

G.6 Selección de los Proyectos Prioritarios

Los proyectos que están planeados para construirse en el corto plazo (Fase 1: año 1999 al 2001), como la expansión vertical de la Etapa IV, el establecimiento de la Etapa V y una nueva planta de compostaje, deben ser seleccionados como proyectos primordiales del Estudio.

G.7 Análisis Inicial del Ambiente

G.7.1 Bosquejo y Objetivo del AIA

Este capítulo muestra el AIA (Análisis Inicial del Ambiente) de los tres proyectos propuestos, es decir, el establecimiento de Bordo Poniente Etapa V, la expansión vertical de la Etapa IV y la introducción de una planta de compostaje.

El AIA es un proceso encaminado a determinar (i) si se requiere la EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) detallada, e (ii) si es necesaria, qué tipo de impactos deben estudiarse más detalladamente. El primero se le conoce como *screening* (filtraje) y el segundo como *scoping* (delimitación del alcance). Generalmente, el filtraje lo lleva a cabo una autoridad competente de acuerdo con las leyes y reglamentos concernientes. Por lo tanto, el filtraje que se muestra en este capítulo debe ser interpretado como el proceso mediante el cual el equipo de estudio va a analizar en qué proyecto debe concentrarse el estudio de EIA durante el segundo período de trabajo. Por lo tanto, el AIA tiene como objetivo destinar los recursos disponibles a temas problemáticos seleccionados y entregar el estudio de la manera más eficiente posible.

G.7.2 Proceso del AIA

En México, se dispone de las directrices emitidas por el INE para preparar una MIA, con base en el Artículo 9 y 10 del reglamento de la EIA¹³. Aunque tales artículos se enfocan en los proyectos sujetos a un proceso de MIA a nivel nacional, se asume que la mayor parte de las dependencias gubernamentales a nivel local siguen las mismas directrices, incluso menos estrictas.

La EIA de México cuenta con tres modalidades: general, moderada y especial. Los informes de EIA moderados y/o especiales son requeridos únicamente cuando la autoridad considera, al revisar una MIA general, que se necesita una MIA más precisa. Empero, en la actualidad la SEMARNAP está modificando esta estructura. Bajo estas condiciones, en este momento es suficiente hacer referencia a la EIA de la modalidad general.

Esta guía especifica la estructura del informe de MIA tal y como se muestra a continuación, sin embargo no está adaptada necesariamente para un proyecto de MRS.

Capítulo 1: Datos Generales

Se describe quién va a desarrollar tal tipo de proyecto.

¹³ El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Material de Impacto Ambiental

Capítulo 2: Descripción General de las Actividades Proyectadas

Se explica el proyecto en términos de ciertos elementos tales como su naturaleza, sus objetivos, el proceso de selección del sitio, la preparación del sitio y los métodos de construcción.

Capítulo 3: Aspectos Generales del Medio Natural y Socioeconómico

Este capítulo consiste en lo siguiente.

1. Rasgos físicos: climatología, geomorfología y geología, suelos, hidrología y oceanografía.
2. Rasgos biológicos: vegetación, fauna, ecosistemas y paisaje.
3. Medio socioeconómico: población, servicios, actividades, tipo de economía y cambios sociales y económicos.
4. Vinculación con las Normas y Regulaciones sobre Uso del Suelo.
5. Identificación de Impactos Ambientales.
6. Medidas de Prevención y Mitigación de los Impactos Ambientales Identificados.

Conclusiones.

Respecto a la "Evaluación del Impacto", el Capítulo 3 es un aspecto primordial para la EIA del equipo y se considera que el método instruido por la Guía de JICA¹⁴ puede ser utilizado para el AIA. Éste utiliza un procedimiento matricial en el que se enlistan 23 aspectos ambientales, para que se le preste atención a todos desde la etapa inicial. Los conceptos mencionados anteriormente que están comprendidos dentro del Capítulo 3 son globales.

Utilizando la guía de JICA, se siguen los siguientes pasos.

Paso 1: Para cada aspecto enlistado se considera la posibilidad del impacto ambiental tanto como sea posible con la información disponible en esta etapa. La evaluación tiene un rango que va de A a D de la siguiente manera.

Rango A: Se pueden ocasionar impactos severos.

