



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN

“RESTAURACIÓN DE UNA ZONA AFECTADA POR UN
TIRADERO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO
COMO SOLUCIÓN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

OSCAR ALEJANDRO ARROYO SEPÚLVEDA

ASESOR: ING. NARCISO TALAMANTES CHÁVEZ

MAYO, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

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

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1, 2
OBJETIVO	1, 2
CAPITULO 1 ANTECEDENTES Y NORMATIVIDAD	1 - 1
1.1 ANTECEDENTES	1 - 1
1.1.1 Disposición actual de los desechos	1 - 2
1.1.2 Cuantificación del problema	1 - 3
1.1.3 Gráficas	1 - 5
1.2 NORMATIVIDAD	1 - 10
1.2.1 Conceptos fundamentales	1 - 10
1.2.2 Normatividad actual para la disposición de residuos sólidos	1 - 11
a) Leyes referentes a la disposición de residuos sólidos	1 - 11
b) Reglamentos referentes a la disposición de residuos sólidos	1 - 14
c) Normas Oficiales Mexicanas (NOM) referentes a la disposición de residuos sólidos	1 - 17
d) Análisis y Revisión de Norma NOM-083-ECOL-1996	1 - 18
e) Análisis y Revisión del Proyecto de Norma PNOM-084-ECOL-1997	1 - 22 a 27
CAPITULO 2 TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS	2 - 1
2.1 CARACTERISTICAS GENERALES	2 - 1
a) Identificación de rutas de migración de los contaminantes	2 - 1
b) Consolidación del relleno sanitario	2 - 2
c) Impresiones y perspectivas	2 - 3
d) Cuantificación del problema y clasificación del lugar	2 - 3
e) Ensayo ambiental y procedimiento para el análisis ambiental en un relleno sanitario fuera de servicio	2 - 4
f) Valoración preliminar	2 - 6
g) Inspección del lugar	2 - 7
h) Análisis de la clasificación del peligro	2 - 7
i) Procedimiento de lugares incluidos en el superfondo	2 - 8
j) Eliminación de la fuente del problema	2 - 9
k) Atenuación para reducir la severidad del problema	2 - 11
l) Supervisión de la atenuación del problema	2 - 11
2.1.1 Ubicación	2 - 12
2.1.1.1 Ubicación del área actual	2 - 12
2.1.2 Geomorfología	2 - 13
2.1.2.1 Orografía	2 - 14
2.1.2.2 Suelos	2 - 14
2.1.2.3 Climatología	2 - 15
2.1.2.4 Tipo de clima	2 - 15
2.1.2.5 Temperatura	2 - 15
2.1.2.6. Precipitación	2 - 16
2.1.3 Hidrología y Geología	2 - 17
2.1.3.1 Caracterización litológica e hidrogeológica	2 - 17
2.1.3.2 Vegetación	2 - 19
2.1.3.3 Fauna	2 - 20
2.2 PROYECTO DE CLAUSURA	2 - 20

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

2.2.1 Alternativas de solución	2 - 20
2.2.1.1 Alternativa 1	2 - 22
2.2.1.2 Alternativa 2	2 - 22
2.2.2 Acciones básicas de restauración	2 - 24
2.2.2.1 Recuperación del manto freático	2 - 26
2.2.2.2 Tratamiento del sistema por medio de biofiltros	2 - 27
2.2.2.3 Recuperación de la estética por reforestación	2 - 28
2.2.2.4 Manejo de gases	2 - 28
2.2.3 Procedimientos de control	2 - 29
2.2.3.1 Uso de la materia orgánica	2 - 31
2.2.3.2 Drenaje	2 - 33
2.2.4 Informe preventivo del proyecto de clausura	2 - 33
2.2.4.1 Vida útil del proyecto	2 - 34
2.2.4.2 Programa de trabajo	2 - 34
2.2.4.3 Ubicación física del proyecto	2 - 35
2.2.5 Perfil estratigráfico	2 - 38
2.2.6 Procedimiento constructivo	2 - 38 -40
CAPITULO 3 RELLENO SANITARIO	3 - 1
3.1 CARACTERISTICAS GENERALES	3 - 1
3.1.1 Descripción general	3 - 1
3.1.1.1 Nombre del proyecto	3 - 2
3.1.1.2 Naturaleza del proyecto	3 - 2
3.1.1.3 Objetivos y justificación del proyecto	3 - 3
3.1.1.4 Proyectos asociados	3 - 4
3.1.1.5 Políticas de crecimiento a futuro	3 - 4
3.2 ETAPAS DE CONSTRUCCION y ABANDONO	3 - 5
3.2.1 Etapa de selección del sitio	3 - 5
3.2.1.1 Criterios para la selección del sitio	3 - 5
3.2.1.2 Sitios alternativos que hayan sido evaluados	3 - 6
3.2.1.3 Evaluación de las alternativas	3 - 8
3.2.1.4 Ubicación física del proyecto	3 - 11
3.2.1.5 Urbanización del área	3 - 11
3.2.1.6 Superficie requerida	3 - 12
3.2.1.7 Uso actual del suelo en el predio seleccionado	3 - 12
3.2.1.8 Colindancias del predio seleccionado	3 - 12
3.2.1.9 Situación legal del predio seleccionado	3 - 12
3.2.1.10 Vías de acceso al área donde se desarrollará la obra	3 - 12
3.2.2 Programa de trabajo	3 - 13
3.2.3 Preparación del terreno para la construcción del relleno sanitario	3 - 14
3.2.4 Obras y servicios de apoyo	3 - 14
3.2.5 Construcción del relleno sanitario	3 - 18
3.2.6 Situación actual de la operación	3 - 28
3.3 MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL	3 - 33
3.3.1 Identificación de impactos ambientales	3 - 33
3.3.2 Medidas de prevención y mitigación de los impactos	3 - 34
3.3.3 Conclusiones para el proyecto de construcción del relleno sanitario	3 - 45
CAPITULO 4 COSTOS	4 - 1

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

4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	4 - 1
4.1.1 Conceptos de planeación	4 - 1
4.1.2 Financiamiento de capital el desarrollo de proyectos y mejoras	4 - 3
4.1.3 Análisis económico del proyecto	4 - 4
4.1.4 Costos de construcción	4 - 5
4.1.5 Costo de clausura o conclusión	4 - 8
4.1.6 Costo de cuidado al largo plazo	4 - 9
4.1.7 Costo de operación	4 -10
4.1.8 Análisis financiero general	4 - 14
4.1.9 Selección de una alternativa de solución	4 - 15
4.2 RELACION COSTO-BENEFICIO	4 - 15
4.2.1 Puntos de vista	4 - 17
4.2.2 Elección de la tasa de interés	4 - 17
4.2.3 Estimación de los factores de costo-beneficio	4 - 18
4.2.4 Sobrecuenta	4 - 18
4.2.5 Proyectos de usos múltiples	4 - 18
4.2.6 Problemas con la razón costo-beneficio	4 - 19
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	1, 2, 3
BIBLIOGRAFIA	1, 2
ANEXO A MAQUINARIA ESPECIAL PARA RELLENOS SANITARIOS	A - 1
ANEXO B NORMA OFICIAL MEXICANA	B - 1 a B - 26

I N T R O D U C C I O N

I N T R O D U C C I O N

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, existen depósitos de residuos sólidos clausurados, fuera de servicio o abandonados. Es hasta finales de los años setenta, cuando la Agencia de protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA), por sus siglas en inglés, obligó a la identificación y eliminación de los tiraderos 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; porque no hubo un control para la separación de los residuos orgánicos e inorgánicos, para su disposición final provocando la contaminación a los mantos freáticos por la generación de lixiviados así como del biogás generado por la descomposición orgánica de los residuos; por lo que a la fecha no se tiene un dato específico de la afectación en las zonas de tiraderos abandonados.

México, como país, no está exento del crecimiento 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.

Por lo que es de vital importancia implementar en los municipios las tecnologías que hay en las ciudades, con el objeto de tener un control en la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos. Tales como plantas de transferencia, de composta y las técnicas para el acomodo, extendido, compactación de las diferentes capas de basura que conforman una celda dentro de un relleno sanitario, así como la capa de cubierta que puede ser del material de los bancos cercanos previamente autorizados para tal fin.

Es necesario, prever que en la medida de la tasa de crecimiento poblacional de los municipios, estados y ciudades. Se generaran mayores residuos sólidos por lo que deberá contar, con los espacios para la construcción de rellenos sanitarios y/o en su defecto implementar nuevas técnicas para la disposición final de los residuos, debido a que en las grandes ciudades ya no existen lugares para los rellenos sanitarios, por lo que los municipios y estados deberán aprender de estas experiencias y así contemplar en los planes de desarrollo urbano de sus localidades los lugares para la construcción de rellenos sanitarios sin que esto sea un problema que afecte a la sociedad.

O B J E T I V O

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo, es establecer la propuesta de la metodología para llevar a cabo la clausura de un tiradero de residuos sólidos a cielo abierto, así como la construcción de un relleno sanitario anexo y su manifiesto de impacto ambiental.

Para lo cuál se deberán establecer las alternativas de solución tales como:

- Que la propuesta sea ambientalmente la apropiada; con el fin de eliminar los daños generados al medio ambiente ocasionados por el deposito de residuos sólidos tirados sin control.
- Que sea factible económicamente.
- Que sea ejecutable desde el punto de vista técnico.

Como primer paso es llevar a cabo un levantamiento topográfico con el fin de conocer el área afectada en estudio y sus volúmenes de material estabilizado y no estabilizados.

Como siguiente paso es preparar el sitio donde se confinaran los volúmenes de material no estabilizado por medio de la aplicación de membranas sintéticas de doble capa para un manejo adecuado de los lixiviados.

Traslado de los residuos hasta el sitio de disposición final, utilizando el sistema de relleno sanitario por celda, este sistema esta basado en la construcción de una área especifica donde se depositarán los residuos previamente clasificados se extenderán y se compactarán con los equipos de bandeado y compactación tales como un bulldozer y un rodillo pata de cabra con el fin de que el material depositado en una celda diaria se cubra con una capa de cubierta de material de la región previamente analizado y autorizado para su compactación al final de la jornada y así poder evitar en la medida de lo posible la afectación por la precipitación pluvial y que el material no cubierto absorba mayor contenido de humedad para evitar mayor generación de lixiviados.

Construcción del área de cobertura final y programa de reforestación.

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

Esto quiere decir que una vez terminadas las celdas diseñadas del relleno se cubrirán con una capa de material orgánica para recibir pasto en rollo y se utilicen como áreas verdes.

Construcción de los sistemas de control de las aguas superficiales.

Construcción de los sistemas de control de gases.

Construcción de los sistemas de control de lixiviados.

Elaboración de un programa de supervisión ambiental.

El objetivo final de la clausura es poder aprovechar estas áreas para fines de servicio a la comunidad, tales como la creación de un jardín botánico, establecer viveros y/o áreas deportivas.

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 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 serias 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 1

ANTECEDENTES

Y

NORMATIVIDAD

CAPITULO 1

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

1.1 ANTECEDENTES

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 las 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; debido a que se crearán: un vivero, jardín botánico y áreas deportivas, lo que traerá como consecuencia empleos eventuales durante la construcción y empleos operacionales para fines de conservación y mantenimiento.

En este trabajo 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.

Por lo tanto, 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 residuos, 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.

1.1.2 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 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 de la disposición 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 General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- 2) Incorporar esquemas técnicos adecuados a nuestras condiciones económicas y de desarrollo tecnológico.

Con estas condiciones 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

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

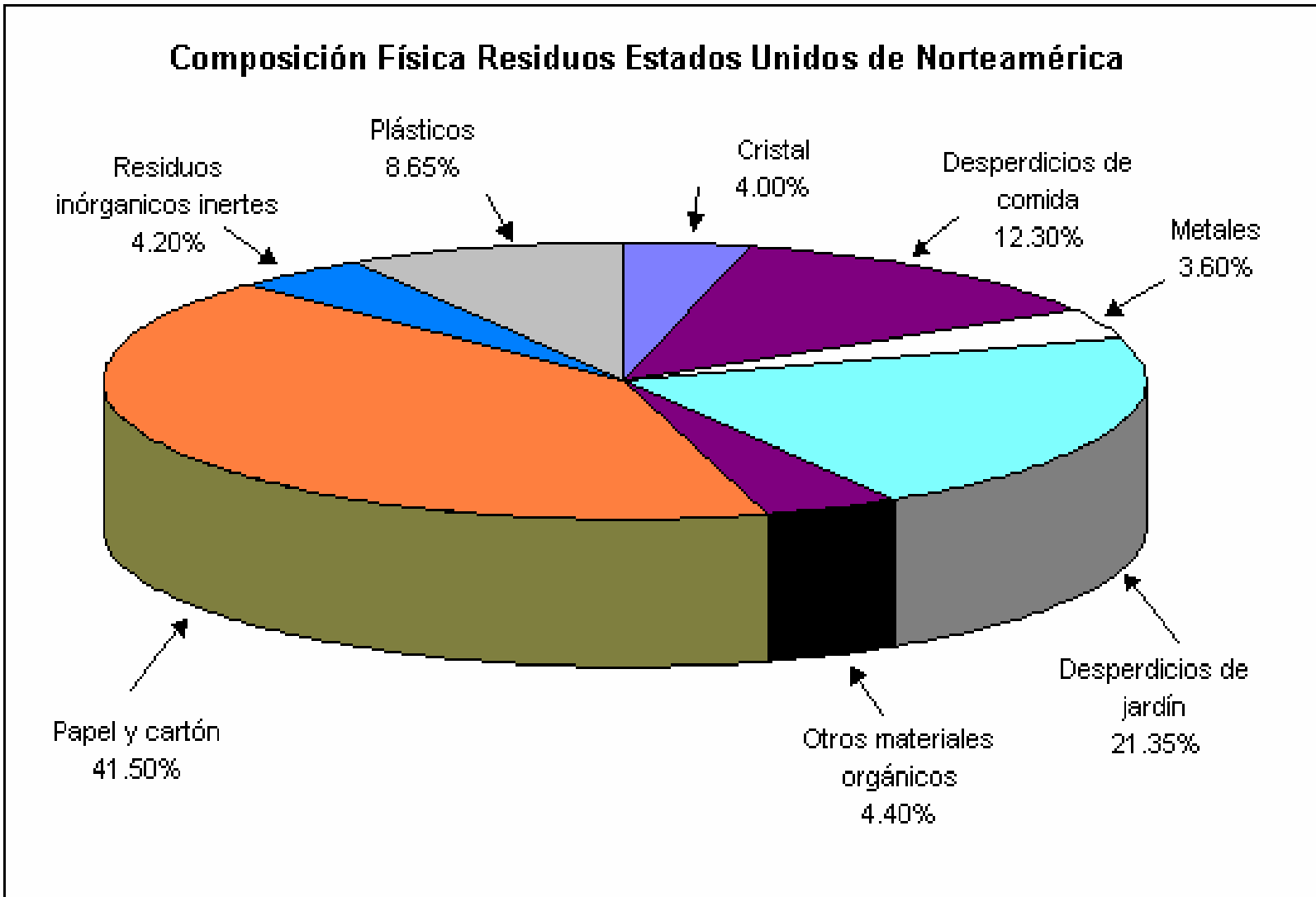
Urbano, dependiente de la Dirección de Servicios Públicos Municipales, reportándose una recolección promedio de 9 toneladas por día.

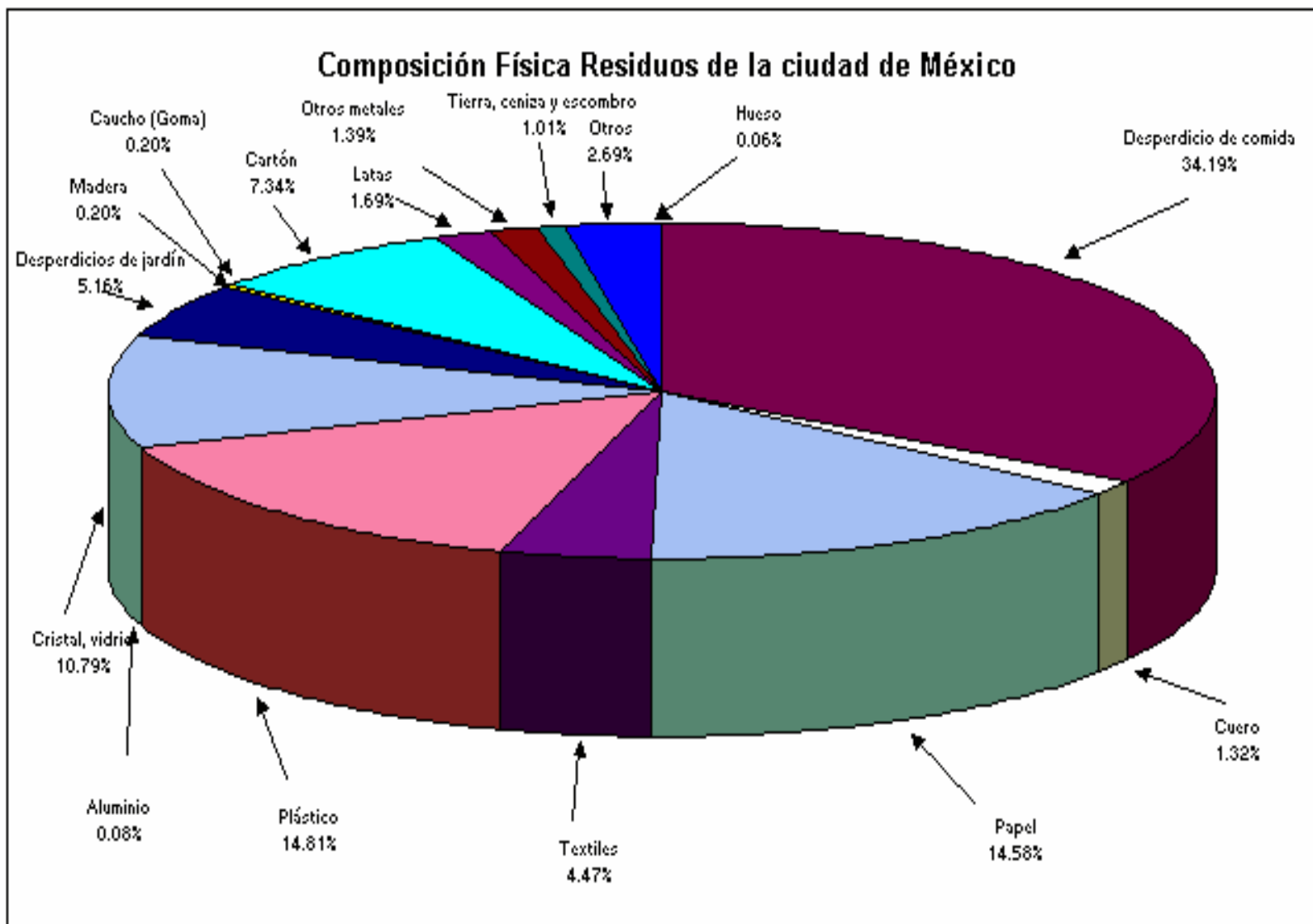
En cuanto al barrido de calles, a cargo también de la Subdirección de Aseo Urbano, el valor promedio de la recolección diaria es de 30 ton/día, aproximadamente. Además de estos, el manejo de vehículos chatarras, la recolección en comisarías y los servicios extraordinarios, la limpieza y recolección de 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, biomédicos 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.

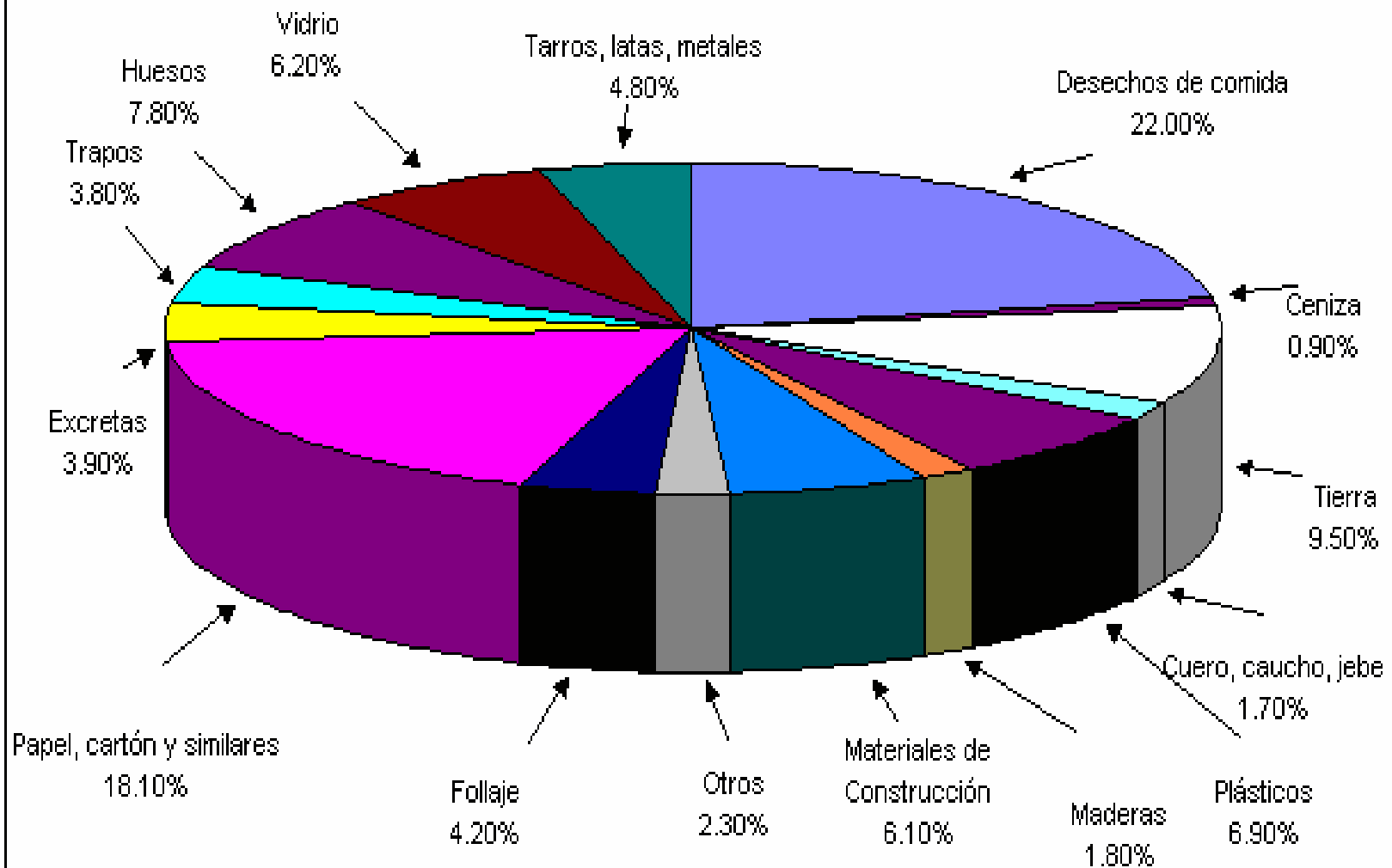
1.1.3 Gráficas

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.

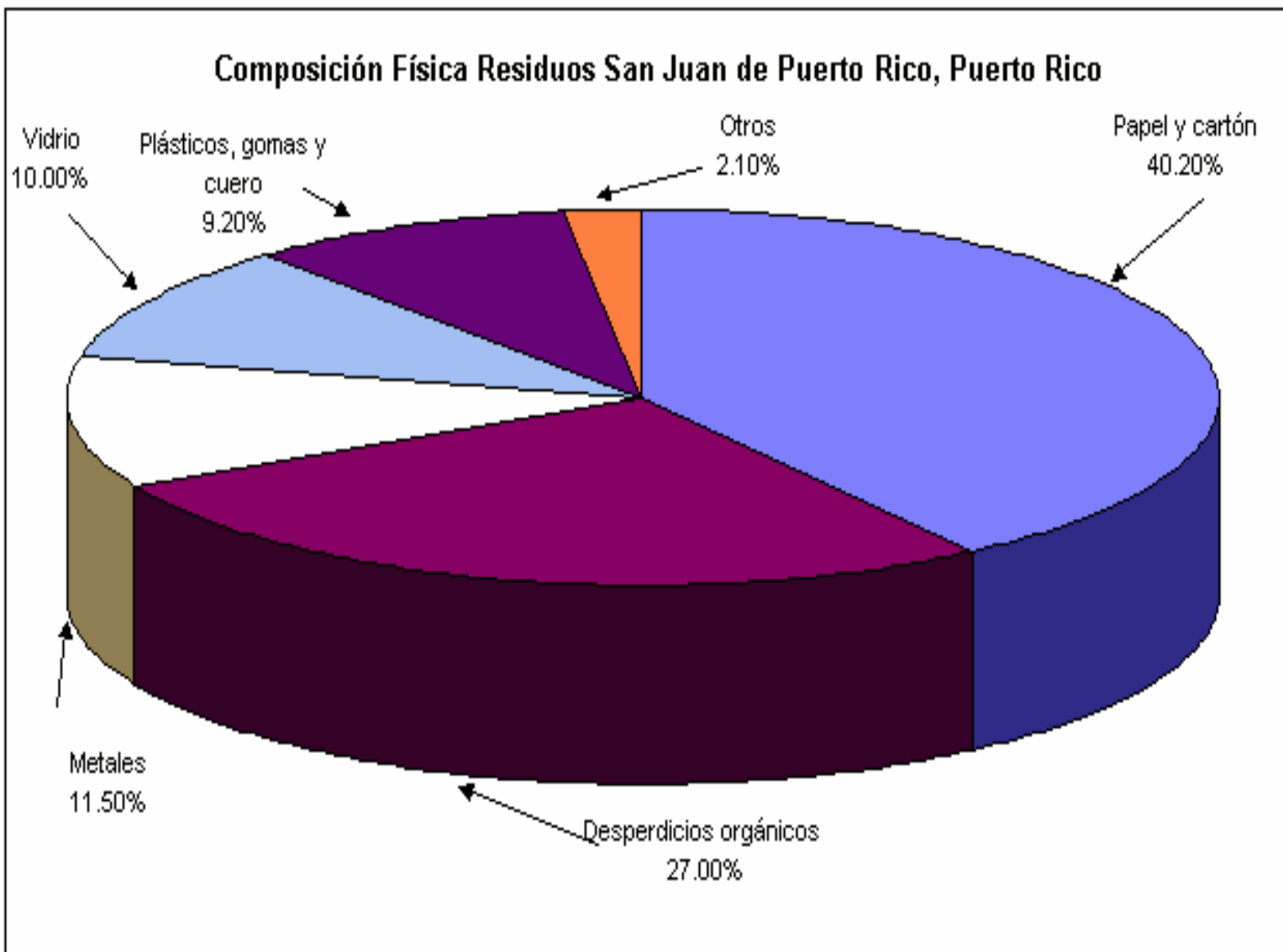




Composición Física Residuos ciudad de Mérida, Yucatán



1-8



1.2 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.

