ser capas drenantes, ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos y estar diseñadas para conducir de la forma más rápida posible el agua libre del relleno hasta cárcamos de colección. Estas capas drenantes podrán constituirse en forma de redes de drenes (tuberías perforadas) o trincheras. Su pendiente mínima debe ser de 0.4 % y su conductividad hidráulica de 1×10^{-5} m/seg para espesores de 0.3 m. o bien una transmisibilidad hidráulica de 3×10^{-6} m²/seg para espesores menores.

23. POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS

- 23.1 Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar de por lo menos 3 pozos de muestreo que se sitúen uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a 500 m. antes de llegar al sitio del relleno sanitario otro a 500 m. aguas abajo del sitio, y el último en el sitio del relleno.
- 23.2 Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m. dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.
- 23.3 La construcción de los pozos de monitoreo para lixiviados deberán realizarse únicamente con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero, y podrán ser de un diámetro mínimo que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión.

24. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE BIOGAS

- 24.1 Se deberán construir estructuras verticales de 60 a 100 cm. de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se desplantará 30 cm. abajo del

fondo del relleno y en la parte superior se cubre con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso, u otro sistema dependiendo de la cantidad generada de gas y el uso que se le dé.

24.2 Se deberán instalar dos pozos por hectárea de relleno.

24.3 Independientemente del sistema de control que se use, el biogás que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento.

25. SISTEMA DE MONITOREO PARA BIOGAS

25.1 El sistema de monitoreo de biogás será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean contruidos en oquedades, barrancas depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista el contacto directo de los residuos sólidos con paredes, en las cuales se pueda presentar la migración de biogás de forma horizontal.

25.2 Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogás estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario. Estos se construirán con una separación máxima de 50 m. entre pozo y pozo y a una distancia mínima de 2 m. del limite de los residuos sólidos. La profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más un metro.

26. AREA DE AMORTIGUAMIENTO

26.1 El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m.

26.2 Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvos, ruido y materiales ligeros durante la operación.

27. ALMACEN Y COBERTIZO

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipo, herramienta, materiales que sean de uso para el relleno, el tamaño dependerá del equipo que se disponga, camionetas, traxcavos y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande. para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén.

28. AREA ADMINISTRATIVA

El área administrativa deberá contar con el espacio suficiente para la instalación de las oficinas respectivas, así como el mobiliario y equipo que se requiera.

29. SERVICIOS SANITARIOS

Los servicios sanitarios se instalarán conforme a los requisitos que establezcan las disposiciones legales aplicables.

30. VIGILANCIA

Los gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y de los municipios en sus respectivas jurisdicciones, son la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

31. SANCIONES

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de cada entidad y demás ordenamientos jurídicos aplicables.