Rango B: Se pueden ocasionar algunos impactos.

Rango C: Se desconoce el alcance del impacto debido a que no existe suficiente información y/o ésta depende de la ubicación del proyecto.

Rango D: No habrá impacto.

Paso 2: (Filtraje): Se consideraron qué proyectos se requiere de EIA.

Paso 3 (Delimitación de alcance): A partir de los aspectos clasificados como A, B o C, se eligen aquellos que deben ser estudiados a detalle durante el segundo estudio en México y se definen los contenidos del trabajo.

¹⁴ *Environmental Guidelines for Infrastructure Projects No. VI, Solid Waste Management*, JICA, Septiembre de 1992.

G.7.3 Evaluación de Factores Ambientales (Paso 1)

Los factores ambientales de la Guía de JICA se muestran en la primera columna del Cuadro G-44. En la segunda y tercera columnas, se explican los posibles efectos en términos generales que pudieran tener lugar durante las etapas de construcción y operación de un proyecto para el MRS. Durante la fase de construcción, la adquisición de terreno, la ocupación del mismo, el uso de equipo para construcción y el tráfico de las vías para la construcción serán las principales causas de los impactos. Durante la siguiente etapa de operación, actividades tales como el transporte de residuos con vehículos y la operación de la instalación involucrada son los factores que determinan las causas. Debe notarse que la "etapa de operación" no significa únicamente una fase operación en concreto sino que incluye una etapa en la que cualquier influencia causada por el proyecto permanece igual después de terminado el proyecto.

La parte derecha del cuadro muestra la evaluación a través de los rangos A-D de cada aspecto ambiental para los tres proyectos de E/F, junto con las razones para la evaluación.

Cuadro G-44: Evaluación de Factores Ambientales

Notas:

- Las actividades "durante la construcción" incluyen la adquisición del terreno, ocupación del terreno, uso de equipo para construcción y tráfico de vías para construcción.
- Las actividades "durante la operación" incluyen el tráfico de vehículos con residuos y las operaciones de la instalación involucrada (relleno y compostaje por ejemplo).
- Evaluación de los posibles impactos ambientales se expresa en los rangos de A a D.
 Rango A: Se pueden ocasionar impactos severos.
 Rango B: Se pueden ocasionar algunos impactos.
 Rango C: Se desconoce el alcance del impacto debido a que no existe suficiente información y/o ésta depende de la ubicación del proyecto.
 Rango D: No habrá impacto.

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones
Ambiente social.								
Reubicación	Reubicación de la gente que vive en el terreno propuesto o sobre la ruta de acceso.		D	No existen necesidad de reubicar a ningún habitante.	D	La misma que para BP V	D	La misma que para BP V
Actividades Económicas.	Disturbios en las actividades económicas.		D	No existen actividades económicas que puedan ser afectadas por el proyecto.	D	La misma que para BP V	D	Incluso puede haber un impacto positivo en la economía local, ya que el compostaje es una actividad económica para recuperar recursos.
Transporte	Incremento de tráfico y accidentes.	Incremento de tráfico y accidentes.	D	El cambio al tráfico debe ser mínimo ya que el sitio está cerca del actual.	D	No hay cambios en el tráfico	D	Ya que la planta de compostaje estará cerca de BP V y BP IV, no habrá cambios mayores en la ruta de transporte de residuos.
Instalaciones Públicas.	Impacto en escuelas, hospitales, etc. debido al tráfico y ruido.	Impacto en escuelas, hospitales, etc. debido al tráfico y ruido.	D	No se afecta a instalaciones públicas.	D	La misma que para BP V	D	Las mismas que para BP IV.
División de la Comunidad.	Separación geográfica de la comunidad o interrupción de sus comunicaciones.		D	El sitio está en zona federal en la cual no hay comunidades.	D	La misma que para BP V	D	La misma que para BP V