1.2.1 Conceptos fundamentales

- **Residuo**
- **Lixiviados**
- **Celdas**

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 expedidas en 1998.

1.2.2 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

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, delimita las 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. 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 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE).

Artículo 3°.- 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 7°.- 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 8°.- 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 rehuso 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, rehusos, 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 5°. - Son asuntos de competencia del Estado de Yucatán:

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 está 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 rehuso 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, rehuso, 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.

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

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 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE)

Autorizar la instalación y operación de sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, rehuso, 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 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE) para instalar y operar sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, rehuso, 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 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE) la manifestación de impacto ambiental (artículo 11).

El transportista y el destinatario de los residuos peligrosos deben entregar a la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE) 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 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE) 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 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE) 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).

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

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

Existen también normas relativas a la determinación de diversos parámetros de los residuos sólidos municipales. Cabe mencionar que a la fecha no existen 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.

En materia de residuos sólidos municipales, la extinta 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
NOM-AA-sin número	Determinación de genéricos

El lunes 25 de noviembre de 1996, la extinta Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 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 de este trabajo.

Por otra parte, la misma Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEDUE) 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.

ANALISIS Y REVISIÓN DE NORMA NOM-083-ECOL-1996 Y DEL PROYECTO DE NORMA NOM-084-ECOL-1997; POR EL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO (UNAM), DE MAYO 1998 A MARZO DE 1999.

El grupo de manejo de residuos sólidos de la Coordinación de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Servicios de Tecnología Ambiental S.A. (SETASA) desarrollaron conjuntamente (de mayo de 1998 a marzo de 1999) un trabajo pionero de investigación en el relleno sanitario de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

Dicho estudio, tuvo como meta principal establecer un diagnóstico del funcionamiento del relleno y evaluar el cumplimiento de los requisitos de monitoreo ambiental especificados en el proyecto de norma NOM-084-ECOL-1997, y en los criterios y normas internacionales.

Así también, se revisó si el sitio en cuestión cumple con las condiciones solicitadas por la NOM-083-ECOL-1996.

Para poder efectuar el diagnóstico se diseñó, construyó, equipó y operó un laboratorio para análisis in situ.

La realización de este trabajo ha permitido además de determinar que el relleno cumple con lo especificado en las normas, aportar y proponer al proyecto de norma vigente NOM-084-ECOL-1997, dos puntos que son:

- 1) Complementación de los programas de monitoreo ambiental y
- 2) Técnicas y metodologías de análisis en laboratorio de los parámetros que están en dichos programas.

Por otra parte, la realización de las diferentes actividades del estudio generó información básica y recomendaciones prácticas en cuanto al manejo y disposición de los diferentes subproductos generados por la degradación de los Residuos Sólidos Municipales (RSM).

Así también, los resultados y la experiencia generada es potencialmente posible aplicarla en otros emplazamientos de México.

LEYES, REGLAMENTOS Y NORMAS EN MEXICO

La situación legal en aspectos técnicos relacionados con los rellenos sanitarios comprende tres niveles: leyes, reglamentos y normas.

En cuanto a las leyes, existe la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley Ambiental del Distrito Federal y las correspondientes leyes estatales en materia ambiental. Los señalamientos que marcan estas leyes en materia de disposición de Residuos Sólidos Municipales (RSM) en general son muy escasos.

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) se establece principalmente la responsabilidad del manejo de los residuos sólidos por los estados, municipios y el gobierno del Distrito Federal. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales se encarga de expedir las normas a las que deberán sujetarse las diferentes entidades para el diseño, construcción y operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los Residuos Sólidos Municipales (RSM).

Para sustentar los reglamentos se expiden las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), cuya expedición es de competencia federal, caso que también aplica al manejo de los residuos sólidos. Actualmente, sólo existen vigentes la NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, y el proyecto de norma NOM-084-ECOL-1997, que establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario. Cabe mencionar que la NOM-083 está siendo revisada al igual que el proyecto de la NOM-084. La NOM-052, que se refiere al listado de los residuos considerados como peligrosos, se está revisando y existe una propuesta de modificación que considera a los lixiviados generados en la disposición final como residuos peligrosos. Esto sin duda, modificaría el manejo de los lixiviados en los rellenos sanitarios.

LEYES DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE ESTATAL

Las leyes ambientales de las distintas entidades federativas muestran una diversidad en cantidad y tipo de señalamientos en materia de residuos sólidos, debido en parte a los distintos años en que fueron publicados. Además, existe la necesidad de adecuarlas a las reformas más recientes de la LGEEPA.

Estadísticamente el 81% de las leyes estatales consideran la racionalización de la generación de los residuos sólidos, así como el aprovechamiento y reutilización de los mismos, el 72% establece que el manejo de los residuos sólidos debe considerar las condiciones necesarias para prevenir la contaminación y las afectaciones a la salud de la comunidad, el 59% establecen criterios para el manejo de los residuos sólidos y delegan la mayor parte de la responsabilidad a los municipios. Es interesante señalar que en sólo dos estados (Sinaloa y Baja California) mencionan el uso de rellenos sanitarios para disponer sus Residuos Sólidos Municipales (RSM).

REQUERIMIENTOS DE LA NOM-083

La NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-083-ECOL-1996 entró en vigor el 26 de noviembre de 1996 y, establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la Disposición final de los residuos sólidos municipales.

Objetivo y campo de aplicación.

Puesto que el relleno en estudio ya está construido entonces el contenido en esta norma relacionado directamente con las actividades realizadas en este trabajo se refiere a no tener posibilidad de contaminar con lixiviados por posibles infiltraciones.

En este punto esta norma establece las condiciones de ubicación, hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos Sólidos Municipales (RSM), y es de observancia obligatoria para aquellos que tienen la responsabilidad de la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Los procedimientos establecen que: la selección de un sitio para la disposición final de residuos sólidos municipales requiere de estudios geológicos de tipo regional y local, hidrogeológicos y otros complementarios. En caso de que exista una probable contaminación a cuerpos de agua superficial y subterránea, se debe recurrir a soluciones mediante obras de ingeniería.

Aspectos Generales. (Protección de áreas naturales, respetar los derechos de vía, gasoductos, poliductos, etc.). Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (un mil quinientos metros), a partir del límite de la traza urbana de la población a servir.

Aspectos hidrológicos. Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. El sitio de disposición final de residuos sólidos municipales no se debe ubicar en zonas de pantanos, marismas y similares.

La distancia de ubicación del sitio, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 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.

Aspectos geológicos. 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.

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; así como evitar zonas que puedan generar asentamientos diferenciales que lleven a fallas o fracturas del terreno.

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

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

La distancia mínima del sitio a pozos de 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.

Nombre completo: PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1997, que establece los REQUISITOS PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION, OPERACIÓN Y MONITOREO DE UN RELLENO SANITARIO, Fecha de publicación: marzo de 1997.

Objetivo y campo de aplicación:

La presente Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo establecer los requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario. El relleno en estudio fue diseñado y construido de acuerdo a los puntos especificados en la norma . En este trabajo se evaluó el aspecto de la operación actual y el monitoreo ambiental del relleno.

Diseño de un relleno sanitario. De los aspectos que se contemplan en esta norma se enumeran algunos, a continuación:

Se especifica que el diseño de un relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales, deberá sujetarse al procedimiento en el que se considera:

La topografía, planimetría, altimetría, secciones transversales, configuración topográfica, cantidades y características de los residuos sólidos, selección del método para operar, requerimientos volumétricos, capacidad volumétrica, vida útil del sitio, dimensiones de la celda diaria, los criterios constructivos, y obras complementarias entre las que se tiene a los sistemas de monitoreo de biogás , sistema de captación y tratamiento de lixiviados , áreas de acceso y espera, programa de monitoreo, etc.

Así también, en los criterios constructivos se establecen los de operación de un relleno y el monitoreo ambiental del mismo.

Con respecto al sistema de impermeabilización se anota que será utilizado para aquellos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m. de profundidad. Este 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.

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.

Los sistemas de captación y extracción de lixiviados. Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización.

Pozos de monitoreo para lixiviados. En el sistema de monitoreo para lixiviados se deberá 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, un segundo a 500 m aguas abajo del sitio, y el tercero en el sitio del relleno.

Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizar 2 m dentro del acuífero y el nivel o base del relleno.

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 de muestreo debiendo ser este último resistente a la corrosión.

Sistema de captación de biogás. Se deberá construir estructuras verticales de 60 a 100 cm de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se desplantarán 30 cm bajo 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 de (ver anexo correspondiente). Se deberán instalar 2 pozos por hectárea de relleno.

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.

Sistema de monitoreo para biogás. El sistema de monitoreo de biogás será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean construidos 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.

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 límite de los residuos sólidos. La profundidad máxima será igual al espesor de residuos sólidos más un metro (Tabla 1).

Área de amortiguamiento. El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m. Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvo, ruido, y materiales ligeros durante la operación.

Almacén 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.

Programas de monitoreo que se encuentra en el proyecto de norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994.

PARAMETRO	EQUIPO	TECNICA	FRECUENCIA
COMPOSICION DE BIOGAS. CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , N ₂	CROMATOGRAFO DE GASES	CROMATO- GRAFIA DE GASES	TRIMESTRAL
EXPLOSIVIDAD Y TOXICIDAD.	EXPLOSIMETRO DIGITAL	LECTURA DIRECTA EN CAMPO	DIARIA
FLUJO	FLUJOMETRO	LECTURA DIRECTA EN CAMPO	DIARIA

Tabla 1. Programa de monitoreo de biogás

Monitoreo de sistema de lixiviados. El programa de monitoreo del acuífero y lixiviados tiene como objetivo, conocer en forma precisa las condiciones del acuífero, aguas arriba y aguas abajo del sitio de disposición final. Con esto se puede determinar si el acuífero ha sido contaminado por lixiviados.

Los parámetros a determinar tanto el acuífero como en los lixiviados, así como la frecuencia de muestreo, equipos y técnicas empleadas, se indican en la Tabla 2.

NOTA: De los acuíferos se tomarán muestras cada 6 meses para determinar si existe o no-contaminación.

Monitoreo de partículas aerotransportables. El programa de monitoreo de las partículas aerotransportables debe tomar en cuenta las especificaciones marcadas en la Tabla 3.

Monitoreo de ruido, radiactividad y parámetros ambientales. Para la determinación de estos parámetros, se deben emplear los equipos, técnicas y frecuencia de muestreo que se señalan en las especificaciones de la Tabla 4.

PARAMETRO	EQUIPO	TECNICA	FRECUENCIA
PH	POTENCIOMETRO	LECTURA DIRECTA EN CAMPO	TRIMESTRAL
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	CONDUCTIMETRO	LECTURA DIRECTA EN CAMPO	TRIMESTRAL
OXIGENO DISUELTO	OXIMETRO	LECTURA DIRECTA EN CAMPO	TRIMESTRAL
METALES PESADOS	ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION ATOMICA CON ACCESORIOS	ABSORCION ATOMICA	TRIMESTRAL
DQO, DBO	EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO PARA DETERMINACION DE DQO Y DBO	DILUCIONFILTRACION	TRIMESTRAL

Tabla 2. Programa de monitoreo de lixiviados y acuífero

PARAMETRO	EQUIPO	TECNICA	FRECUENCIA
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES	EQUIPO PARA MUESTREO DE ALTO VOLUMEN	MUESTREO DE ALTO VOLUMEN	SEMANAL
PARTICULAS VIABLES	EQUIPO ANDERSEN PARA MUESTREO DE PARTICULAS VIABLES, EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO PARA DETERMINACION DE UFC/M ³	METODO ANDERSEN PARA MUESTREO DE PARTICULAS VIABLES Y METODO ANALITICO DE LABORATORIO PARA CONTEO DE UFC/M ³	SEMANAL

Tabla 3. Programa de monitoreo de las partículas aerotransportables

PARAMETRO	EQUIPO	TÉCNICA	FRECUENCIA
RUIDO	SONOMETRO	SEGÚN MANUAL	SEMANAL
RADIOACTIVIDAD	CONTADOR TIPO GEIGER	SEGÚN MANUAL	SEMANAL
PARAMETROS METEREOLÓGICOS Precipitación Humedad relativa (%) Dirección y velocidad del viento. Temperatura ambiente.	ESTACION METEREOLÓGICA	LECTURA DIRECTA EN CAMPO	DIARIA

Tabla 4. Programa de monitoreo de ruido, radiactividad y parámetros ambientales.

Evaluación del monitoreo. La información obtenida en el monitoreo de los impactantes ambientales generados en el relleno sanitario, se almacenará en una base de datos, a partir de la cual, se podrán efectuar todos los análisis de datos necesarios para conocer el comportamiento de los impactantes, y así poder tomar las medidas adecuadas para su control.

C A P I T U L O 2

T I R A D E R O

D E

R E S I D U O S

S O L I D O S

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

CAPITULO 2

TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES

Los tiraderos y rellenos sanitarios fuera de servicio constituyen serios problemas, 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, así como la producción de lixiviados.

En muchas situaciones, los rellenos sanitarios permanecen pasivos, 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.

Los pasos que hay que seguir para responder a esta situación son los siguientes:

- 1) Identificar el lugar
- 2) Identificar y estudiar los caminos que pueden seguir los contaminantes para afectar a la población y al ambiente
- 3) Analizar los impactos debido al asentamiento del relleno sanitario.
- 4) Verificar los impactos visuales.
- 5) Medir las reacciones del público respecto al problema.

a) Identificación de rutas de migración de los contaminantes

Los contaminantes pueden ser gases en el aire y suelo o 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 a 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

Cuándo se descomponen los residuos en un relleno sanitario, se consolida la superficie del terreno, produciendo 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 producido por el 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. 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, normalmente se sabe poco o nada sobre los estratos inferiores. Por lo 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

Procedimiento 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 de aquellos encontrados en los rellenos sanitarios de residuos sólidos.
Desarrollar un modelo del movimiento del 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 correctivas por un contratista.

f) Valoración preliminar

El paso de la valoración preliminar 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 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. El Sistema Clasificación del Peligro (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) 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 fuer 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 extensiones 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 sobres 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.

CAPITULO 2

TIRADERO DE RESIDUOS SOLIDOS

La Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos) ha preparado líneas directrices sobre el diseño de acciones correctivas 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 servicios y las acciones para eliminar los problemas.

Tipo de problema	Acción en el origen para eliminar el Problema
Asentamiento superficial del terreno	Llevar suelos adicionales al lugar para renivelar las zonas de asentamiento; repavimentar las zonas donde sea necesario, plantar vegetación 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 enterarlos 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.
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 contaminados.
- 3) Añadir el 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 dependencias públicas 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.

2.1.1 Ubicación

El municipio de Mérida pertenece al Estado de Yucatán. Este se localiza al norte de la península de Yucatán, limitada al norte del 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'.

2.1.1.1 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.

2.1.2 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 Sub-provincia Llanuras con Dolinas abarca las porciones norte y centro de la entidad, se considera como una roca 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 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 alineamiento de arrecifes

de tipo biosgromal al norte del banco de Campeche.

La entidad está constituida por rocas sedimentarias de origen marino del periodo 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 compresivo, 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”.

2.1.2.1 Orografía

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

2.1.2.2 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.

2.1.2.3 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.

2.1.2.4 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%.

21.2.5 Temperatura

Los valores de las temperaturas máximas, media y mínima obtenidas en la cabecera municipal son: 40.2°C, 26.2°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 Chaksikín 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 AwO que significa clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. Aunque en las inmediaciones de la parte Norte de la ciudad se presenta el clima Bs1(he) w(X3) que significa seco muy cálido con lluvias en verano.

2.1.2.6 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 período 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 período de registro 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, 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.

2.1.3 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 aguada.

2.1.3.1 CARACTERIZACION LITOLOGICA E HIDROGEOLOGICA.

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 (UAY) 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 isótropos, 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 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 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 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 abarca los primeros 50 metros 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 metro 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.

2.1.3.2 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.

2.1.3.3 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.

2.2 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 la clausura, perfil estratigráfico de la zona y el procedimiento constructivo.

2.2.1.- 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.

CAPITULO 2
TIRADERO DE RESIDUOS

Difícilmente podrá obtenerse una solución que cumpla totalmente con los tres aspectos; sin embargo, es posible lograr una solución eficiente que combinen 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 5.75 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:

2.2.1.1 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.

2.1.2.2 Alternativas 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, inducirá a la población en el proceso de selección, manejo y disposición final de los desechos domésticos, así como en el reciclamiento, rehuso 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 deportivo 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.

2.2.2.- ACCIONES BASICAS DE RESTAURACION

Uno de los mayores problemas que existen en un proceso de restauración 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, debido a que los volúmenes predominantes son los no estabilizados que inobjetablemente están adicionando un mayor nivel de contaminación al sistema freático de la localidad.

En este 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 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 hectárea, 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 el 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 basado en 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 10.3 unidades.

Por otra parte, los sobrenadantes de 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 cementada, 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 con materiales impermeables, 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 más baja del sitio del tiradero municipal.

2.2.2.1 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 puede ser difundida 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.

2.2.2.2 Tratamiento del sistema por medio de biofiltros

Proceso de Filtración Rápida (FR) es la aplicación controlada de aguas residuales a una cuenca en suelo de alta permeabilidad por ejemplo; suelos franco-arenoso, limo-arenoso y arenoso. 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 flujo de infiltración y típicamente canales laterales para el flujo del sitio de aplicación. Una aplicación cíclica, es la típica forma de operación con períodos de inundación, seguidos por períodos 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 llega a los mantos freáticos. El agua percolada es colectada para rehuso 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 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 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 los lixiviados. Ellas son:

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

2.2.2.3 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 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.

Asimismo, 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 reforestación contribuiría a elevar la calidad de vida de la población, así como a concientizar la importancia que tienen las áreas verdes que son parte del medio ambiente.

2.2.2.4 Manejo de gases

La degradación de los residuos sólidos provoca entre otras cosas la emisión de gases, como producto de los procesos de descomposición anaerobia que experimentan las basuras una vez que han sido confinadas. 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 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, estos pilares se rellenarán con grava, cuya permeabilidad permitirá la difusión de los gases y de esta manera se reducirá la actividad de los compuestos gaseosos.

2.2.3 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 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 arcilla 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 con diferentes períodos de retorno (2 años, 3 años, etc.).
- Existencia y propuesta de pozos de drenaje y estructuras de salida controladas.
- Areas de detención de sedimentos temporales.
- 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 establezca 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, son ubicados anexos a áreas de humedades, las cuales pueden

ser severamente impactadas por los problemas de erosión que pueden ocurrir debido a la perturbación temporal de suelo en pendiente.

2.2.3.1 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 fue 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, contruidos 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 a 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 fútbol.
- 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 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.

2.2.3.2 Drenaje

Para el buen desalojo de aguas pluviales, se propone la construcción de un sistema de drenes longitudinales que capten 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, a base de material sashcab, grava de ¼", ½" de diámetro, y una mezcla de ambos materiales, el agua infiltrada será captada por tubos 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 20 cm. de espesor de concreto armado con una f'c= 200 kg/cm² y varillas de ¾" de diámetro, y rejilla de acero.

2.2.4 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 los mantos freáticos, como resultado de un mal manejo de los residuos sólidos tanto urbanos como industriales. La

tecnología para el tratamiento y control de los residuos orgánicos e inorgánicos, ha sido comparativamente más rápida que el tratamiento a los mantos freáticos.

Acompañado al crecimiento poblacional, se dan los procesos de urbanización, así en la última década el porcentaje de urbanización en la ciudad también ha ido en aumento.

Como parte de éste 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. El H. Ayuntamiento del Municipio de Mérida, 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 potable, y la salud pública.

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

2.2.4.1 Vida útil del proyecto

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

2.2.4.2 Programa de trabajo

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

Cabe mencionar que existen dos propuestas de clausura: 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 OPCION PASIVA

M E S E S						
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6
Preparación						
Construcción						

PROGRAMA DE CAMPO PARA LA OPCION ACTIVA

M E S E S						
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 paisajista, consistente en un jardín botánico municipal y un cuerpo de agua como vaso regulador.

2.2.4.3 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.

LOCALIZACION DE 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, Cautel, Cosgaya, Chablekal, Cholul, Chuburná 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° 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.

CAPITULO 2

TIRADERO DE RESIDUOS

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, 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 habitantes 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 Anillo Periférico, en dirección Sureste colinda con el fraccionamiento Montejo y en dirección Noreste con la zona industrial.

Sé 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:

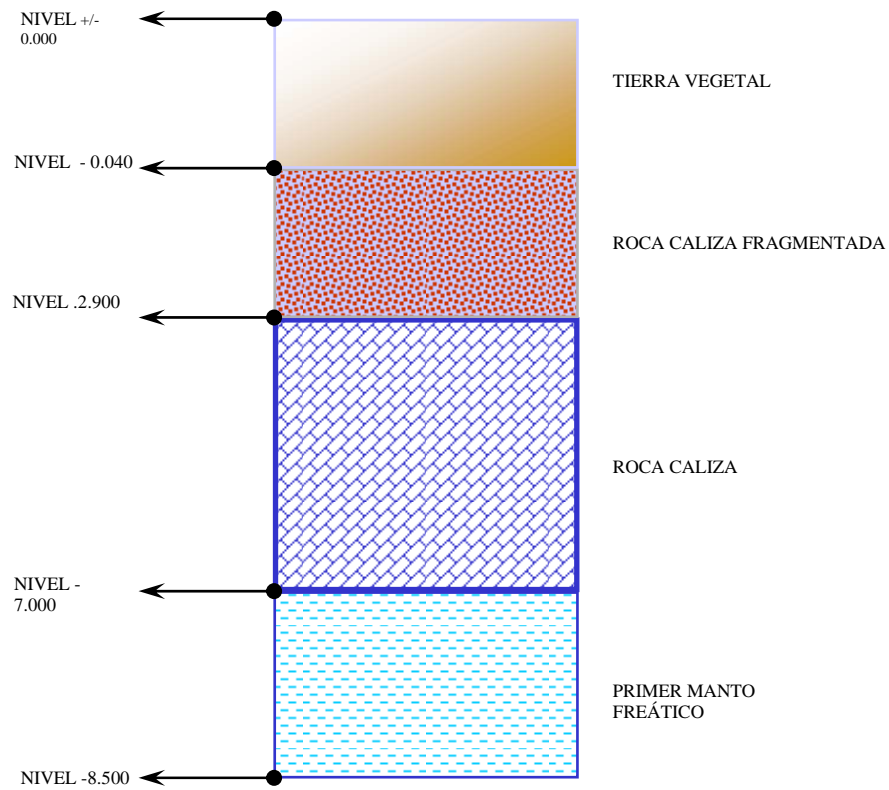
- a) Preservar el contexto ecológico del territorio en el que actúa la ciudad.
- b) Conservar y mejorar las condiciones del clima y de la atmósfera.
- c) Elevar la calidad de vida, la imagen urbana y la ecología de la ciudad.

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.

2.2.5 PERFIL ESTRATIGRAFICO

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



2.2.6 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	Traxcavo
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	Traxcavo
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 3

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

CAPITULO 3

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.

3.1 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 Engineering) (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.

3.1.1 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.

3.1.1.1 Nombre del Proyecto

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

3.1.1.2 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 las 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 por 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.

3.1.1.3 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. 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 fauna nociva 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.

3.1.1.4 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.

3.1.1.5 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 de 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 zona urbana de la ciudad de Mérida.

3.2 ETAPAS DE CONSTRUCCION Y ABANDONO

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

3.2.1 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.

3.2.1.1 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 a futuro.

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.

3.2.1.2 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 Candel (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 Caucel, 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 Cauce

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.

3.2.1.3 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 3.1 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 Candel), para este propósito ver la tabla siguiente:

Tabla 3.2. 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 3.3 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

3.2.1.4 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; de esta ciudad.

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

Estado: Yucatán.

Municipio: Mérida.

Localidad: ciudad de Mérida.

3.2.1.5 Urbanización del área

El predio se localiza en una zona suburbana.

3.2.1.6 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.

3.2.1.7 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.

3.2.1.8 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.

3.2.1.9 Situación legal del predio seleccionado

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

3.2.1.10 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.

3.2.2 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 3.4 Programa de trabajo.