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones
Herencia Histórica/ propiedad cultural.	Pérdida o devaluación de éstos, tales como iglesias, restos arqueológicos y activos históricos.	Devaluación de éstos por el tráfico de vehículos con residuos.	D	No se afecta a alguna herencia histórica o propiedad cultural.	D	La misma que para BP V.	D	La misma que para BP IV.
Derechos del agua/ derechos a vías de acceso.	Obstrucción a derechos de pesca, derechos al agua y derechos de acceso a las vías comunes.		D	El sitio es propiedad de la federación y ni los derechos del agua ni de vías de acceso están asociados a él.	D	Se ha utilizado este sitio para el relleno de residuos por parte del GDF.	D	La misma que para BP IV.
Salud Pública		Degradación de la salud pública debido a los residuos que se caen de los vehículos, a la existencia de una gran cantidad de residuos en un área limitada y la proliferación de insectos/agentes patógenos en el lugar.	B	Los residuos son transportados en vehículos y cubiertos con lonas para reducir la cantidad de residuos que caen. La práctica de operación de relleno debe planearse adecuadamente para que el sitio no atraiga insectos o agentes patógenos en demasía.	B	La misma que para BP V.	B	La misma que para BP V.
Residuos (del proyecto)	Generación de residuos de la construcción y escombros.		D	No está planeada la excavación, por lo que los residuos generados de la construcción son mínimos.	D	La misma que para BP V.	D	Los residuos serán transportados a BP IV ó V, y ambos se encuentran cerca de la planta de compostaje.
Accidentes/Riesgos		Explosión del gas (CH ₄) del relleno, penetración del CO ₂ en hogares, incendios, deslaves, presión lateral sobre la tierra.	B	El sitio recibe solamente residuos no peligrosos, por lo que no se generarán reacciones químicas. El diseño y la práctica del relleno reducirán los riesgos posibles. Una distancia pertinente de cualquier estructura física reducirá el efecto causado sobre la misma debido a la presión lateral.	B	La misma que para BP V.	B	La instalación sólo recibe residuos orgánicos separados. El diseño de la planta debe permitir la descomposición aeróbica para que la generación de gas sea mínima.
Ambiente Natural								
Topografía y Geología.	Cambios en la topografía y geología debido a las excavaciones.	Cambios en la topografía y geología valiosos debido a los trabajos de relleno.	D	El cambio topográfico es inevitable, pero la topografía y geología del sitio no son de particular valor.	D	La misma que para BP V.	D	La misma que para BP V.

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango
Erosión del suelo.	Incremento de la erosión de la tierra por la preparación del suelo o deforestación.		Si existe vegetación se quitará para preparar las celdas del relleno, por lo que es improbable que se cause erosión del suelo.	D	Ya se aplicó la cubierta de tierra al sitio y el trabajo esencialmente es apilar los residuos.	D	No se hizo mayor modificación al terreno.	D
Acuífero del subsuelo		Cambios en los niveles y calidad del acuífero subterráneo debido a los lixiviados.	El nivel del acuífero superficial es casi el mismo que el subterráneo y el agua es demasiado salina para utilizarse. Pero existe otro acuífero más profundo. Se deben prever las prácticas y la tecnología hidrológica del acuífero subterráneo para el sitio.	B	Se debe utilizar una técnica apropiada para el manejo de los lixiviados.	B	Cuando llueve demasiado, el agua con contenido de lixiviados puede rezumar de los residuos, por lo que tiene que manejarse apropiadamente.	B
Condiciones hidrológicas.	Cambios en las descargas en los ríos y en los lechos.	Cambios en las descargas en los ríos o en sus lechos por afluentes del sitio.	No existen cuerpos de agua superficiales que puedan ser afectados.	D	No existen cuerpos de agua superficiales que puedan ser afectados.	D	No existen cuerpos de agua superficiales que puedan ser afectados.	D
Zona costera	Impacto en la zona costera.	Impactos en las zonas costeras.	No existe una costa cerca del sitio.	D	La misma que para BP V.	D	La misma que para BP V.	D
Flora y Fauna	Obstrucción en la reproducción de especies naturales y/o su extinción por la interrupción o pérdida de sus hábitats.		Debe examinarse si existen especies importantes de flora y/o fauna que deban ser protegidas, cuál es su importancia y la distancia entre el sitio y su hábitat.	C	Ya que el terreno está ocupado por el relleno, no existe vida silvestre importante.	D	No existe vida silvestre importante.	D
Meteorología	Cambios en la temperatura, dirección del viento, y/o intensidad, etc.	Cambios en la temperatura, dirección del viento intensidad, etc.	La escala del proyecto no es lo suficientemente grande como para afectar la meteorología.	D	Se prevé cualquier cambio meteorológico.	D	La misma que para BP IV.	D
Paisaje/Estética	Cambio del paisaje.	Disminución del valor estético debido a la existencia de rellenos.	El trabajo de relleno puede resultar en cambios al paisaje.	B	La misma que para BP V.	B	No se prevé cualquier cambio importante en el paisaje.	D
Contaminación del Aire.	Deterioro de la calidad del aire debido al creciente tráfico.	Deterioro de la calidad del aire debido al creciente tráfico y polvo de los residuos de caminos, a los gases del relleno y/o humo/polvo por la operación del sitio.	El tráfico no aumenta más del nivel actual, pero la modalidad del mismo puede cambiar dependiendo de la ubicación de BP V. El polvo de las obras de relleno debe reducirse. Se debe considerar el control de los gases del relleno.	B	El tráfico no aumenta más del nivel actual. El polvo de las obras de relleno debe reducirse. Se debe considerar el control de los gases del relleno.	B	El tráfico no aumenta más del nivel actual. El polvo de las obras de la planta debe reducirse.	B

Factores a Evaluar	Posible causa y Efecto (Guía general para el proyecto de MRS)		BP V		BP IV		Planta de Compostaje	
	Durante la Construcción	Durante la Operación	Rango	Razones	Rango	Razones	Rango	Razones
Contaminación del agua.	Deterioro de la calidad del agua superficial y/o acuífero subterráneo debido a la afluencia de arena/lirio de las obras de preparación del terreno.	Deterioro de la calidad del agua superficial y/o acuífero subterráneo debido a la afluencia de arena/lirio y lixiviados del sitio.	B	Se debe examinar la unión hidrológica entre el agua de la superficie y las medidas de control de lixiviados.	B	Se debe utilizar una técnica apropiada de manejo de lixiviados.	B	Cuando llueve demasiado, el agua con contenido de lixiviados puede rezumar de los residuos, por lo que tiene que manejarse apropiadamente.
Contaminación del suelo.		Contaminación del suelo por filtraciones de lixiviados.	B	Se deben examinar las características del suelo y las medidas de control de lixiviados.	B	Se debe utilizar una técnica apropiada de manejo de lixiviados.	B	Cuando llueve demasiado, el agua con contenido de lixiviados puede rezumar de los residuos, por lo que tiene que manejarse apropiadamente.
Ruido y Vibraciones.	Ruido y vibraciones causadas por las operaciones de construcción y/o vías de construcción.	Ruido y vibraciones causadas por los vehículos con residuos y/o el equipo del sitio para relleno.	D	Existe una distancia suficiente del sitio a la población adyacente.	D	El nivel del ruido y de la vibración debe ser el mismo que el actual.	B	La volteadora y el molino de cuchillas pueden causar un ruido fuerte.
Hundimientos del terreno.	Hundimientos del terreno por deformación del mismo.		D	El hundimiento sólo se limita al área de relleno. (Se vigila la presión lateral en el aspecto de "Riesgo" mencionado anteriormente).	D	La misma que para BP V.	D	El hundimiento sólo se limita al área de la instalación.
Olores penetrantes		Olores causados por los residuos esparcidos por los vehículos y/o residuos del relleno del sitio.	B	Los residuos son transportados y cubiertos con lona; después del relleno se cubren con tierra. Se debe examinar la dirección del viento y áreas de vivienda.	D	No habrá cambios en el efecto del olor.	B	La instalación estará localizada y diseñada para minimizar el efecto del olor.

G.7.4 Paso 2: Screening (Filtraje)

Examinando las dos columnas del cuadro correspondientes a los proyectos de Bordo Poniente Etapa V y Bordo Poniente Etapa IV y además comprendiendo la similitud de sus características, es razonable considerar que el estudio de impacto ambiental del primero dará una implicación suficiente acerca del impacto ambiental del último. Por lo tanto, el equipo de estudio de JICA concluyó que no se llevará a cabo el estudio de EIA exclusivo para el proyecto de la expansión vertical de la Etapa IV.

G.7.5 Paso 3: Scoping (Delimitación Del Alcance)

En el paso 3 se consideraron con atención específica los trabajos que serían necesarios durante el siguiente proceso de EIA. Éstos se resumen en el Cuadro G-45.