Actividad	mes1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6
Limpieza y Desmonte						
Trazo y Nivelación						
Construcción de bordo						
Imperm..C/geomembrana						
Relleno con sashcab						
Drenaje pluvial						
Control de gas						
Obras complementarias						

El programa de trabajo en la operación del Relleno Sanitario se realizará conforme al criterio constructivo en el cual se irán construyendo las celdas que conforman franjas, estas a su vez integrarán capas o niveles, hasta alcanzar 8 niveles, como la formación de las celdas no tiene una dimensión unitaria debido al aumento en la generación de residuos cada año. Debido al tipo de suelo de la región y a la topografía existente el Relleno Sanitario crece en forma vertical, a partir prácticamente del nivel de terreno natural, evitando las excavaciones en el sitio.

El volumen crece en forma piramidal, con pendientes de talud exterior con una relación horizontal-vertical de 3:1, hasta lograr la altura máxima del proyecto, que será de 30 metros una vez que se hayan ocupado las ocho celdas. A la mitad de la altura se forma dentro de la geometría que van formando los residuos, una berma perimetral de 8 metros de ancho.

3.2.3 Preparación del terreno para la construcción del relleno sanitario

El área del terreno destinado a la construcción del Relleno Sanitario es de 29.13 hectáreas, de las cuales se utilizarán en total 18.77 hectáreas para la disposición de los residuos sólidos; el resto de la superficie está destinada para la habilitación de la infraestructura complementaria del proyecto, así como el área que ocupa la planta de separación y composta.

La superficie destinada para la disposición de desechos está dividida en ocho celdas, no todas con las mismas dimensiones debido a la irregularidad de la superficie del terreno.

El procedimiento establecido para la operación del Relleno Sanitario se clasifica como de "AREA", debido a las mencionadas condiciones del subsuelo, ya que además de buscar que los residuos se depositen lo mas alejado posible del acuífero subterráneo, resulta, por otro lado, que el excavar en roca representaría la erogación de gastos que por sí solos volverían al proyecto inviable, sin considerar que también esta actividad retrasaría considerablemente los trabajos de construcción e implementación de cada celda.

Además de las celdas de disposición de residuos, el proyecto completo consta de obras complementarias, que se requieren para la buena operación del sistema de disposición final:

3.2.4 Obras y servicios de apoyo

- 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.

- 1) Cerca de malla ciclónica. A fin de evitar el acceso al terreno de cualquier persona o vehículo ajenos al proyecto, así como cierto tipo de fauna, el sitio cuenta en todo su perímetro con una protección de malla ciclónica.
- 2) Control de acceso. Sitio a partir del cual se vigila el ingreso al sitio de cualquier persona o vehículo a fin de mantener la seguridad de las instalaciones.
- 3) Báscula. Electrónica con capacidad de 30 toneladas y plataforma con dimensiones de 10 x 3 metros, para el registro de todas las unidades que ingresan para descargar residuos. Está conectada a una computadora que mediante un software especializado permite almacenar todos los registros emitidos por el sistema de pesaje.
- 4) Oficinas administrativas. Para albergar al personal que desempeña actividades de administración y supervisión se cuenta con oficinas que cuentan con los servicios e instalaciones necesarias para realizar tales funciones.
- 5) Cobertizo de maquinaria. Área establecida para realizar el mantenimiento de los vehículos utilizados en la operación del Relleno Sanitario, así como para el resguardo de la herramienta y equipo menor, almacenamiento temporal de combustible y lubricantes, etc. Consta de un área de 10 x 6 metros, cubierta con estructura metálica, adicionalmente muros de block y piso de concreto. El área para el almacenamiento de combustibles y lubricantes está cercada y cuenta con un

- un cárcamo colector que almacenaría los productos en caso de algún probable derramamiento.
- 6) Cortina arbórea. Se cuenta con un área de amortiguamiento consistente en zonas de preservación y reforestación con especies vegetales de la región y que se localiza en todo el perímetro del área de disposición de residuos, abarcando un ancho de 7 metros.
 - 7) Camino perimetral. La vía de acceso que los vehículos utilizan para ingresar a la celda que se encuentre en operación consiste en un camino que inicia desde la entrada a las instalaciones y rodea toda la zona establecida para la disposición de residuos; tiene 7.5 metros de ancho y está conformada por una estructura de terracerías para dar nivelación, capa base de 25 cm y carpeta asfáltica de 5 centímetros de espesor. Este camino se va construyendo de acuerdo al mismo ritmo de avance de habilitación de las celdas.
 - 8) Celdas. Áreas definidas e identificadas para la disposición de residuos sólidos: Se construyen en el orden secuencial definido en el proyecto ejecutivo, cuando por la capacidad ocupada en la anterior es necesaria la habilitación de una siguiente. Están delimitadas por un bordo perimetral que se desplanta paralelo al camino pavimentado, que además de delimitar cada celda, otorga al volumen conformado de residuos, la estabilidad necesaria contra deslizamiento horizontal.
 - 9) Dren de lixiviados. Se instala a fin de conducir los lixiviados de cada celda hasta la zona de menor nivel. Está conformado por un tubo de polietileno de alta densidad de 6 pulgadas de diámetro, perforado longitudinalmente en tres hileras equidistantes. Los tramos de tubería son unidos por extrusión y colocados sobre una zanja de sección triangular construida exprofeso. La tubería ya instalada se hace rodear por material granular a manera de filtro que se mantiene a lo largo de toda la tubería cubriéndola con material sintético tipo geotextil.
 - 10) Cárcamo de lixiviados. En la zona más baja de cada celda se construye un cárcamo de concreto que permite almacenar temporalmente los lixiviados mientras

éstos son bombeados para recircularlos dentro de los mismos residuos o para enviarlos a la laguna de evaporación.

- 11) Laguna de evaporación. A fin de reducir el volumen de lixiviados generados en las celdas, uno de los tratamientos empleados es la evaporación por exposición a la energía solar, colocando los lixiviados en una laguna impermeabilizada. La radiación del sol genera que la parte líquida del lixiviado se evapore, quedando únicamente la fracción sólida, la cual es retirada cuando se logra secar completamente la laguna y enviada como residuo sólido hacia la celda que se encuentre en operación.

El sistema de impermeabilización de las celdas y de la laguna de evaporación de lixiviados representa un aspecto fundamental del proyecto, ya que como ya se ha mencionado, el subsuelo del sitio está constituido por materiales altamente permeables que de manera natural excede el tránsito de infiltración permisible, por lo que el diseño del Relleno Sanitario ha planteado la utilización de materiales sintéticos que garanticen que no existirá comunicación de la base de la celda con el acuífero subterráneo.

Este sistema está conformado por una doble capa de geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE); la superior funcionará directamente en contacto con los lixiviados cuando éstos circulen a través de la capa de filtro y sobre la capa de HDPE hacia el cárcamo; la inferior funciona como una segunda garantía a fin de contar con un mayor factor de seguridad contra la contaminación del subsuelo y el acuífero subterráneo.

Las dos capas de HDPE se combinan con el mismo número de capas de geotextil a fin de proteger a las primeras contra posibles daños. Entre las dos capas de geomembrana también se coloca una capa intermedia formada con arena limosa a fin de proporcionar el medio filtrante que complementarí la geomembrana inferior, además de que funciona como una capa de separación. El sistema completo se ilustra a continuación

De tal manera que en orden ascendente, la sección completa de la base de cada celda queda comprendida por las siguientes capas:

- 1) Terreno natural. Se realizan los movimientos de tierra necesarios a fin de proporcionar las cotas de terracerías establecidas en el proyecto ejecutivo, que a su vez generan las pendientes suficientes que garanticen el adecuado flujo hidráulico en la base de las celdas.
- 2) Capa de nivelación. Sobre el nivel de terracerías se coloca una capa de sahcab de 20 centímetros en promedio, conformada y compactada a fin de lograr una superficie firme y lisa donde pueda instalarse el sistema impermeable.
- 3) Geotextil 200 g/m². Se extiende en rollos de 6 metros de ancho sobre toda la superficie conformada, incluyendo los taludes interiores de los bordos perimetrales, uniéndola en sus extremos con aire caliente.
- 4) Geomembrana de un milímetro de espesor capa inferior colocada sobre el geotextil, casi de manera simultánea, se une en sus extremos por termofusión, salvo en algunas zonas donde el equipo de unión no tiene las condiciones de espacio y forma para hacerlo, por lo que en esos caso se utiliza el método de extrusión.
- 5) Capa intermedia. Conformada de arena limosa, con un espesor de 20 centímetros, se tiende sobre la capa de geomembrana, se nivela y compacta, cuidando que en el proceso no se maltrate el material impermeable y evitando que algún vehículo toque directamente dicho material.
- 6) Geomembrana de 1.50 mm. de espesor, capa principal de impermeabilización de la base de cada celda. Se coloca inmediatamente después de la capa intermedia, cuando ésta ya ha sido compactada al porcentaje especificado.
- 7) Geotextil 470 g/m². Material instalado sobre la capa superior de geomembrana a fin de protegerla contra posibles daños por punzonamiento o rasgado.
- 8) Material filtrante. Capa de grava con granulometría de 2" 5 cm. a malla #4, bien graduada y sin aristas vivas (de canto rodado), no caliza y sin finos que funciona

como filtro para que a través de ella percolen los lixiviados hacia el dren principal de conducción y/o al cárcamo colector.

A partir de esta última capa se podrán depositar ya los residuos dentro de la celda.

3.2.5 Construcción del Relleno Sanitario

La habilitación de cada celda del Relleno Sanitario implica la construcción de diferentes estructuras y ejecución de diversas actividades que tienen por fin proporcionar las áreas de disposición de residuos, cumpliendo con las especificaciones de proyecto para que la estructura final cuente con el nivel de calidad suficiente que garantice la estabilidad de la celda así como su impermeabilidad.

Estas actividades se pueden dividir en las siguientes:

1) Limpieza del terreno

De acuerdo a la configuración geométrica indicada en el proyecto ejecutivo, se delimitan las colindancias de cada celda y de las obras adyacentes, como bordos perimetrales y caminos. Posteriormente se realiza el desmonte y despalme del área, eliminando por completo la capa de suelo que contenga materia orgánica, por lo que la superficie se dejará a nivel de estrato de roca.

Durante estas actividades se realiza una separación de productos, que serán utilizados con diferentes fines: fragmentos de roca y material inerte que puede ser empleado como terracerías en los trabajos de movimientos de tierras para dar las cotas de proyecto; tierra orgánica que se emplea en la capa final del Relleno Sanitario, cubriendo los taludes definitivos; troncos y hierba, que podrán ser integrados a la cobertura final si se trituran.

Con esta limpieza se logra obtener una superficie libre de materia orgánica y estable para recibir las capas subsecuentes.

2) Trazo y nivelación topográfica.

Ya con la superficie limpia se realiza un levantamiento topográfico, tanto en planimetría como en altimetría estableciendo cadenamientos al menos a cada diez metros de separación en ambos sentidos.

Con el plano de curvas de nivel, se determina primero el área donde se ubicará el cárcamo de lixiviados, siendo esta zona la más baja del área que esté sobre la parte exterior de la celda, es decir la parte que colinda con el camino perimetral.

Utilizando las cotas de terreno natural, se corroboran los niveles finales de proyecto, y en su caso se realizan las modificaciones necesarias a fin de determinar las cotas definitivas, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Se deben garantizar las pendientes sobre la base de la celda en un porcentaje mínimo de 0.4%, de tal manera que todos los escurrimientos dentro de cada celda confluyan hacia la zona mas baja, es decir donde se ubicará el cárcamo.
- Se debe reducir al mínimo posible el movimiento de tierras dentro de la celda, sobre todo los cortes, por lo que debe aprovecharse la configuración topográfica del área.

De tal manera, se obtienen las cotas de terracerías en una malla cuadrada de 10 x 10 metros y se ubican en el terreno.

3) Movimiento de tierras.

Una vez definidos los niveles de terracerías se procede a conformar la superficie de la celda, cortando o terraplenando según sea el caso. Para este último caso, se debe rellenar con material de banco tipo sahcab y/o con el material inerte sobrante de la limpieza del terreno, en capas de 20 centímetros compactadas por medios mecánicos, utilizando para ello un vibrocompactador.

En caso de requerir realizar cortes para lograr los niveles de terracerías, se debe emplear martillos hidráulicos o rompedoras neumáticas; en ningún caso se debe recurrir al uso de explosivos, ya que éstos pueden alterar la estructura y la resistencia del terreno.

4) Construcción de capa de nivelación.

A fin de lograr una superficie fina que pueda recibir a los materiales sintéticos del sistema impermeable, se construye una capa de nivelación sobre la superficie de terracerías, utilizando para ello material de banco tipo sahcab fino con tamaño máximo de partículas de $\frac{3}{4}$ " (1.9 cm) El material se tiende con motoconformadora logrando las cotas establecidas para esta capa y que son 20 centímetros arriba de las definidas para terracerías; posteriormente se compacta utilizando vibrocompactador hasta lograr un índice de 90% de acuerdo a la prueba Proctor modificada para las capas de base y su base en los caminos.

5) Construcción de bordos perimetrales.

Los bordos perimetrales pueden ser de dos tipos: definitivos y temporales. Los primeros se construyen en los lados de la celda que estén en la parte exterior de la misma, es decir adyacente al camino perimetral. Los segundos se construyen en los lados interiores de la celda, o sea los que son contiguos a otras celdas.

Ambos bordos tienen una sección trapezoidal. Los definitivos tienen una base de desplante de 8.50 metros, su corona es de 1.00 metro y tiene pendientes de talud de 3:1 para el caso del talud interior (hacia el interior de la celda) y de 2:1 para el caso del talud exterior. Su altura mínima es de 1.50 metros a partir del nivel de terreno natural, por lo que el área de su sección es al menos de 7.125 m^2

De acuerdo al proyecto ejecutivo, los bordos temporales tienen una base de desplante de 1.80 metros, su altura mínima es de 0.60 metros, su corona de 0.60 metros y con una inclinación en ambos taludes de 1:1. No obstante, por proceso constructivo se puede considerar su ejecución con una sección mayor, dándole mas inclinación a los taludes, debido a que la motoconformadora generalmente no puede cortar los taludes en una inclinación de 45° . De tal manera que la base del bordo queda ampliada.

Para la construcción de los bordos es necesario tender y conformar con motoconformadora el material tipo sahcab en capas de 20 centímetros a fin de que el proceso de compactación llegue a todo el espesor mediante el empleo de un vibrocompactador. Las capas van reduciendo su

ancho conforme el nivel del bordo crece hasta el límite del ancho del equipo empleado en la conformación y compactación.

Una vez que los bordos han alcanzado su altura máxima, se realiza una excavación al centro de su corona, de 60 centímetros de ancho y 60 centímetros de profundidad, utilizando para ello una retroexcavadora equipada con cucharón. El ancho de éste debe ser menor al ancho de la zanja a fin de que pueda afinarse el corte manualmente.

La función de la zanja es el alojamiento y anclaje del sistema impermeable a fin de evitar su deslizamiento horizontal hacia dentro de la celda.

Una vez que se ha realizado la excavación de la zanja de anclaje, los taludes de los bordos se cortan con motoconformadora; así mismo y a fin de lograr una superficie más fina, se compactan transversalmente con vibrocompactador

6) Instalación del sistema impermeable

Cuando se cuenta ya tanto con la capa de nivelación como con los bordos perimetrales, incluyendo su zanja de anclaje, se procede a la instalación del sistema impermeable, iniciando siempre en la parte más alta de la celda.

Primero se tienden los rollos de geotextil de 200 g/m², otorgándoles un empalme mínimo de 10 centímetros para que puedan ser unidos utilizando para ello aire caliente. El material, al igual que el resto de geosintéticos, se coloca cubriendo las paredes de la zanja de anclaje, así como el talud interior del bordo perimetral y la capa de nivelación.

Una vez unidos los lienzos de geotextil, se procede a la instalación de la capa inferior de geomembrana, dándole a los rollos un traslape mínimo de 10 centímetros a fin de que puedan ser unidos por termofusión. Todos los paños deben traslaparse en todas las pendientes, de modo que el paño superior descansa sobre el paño inferior. No deben extenderse más rollos de los que puedan ser soldados en un mismo día.

La colocación de los paños se determina considerando la pendiente aguas arriba. Generalmente la instalación se inicia desde el punto más elevado dentro de la celda, de modo que si llueve, el

agua se desplace a los puntos de más bajo nivel; esto evita que haya agua por debajo de la geomembrana.

Los paños de geomembrana deberán ser desenrollados, usando métodos que no dañen, tensen o tuerzan al material y que además no se dañe el sustrato donde va a ser instalado el geosintético. Cada rollo puede desenrollarse manualmente, aunque para agilizar el proceso puede auxiliarse de un cargador sobre neumáticos y aparatos especialmente diseñados que se colocan en los extremos del rollo y en los soportes del traxcavo, de tal manera que sea posible colocar los paños en su posición sin que ruede el equipo sobre el geosintético

En tanto no se unan los paños y a fin de evitar que el viento levante la geomembrana, ésta debe lastrarse en sus orillas, utilizando balastros que no dañen al material. El sistema de lastre comúnmente empleado consiste simplemente en bolsas o costales con arena fina (tamaño máximo de agregado de 0.32 cm).

Como medida de cuidado estricto, no debe permitirse el tráfico vehicular directamente sobre la geomembrana.

Ya en posición los rollos de geomembrana y antes de realizar la soldadura, debe realizarse una inspección visual para detectar posibles daños ocasionados durante la manufactura, el transporte o la instalación, determinando, en caso de que se detecten, si éstos pueden repararse por cualquier sistema de soldadura, o si requiere sustituirse algún tramo del rollo.

Posteriormente debe verificarse que las orillas de la geomembrana, donde se realizará la soldadura, se encuentren totalmente limpias y secas.

En superficies planas o en aquellas donde no existen cambios bruscos de pendiente, se recomienda el empleo del sistema de soldadura con equipo de fusión con cuña caliente. Estos equipos de soldar deben ser automáticos, autopropulsados y con los aditamentos necesarios para dar las temperaturas y presiones requeridas para fundir y pegar. Atrás de las cuñas calientes el equipo cuenta con dos juegos de rodillos que ejercen presión sobre el área fundida, de tal manera que se genera una doble unión en la sobreposición, separada una de la otra.

El espacio que queda entre las dos fusiones forma un conducto vacío que sirve para realizar las pruebas necesarias para verificar la hermeticidad de las soldaduras.

La prueba se realiza de acuerdo al siguiente procedimiento: primeramente se sellan ambos extremos del conducto vacío que va a probarse; posteriormente se presuriza aire en ese conducto mediante el empleo de una bomba de aire, manual o de motor, capaz de generar una presión constante de 25 psi. El aire se inyecta utilizando una aguja conectada a la bomba hasta lograr la presión mencionada; posteriormente se cierra la válvula y se mantiene la presión en el conducto al menos por cinco minutos. Si durante ese tiempo, la presión tiene una caída mayor o igual a 2 psi o no se estabiliza, se deberá localizar y reparar la falla, volviendo a realizar la prueba hasta que se logre mantener la presión durante el intervalo de tiempo especificado. Posteriormente se retira la aguja y se sella el orificio mediante soldadura por extrusión.*

Cuando ya se han realizado las pruebas y antes de colocar la capa intermedia, debe realizarse una inspección visual de toda el área para asegurarse que no existan daños o soldaduras no reparadas.

Ya que se ha colocado la capa inferior de geomembrana en su posición, la trinchera de anclaje debe rellenarse parcialmente cuando mucho hasta la mitad de su profundidad a fin de que no se levante en las orillas. El relleno se realiza utilizando el mismo material obtenido del corte de la misma trinchera y se recomienda que se haga en las horas del día en que exista menor temperatura ambiental (cuando el geosintético está contraído) a fin de evitar tensionamiento de la geomembrana cuando ésta se encuentre anclada.

Sobre la capa inferior de geomembrana se coloca la capa intermedia como se describe en el inciso que sigue, para que después de ésta se instalen las capas superiores de geomembrana y geotextil, siguiendo los mismos procedimientos y recomendaciones utilizadas en la colocación de las capas inferiores.

Ya que se ha completado el sistema impermeable, debe completarse el relleno de la trinchera de anclaje, enrasándolo y compactándolo hasta el nivel de la corona del bordo perimetral.

7) Construcción de capa intermedia, para la protección de la geomembrana.

Para la colocación de esta capa se requiere preparar un acceso a la celda donde se proteja la geomembrana ya sea con arena fina o con geotextil. Inicialmente se coloca el material del que estará formada la capa intermedia al principio del acceso a la celda y se tiende con equipo ligero de afuera hacia adentro formando un camino. Debido a que no debe circular ningún vehículo directamente sobre la geomembrana, los camiones que transportan la arena limosa deben entrar a la celda en reversa, circulando sobre la arena ya tendida previamente, de tal manera que con el nuevo material descargado se continúe cubriendo toda la geomembrana con arena.

Al mismo tiempo, este material se va conformando en el espesor especificado en el proyecto (20 centímetros) con la ayuda de una motoconformadora.

El material debe cubrir toda el área de geomembrana, incluyendo los taludes interiores de los bordos perimetrales. La capa deberá compactarse mecánicamente hasta lograr un índice de compactación de 90% de acuerdo a la prueba proctor estándar así como la modificada.

8) Sistema de conducción, captación y evaporación de lixiviados.

El sistema para el manejo de lixiviados comprende la construcción de diferentes estructuras y la ejecución de diversas actividades que tienen por objeto asegurar su adecuada filtración, conducción, captación y evaporación.

Filtración. Sobre la capa superior de geotextil se coloca material de filtro constituido por una capa de 15 centímetros de espesor de grava con especificaciones particulares, que facilite el drenaje de los lixiviados hacia las obras de conducción y captación.

La grava, de acuerdo al proyecto ejecutivo debe cumplir los siguientes requisitos:

Granulometría: Bien Graduada.

Tamaño Máximo de Agregado: 2".

Contenido de arena: Máximo 10%.

Contenido de finos: 0%.

Forma: Redondeada, sin aristas (de canto rodado).

Tipo de roca: No caliza.

Debido a que este tipo de materiales no se encuentra en la península de Yucatán, es necesario recurrir a bancos de explotación en otras localidades. Para el caso del Relleno Sanitario de Mérida se transportó grava del Estado de Tabasco.

Para la instalación del material se utilizan camiones volteo de 7m³ de capacidad, equipados con tolva metálica para la descarga controlada del material, de tal manera que se va esparciendo una capa relativamente uniforme para conformar el espesor especificado, para lo cual se mide con escantillones de madera conforme el camión va descargando el material. Posteriormente se enrasa manualmente con rastrillos hasta lograr el espesor uniforme.

El camión circula sobre la capa superior de geotextil y bajo ningún caso debe permitirse que lo haga sobre la grava ya instalada a fin de evitar esfuerzos puntuales sobre la capa de geomembrana.

Conducción. A fin de eficientar el drenaje de lixiviados hacia el cárcamo colector, se instala sobre la capa superior de geotextil una tubería de 6" de polietileno de alta densidad perforada en tres hileras equidistantes. Generalmente se ubica sobre el cadenamiento donde se ubica el cárcamo, atravesando toda la celda, aunque puede instalarse además en otras zonas de la celda que puedan funcionar como cauce.

Para instalar la tubería es necesario que desde la capa de terracerías se forme una zanja de sección triangular donde se pueda alojar la tubería.

Para formar una tubería única es necesario unir los tramos de tubo utilizando el método de soldadura por termofusión.

Antes de colocar la tubería, se instala una franja de geotextil de 200 g/m² a lo largo de toda la zanja; posteriormente se coloca la tubería y se cubre con grava para filtro, también a todo su largo; finalmente se envuelve la tubería y la grava con la franja de geotextil, por lo que ésta deberá tener el ancho suficiente para que pueda realizarse dicho envolvimiento. Esto sirve para

que la tubería tenga un filtro adecuado y no se azolve con los sólidos que pudieran ingresar al tubo a través de las perforaciones.

La tubería debe llegar al fondo del cárcamo y debe cubrir el largo de su base.

Captación. En la zona de menor elevación dentro de la celda se construye un cárcamo colector que permita almacenar temporalmente los lixiviados generados en cada celda.

El cárcamo, que tiene geometría de una pirámide truncada invertida de base cuadrada, se construye de concreto armado con una resistencia $f'c$ igual a 300 kg/cm^2 y un espesor de 10 centímetros. Su base mide 5x5 metros y tiene una altura de 1.27 metros. Sus taludes tienen una inclinación con proporción 3:1.

Todo el cárcamo es cubierto con el sistema de impermeabilización antes descrito.

Dentro de él se instalan dos tuberías de 18" (46 cm)" de polietileno de alta densidad, la primera queda dentro de la capa intermedia y tiene la función principal de monitorear que la capa principal de geomembrana esté funcionando adecuadamente. Esta tubería es soldada herméticamente a ambas geomembranas.

La segunda se coloca sobre la capa superior de geotextil, dentro de la capa de grava y su función es la de poder instalar dentro de ella una bomba sumergible que permita la extracción de lixiviados fuera del cárcamo.

Las tuberías se instalan a partir de la corona del bordo perimetral y corren a lo largo del talud interior del mismo y sobre el fondo del cárcamo, por lo que se requiere soldarle un codo que le permita el cambio de dirección necesario.

Laguna de evaporación de lixiviados. Está constituida por un estanque impermeabilizado que permite el almacenamiento temporal de lixiviados en tanto éstos son evaporados de manera natural por medio de la radiación solar.

Su proceso de construcción es similar al de las celdas, ya que consta de trabajos de limpieza del terreno, nivelación topográfica, movimientos de tierra, capa de nivelación, construcción de bordos perimetrales y sistema de impermeabilización. No requiere filtro de grava, tuberías de conducción ni cárcamo.

Los bordos perimetrales tienen dimensiones diferentes a los construidos para las celdas: su altura mínima es de 2 metros y sus taludes tienen una inclinación de 45°.