Tal y como muestra el cuadro, existen dos tipos de trabajos. Uno es la recopilación de información y el análisis de la misma para entender de manera clara las posibles causas y efectos y elaborar las medidas para contrarrestarlas, si es necesario (indicadas con viñetas oscuras). El otro tipo es la elaboración de diseños de instalaciones para mitigar los impactos ambientales calculados por adelantado (indicados con viñetas blancas y letras cursivas).

Si se considera la restricción de recursos disponibles y de tiempo durante el segundo trabajo de estudio, es razonable recomendar el poner especial cuidado en los temas que necesitan del primer tipo de trabajos, es decir la recopilación de información y entendimiento del problema. Se incorporará el segundo tipo de trabajo a los trabajos de diseño técnico, posteriormente se hará una revisión final y un dictamen de viabilidad como parte de la EIA.

Se debe recalcar que la delimitación del alcance arriba descrita no describe estrictamente el rango del estudio. No obstante, implica una asignación razonable de recursos dentro de los puntos de relativa importancia.

Cuadro G-45: Delimitación del Alcance

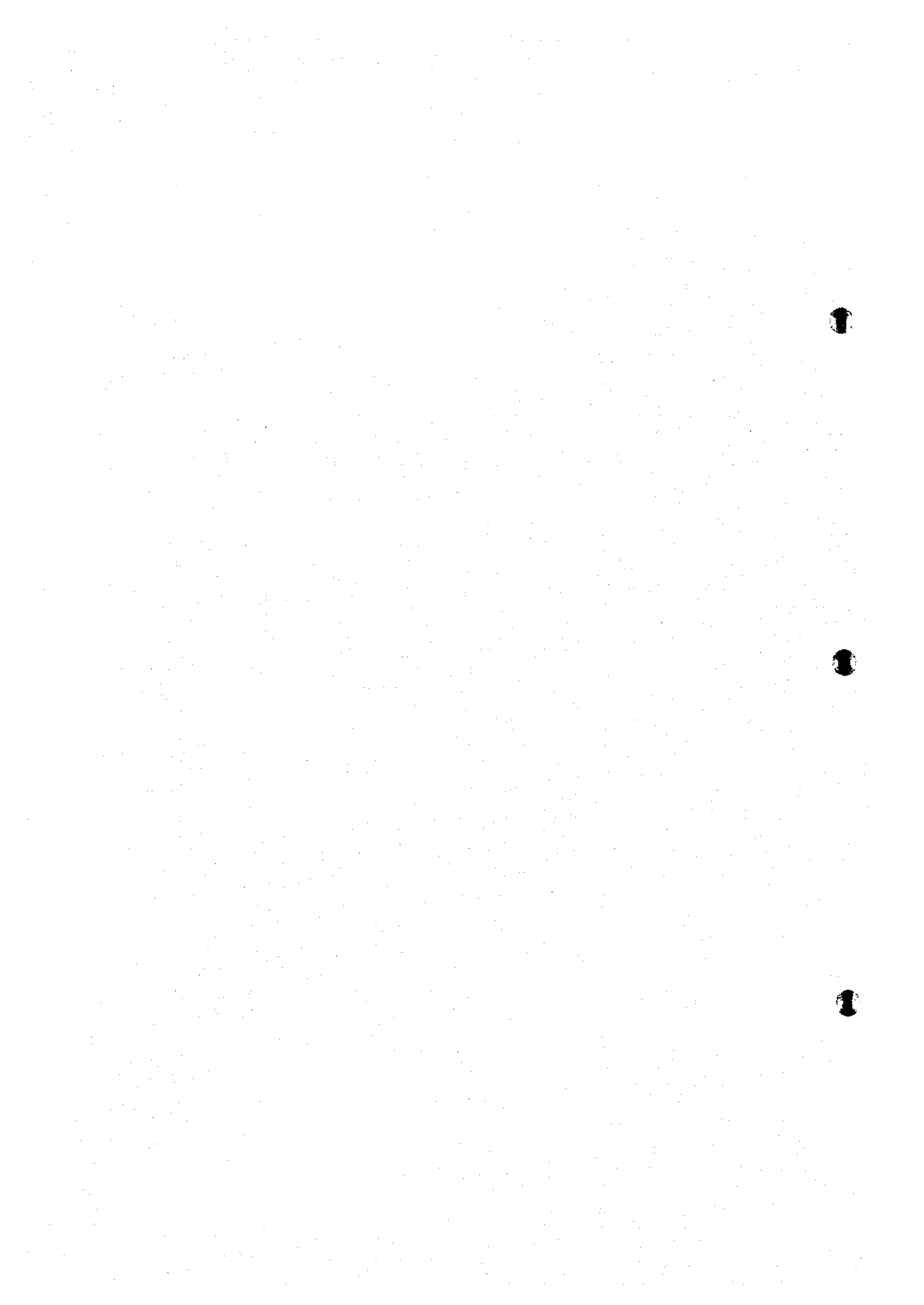
Aspectos de Evaluación	BP V		Planta de Compostaje	
	Rango	Descripción del trabajo	Rango	Descripción del trabajo
Salud Pública	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurar una operación apropiada del relleno para evitar la proliferación de insectos y/o agentes patógenos. 	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurar una operación apropiada de la planta para evitar la proliferación de insectos y/o agentes patógenos.
Accidentes/ Riesgos	B	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la distancia del sitio al área de vivienda. • Examinar el área de influencia de la presión lateral de la tierra y si se encuentran instalaciones dentro de esa área. <input type="checkbox"/> Asegurar una operación eficiente del relleno para reducir los posibles riesgos 	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurar la descomposición aeróbica para minimizar la generación de gas
Acuífero subterráneo	B	<ul style="list-style-type: none"> • Examinar la hidrología subterránea. • Obtener datos de referencia de la calidad del acuífero subterráneo. <input type="checkbox"/> Asegurarse de que la tecnología para el relleno sea apropiada para la hidrología subterránea. 	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurar un drenaje apropiado de la superficie.