Por otro lado, consta de un sistema impermeable de triple seguridad, conformado en orden ascendente de las siguientes capas a partir de la capa de nivelación:

- geotextil de 200 g/m²,
- geomembrana de 1.00 milímetro,
- capa intermedia de arena limosa de 15 centímetros de espesor,
- geomembrana de 1.00 milímetro,
- capa intermedia de arena limosa de 15 centímetros de espesor y
- geomembrana de 1.50 milímetros.

Se ubica al oriente de la celda uno y está dividida en cuatro etapas, de acuerdo al avance de ingreso de residuos a lo largo de su vida útil. Tiene dimensiones exteriores de 125 x 80 metros y una capacidad de almacenamiento de 20,000 m³.

3.2.6 Situación actual de la operación.

Una vez que cualquier celda ha sido construida y está completamente habilitada, incluyendo todas las obras complementarias del Relleno Sanitario, se inicia el proceso de operación para la recepción de residuos.

El proceso de operación, que comprende diferentes etapas, inicia desde que un camión ingresa a las instalaciones y es registrado en la báscula y termina cuando el mismo vehículo pasa a la salida por la misma báscula y se emite su registro.

De manera general el proceso de operación puede dividirse en las siguientes etapas:

1) Planeación de la producción.

Esta etapa consiste en que, una vez finalizada la construcción de cada celda, se realiza la planeación, capa por capa, del avance consecutivo y ordenado de las franjas que se desarrollarán en ella.

El plan indica la ubicación y distribución de franjas, sus anchos y alturas finales, así como las indicaciones pertinentes como construcción de caminos interiores, rampas, bermas o cualquier otra que afecte el avance de ocupación de los residuos dentro de la celda.

2) Identificación y registro de vehículos.

Mediante el empleo del sistema de pesaje establecido a la entrada del sitio de disposición final, se genera la información relevante y necesaria para llevar un registro oportuno y eficiente de todos los vehículos que ingresan a depositar residuos. En la caseta de la báscula, el supervisor del Ayuntamiento de Mérida da fe de los registros generados firmando las boletas emitidas a la salida de cada vehículo.

Al final de la jornada se realiza un reporte diario donde se resumen todos los ingresos generados, documento que también es autorizado por el supervisor del Ayuntamiento de Mérida.

La báscula electrónica está conectada a un software que permite generar la información en forma rápida y confiable; además cuenta con una unidad de respaldo inmediato tipo UPS con capacidad máxima de 3 horas para casos de falta de energía eléctrica, no obstante que si el corte fuese de mayor duración, en las instalaciones se cuenta con una planta portátil de generación de energía. Además se ha instalado también un sistema de semáforos conectados al software de la báscula, que permite indicar al chofer cuando su registro ha sido ya almacenado en la base de datos del sistema, y que por ende ya puede descender de la báscula.

3) Control de tránsito interno.

El control de los movimientos de los vehículos que se dirigen hacia la zona del Relleno Sanitario, es llevado a cabo mediante el empleo de señalización informativa dispuesta a lo largo del camino perimetral pavimentado.

Asimismo se han colocado vialetas sobre el pavimento para auxiliar la visibilidad del camino en los horarios nocturnos.

4) Control de método operativo.

Al arribar los vehículos al frente de trabajo se indica al chofer el sitio donde debe acomodar su unidad para realizar la descarga de los residuos, para que una vez realizado esto, sean esparcidos y compactados sobre el talud frontal conformando capas de 60 cm aproximadamente, hasta alcanzar la altura de diseño de la celda diaria. El equipo compactador debe circular sobre los residuos de 3 a 5 pasadas hasta que no se perciban hundimientos del equipo.

La disposición de los residuos debe hacerse conformando la geometría del proyecto ejecutivo, respetando los taludes definitivos y la berma perimetral de servicio.

.Para ello se requiere verificar topográficamente la configuración lograda con los residuos, para que después de ello se aplique la cubierta diaria de material sobre los residuos con un espesor de aproximadamente 15 cm.

Las celdas diarias ya cubiertas forman franjas y a su vez éstas forman capas, las cuales van conformando la celda completa, que finalmente es recubierta, con una capa de geomembrana en su superficie final a fin de reducir el ingreso de agua pluvial al interior de los residuos, induciendo una reducción en la generación de lixiviados.

De tal manera, la disposición final de residuos sólidos se convierte en un proceso continuo a partir del ingreso de las unidades recolectoras a la báscula.

Se da de alta la entrada del camión al Relleno Sanitario en el sistema de la báscula, donde queda registrado su peso; cuando queda grabado en la computadora, el semáforo le indica la autorización de pasar a descargar sus residuos.

El vehículo se dirige a la celda en operación donde es acomodado en el frente de trabajo de acuerdo a la planeación definida. Ya en posición y una vez descargados los desperdicios, se revisan a fin de estar en posibilidad de detectar la probable presencia de volúmenes importantes de residuos peligrosos.

Si se detectan, se le solicita al responsable de la unidad que los cargue y los retire. En caso contrario, se procede a su tratamiento, mientras que el vehículo accede nuevamente a la báscula para registrar su peso de salida y por ende calcular el correspondiente peso de los residuos depositados, así como su costo aplicable por la descarga.

.

(De acuerdo a datos obtenidos en septiembre de 1996, la tarifa por tonelada depositada es de \$7.98 dólares americanos (USD), con una paridad en aquella fecha de \$1.00 (USD) igual a \$7.54 pesos).

Cuando son descargados los residuos en la celda diaria, éstos son conformados y compactados de acuerdo al plan de avance de la capa.

Cuando ya se ha verificado topográficamente que la conformación cumple, se procede a realizar la cubierta diaria en el espesor indicado.

Se realiza nuevamente una verificación topográfica para determinar que el espesor colocado de cubierta diaria ha sido el adecuado, y procede a realizarse las compensaciones necesarias en caso de requerirlas.

5) Controles ambientales.

Manejo de lixiviados. A partir de la acumulación de lixiviados en los cárcamos de captación, a éstos se les bombea para extraerlos y enviarlos a la laguna a fin de que mediante la radiación solar se evapore el agua que contiene. Se han observado reducciones de hasta 1.00 mm por día en temporadas de intensa radiación solar.

Como proceso alterno, se pueden hacer recircular los lixiviados sobre las celdas de disposición final, con el propósito de proveer a los residuos la humedad necesaria a fin de que la fracción orgánica se degrade mas rápidamente, logrando también que parte de los lixiviados se acumulen en la superficie y se evaporen. Este proceso se realiza una vez terminada la etapa de lluvias.

Manejo de biogas. El control de la migración de biogas se logra mediante la implementación de pozos de venteo, los cuales son construidos a base de una tubería de polietileno de 15 cm de diámetro, perforada en toda su longitud en tres hileras. Alrededor del tubo se le coloca grava a fin de permitir una capa filtrante por la cual el pozo capte el biogas cercano.

Los pozos se colocan en una distribución de 2 por hectárea, de acuerdo a lo establecido por la normatividad correspondiente.

Control de fauna. A través de la instalación de un dispositivo que emite una detonación sonora, se evita que la fauna conformada por aves se acerque a los residuos.

Control de residuos arrastrados por el viento. A fin de reducir el volumen de residuos ligeros que puedan ser arrastrados por el viento fuera del área de la celda diaria, se instrumentan cercas móviles construidas con estructura metálica y malla. Se colocan rodeando el frente de trabajo, a contrasentido de la dirección del viento.

Control de polvos. Durante los días secos, se provee a la cubierta diaria la humedad suficiente a fin de reducir la generación de polvos, regando ya sea con lixiviados o con agua en las superficies de rodamiento, esto es, en plataformas y rampas de acceso.

Controles de Calidad.

A fin de asegurar el cumplimiento de la normatividad vigente en la materia, así como las especificaciones de construcción establecidas en el diseño ejecutivo, se requiere contar con controles de calidad claros y definidos para todas las etapas del proyecto. La verificación del

cumplimiento de las condiciones que debe cumplir el proyecto y el sitio donde se desplantará, así como de las características de los materiales empleados y los procesos de construcción, permitirá garantizar un proyecto con el nivel de calidad especificado.

Para estas funciones tan relevantes, se ha contado con la valiosa participación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Desde los estudios previos, la elaboración de la manifestación de impacto ambiental y las etapas de construcción y operación, los especialistas han contribuido para analizar y verificar el cumplimiento del proyecto.

En términos generales para cada etapa del proceso, se deben asegurar las características establecidas en el Diseño y en la Construcción.

DISEÑO

ELEMENTO	ASPECTOS QUE SE INSPECCIONAN	PROCEDIMIENTO, ESPECIFICACIÓN O NORMA
Proyecto	Localización del sitio	NOM-083-ECOL-1996
	Restricciones	NOM-083-ECOL-1996
	Estudios geológicos, hidrogeológicos y otros	NOM-083-ECOL-1996
	Aplicación de tecnologías y sistemas equivalentes	NOM-083-ECOL-1996
	Diseño del proyecto y sus obras complementarias	PNOM-084-ECOL-1996
	Manifestación de impacto ambiental	Ley de Protección al Ambiente del Estado de Yucatán.

CONSTRUCCIÓN

ELEMENTO	ASPECTOS QUE SE INSPECCIONAN	PROCEDIMIENTO, ESPECIFICACIÓN O NORMA
Terreno	Topografía	Calibración del aparato topográfico
	Composición	Prueba SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

CAPITULO 3
RELLENO SANITARIO

	Estratigrafía	Sondeos de exploración; sondeos eléctricos verticales.
	Profundidad del NAF (Nivel de Aguas Freáticas)	Sondeos de exploración
	Capacidad de carga	Sondeos de penetración
	Permeabilidad	Prueba de potencial de infiltración

Capa de nivelación	Cortes y terraplenes	Procedimiento constructivo
	Granulometría	Composición granulométrica
	Composición	Prueba SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
	Compactación	Prueba Proctor modificada

Geotextiles	Propiedades físicas e hidráulicas	Pruebas ASTM D-3776, D-4632, D-3786, D-4833, D-4533, D-4751, D-4491.
	Uniones	Inspección física

Geomembranas	Propiedades físicas y mecánicas	Pruebas ASTM D-1593, D-1505, D-1238, D-638, D-4833
	Soldadura	Prueba de aire a presión
	Anclaje	Inspección física

Capa Intermedia	Composición	Prueba SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
	Granulometría	Composición granulométrica
	Espesor	Medición física
	Compactación	Prueba Porter modificada

Cárcamo	Geometría	Proyecto ejecutivo
	Instalación de tuberías	Proyecto ejecutivo
	Instalación de bomba sumergible	Catálogo del equipo

Capa filtrante	Composición	Prueba SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
----------------	-------------	--

	Resistencia química	Inmersión en ácido clorhídrico
	Granulometría	Composición granulométrica
	Espesor	Medición física

3.3. MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL

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

3.3.1 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.

3.3.2 Medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales (índice)

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.

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

En los diagramas siguientes A= Alta M=Media B=Baja

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

H. AYUNTAMIENTO DE MERIDA
RELLENO SANITARIO
MANIFESTACION DE IMPACTO
AMBIENTAL GENERAL

MATRIZ DE EVALUACION DE
IMPACTOS AMBIENTALES

ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS
AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE
SER IMPACTADOS

ETAPA DEL PROYECTO	1.- DESMONTE	5.- SUMINISTRO DE AGUA CRUDA
ACTIVIDADES EN	2.- EXCAVACION, CORTES Y RELLENOS	6.- TALLERES Y ALMACENES
EVALUACION	3.- TRANSPORTE Y MOVIMIENTO DE EQUIPO	7.- INFRAESTRUCTURA
	4.- SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE	

CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS						
1	2	3	4	5	6	7
B E N E F I C I O	A D V E R S O	D I R E C T O	I N D I R E C T O	T E M P O R A L	P E R M A N E N T E	L O C A L I Z A D O
E X T E N S O	P R O X I M I D A D E	A L E J A D O	R E V E R S I B L E	I R R E V E R S I B L E	R E C U P E R A B L E	I R R E C U P E R A B L E

DETERMINACION			
8		9	
M E D I D A D E	M I D I G A C I O N	P O B A C I L I D A D	O C U R R E N C I A
SI	NO	A	M B

EVALUACION				12
10			11	
MAGNITUD			AU SEN CIA	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO
C O M P A T I B L E	M O D E R A D O	S E V E R O	C R I T I C O	

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

MATRIZ DE EVALUACION DE
IMPACTOS AMBIENTALES

ELEMENTOS Y CARACTERISTICAS
AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE
SER IMPACTADOS

	ETAPA DEL PROYECTO							1.- MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL				2.- REFORESTACION				3.- ADAPTACION COMO CENTRO RECREATIVO				4.- ACTIVIDADES RECREATIVAS								
	ACTIVIDADES EN																											
	EVALUACION																											
	ABANDONO																											
CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS																					DETERMINACION				EVALUACION			
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12						
B E N E F I C I O	A D V E R S O	D I R E C T O	I N D I R E C T O	T E M P O R A L	P E R M A N E N T E	L O C A L I Z A D O	E X T E N S O	P R O X I M I D A D O	A L E J A D O	R E V E R S I B L E	I R R E V E R S I B L E	R E C U P E R A B L E	I R R E C U P E R A B L E	M E D I D A C I O N	M O D I F I C A C I O N	P R O B A B I L I D A D	O C U R R E N C I A	C O M P A R T I B L E	M O D I F I C A B L E	S E R V I T I C O	A U S E N C I A D E	O B R A O A C T I V I D A D G E N E R A D O R A D E						
														SI	NO	A	M	B										
MICROCLIMA																							2					
CALIDAD DEL AIRE																							2					
NIVEL DE RUIDO																							2					
GEOMORFOLOGIA																												
USO DEL SUELO																							2,3,4					
AGUAS SUBTERRANEAS																												
CALIDAD DEL AGUA																												
MAMIFEROS																							2					
AVES																							2					
REPTILES																							2					
PASTIZAL																												
EMPLEO																												
ECONOMIA REGIONAL																												
CULTURA																							1,2,3,4					
SERVICIOS																							1,2,3,4					
EDUCACION AMBIENTAL																							1,2,3,4					

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 ACTIVIDADES EN EVALUACION OPERACION	1.- CONSTRUCCION DE CELDAS 2.- MOVIMIENTOS DE RESIDUOS 3.- TRANSPORTE Y MOVIMIENTO DE EQUIPO 4.- SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE	5.- SUMINISTRO DE AGUA CRUDA Y ENERGIA 6.- OPERACION DE INFRAESTRUCTURA DE APOYO																			
MATRIZ DE EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES 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								
	B E N E F I C I O	A D V E R S O	D I R E C T O	I N D I R E C T O	T E M P O R A L	P E R M A N E N T E	L O C A L I Z A D O	E X T E N S O	P R O X I M I D A D E	A L E J A D O	R E V E R S I B L E	I R R E V E R S I B L E	R E C U P E R A B L E	I R R E C U P E R A B L E	M M D I G A C I O N	P R O B A B I L I D A D	O C U R R E N C I A	M A G N I T U D		A U S E N C I A	OBRA O ACTIVIDAD GENERADORA DE IMPACTO	
	C O M P A T I B L E		M O D E R A D O		S E V E R O		C R I T I C O		S E N S I B L E		I M P A C T O		O B R A O A C T I V I D A D G E N E R A D O R A D E I M P A C T O		S I	N O	A	M	B			
	CALIDAD DEL AIRE																					1,2,3
	NIVEL DE RUIDO																					1,2,3,6
	GEOMORFOLOGIA																					1,2
	USO DEL SUELO																					1,2
	AGUAS SUBTERRANEAS																					1,2
	CALIDAD DEL AGUA																					1,2,5
MAMIFEROS																				1,2,3		
AVES																				1,2,3		
REPTILES																				1,2,3		
PASTIZAL																				1,2,3,4,5,6		
EMPLEO																				1,2,3,4,5,6		
ECONOMIA REGIONAL																				1,2,3,4,5,6		
TRANSPORTE																				1,2,3,4,5,6		
SERVICIOS																				1,2,3,4,5,6		
COMERCIO																				1,2,3,4,5,6		
VIVIENDA																				1,2,3,4,5,6		
ACTIVIDADES PRODUCT.																						

Tabla 3.5 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 3.6 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	Mediadas 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 rebasarán 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 impere 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.

3.3.3 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:

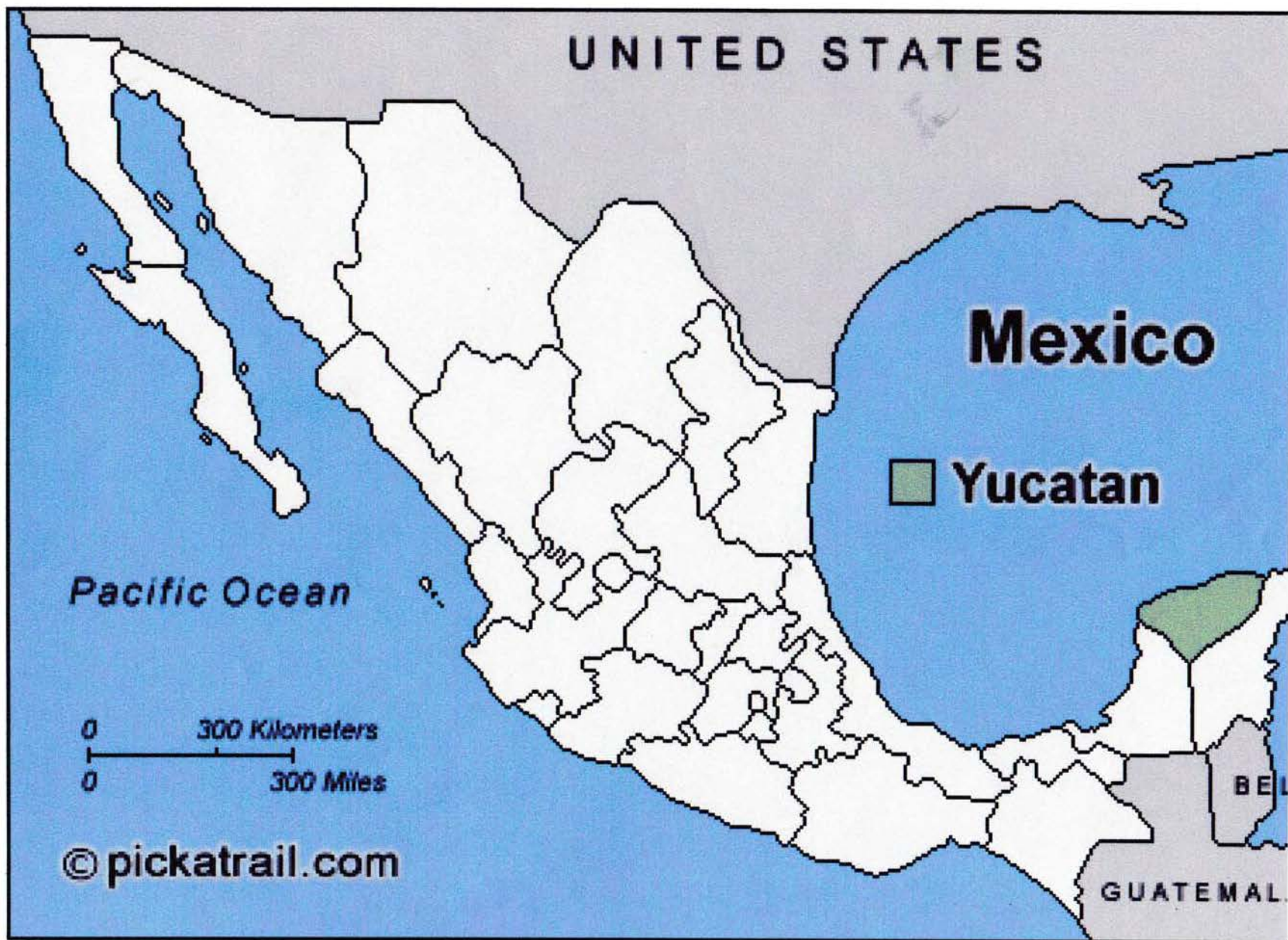
El proyecto de construcción del relleno sanitario, planteado por el Gobierno Municipal de Mérida, representa una alternativa, técnica y económica factible, para el manejo de los desechos sólidos municipales de Mérida. El relleno sanitario está diseñado bajo las consideraciones nacionales e internacionales 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

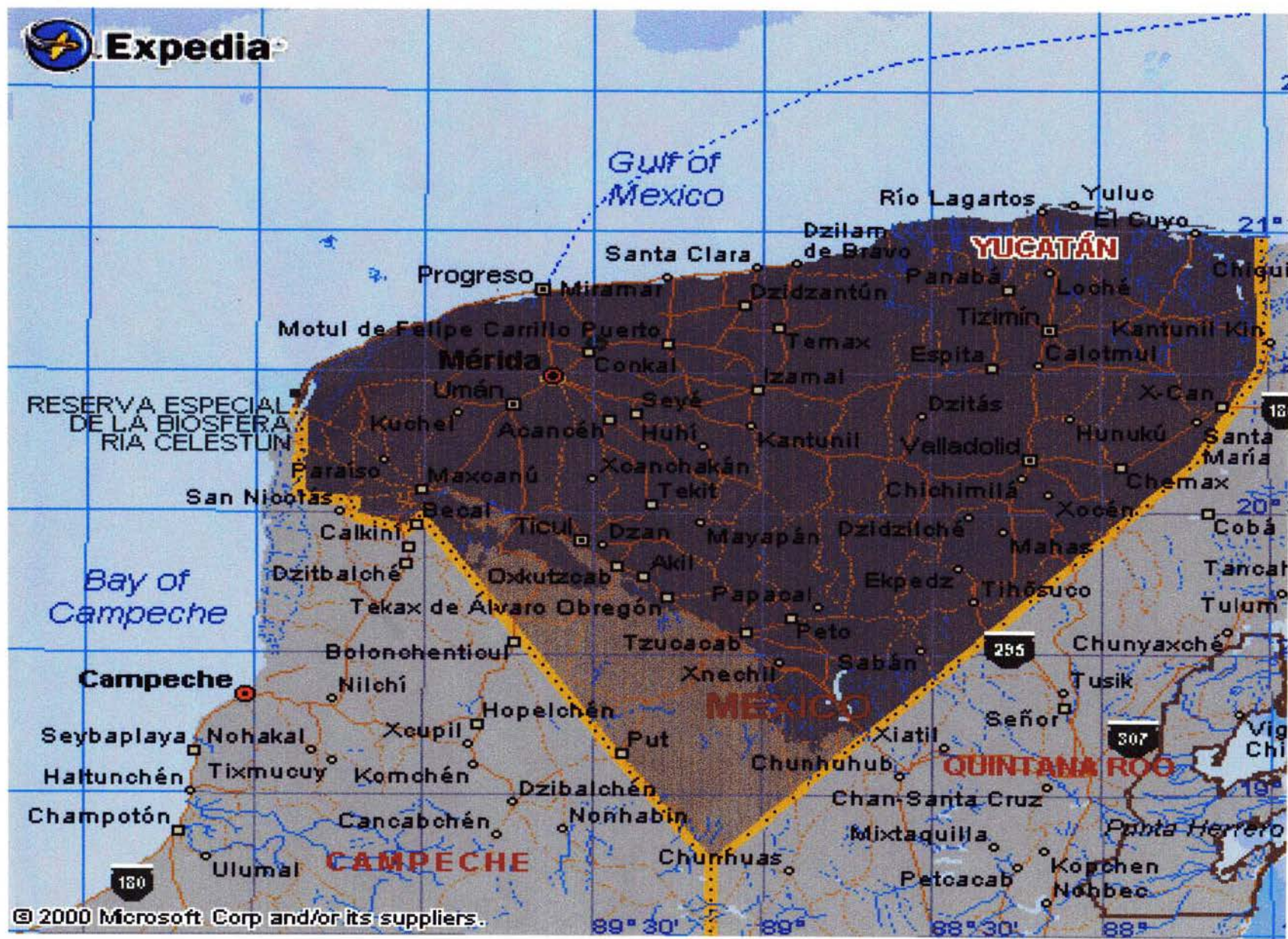
contaminación del ambiente. Todo ello coadyuva a la realización de políticas de desarrollo sustentable.

- 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.