Flora y Fauna	C	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información acerca de la vida silvestre en el área. • Estudiar el nivel de impacto del proyecto sobre éstos si existen especies importantes dentro del área de influencia. 		
Paisaje/ estética	B	<ul style="list-style-type: none"> • Examinar el cambio en el paisaje y evaluar su impacto. 		
Contaminación del aire	B	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información acerca de la ruta para transporte de residuos. • Estudiar la meteorología. <input type="checkbox"/> Asegurar que la práctica de relleno reduzca el polvo en los residuos y que controle la emanación de gases del mismo. 	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurar que la operación de la planta reduzca el polvo en los residuos y que controle la emanación de gases del mismo.
Contaminación del agua	B	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información acerca de la hidrología del agua superficial. • Obtener información de referencia acerca de la calidad del agua superficial. <input type="checkbox"/> Asegurarse que el diseño del relleno controle los lixiviados. 	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurarse que el diseño del relleno controle los lixiviados.
Contaminación del suelo	B	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información acerca de las características del suelo. • Obtener datos de referencia de la calidad del suelo. <input type="checkbox"/> Asegurarse de que se utilicen medidas para el control de lixiviados. 	B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Asegurar un drenaje apropiado.
Ruido y Vibración			B	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Analizar el nivel de ruido en el sitio y en la periferia
Olores penetrantes	B	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información acerca de la dirección del viento y la ubicación del área de vivienda. • Evaluar los impactos sobre el área de vivienda si se encuentra dentro del área de influencia. 	B	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información acerca de la dirección del viento y la ubicación del área de vivienda. • Evaluar los impactos sobre el área de vivienda si se encuentra dentro del área de influencia. <input type="checkbox"/> Asegurar una operación apropiada para minimizar el efecto del olor.

Notas:

- denota los aspectos que deben llevarse a cabo para entender las posibles causas y efectos.
- denota los aspectos que deben llevarse a cabo para elaborar el diseño de la instalación para mitigar el impacto.