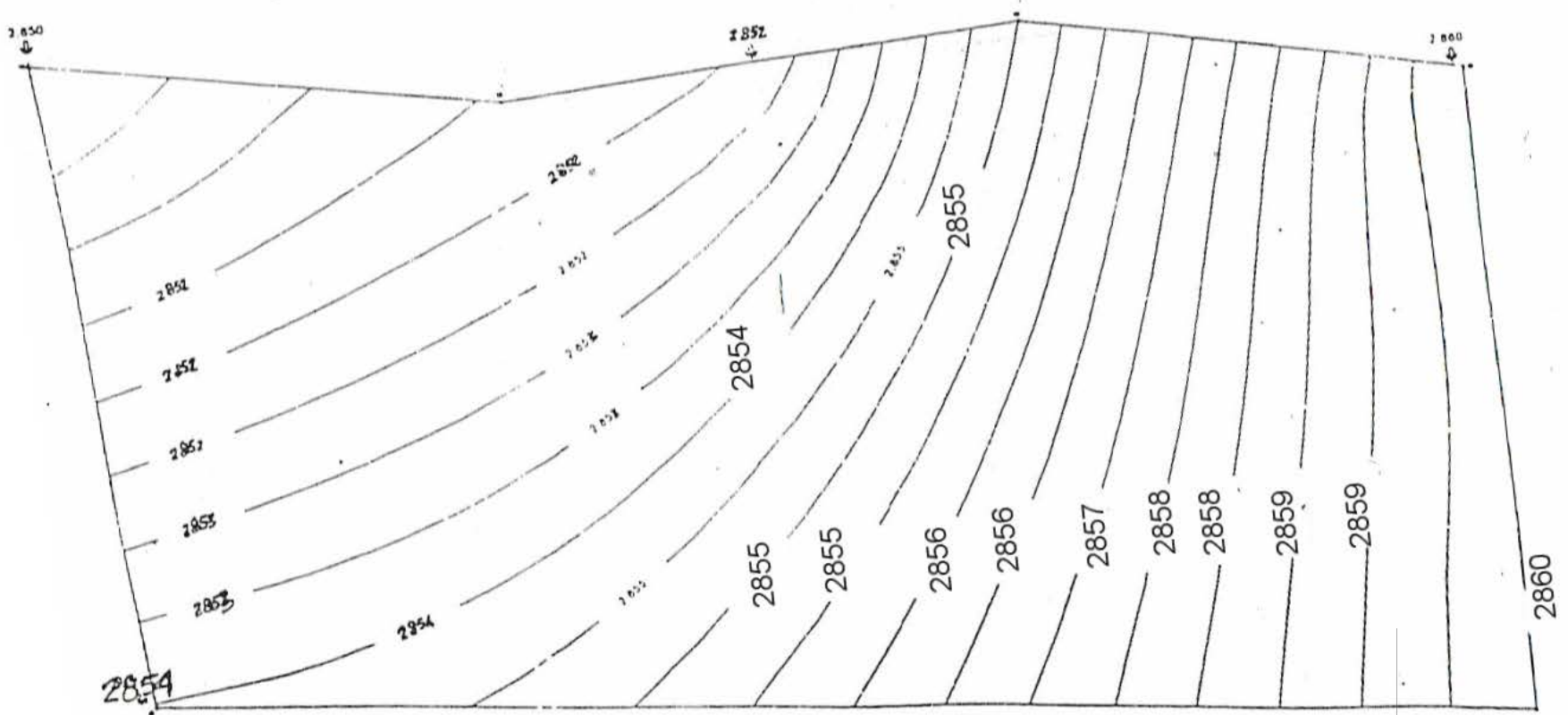
- 7) Para fines de conclusión general, la construcción del Relleno Sanitario en Mérida, Yucatán, muestra el camino para una serie de acciones encaminadas a la aplicación de nuevas tecnologías ambientales para el manejo de residuos generados por las actividades económicas.

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

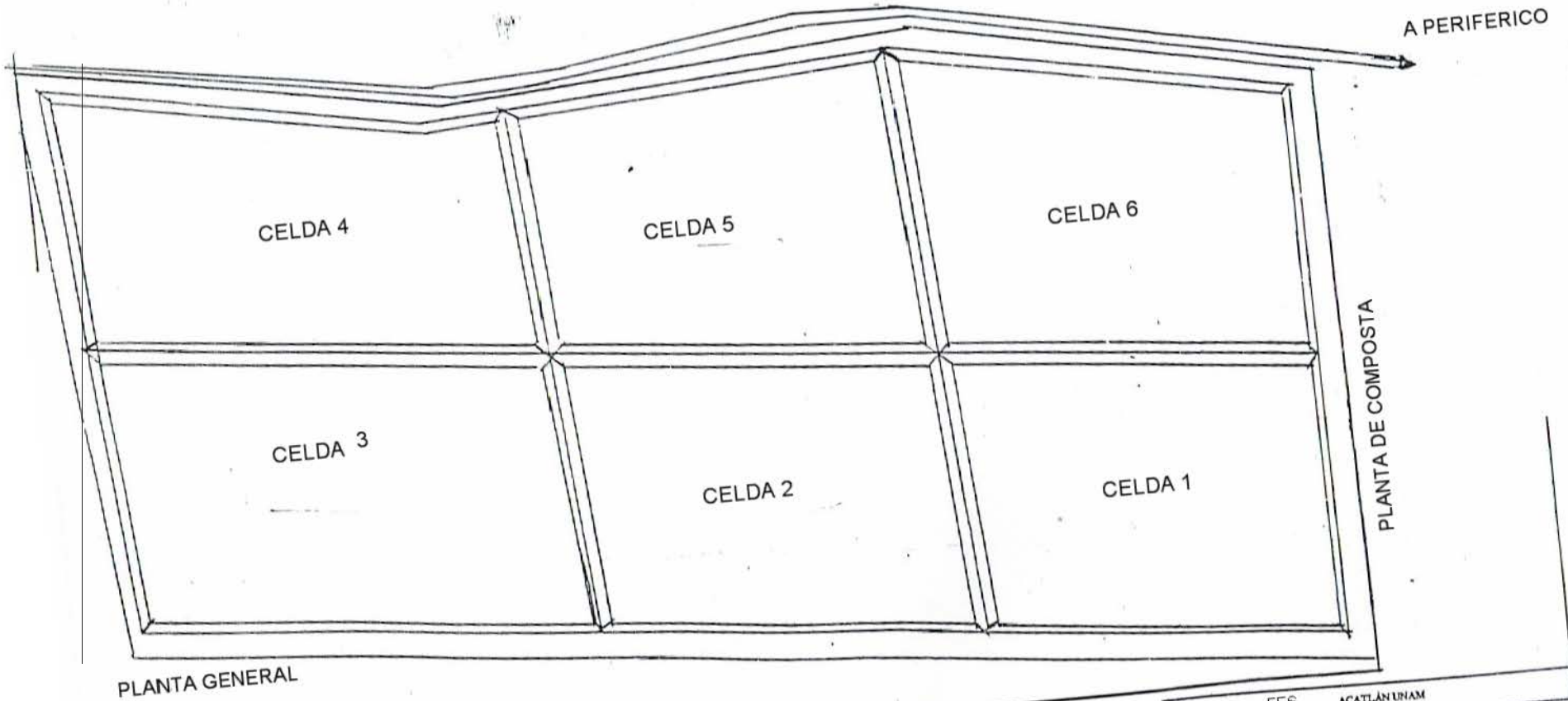
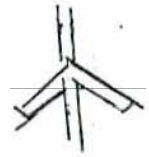




© 2000 Microsoft Corp and/or its suppliers.

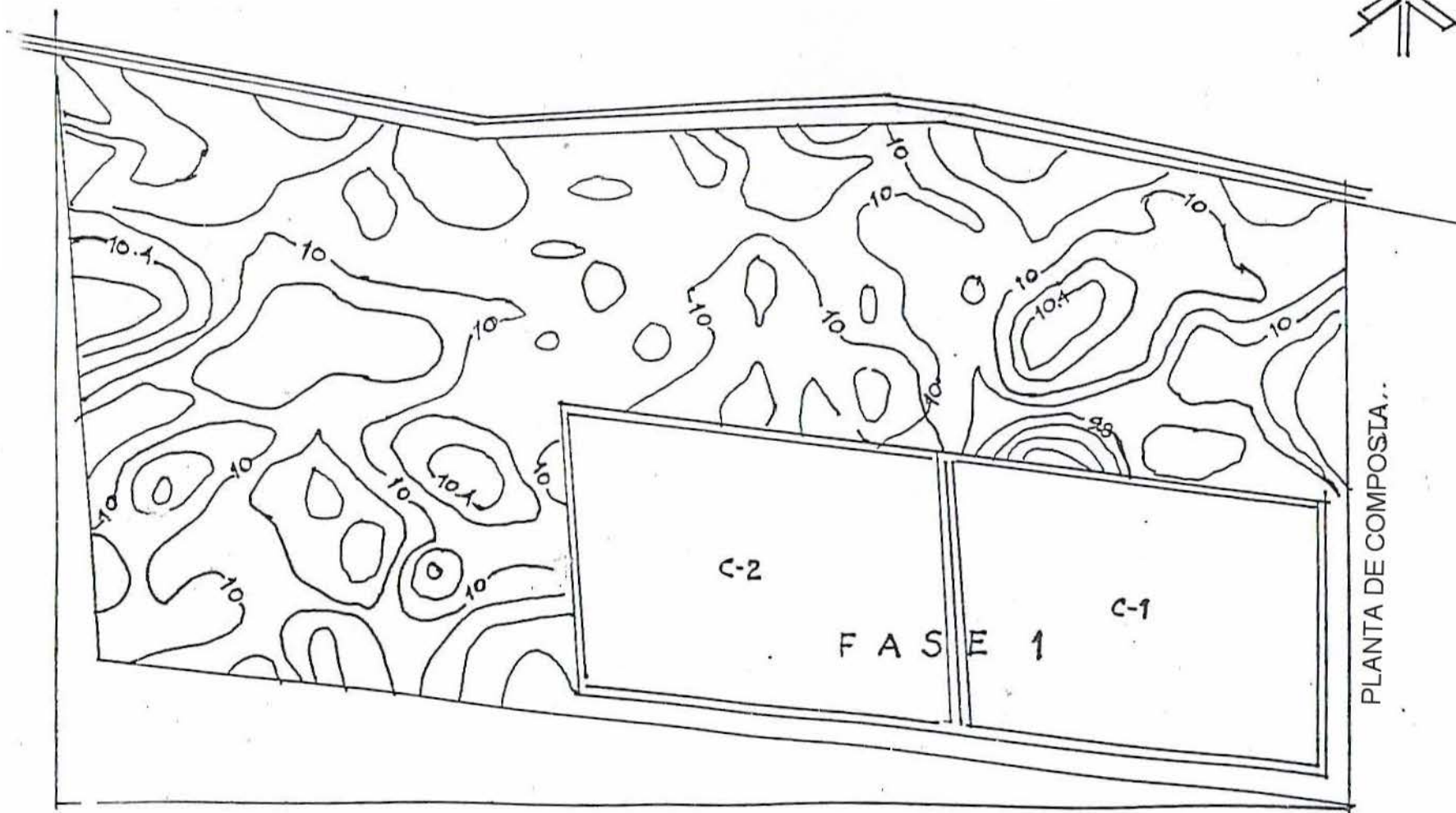


FES ACATLAN UNAM
TESIS RESTAURACIÓN DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN
PROYECTO RELLENO SANITARIO

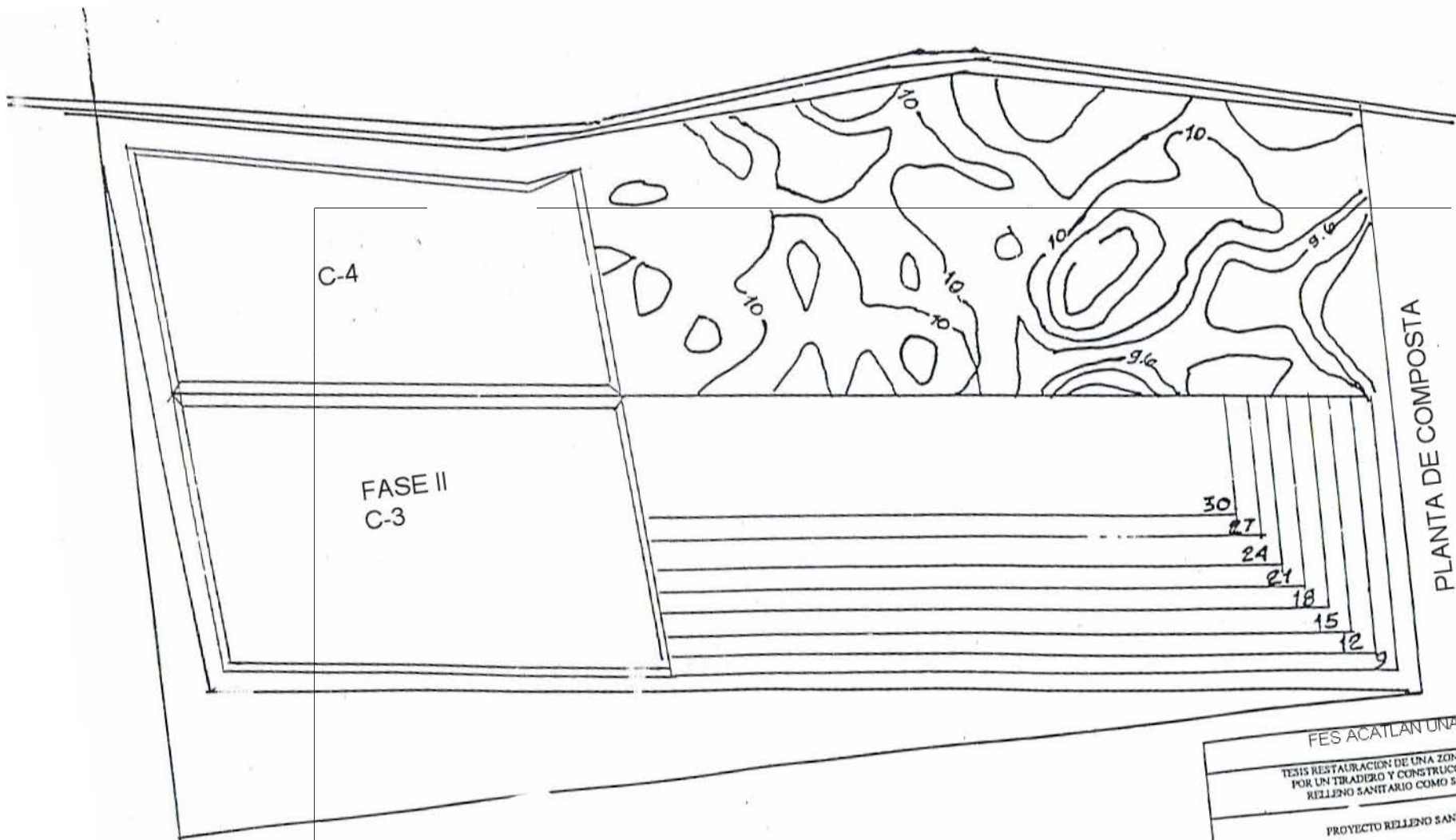


PLANTA GENERAL

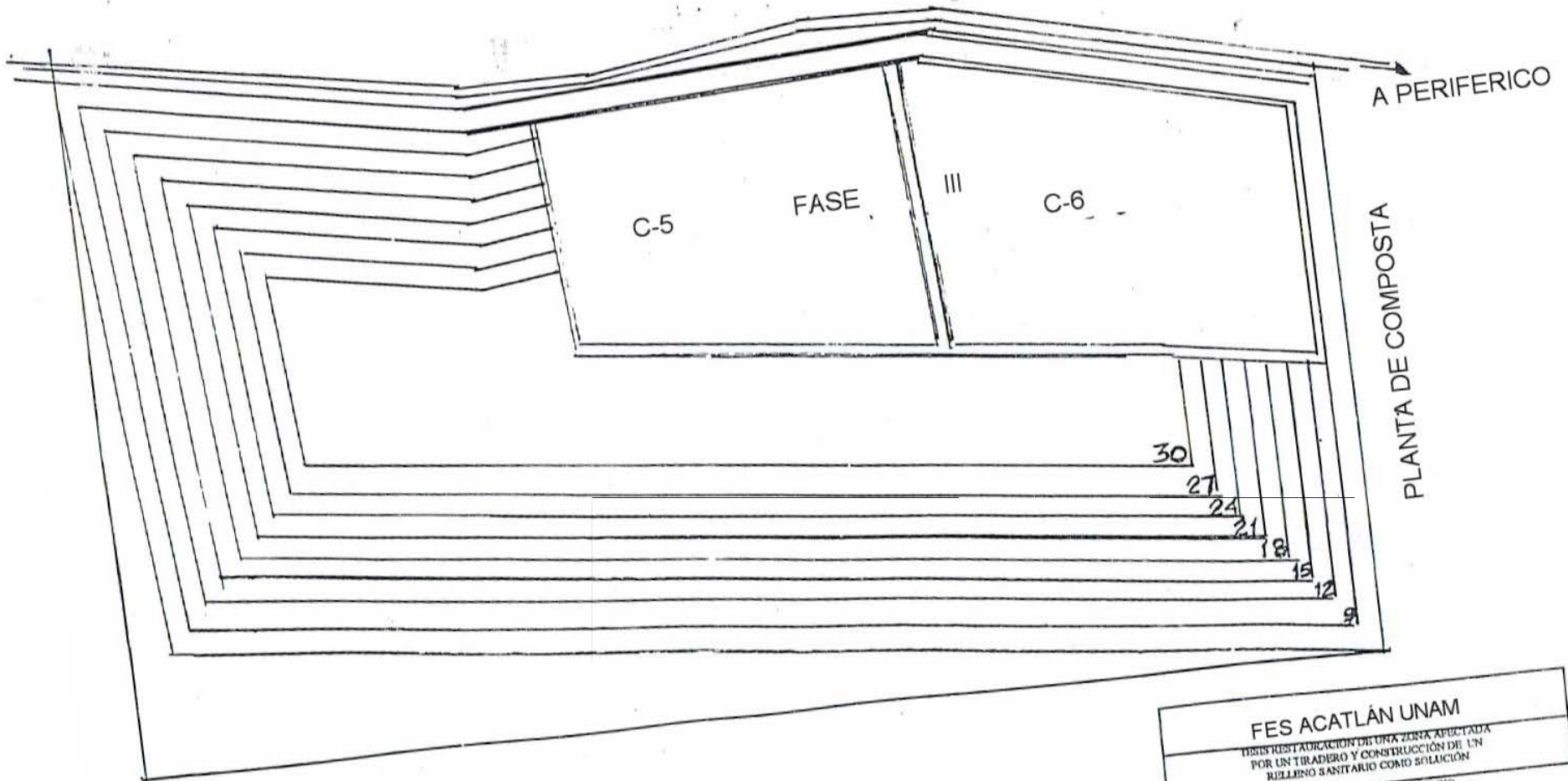
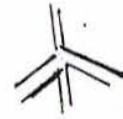
FES	ACATLÁN UNAM
TESIS RESTAURACIÓN DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TRÁFICO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN	
PROYECTO RELLENO SANITARIO	



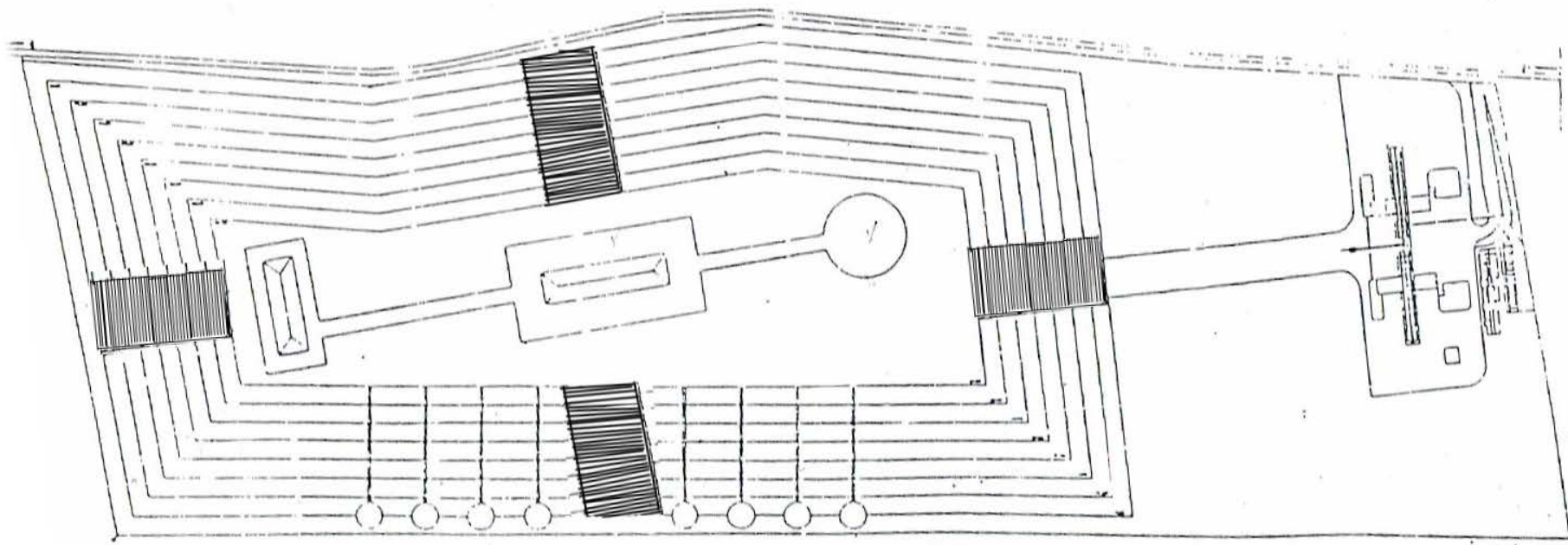
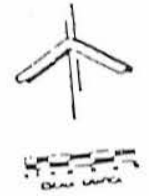
FES ACATLÁN UNAM
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN
PROYECTO RELLENO SANITARIO



FES ACATLAN UNAM
TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN
RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION
PROYECTO RELLENO SANITARIO



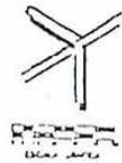
FES ACATLÁN UNAM
DESINSTITUCIÓN DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN
PROYECTO RELLENO SANITARIO



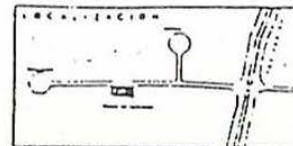
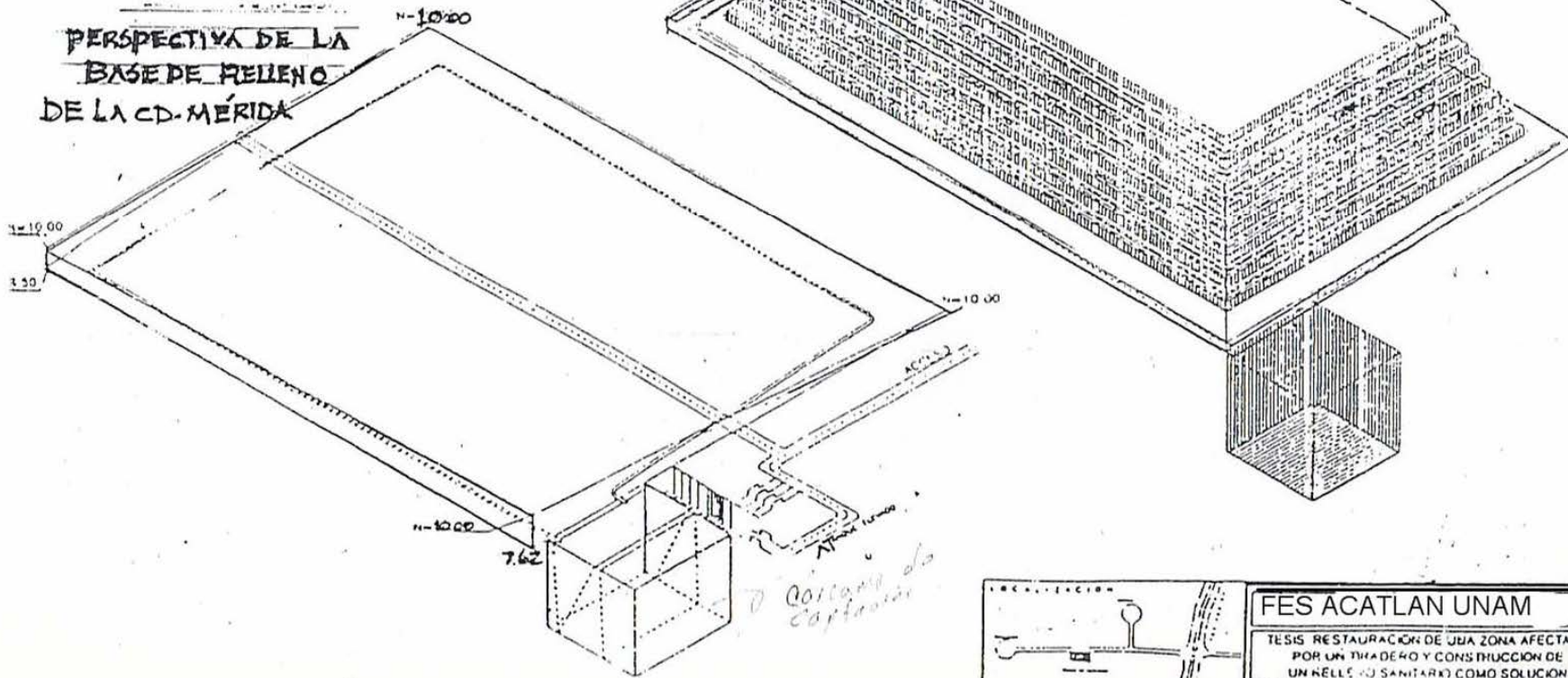
PLANTA DE CONJUNTO