Anexo H

*Estudio de Factibilidad para los
Proyectos Prioritarios*



Indice

	Página
H Estudio de Factibilidad para los Proyectos Prioritarios	H-1
H.1 Delineamiento de los Proyectos.....	H-1
H.1.1 Meta.....	H-1
H.1.2 Delineamiento de los Proyectos.....	H-3
H.2 Diseño Preliminar del Sistema Técnico.....	H-3
H.2.1 Planta de Compostaje.....	H-3
H.2.2 Sitios de Disposición Final.....	H-25
H.2.3 Costo de los Proyectos Prioritarios.....	H-104
H.3 Plan Institucional.....	H-106
H.3.1 Alternativas.....	H-106
H.3.2 Evaluación de las Alternativas.....	H-107
H.3.3 Conclusión.....	H-109
H.4 Plan de Educación Pública.....	H-109
H.4.1 Introducción.....	H-109
H.4.2 Plan de Educación para Proyectos Prioritarios.....	H-110
H.4.3 Elementos a Tomarse en Cuenta en el Proceso Educativo.....	H-112
H.5 Plan de Financiamiento.....	H-113
H.5.1 Principios Directrices para el Análisis de la Evaluación de Necesidades Financieras.....	H-113
H.5.2 Plan de Financiamiento – Evaluación de Necesidades Financieras, Fuentes de Fondos y Flujos de Efectivo Asociados.....	H-115
H.5.3 Evaluación Tipo “Tótem” - Orden Preferencial entre las Formas de Instrumentación.....	H-123
H.6 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	H-127
H.6.1 Alcance del Trabajo de EIA.....	H-127
H.6.2 EIA para la Planta de Compostaje.....	H-133
H.6.3 EIA para el Proyecto de la Etapa V.....	H-144
H.7 Evaluación del Proyecto.....	H-156
H.7.1 Evaluación Técnica.....	H-156
H.7.2 Evaluación Institucional.....	H-157
H.7.3 Evaluación Social de Proyectos Prioritarios.....	H-158
H.7.4 Evaluación Ambiental.....	H-163
H.7.5 Evaluación Financiera.....	H-163
H.7.6 Evaluación Económica.....	H-174
H.7.7 Evaluación Total.....	H-181

Lista de Tablas

	Página
Cuadro H-1: Delineamiento de los Proyectos.....	H-3
Cuadro H-2: Plan de Descarga y Recolección Separada.....	H-3
Cuadro H-3: Cantidad de recolección de residuos orgánicos	H-4
Cuadro H-4: Composición de los Residuos Orgánicos.....	H-4
Cuadro H-5: Comparación de Fermentación Aeróbica y Anaeróbica para el Material Orgánico Fino de los RS Municipales	H-6
Cuadro H-6: Comparación de los Métodos de Fermentación.....	H-7
Cuadro H-7: Calendario de Trabajo en el Proceso de Fermentación.....	H-11
Cuadro H-8: Categorías de Materia Prima.....	H-11
Cuadro H-9: Composición de la Materia Prima	H-12
Cuadro H-10: Parámetros de Diseño	H-12
Cuadro H-11: Cantidad y Calidad de la Composta.....	H-13
Cuadro H-12: Calendario de Construcción de la Planta de Compostaje	H-19
Cuadro H-13: Calendario del Personal	H-21
Cuadro H-14: Estimación Preliminar del Costo de la Planta de Compostaje.....	H-22
Cuadro H-15: Abastecimiento de equipo en el Caso 2	H-23
Cuadro H-16: Costo de Proyecto Prioritario (Planta de Compostaje).....	H-24
Cuadro H-17: Trabajos del Estudio del Suelo en Etapa IV	H-26
Cuadro H-18: Nivel del Agua Subterránea de la Etapa IV	H-26
Cuadro H-19: Resultados del Estudio de los Suelos en la Etapa IV.....	H-27
Cuadro H-20: Condiciones del Subsuelo.....	H-28
Cuadro H-21: Resultado de los Cálculos sobre la Estabilidad de Taludes (Etapa IV).....	H-30
Cuadro H-22: Cálculo Existente sobre la Generación de Lixiviados	H-31
Cuadro H-23: Flujo para Estimar la Generación de Lixiviados.....	H-32
Cuadro H-24: Datos de Precipitación desde 1970 hasta 1999	H-33
Cuadro H-25: Precipitación de Acuerdo al Orden de Magnitud.....	H-34
Cuadro H-26: Valores Thomas Plot y de Precipitación	H-35
Cuadro H-27: Escorrentía e Infiltración.....	H-37
Cuadro H-28: Evapotranspiración Potencial (ETP).....	H-38
Cuadro H-29: Infiltración a Través del Suelo de Cobertura	H-39
Cuadro H-30: CC, CIH y Capacidad de Retención.....	H-40
Cuadro H-31: Cantidad de Disposición de Residuos del año 2001 al 2010	H-41
Cuadro H-32: Aspectos a Analizarse como Alternativas Técnicas	H-41
Cuadro H-33: Infiltración a través del Suelo de Cubierta (50 cm.)	H-43
Cuadro H-34: Comparación de las Alternativas para Disposición de Lixiviados ..	H-44
Cuadro H-35: Esquema del Diseño Conceptual para el Plan de Expansión Vertical.....	H-46
Cuadro H-36: Cantidad de Residuo Dispuesta en la Etapa IV	H-47
Cuadro H-37: Capacidad del Relleno de Etapa IV	H-47
Cuadro H-38: Cronograma Constructivo Conceptual para el Rellenado de los Valles.....	H-58
Cuadro H-39: Costos de Construcción para la Expansión Vertical hasta el año 2010.....	H-59
Cuadro H-40: Costos de Construcción para la Expansión Vertical hasta su Cierre	H-59
Cuadro H-41: Desembolso Inicial para las Bombas para la Disposición de Lixiviados	H-61