LOCALIZACIÓN

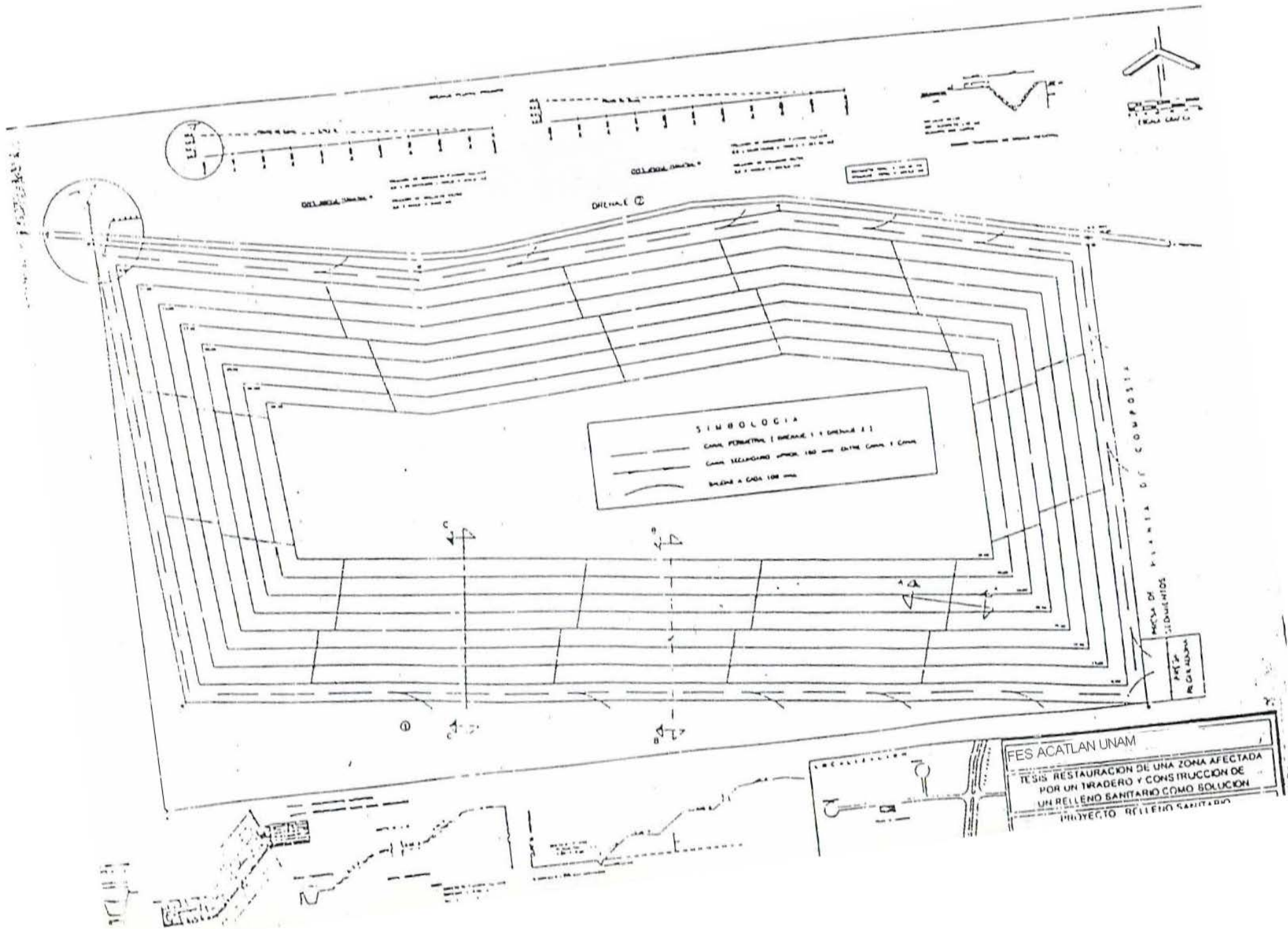
FES ACATLÁN UNAM
TESIS RESTAURACIÓN DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCIÓN DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN
PROYECTO RELLENO SANITARIO



PERSPECTIVA DE LA
BASE DE RELLENO
DE LA CD. MÉRIDA



FES ACATLAN UNAM
TESIS RESTAURACIÓN DE UNA ZONA AFECTADA
POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCIÓN DE
UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN
PROYECTO RELLENO SANITARIO



SIMBOLOGIA

————— CANAL PERIFÉRICO (DRENAJE I + DRENAJE II)

- - - - - CANAL RECOLECTOR (ANCHO 1.00 MTS ENTRE CANAL Y CANAL)

~~~~~ BARRERA A CADA 100 MTS

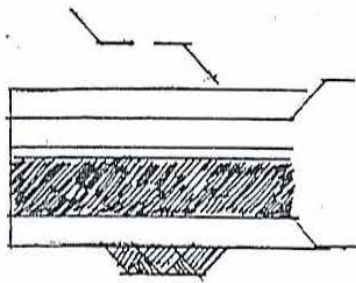
FES ACATLAN UNAM

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

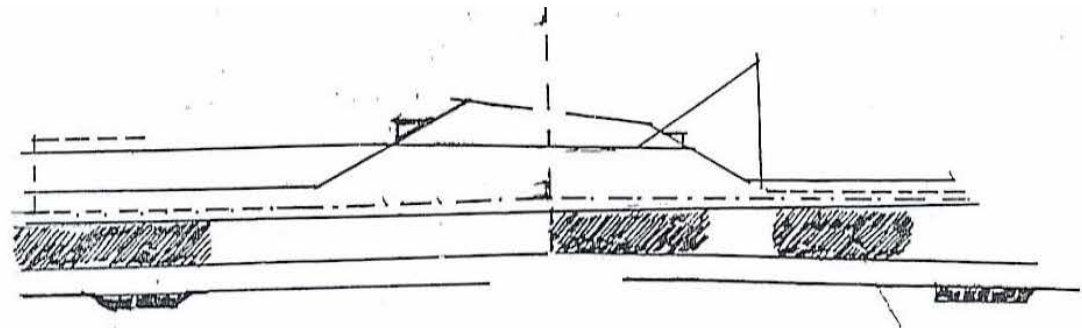
PROYECTO RELLENO SANITARIO

MCMU DE FERIA DE COMPOSICION

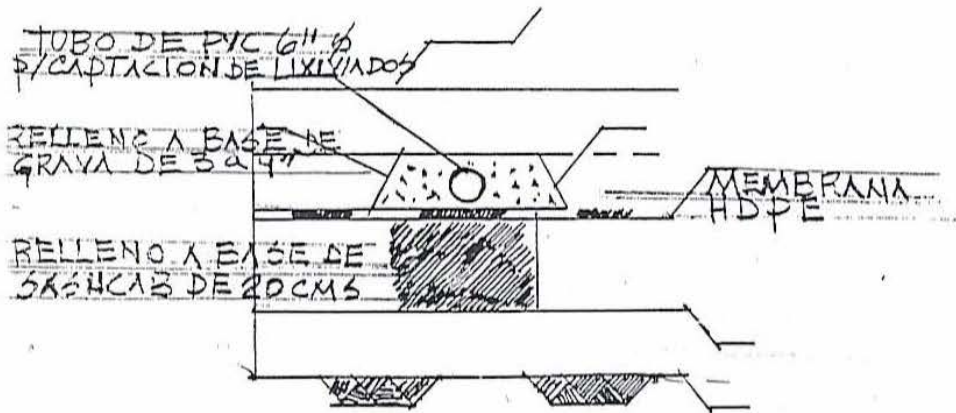
PARTICULAR R. CALABAZA



COMPOSICION TIPICA DE LA MEMBRANA



DETALLE TIPICO DE UNA BERMA INTERMEDIA

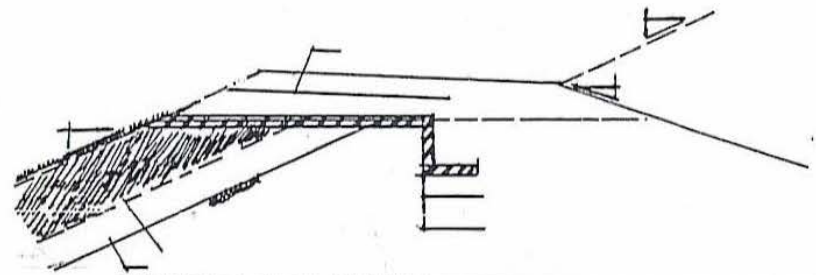


TUBO DE PVC 6"  $\phi$   
P/CAPTACION DE LIXIVIADOS

RELLENO A BASE DE  
GRAVA DE 3 a 4"

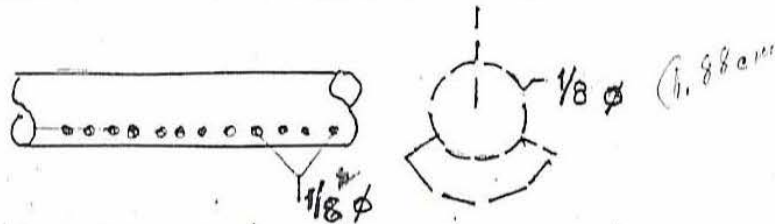
MEMBRANA  
HDPE

RELLENO A BASE DE  
SABICHAS DE 20CMS



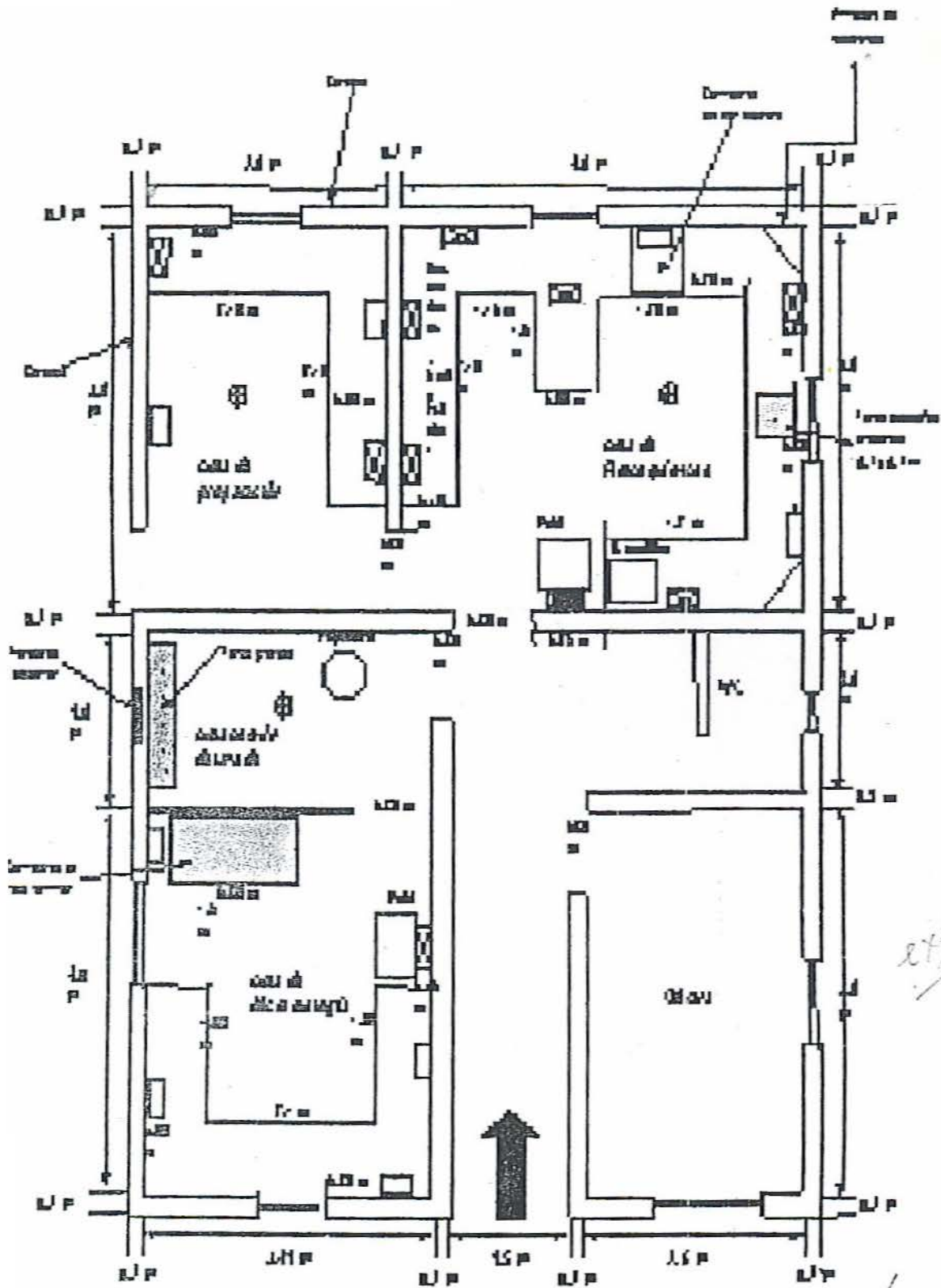
DETALLE DEL PERIMETRO TIPICO DE LA BERMA

TUBO COLECTOR DE LIXIVIADOS 12.6"






PERFORACIONES TIPICAS PARA  
COLECTORES DE LIXIVIADOS


|                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FES ACATLAN UNAM                                                                                                   |
| TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA<br>POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN<br>RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION |
| PROYECTO RELLENO SANITARIO                                                                                         |



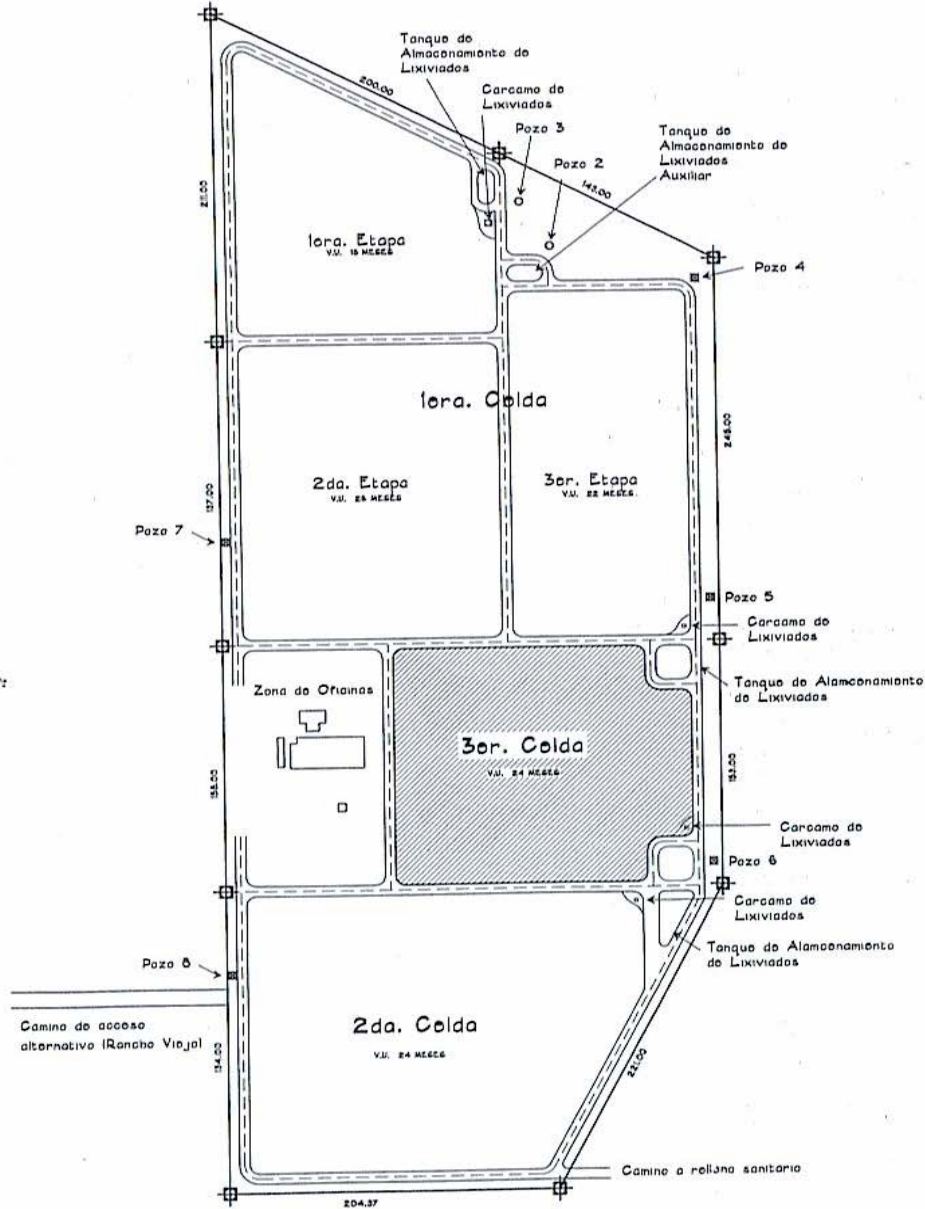
*Laboratorio para el control de monitoreo*

-  Agua, Gas, Luz
-  Conexiones eléctricas
-  Gas y electricidad

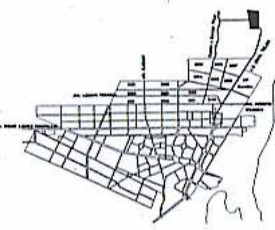
 Agua

 Drenaje

|                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FES ACATLAN UNAM</b><br><small>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</small><br><small>INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA</small><br><small>DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN</small><br><small>PROYECTO RELLENO SANITARIO</small> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



PLANTA

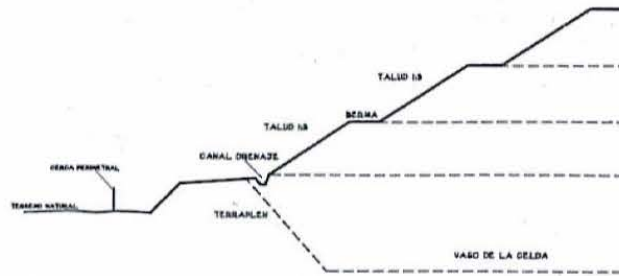
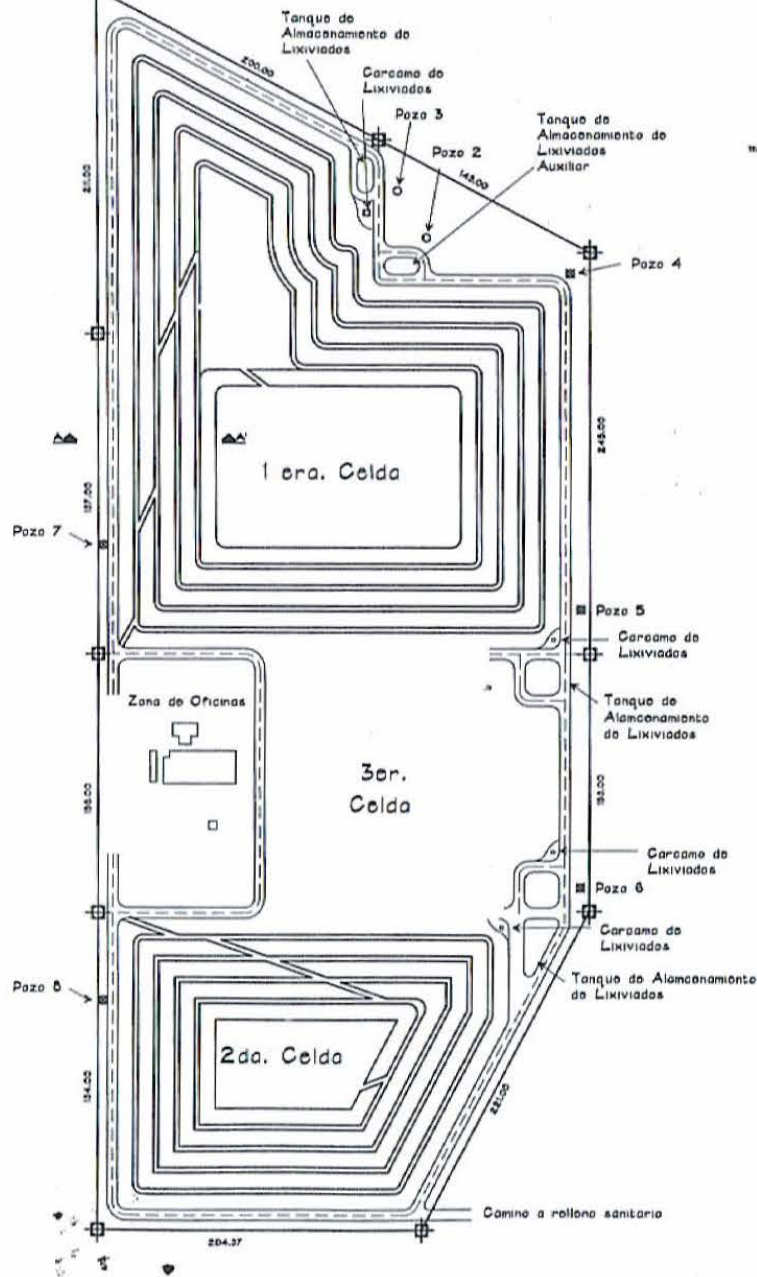


- 1.- Las Medidas indicadas en este plano son en metros
- 2.- Las cotas rigen el plano
- 3.- Los pozos son el monitoreo de aguas subterranas  
 ○ Existentes  
 ■ En proyecto
- 4.- Construcción de tercera colda  
 ■ Ampliación

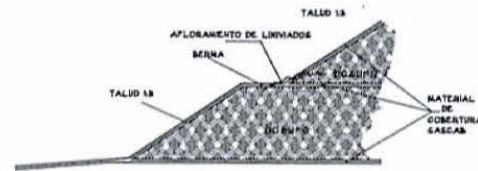
FES ACATLAN UNAM

TESIS RESTAURACIÓN DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCIÓN

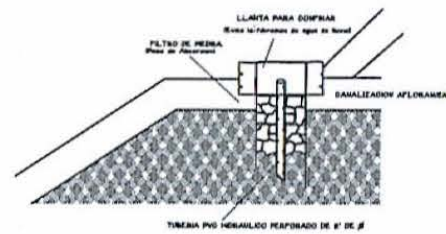
PROYECTO RELLENO SANITARIO



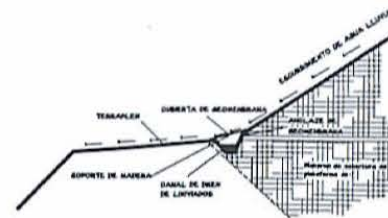
CORTE A - A' CONTROL Y/O CANALIZACION DE AFLORAMIENTO DE LIXIVIADOS



DETALLE DE AFLORAMIENTO DE LIXIVIADOS

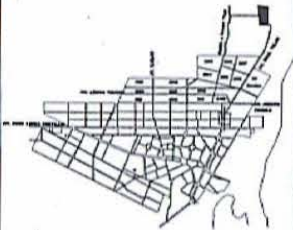


SISTEMA PARA EL CONTROL DE AFLORAMIENTO DE LIXIVIADOS ATRAVES DE INFILTRACION



PROTECCION O CONFINAMIENTO DEL CANAL DRENAJE

SECCION DE EJECUCION DEL DISEÑO DE LA OBRERA LLAMA AL AL SERVICIO PERMANENTE DEL DISEÑO Y LA OBRERA.



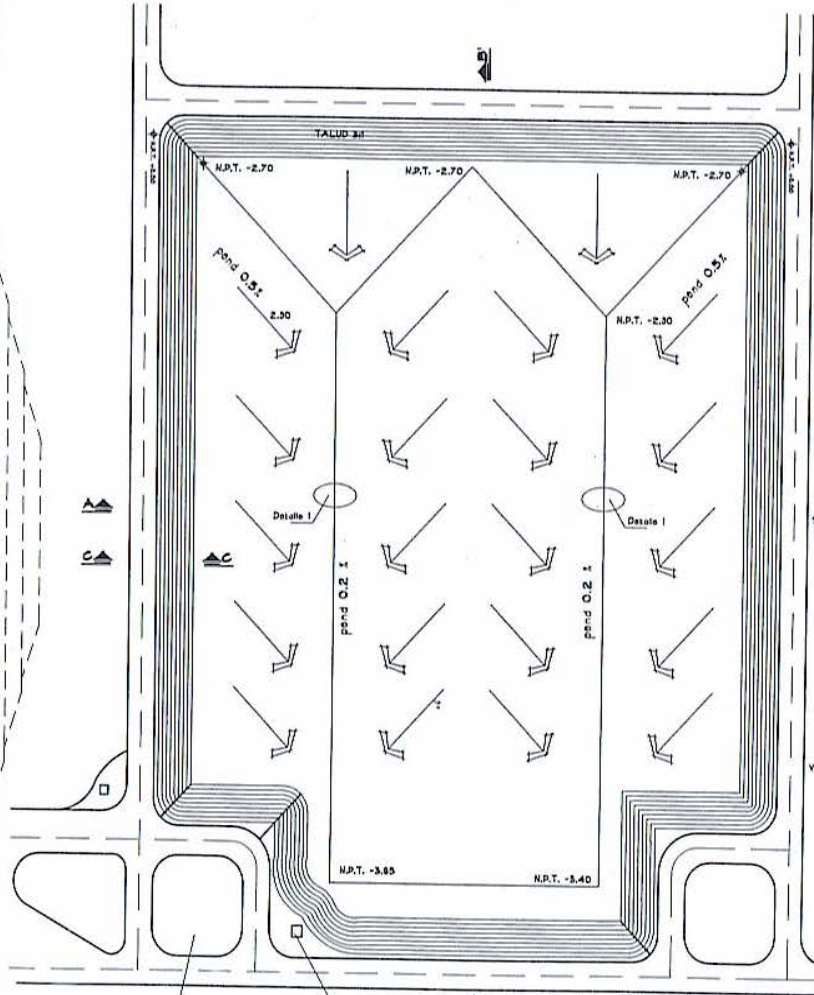
- 1.- Las Medidas indicadas en este plano son en metros
- 2.- Los otros rigen el plano
- 3.- Siembra de pasto criollo en taludes de celdas 1 y 2
- 4.- Primera celda se colocaron 45 dispositivos para la quema de buegas
- 5.- Segunda celda se colocaron 25 dispositivos para la quema de buegas
- 6.- Se contemplan colocar 15 pozos de venteo en la tercera celda así como mismo numero de dispositivos para la quema de buegas una vez concluido el llenado
- 7.- El canal dren de lixiviados esta construido con prefabricados de concreto armado

FES ACATLAN UNAM

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

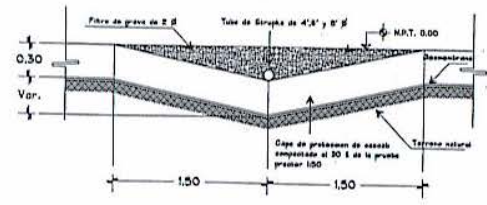
PROYECTO RELLENO SANITARIO

CORTE B - B'

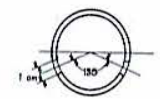
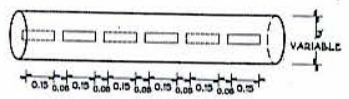


PLANTA TERCERA CELDA

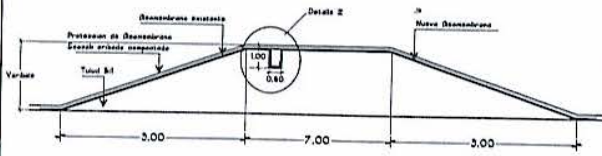
CORTE A - A'



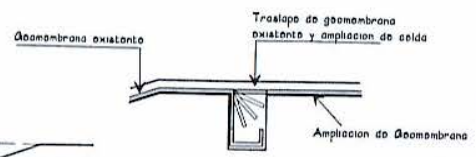
DETALLE 1



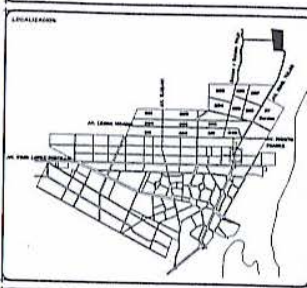
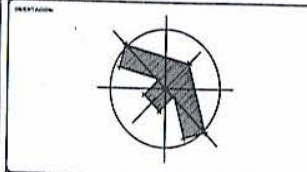
Detalle de Ranurado en la tubería Estrupak para filtro en celda



CORTE C - C'



DETALLE 2

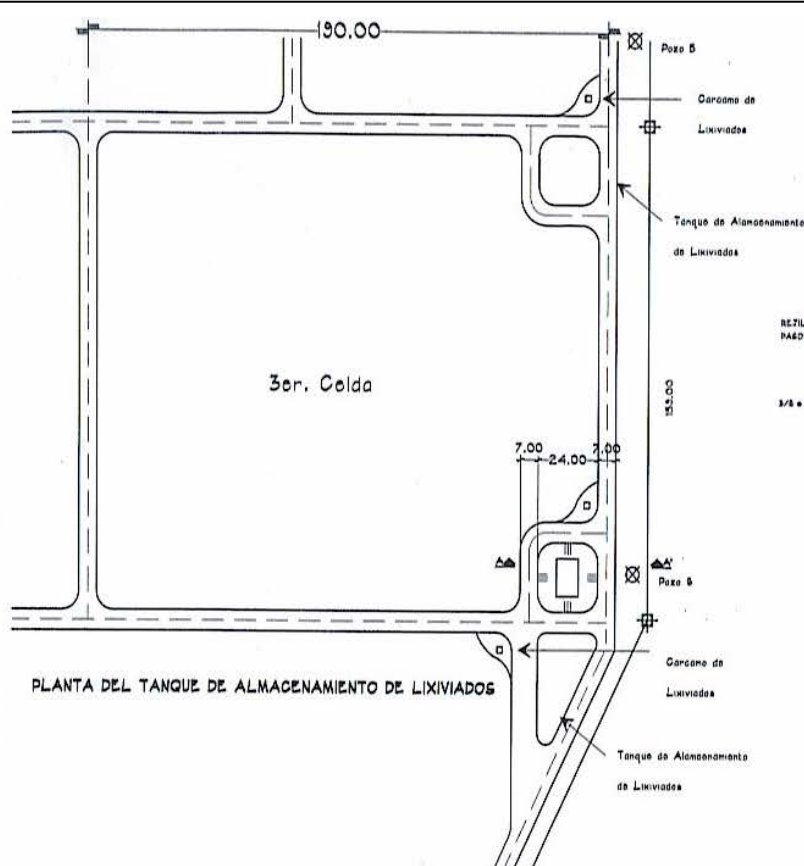


VER PLANO DE DETALLES DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LIXIVIADOS Y CARGAMO D BONSEO

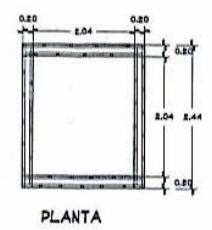
FES ACATLAN UNAM

TESIS RESTAURACI&#243;N DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCI&#243;N DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCI&#243;N

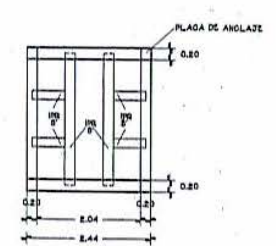
PROYECTO RELLENO SANITARIO



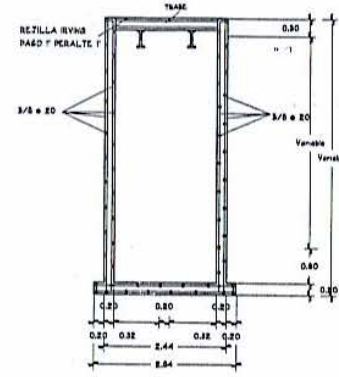
PLANTA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LIXIVIADOS



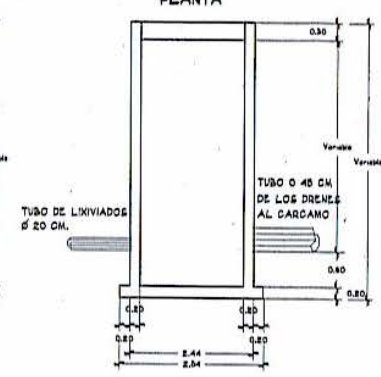
PLANTA



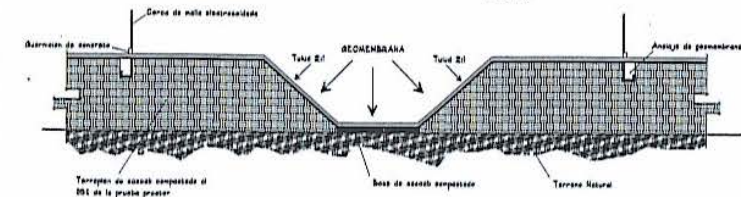
PLANTA



CORTE ARMADO DEL CARCAMO



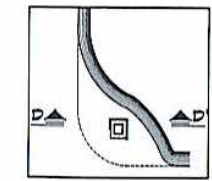
CARCAMO DE BOMBEO



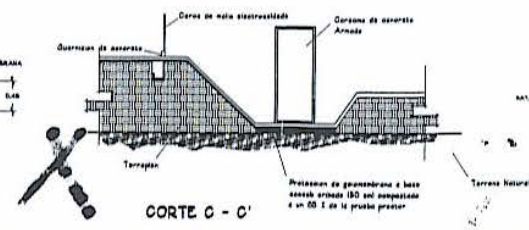
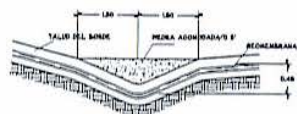
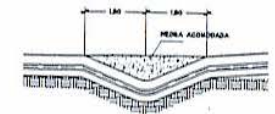
CORTE A - A' DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LIXIVIADOS



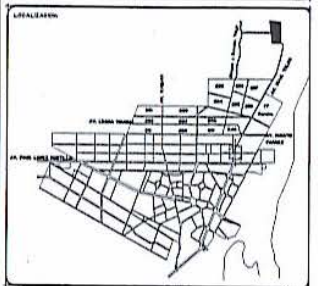
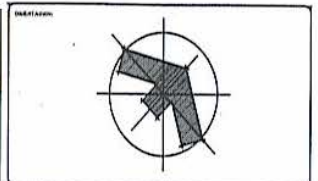
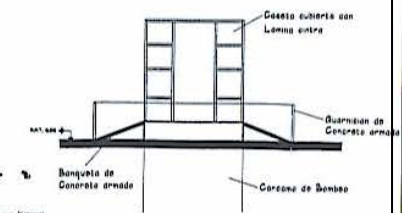
DETALLE PARA EL DESPLANTE DEL CARCAMO DE BOMBEO PARA LA RECIRCULACION DE LIXIVIADOS



PLANTA DEL CARCAMO DE BOMBEO



CORTE C - C'



- ESPECIFICACIONES:
- CONCRETO DE F'c=250 KG/CM2
  - ACERO Ft=4500 KG/CM2
  - IRG 5 x 4 15.4 KG/ML
  - PTA 4 x 4
  - PTA 3 x 3 15.471
  - LAMINA GALVANIZADA AGUJERADA CALIBRE 22
  - MALLA ELECTROSOLDADA 8-8/10-10

FES ACATLAN UNAM  
 TESIS RESTAURACION DE UNA ZONA AFECTADA POR UN TIRADERO Y CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO COMO SOLUCION  
 PROYECTO RELLENO SANITARIO

# **C A P I T U L O 4**

## **C O S T O S**



## **CAPITULO 4**

### **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.

#### **4.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

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

##### **4.1.1 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, optimizando los espacios y dándoles el uso que les corresponde de acuerdo a un plan maestro de cada Ciudad, Estado y Municipio.

En este trabajo en particular estos espacios serán para sitios de disposición final, evitando los tiraderos a cielo abierto, que contaminan el ambiente y causan daños a la salud. Con el fin de poder vivir más eficiente, durable y confortablemente. Hay que considerar que el trabajo no ha quedado 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 1.0 kilogramo de basura por persona por día hasta toneladas de desperdicios especiales por parte de las industrias y comercios.

El método aceptado consiste en recolectar la basura doméstica a través de micro y macroruteos, durante la semana, para evitar que se acumulen grandes cantidades en las casas, comercios e industrias. Posteriormente esta basura se deberá seleccionar para separar los residuos orgánicos de los inorgánicos, así como los que se reciclan como plásticos, cartón etc. Una vez separados se colocaran en el sitio de disposición final.

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

#### **4.1.2 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 programas tales como Solidaridad, Pronasol, que otorgan préstamos y concesiones a 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, porque normalmente las asignaciones para obras de servicio social, como son redes de agua potable, alcantarillado, vialidades, urbanización, etc. Se otorga a la propuesta más económica resultando esto en detrimento de la calidad de materiales y en la ejecución de los trabajos. El método de financiamiento debe ser diseñado para evaluar el costo de las mejoras en las áreas o en las personas beneficiadas. Por ejemplo 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 este 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.

#### **4.1.3 Análisis económico del proyecto**

La disposición final en rellenos sanitarios cada vez se vuelve más cara. El costo total proveniente de esta opción 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, monitoreo, clausura y cuidado de largo plazo. En algunos casos el costo de acarreo resulta ser el más alto sobre todo cuando los rellenos se localizan en áreas remotas respecto a la zona urbana a servir.

#### **4.1.4 Costos de construcción**

Tomando como referencia los datos estadísticos de población del INEGI (1996), se consideró como base de cálculo inicial para la ciudad de Mérida una población de 636,187 habitantes.

Por otro lado, el índice de generación de residuos en la zona de Mérida, que según la extinta SEDESOL (1995), es de 0.876 kg/hab/día.

No obstante que estos valores nos arrojan una generación diaria de residuos de 557 toneladas por día, el Ayuntamiento de Mérida estableció en las bases de la licitación un volumen mínimo de ingreso de residuos al Relleno Sanitario de 450 toneladas por día durante el primer año de operaciones. La diferencia representaba el volumen de residuos generados en domicilios no atendidos por los grupos recolectores o los que de alguna manera no eran entregados a éstos debido a las prácticas indebidas de algunos habitantes de la ciudad (depósito en terrenos baldíos, quema, etc.), en algunos casos por la falta de conciencia o educación ambiental; en otros por evitar el pago del servicio; y en la mayoría por ambos motivos.

Con base en una proyección aritmética a partir de los censos de población de 1980 y 1990, durante los 15 años de vida útil del proyecto se estimó una generación media de 579 toneladas por día, considerando una generación per cápita de 0.800 kg/hab/día.

Los datos reales de ingreso de residuos en el Relleno Sanitario de Mérida han mostrado cierto apego con las estimaciones preliminares, aunque con ciertas variantes por ciertas situaciones que a continuación se explican:

Durante los primeros cuatro meses de operaciones (noviembre de 1997 a febrero de 1998) ingresó un total de 31,771 toneladas, lo que representa un promedio diario de 305 toneladas. No

se puede considerar a este periodo como representativo ya que durante este periodo se continuó operando el exbasurero municipal en los turnos nocturnos, lo que representó que una buena cantidad de residuos no ingresara al relleno Sanitario. De marzo de 1998 (cuando se cerró de manera definitiva el tiradero sanitario) a diciembre del mismo año ingresaron 130,573 toneladas, lo que representó un promedio diario de 502 toneladas. Para el año de 1998 se había considerado un ingreso promedio de 530 toneladas por día.

En 1999 ingresaron 180,483 toneladas, que significó un promedio diario de 578 toneladas. Para este mismo periodo se estimó un ingreso diario promedio de 540 toneladas. El incremento se debió a la reorganización en cuanto a la zonificación de las rutas de recolección municipal a principios de agosto de 1998, la cual mostró parte de sus beneficios al incrementar de 89,753 a 138,709 los predios atendidos en la ciudad.

Durante el año 2000, ingresaron 191,509 toneladas, que representan un promedio diario de 614 toneladas, a diferencia de las 551 toneladas estimadas antes del inicio de las operaciones para el mismo año. En este periodo se incrementó la cobertura del servicio de recolección al pasar del 85% del año anterior al 91% en el año 2000, lo que significó también un incremento en el número de toneladas que ingresan diariamente al Relleno Sanitario.

De tal manera, al mes de diciembre del mismo año, ingresaron al Relleno Sanitario en condiciones ambientalmente seguras un total de 534,336 toneladas desde su puesta en marcha el 3 de noviembre de 1997.

(De acuerdo a la fecha de licitación, septiembre de 1996, la tarifa por tonelada depositada es de \$8.00 USD, con una paridad de \$1.00 USD igual a \$7.54 pesos). Al año 2000 se tiene una paridad de \$1.00 USD a \$10.00 pesos.

Considerando el costo por ton a \$ 8.00 USD por un promedio de 534,336 ton de residuos sólidos colocadas en el sitio de disposición final resulta ser  $\$8.00 \text{ USD/ton} * \$10/\text{dl} * 534,336 \text{ ton} = \$42'746,880.00$  entre tres años de operación se tiene:  $\$42'746,880.00/3 \text{ años} = \$14'248,960.00$  por año de servicio del relleno sanitario.

La tabla 4.1 incluye una lista de partidas típicas de construcción para un relleno sanitario, así como los alcances de cada partida para dar una idea y poder estimar los costos unitarios correspondientes. Las partidas de construcción para atenuación natural de un relleno pueden localizarse en la tabla 4.1

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

| <b>CONCEPTO</b>                                                               | <b>ALCANCE DEL TRABAJO</b>                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Limpieza y desmonte                                                           | Limpiar y desmontar la cubierta forestal                                                                                                                                                                                              |
| Sítios 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 plataforma para recibir la primer capa de impermeabilización. | Base de 20 cm de espesor basado en material de la zona sahcab, extendido con motoconformadora y compactado con vap 70.                                                                                                                |
| Construcción de la cuenca de sedimentación                                    | Bermas, refuerzos o cimientos y tubos de descarga                                                                                                                                                                                     |
| Suministro y colocación de sistema de impermeabilización.                     | Suministro de geomembrana de alta densidad HDPE Y membrana geotextil, colocadas una vez que este lista la plataforma, para evitar daños a la misma.                                                                                   |
| Construcción de bermas                                                        | Rellenos para los perímetros de las bermas (solo compactación)                                                                                                                                                                        |
| Lisimetro de recolección                                                      | Excavación, recubrimiento, tubería, lavadores y pozos de almacenamiento.                                                                                                                                                              |
| Construcción de drenaje                                                       | Se deberá construir un drenaje perimetral al relleno, para impedir la saturación de los residuos por escurrimiento de aguas pluviales, así como uno interno que capte los lixiviados para llevarlos a un carcamo de rebombeo.         |
| Sistemas de tuberías de lixiviados                                            | Excavación, suministro e instalación de tuberías de pvc de 6" (15 cm) de norma, perforadas con barrenos en su parte superior y sus costados, posteriormente se rellena con grava de 3" (5 cm) para cubrir la tubería y formar filtros |
| Conductor de lixiviados al pozo de visita principal y/o carcamo de bombeo.    | Construcción de pozos, instalación de tuberías perforadas, rellenos con filtro de grava.                                                                                                                                              |
| Limpieza de lixiviados                                                        | Excavación, construcción de la laguna de evaporación de concreto armado, impermeabilización de piso y paredes.                                                                                                                        |
| Tanque de recolección de lixiviados                                           | Excavación, construcción de tanque de concreto armado, impermeabilización, instalación de bombas.                                                                                                                                     |

|                                                         |                                                     |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Sistema de recolección de gases                         | Construcción de pilares para pozos, tuberías, grava |
| Colocación de cubiertas impermeables                    | Adquisición, transporte y colocación en el sitio.   |
| Sembrado y control de crecimiento o desarrollo de pasto | Adquisición de material vegetativo y colocación     |
| Supervisión, documentación y técnicas de evaluación     | Inspección, pruebas de monitoreo y reportes         |

#### 4.1.5 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, el Gobierno Federal, Estatal o Municipal designado deberá clausurar el sitio.

En la mayoría de los casos el Gobierno Federal, Estatal o Municipal designado 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 creado por el Gobierno Federal, Estatal o Municipal puede permitir el acceso al terreno.

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

| <b>ELEMENTO</b>                   | <b>ALCANCE DEL TRABAJO</b>                                                                                               |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Construcción de la cubierta final | Construcción de la capa barrera y otras capas, transporte y colocación, nivelación de la cubierta                        |
| Sembrado, fertilización y corte   | Sembrado de pasto en rollo sobre una capa de tierra lama su unidad de medida para efectos de estimación es 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                                                                                                |



#### **4.1.6 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.**

| <b>CONCEPTOS</b>              | <b>ALCANCE</b>                 |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 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 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 ajustarse 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.

### 4.1.7 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 económica. Opción 1**

|               |                      |         |   |
|---------------|----------------------|---------|---|
| OBRA:         | RELLENO SANITARIO    | OPCION: | 1 |
| LUGAR:        | MERIDA, YUCATAN      |         |   |
| ESPECIALIDAD: | INGENIERIA AMBIENTAL |         |   |
|               |                      |         |   |

#### CONCENTRADO DE TOTALES POR PARTIDA

| 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 LIXIADOS       | 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 |

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| <b>TOTAL PRESUPUESTO BASE</b> | <b>47,450.00</b> |
|-------------------------------|------------------|

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

**Tablas 4.4 Análisis de factibilidad económica. Opción 2**

|               |                      |  |  |
|---------------|----------------------|--|--|
| OBRA:         | RELLENO SANITARIO    |  |  |
| LUGAR:        | MERIDA, YUCATAN      |  |  |
| ESPECIALIDAD: | INGENIERIA AMBIENTAL |  |  |
|               |                      |  |  |

**CONCENTRADO DE TOTALES POR PARTIDA**

| 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                        | 2,200.00  | 66,570.00 |
| 14   | COSTO DE CUIDADOS A LARGO PLAZO          | 1,090.00  | 67,660.00 |

|                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| <b>TOTAL PRESUPUESTO BASE</b> | <b>67,660.00</b> |
|-------------------------------|------------------|

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.

**Tablas 4.4 Análisis de factibilidad económica. Opción 3**

|               |                      |  |  |
|---------------|----------------------|--|--|
| OBRA:         | RELLENO SANITARIO    |  |  |
| LUGAR:        | MERIDA, YUCATAN      |  |  |
| ESPECIALIDAD: | INGENIERIA AMBIENTAL |  |  |
|               |                      |  |  |

**CONCENTRADO DE TOTALES POR PARTIDA**

| 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                      | 0.00             | 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 |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO BASE</b> |                                          | <b>38,460.00</b> |           |

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

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

TASA DE INTERES 15 %

| Nº                      | CONCEPTO                              | TOTAL     | AÑOS          |               |           |               |               |           |               |               |           |               | 9, 10 y 11    | TOTAL     |               |               |            |              |           |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|------------|--------------|-----------|
|                         |                                       |           | 1             | 2             | 1 y 2     | 3             | 4             | 3 y 4     | 5             | 6             | 5 y 6     | 7             |               |           | 8             | 7 y 8         | 9          | 10           | 11        |
| 1                       | CAMINO DE ACCESO                      | 210,00    | 83.685,46     | 20.921,36     | 105,00    | 20.921,36     | 20.921,36     | 42,00     | 10.460,68     | 10.460,68     | 21,00     | 10.460,68     | 10.460,68     | 21,00     | 10.460,68     | 10.460,68     | 0,00       | 21,00        | 210,00    |
| 2                       | PREPARACION DEL SITIO DE TRABAJO      | 2.920,00  | 1.748.709,95  | 728.629,15    | 2.482,00  | 437.177,49    |               | 438,00    |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         | 2.920,00  |
| 3                       | INSTALACION PARA CONTROL DE EROSION   | 2.500,00  | 2.426.279,88  | 37.710,25     | 2.475,00  | 22.626,15     |               | 25,00     |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         | 2.500,00  |
| 4                       | SIST. DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS    | 340,00    | 210.091,14    | 88.130,33     | 299,00    | 40.083,45     |               | 41,00     |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         | 340,00    |
| 5                       | SISTEMA DE MANEJO DE GASES            | 336,70    | 297.006,00    | 7.201,20      | 304,00    | 7.201,20      | 3.600,60      | 11,10     | 3.600,60      | 3.600,60      | 7,20      | 3.600,60      | 3.600,60      | 7,20      | 3.600,60      | 3.600,60      |            | 7,20         | 336,70    |
| 6                       | SISTEMA DE BASCULA                    | 300,00    | 300.000,00    |               | 300,00    |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         | 300,00    |
| 7                       | INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO        | 450,00    | 270.000,00    | 180.000,00    | 450,00    |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         | 450,00    |
| 8                       | GASTOS ADICIONALES                    | 300,00    | 30.000,00     | 30.000,00     | 60,00     | 30.000,00     | 30.000,00     | 60,00     | 30.000,00     | 30.000,00     | 60,00     | 30.000,00     | 30.000,00     | 60,00     | 30.000,00     | 30.000,00     |            | 60,00        | 300,00    |
| 9                       | TERRACERIAS                           | 5.300,00  | 799.180,58    | 692.623,17    | 1.487,99  | 639.344,47    | 532.787,06    | 1.168,00  | 532.787,06    | 532.787,06    | 1.058,00  | 532.787,06    | 532.787,06    | 1.058,00  | 532.787,06    |               |            | 528,00       | 5.300,00  |
| 10                      | SISTEMA DE MEMBRANAS                  | 8.990,00  | 5.393.376,74  | 2.247.240,31  | 7.641,20  | 1.348.344,19  |               | 1.348,80  |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         | 8.990,00  |
| 11                      | SISTEMA DE CUBIERTA                   | 720,00    |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 720,00       | 720,00    |
| 12                      | OPERACION GENERAL                     | 21.800,00 | 3.270.392,60  | 2.834.340,27  | 6.104,00  | 2.616.314,09  | 2.180.261,70  | 4.796,00  | 2.180.261,75  | 2.180.261,75  | 4.360,00  | 2.180.261,75  | 2.180.261,75  | 4.360,00  | 2.180.261,75  |               |            | 2.179,99     | 21.800,00 |
| 13                      | COSTO DE CLAUSURA                     | 2.200,00  |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 2.208.495,05 | 2.200,00  |
| 14                      | COSTOS DE CUIDADO A LARGO PLAZO (20)  | 21.800,00 |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 1.090.130,87 | 1.090,00  |
|                         |                                       |           |               |               |           |               |               |           |               |               |           |               |               |           |               |               |            | 47.456,69    |           |
| A GASTOS PARCIALES      |                                       | 47.450,00 | 14.828.722,35 | 6.866.796,04  | 21.708,18 | 5.162.012,40  | 2.767.570,72  | 7.929,90  | 2.757.110,09  | 2.757.110,09  | 5.506,21  | 2.757.110,09  | 2.757.110,09  | 5.506,21  | 2.757.110,09  | 4.061.475,53  |            | 6.806,19     |           |
| 15                      | VOLUMEN CONFINADO ton/año/1000        |           | 175.062,72    | 181.764,12    | 356,83    | 188.722,05    | 195.946,33    | 384,67    | 203.447,16    | 211.235,11    | 414,68    | 219.321,19    | 227.716,81    | 447,04    | 236.433,81    | 245.484,49    | 254.881,64 | 736,80       |           |
| 16                      | COSTO POR TONELADA [(80 + 80) / 1000] |           | 80,00         | 80,00         | 0,16      | 45,00         | 45,00         | 0,09      | 45,00         | 45,00         | 0,09      | 45,00         | 45,00         | 0,09      | 45,00         | 45,00         |            | 0,09         |           |
| B INGRESOS POR VENTAS   |                                       |           | 14.005.017,60 | 14.541.129,60 | 28.546,15 | 8.492.492,25  | 8.817.584,85  | 17.310,08 | 9.155.122,20  | 9.505.579,95  | 18.660,70 | 9.869.453,55  | 10.247.256,45 | 20.116,71 | 10.639.521,45 | 11.046.802,05 |            | 21.686,32    |           |
| C INGRESOS POR CRÉDITOS |                                       |           | 10.000.000,00 | 1.000.000,00  | 11.000,00 |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               | 0,00      |               |               |            | 0,00         |           |
| 17                      | SALDOS INSOLUTOS                      |           |               | 8.892.857,14  | 8.892,86  | 7.642.857,14  | 6.392.857,14  | 14.035,71 | 5.142.857,14  | 3.892.857,14  | 9.035,71  | 2.642.857,14  | 1.392.857,14  | 4.035,71  | 142.857,14    | 142.857,14    |            | 285,71       |           |
| 18                      | AMORTIZACION DEL CREDITO              |           | 1.250.000,00  | 1.250.000,00  | 2.500,00  | 1.250.000,00  | 1.250.000,00  | 2.500,00  | 1.250.000,00  | 1.250.000,00  | 2.500,00  | 1.250.000,00  | 1.250.000,00  | 2.500,00  |               |               |            | 0,00         |           |
| 19                      | COSTOS FINANCIEROS                    | 6.942,86  | 1.500.000,00  | 1.333.928,57  | 2.833,93  | 1.146.428,57  | 958.928,57    | 2.105,36  | 771.428,57    | 583.928,57    | 1.355,36  | 396.428,57    | 208.928,57    | 605,36    | 21.428,57     | 21.428,57     |            | 42,86        |           |
| D TOTAL                 |                                       |           | 2.750.000,00  | 2.583.928,57  | 5.333,93  | 2.396.428,57  | 2.208.928,57  | 4.605,36  | 2.021.428,57  | 1.833.928,57  | 3.855,36  | 1.646.428,57  | 1.458.928,57  | 3.105,36  | 21.428,57     | 21.428,57     |            | 42,86        |           |
| B + C TOTAL DE INGRESOS |                                       |           | 24.005.017,60 | 15.541.129,60 | 39.546,15 | 8.492.492,25  | 8.817.584,85  | 17.310,08 | 9.155.122,20  | 9.505.579,95  | 18.660,70 | 9.869.453,55  | 10.247.256,45 | 20.116,71 | 10.639.521,45 | 11.046.802,05 |            | 21.686,32    |           |
| A + D TOTAL DE EGRESOS  |                                       |           | 17.578.722,35 | 9.450.724,61  | 27.029,45 | 7.558.440,97  | 4.976.499,29  | 12.534,94 | 4.778.538,66  | 4.591.038,66  | 9.369,58  | 4.403.538,66  | 4.216.038,66  | 8.619,58  | 2.778.538,66  | 4.082.904,10  |            | 6.861,44     |           |
| SALDO CAJA              |                                       |           | 6.426.295,25  | 12.516.700,25 | 18.943,00 | 13.450.751,53 | 17.291.837,08 | 30.742,59 | 21.668.420,62 | 26.582.961,91 | 48.251,38 | 32.048.876,80 | 38.080.094,59 | 70.128,97 | 45.941.077,37 | 52.904.975,32 |            | 98.846,05    |           |

Notas:

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

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

---

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 los costos están basados sobre el tonelaje de desechos depositados en un relleno. Si en el fondo no existen los recursos necesarios, no serán tomados de 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, los fondos se pueden guardar para el desarrollo de futuros rellenos, durante la vida de operación de un relleno. Así, una vez que un relleno es construido, los fondos pueden ser utilizados de tal forma que serán cubiertas todas las actividades futuras relativas a la disposición de desechos. En algunas instancias, los ingresos generados por los usuarios pueden ser 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.

### **4.1.8 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 en el año de 1996 es de \$ 8.00 usd.
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 de un millón de pesos, para los años siguientes durante la vida útil del proyecto se tienen considerados los costos de acuerdo al programa financiero presentado en la tabla 4.5

#### **4.1.9 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.

#### **4.2. 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 el Gobierno Federal para analizar la conveniencia de proyectos de obras públicas es la relación costo-beneficio (B/C). Como su nombre lo sugiere, el método beneficio-costos se basa en la relación de los beneficios y 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** es la inversión para construcción, operación, mantenimiento, etc.; menos cualquier valor de salvamento. Como el análisis beneficio/costo siempre se utiliza en los estudios económicos realizados por el Gobierno Federal, Estatal o Municipal, es útil pensar que el propietario es el público y el que incurre en los costos es el Gobierno.

Es importante expresar tanto el numerador (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:

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

Una relación costo beneficio mayor o igual a 1,0 indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso. En los análisis de costo/beneficio, 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 y M)** en el numerador y se trata de manera similar a un desbeneficio. El denominador, entonces, contiene solamente el costo de inversión inicial. Una vez que todas las cantidades sean expresadas en términos de valor presente, valor anual o valor futuro, la relación modificada de beneficio/costo se calcula como:

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

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

Los temas principales que se deben considerar son los siguientes:



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

4.2.2 Elección de la tasa de interés.

4.2.3 Estimación de los factores costo-beneficio.

4.2.4 Sobrecuenta.

4.2.5 Proyectos de uso múltiple.

4.2.6 Problemas con la razón costo-beneficio.

#### **4.2.1 Puntos de vista**

4.2.1.1 Un individuo o grupo de individuos que se beneficiará o se perjudicará.

4.2.1.2 Una organización gubernamental particular.

4.2.1.3 Un área local, como una ciudad o un Municipio.

4.2.1.4 Una región, como un estado.

4.2.1.5 Toda la nación.

#### **4.2.2 Elección de la tasa de interés**

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

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

4.2.2.3 La tasa de interés debe ser igual a la que se pagó por el dinero tomado en préstamo.

4.2.2.4 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.

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

#### **4.2.3 Estimación de los factores costo-beneficio**

4.2.3.1. -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.

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

4.2.3.3. - 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.

#### **4.2.4 Sobre cuenta**

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

#### **4.2.5 Proyectos de usos múltiples**

Los proyectos de usos múltiples reciben mucha atención, tanto a favor como en contra. Usos múltiples significan 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.

#### **4.2.6 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 recursos que se destinan a éste sector y que su análisis en 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, revisión de la normatividad actual y la implementación de nuevas con el fin de tener un mayor alcance con relación a las pruebas de monitoreo, la necesidad de implementar un laboratorio in situ para extender la calidad de los servicios del relleno sanitario.

Es necesario la realización de un análisis para la selección del equipo así como para el financiamiento y administración del relleno sanitario.

Finalmente, en éste contexto se incidirá en la constitución y ordenamiento de un organismo que maneje eficientemente los desechos sólidos, 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 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; por lo tanto se tendera a la acción de capacitar al personal en las diferentes áreas de: recolección, traslado y disposición de los residuos sólidos.

En este sentido, como un comentario particular la formación del recurso humano está atrasada en relación con la adquisición de equipos modernos de basura, tales como vehículos compactadores de basura, de acuerdo como se describió en el capítulo I Antecedentes y normatividad, donde se menciona la existencia del parque vehicular con los cuales se recolectaba los desechos sólidos en sus principios, cuando no existía el relleno sanitario.

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

**b) Recursos físicos**

En muchas colonias tributarias del relleno sanitario son desaprovechados los recursos físicos al tener rutas comunes distintas empresas recolectoras de basura, así por ejemplo se carece de un sistema de balanzas por lo cual no hay suficiente control del peso sobre la carga que se realiza a cada camión disminuyendo la eficiencia del mismo por menor carga y causando desgaste prematuro a los equipos por sobrecarga.

**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 al nivel de sector así como al 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; tal como se menciona en la revisión de normas realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Donde se especifica claramente que el PNOM-084-ECOL-1997; en lo referente a programas de monitoreo es escasa, así mismo esta norma esta al nivel de proyecto desde 1997 hasta la fecha que se menciona sin poder ser hasta ahora NORMA OFICIAL.

**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, cultura ambiental, participación comunitaria y el cumplimiento de la legislación dictada. Por ejemplo, en el caso de la recolección de desechos en zonas marginadas hacia el sur en donde generalmente no existen suficientes condiciones de accesos para los camiones recolectores, es casi imposible realizarla sin plena participación comunitaria.

También cuando se trata de racionalizar el servicio de recolección de basura, lo más importante es crear conciencia pública, en la separación de los residuos desde el interior de la casa es decir seleccionar los residuos orgánicos en un solo envase y los inorgánicos en otro debido a que cada uno tiene diferente tratamiento, con esto se evitaría los costos que representan la creación de infraestructura tales como las plantas de transferencia y el reciclaje que representan en su operación, así como el personal que labora en este proceso y también se ahorrarían tiempos al eliminarlo, optimizando los recursos dando un mejor servicio que tanto se necesita en todos los municipios.



# **BIBLIOGRAFIA**

## **B I B L I O G R A F I A**

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. TCHOBANOGLIOUS Cr., THGEISEN H., A. VIGILS.- **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**

## Compactador 816F Caterpillar



El Compactador 816F Caterpillar para rellenos sanitarios combina potencia, movilidad y comodidad del operador para un alto rendimiento en actividades de compactación en rellenos sanitarios. Una construcción robusta y un fácil mantenimiento ofrecen una vida prolongada a bajos costos de operación.

### Especificaciones detalladas

|                                                            |                                            |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Motor                                                      |                                            |
| Modelo de motor                                            | CAT 3306 TA                                |
| Potencia bruta                                             | 175 kW / 235 hp                            |
| Potencia en el volante                                     | 164 kW / 220 hp                            |
| Pesos                                                      |                                            |
| Peso en orden de trabajo                                   | 22780 kg / 50115 lb                        |
| Hoja recta                                                 |                                            |
| Altura                                                     | 1905 mm / 6.25 pies                        |
| Capacidades de llenado                                     |                                            |
| Tanque de combustible                                      | 446 L / 117.8 gal                          |
| Especificaciones en orden de trabajo                       |                                            |
| Velocidad de desplazamiento en avance                      | 9.58 km/h / 5.9 mph                        |
| Velocidad de desplazamiento en retroceso                   | 10.7 km/h / 6.65 mph                       |
| Espacio libre sobre el suelo                               | 532 mm / 1.75 pies                         |
| Dimensiones                                                |                                            |
| Ancho de hoja U                                            | 3658 mm / 12 pulg                          |
| Altura de hoja U                                           | 1859 mm / 6.1 pulg                         |
| Ancho de tambor                                            | 1020 mm / 3.3 pies                         |
| Especificaciones detalladas                                |                                            |
| Motor                                                      |                                            |
| Potencia en el volante                                     | 156 kW / 210 hp                            |
| Modelo del motor                                           | 3306 DIT                                   |
| Fuerza bruta                                               | 171 kW / 229 hp                            |
| Pesos                                                      |                                            |
| Peso en orden de trabajo                                   | 26370 kg / 58016 lb                        |
| Cucharones                                                 |                                            |
| Capacidad de cucharón de uso general - rellenos sanitarios | 5.58 m <sup>3</sup> / 7.25 yd <sup>3</sup> |
| Capacidad de uso múltiple - rellenos sanitarios            | 4.4 m <sup>3</sup> / 5.75 yd <sup>3</sup>  |
| Ancho del cucharón                                         | 2854 mm / 112 pulg                         |
| tren de rodaje                                             |                                            |
| Ancho de zapata estándar                                   | 500 mm / 19.7 pulg                         |
| Ancho de zapata optativo                                   | 675 mm / 26.6 pulg                         |
| Entrevía                                                   | 2080 mm / 82 pulg                          |
| Capacidad del tanque de combustible                        | 356 L / 94 gal                             |

**Cargador frontal sobre orugas 973C WHA**



Los cargadores de cadenas tienen controles automáticos para que el cucharón se levante a determinadas alturas de descarga y que regrese a los ángulos preajustados de excavación para ciclos más rápidos. Las configuraciones para rellenos sanitarios están diseñadas específicamente para la industria de manipulación de desperdicios.

**ESPECIFICACIONES**

|                                                            |                                              |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Motor                                                      |                                              |
| Potencia en el volante                                     | 156 kW / 210 hp                              |
| Modelo del motor                                           | 3306 DIT                                     |
| Fuerza bruta                                               | 171 kW / 229 hp                              |
| Pesos                                                      |                                              |
| Peso en orden de trabajo                                   | 26370 kg / 58016 lb                          |
| Cucharones                                                 |                                              |
| Capacidad de cucharón de uso general - rellenos sanitarios | 5.58 m <sup>3</sup> / 7.25 yd <sup>3</sup>   |
| Capacidad de uso múltiple - rellenos sanitarios            | 4.4 m <sup>3</sup> / 5.75 yd <sup>3</sup>    |
| Ancho del cucharón                                         | 2854 mm / 112 pulg                           |
| tren de rodaje                                             |                                              |
| Ancho de zapata estándar                                   | 500 mm / 19.7 pulg                           |
| Ancho de zapata optativo                                   | 675 mm / 26.6 pulg                           |
| Entrevía                                                   | 2080 mm / 82 pulg                            |
| Epecificaciones de operación                               |                                              |
| Cadena en el suelo                                         | 2917 mm / 115 pulg                           |
| Area de contacto con el suelo                              | 3.94 m <sup>2</sup> / 6104 pulg <sup>2</sup> |
| Presión sobre el suelo                                     | 83 kPa / 12 lb/pulg <sup>2</sup>             |
| Máx. velocidad de desplazamiento                           | 10.3 kph / 6.4 mph                           |
| Tanque de combustible                                      |                                              |
| Capacidad del tanque de combustible                        | 356 L / 94 gal                               |

## ANEXO A

### MAQUINARIA ESPECIAL PARA RRELLENOS SANITARIOS

---

La 120H combina productividad y durabilidad para brindarle el mejor rendimiento de su inversión. El motor Cat® 3126B, la servotransmisión de mando directo y el sistema hidráulico con detección de carga están perfectamente equilibrados y trabajan juntos para alcanzar la productividad máxima en todas las aplicaciones.



### **ESPECIFICACIONES**

Motor

|                                                   |                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| Modelo de motor                                   | Motor Cat 3126B DITA ATAAC VHP |
| Potencia neta básica (todas las marchas)          | 93 kW / 125 hp                 |
| VHP - marchas 1-3 neta                            | 93 kW / 125 hp                 |
| VHP - marchas 4-8 neta                            | 104 kW / 140 hp                |
| Potencia bruta básica (todas las marchas)         | 104 kW / 139 hp                |
| VHP - marchas 1-3 bruta                           | 104 kW / 139 hp                |
| VHP - marchas 4-8 bruta                           | 115 kW / 154 hp                |
| Cilindrada                                        | 7.2 L / 439 pulg <sup>3</sup>  |
| Calibre                                           | 110 mm / 4.3 pulg              |
| Carrera                                           | 127 mm / 5 pulg                |
| Reserva de par                                    | 50 % / 50 %                    |
| Par máximo a 1.000 rpm                            | 737 N.m / 544 lb-pie           |
| Velocidad a la potencia nominal                   | 2000 rpm / 2000 rpm            |
| Número de cilindros                               | 6                              |
| Reducción de potencia a causa de la altitud       | 3048 m / 10000 pies            |
| Estándar - Velocidad del ventilador - máx         | 1210 rpm / 1210 rpm            |
| Estándar - Velocidad del ventilador - mín         | 500 rpm / 500 rpm              |
| Estándar - Capacidad ambiente                     | 47 ° C / 117 ° F               |
| Alta ambiente - Velocidad del ventilador - máx    | 1300 rpm / 1300 rpm            |
| Alta temperatura - Velocidad del ventilador - mín | 500 rpm / 500 rpm              |
| Capacidad para altas temperaturas                 | 50 ° C / 122 ° F               |

Capacidad de llenado Capacidad de combustible 340 L / 90 gal Sistema de enfriamiento 40 L / 10.4 gal Sistema hidráulico - total 68 L / 17.7 gal Sistema hidráulico - tanque 38 L / 9.9 gal Aceite de motor 29.5 L / 7.8 gal Mandos finales/Diferencial 47 L / 12.2 gal Caja del tándem (cada una) 49 L / 12.7 gal Caja de cojinetes de las puntas de eje de la rueda delantera 0.5 L / 0.13 gal Caja de mando del círculo 7 L / 1.8 gal

## Cargadores de ruedas 966G WHA



### Especificaciones detalladas

|                                                                 |                                          |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Motor                                                           |                                          |
| Modelo de motor                                                 | Cat 3306 DITA                            |
| Potencia en el volante                                          | 175 kW / 235 hp                          |
| Poder de uso                                                    | 189 kW / 253 hp                          |
| Potencia máx. en el volante                                     | 189 kW / 253 hp                          |
| Pesos                                                           |                                          |
| Peso en orden de trabajo                                        | 24643 kg / 54215 lb                      |
| Cucharones                                                      |                                          |
| Capacidad del cucharón                                          | 6.5 m <sup>3</sup> / 8.5 yd <sup>3</sup> |
| Especificaciones de operación                                   |                                          |
| Velocidad de desplazamiento                                     | 37.3 km/h / 23.1 mph                     |
| Altura de descarga                                              | 2946 mm / 9.7 pies                       |
| Carga límite de equilibrio estático con máquina recta           | 15877 kg / 35000 lb                      |
| Tiempo de ciclo hidráulico - Subida                             | 7 Segundos / 7 Segundos                  |
| Tiempo de ciclo hidráulico - Descarga                           | 2 Segundos / 2 Segundos                  |
| Tiempo de ciclo hidráulico - Bajada, vacío                      | 2.4 Segundos / 2.4 Segundos              |
| Tiempo de ciclo hidráulico - Total                              | 11.5 Segundos / 11.5 Segundos            |
| Arroja y levanta en toda su capacidad 45° de descarga           | 2964 mm / 9.9 ft                         |
| Extensión al levantar descarga completa 45°                     | 1223 mm / 4 ft                           |
| Extensión de elevo de brazos horizontales y nivel de recipiente | 2755 mm / 9 ft                           |
| Profundidad de excavación                                       | 155 mm / 6 in                            |
| Extensión completa                                              | 8890 mm / 29.2 ft                        |
| Medida de altura con recipiente lleno levanta                   | 6485 mm / 21.3 ft                        |
| Espacio de carga con recipiente en posición de transporte       | 14830 mm / 48.8 ft                       |
| Inclina estatico cargas de 40° m.,-                             | 14148 kg / 31125 lb                      |
| Fuerza de rompimiento                                           | 185.04 kg / 41497 lb                     |
| Capacidad del tanque de combustible                             | 410 L / 108.3 gal                        |



**A N E X O A**  
**MAQUINARIA ESPECIAL PARA RRELLENOS SANITARIOS**

---

**Marca** CATERPILLAR

**Modelo** 973

**Tipo** Cargadoras

**Subtipo** De cadenas

**Horas** 8703

**Precio** \$ 936,845

**Año** 1993

**Rodaje** 50%

**Estado** Cazo de 2.8 m3 , en perfecto orden de trabajo.

**CARGADOR FRONTAL SOBRE ORUGAS 973C WHA**



**A N E X O A**

---

**MAQUINARIA ESPECIAL PARA RRELLENOS SANITARIOS**

**Marca** CATERPILLAR

**Modelo** 966G

**Tipo** Cargadoras

**Subtipo** De ruedas

**Horas** 3918

**Precio** \$ 2'334,906

**Año** 2001

**Estado** Cazo 4 en 1, aire acondicionado, 3ª válvula, en perfecto orden de trabajo.

**Numero de serie** 9RS01247 Fecha de alta : 2002-12-12

**CARGADOR DE RUEDAS 966G WHA**



**A N E X O A**

---

**MAQUINARIA ESPECIAL PARA RRELLENOS SANITARIOS**

**Marca** CATERPILLAR

**Modelo** 120G

**Tipo** Motoniveladoras

**Subtipo** Motoniveladora

**Horas** 12202

**Precio** \$ 893,606

**Año** 1990

**Estado** Erops, hoja central y frontal, 4x50% y 2 muy bajas, en buen estado de trabajo.

**Numero de serie** 4HD01001 Fecha de alta : 2002-12-11

**MOTONIVELADORA 120G**



**A N E X O A**

---

**MAQUINARIA ESPECIAL PARA RRELLENOS SANITARIOS**

**Marca** CATERPILLAR

**Modelo** D6M LGP

**Tipo** Bulldozers

**Subtipo** De cadenas

**Horas** 2100

**Precio** \$ 1'859,277

**Año** 2001

**Estado** Con ripper de tres dientes, hoja de 6 posiciones, en perfecto orden de trabajo.

**Numero de serie**

Fecha de alta: 2003-04-10

**BULLDOZER D6M LGP**



**A N E X O A**

**MAQUINARIA ESPECIAL PARA RRELLENOS SANITARIOS**

---

**BULLDOZER D6M**



**ESPECIFICACIONES**

|                                           |                                            |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Motor                                     |                                            |
| Modelo de motor                           | Cat 3116T                                  |
| Poder de uso                              | 114 kW / 153 hp                            |
| Potencia en el volante                    | 104 kW / 140 hp                            |
| Motor RPM                                 | 2100 RPM / 2100 RPM                        |
| Numero de cilindros                       | 6                                          |
| Barrena                                   | 105 mm / 4.13 in                           |
| Embolada                                  | 127 mm / 5 in                              |
| Desplazamiento                            | 6.6 L / 403 in <sup>3</sup>                |
| Pesos                                     |                                            |
| Peso en orden de trabajo                  | 16200 kg / 35640 lb                        |
| Hoja                                      |                                            |
| Tipo de hoja                              | VPAT, SU                                   |
| Tren de rodaje                            |                                            |
| Rodillos en cada lado                     | 7                                          |
| Ancho de cadena estándar                  | 600 mm / 2 pies                            |
| Area de ocntacto con el suelo con zapatas | 3.06 m <sup>2</sup> / 4743 in <sup>2</sup> |
| Entrevía                                  | 1.89 mm / 6.2 pies                         |
| Longitud de cadena sobre el suelo         | 2500 mm / 8.3 pies                         |
| Tanque de combustible                     |                                            |
| Capacidad del tanque de combustible       | 311 L / 82.2 gal                           |

**ANEXO B**

**NORMA OFICIAL**

**MEXICANA**

**(NOM-083-ECOL-1996)**

**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 oleoductos, 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 existirá 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 período 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, ( $\text{seg}^{-1}$ ).

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.

**ANEXO B**

**PROYECTO**

**NORMA OFICIAL**

**MEXICANA**

**(NOM-084-ECOL-1997)**

**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**

| <b>TAMAÑO DEL<br/>ASENTAMIENTO<br/>HUMANO</b> | <b>PARA DISEÑO DE<br/>LA CELDA DIARIA,<br/>PESO<br/>VOLUMETRICO<br/>ton/m<sup>3</sup></b> | <b>PARA EL CALCULO DE VIDA<br/>UTIL PESO VOLUMETRICO<br/>ton/m<sup>3</sup></b> |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| HASTA 500,000<br>HABITANTES.                  | 0.500                                                                                     | 0.750                                                                          |
| MAYORES DE 500,000<br>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 m<sup>3</sup>.

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 m<sup>3</sup>.

## **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:

$$\mathbf{F = 0.0333NTX}$$

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:

$$F = \sum (Xi)^{n2n}$$

Donde:

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

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

n = 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:

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

Donde:

L = Largo de la celda, expresado en metros.

V = Volumen de la celda, expresado en m<sup>3</sup>

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  $18^\circ$ .
  - 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.

**TABLA 2**  
**RANGO DE POBLACION**

| CONCEPTO<br>INSTALACION DE                             | NUMERO DE HABITANTES |                     |                      |                        |
|--------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|
|                                                        | HASTA 50<br>MIL      | 50,001 A<br>200 MIL | 200 MIL A<br>500 MIL | 500 MIL EN<br>ADELANTE |
| AREA DE ACCESO Y ESPERA                                | -                    | *                   | *                    | *                      |
| CERCA O AREA PERIMETRAL                                | -                    | *                   | *                    | *                      |
| CASETA DE VIGILANCIA                                   | *                    | *                   | *                    | *                      |
| CASETA DE PESAJE Y<br>BASCULAS                         | -                    | *                   | *                    | *                      |
| CAMINOS PERMANENTES                                    | *                    | *                   | *                    | *                      |
| AREA DE EMERGENCIA DE<br>DISPOSICION FINAL             | -                    | *                   | *                    | *                      |
| DRENAJES PERIMETRALES E<br>INTERIORES                  | *                    | *                   | *                    | *                      |
| INSTALACION DE ENERGIA<br>ELECTRICA                    | -                    |                     | *                    | *                      |
| POZOS DE MONITOREO<br>PARA LIXIVIADOS                  | -                    | *                   | *                    | *                      |
| SEÑALAMIENTOS FIJOS Y<br>MOVILES                       | *                    | *                   | *                    | *                      |
| SISTEMA DE CAPACITACION<br>DE BIOGAS                   | *                    | *                   | *                    | *                      |
| AREA DE<br>AMORTIGUAMIENTO                             | -                    | -                   | *                    | *                      |
| ALMACEN Y COBERTIZO                                    | -                    | *                   | *                    | *                      |
| AREA ADMINISTRATIVA                                    | -                    | *                   | *                    | *                      |
| SERVICIOS SANITARIOS                                   | -                    |                     | *                    | *                      |
| SISTEMA DE MONITOREO DE<br>BIOGAS                      | -                    | -                   | *                    | *                      |
| SISTEMA DE CAPTACION Y<br>TRATAMIENTO DE<br>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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 apegarse 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.

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 MAXIMO                    | 11.00 °          | 24.30°    | 44.00°           | 23.00°                                 | 57.00°                                 |
| RADIO MINIMO (m)                | 105              | 47        | 26               | 50                                     | 20                                     |
| ANCHO DE CORONA (m)             | 6                | 6         | 6                | 4                                      | 4                                      |
| PENDIENTE MAXIMA (%)            | 8                | 9         | 10               | 5                                      | 5                                      |
| 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 Burklieziegler.

### **Fórmula del método racional americano**

$$Q = C_i A$$

Donde:

Q = Gasto máximo expresado en l/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento; este valor depende del tipo de terreno y del área ya sea urbana o rural así como si es un terreno blando y/o un terreno duro.

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

I =  $K/t+b$  (formula de Steel)

Donde: k y b dependen de la frecuencia de las tormentas y de la región en estudio

t = Es la duración de la tormenta expresada en min.

A = Área por drenar expresado en ha.

### **Fórmula de Burklieziegler**

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

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  $1 \times 10^{-5}$  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  $1 \times 10^{-5}$  m/seg para espesores de 0.3 m. o bien una transmisibilidad hidráulica de  $3 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/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 CAPTACION 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 construidos 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 límite 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.