Cuadro H-42: Costos del Equipo para el Relleno.....	H-62
Cuadro H-43: Costos de O&M para los Trabajos de Rellenado (Caso 1).....	H-62
Cuadro H-44: Costos para Reemplazar las Bombas para Disponer los Lixiviados.....	H-63
Cuadro H-45: Costos de Operación de las Bombas para Disponer los Lixiviados.....	H-63
Cuadro H-46: Precio por el Alquiler del Terreno.....	H-64
Cuadro H-47: Costos del Equipo para el Relleno.....	H-64
Cuadro H-48: Costos para Diseño y Supervisión del Equipo.....	H-64
Cuadro H-49: O&M por los Trabajos de Rellenado (Caso 2).....	H-65
Cuadro H-50: Resumen de los Costos para el Plan de Expansión Vertical (Caso 1).....	H-66
Cuadro H-51: Resumen de los Costos para el Plan de Expansión Vertical (Caso 2).....	H-66
Cuadro H-52: Aspectos de la NOM-083-ECOL.....	H-69
Cuadro H-53: Cantidad de Trabajo Efectuada en el Estudio de Suelo en la Etapa V.....	H-72
Cuadro H-54: Nivel del Agua Subterránea en la Etapa V.....	H-72
Cuadro H-55: Resultado del Estudio de los Suelos para la Etapa V.....	H-73
Cuadro H-56: Condiciones del Sub-suelo.....	H-74
Cuadro H-57: Tiempo que Transcurre para Diferentes Asentamientos.....	H-75
Cuadro H-58: Resultado de los Cálculos sobre la Estabilidad de Taludes (Etapa V).....	H-77
Cuadro H-59: Esquema del Diseño Conceptual para el Nuevo Relleno Propuesto.....	H-78
Cuadro H-60: Cantidad de Residuos a ser Dispuesta en la Etapa V.....	H-80
Cuadro H-61: Capacidad del Relleno de la Etapa V.....	H-80
Cuadro H-62: Programa Recomendado para Monitoreo.....	H-86
Cuadro H-63: Costos de Construcción para el Desarrollo del Nuevo Relleno hasta el Año 2010.....	H-99
Cuadro H-64: Costos de Construcción para el Desarrollo del Nuevo Relleno hasta su Cierre.....	H-99
Cuadro H-65: Costos del Equipo para Relleno (Caso 1).....	H-102
Cuadro H-66: Costos Iniciales para la Instalación de las Bombas para Disponer los Lixiviados (Etapa V).....	H-102
Cuadro H-67: Costos para Reemplazar las Bombas para Disponer los Lixiviados (Etapa V).....	H-102
Cuadro H-68: Costos de Operación de la Bombas para Disponer los Lixiviados.....	H-103
Cuadro H-69: Precio por el Alquiler del Terreno.....	H-103
Cuadro H-70: Resumen de los Costos para el Desarrollo de un Nuevo Relleno (Caso 1).....	H-103
Cuadro H-71: Resumen de los Costos para el Desarrollo de un Nuevo Relleno (Caso 2).....	H-104
Cuadro H-72: Costo de los Proyectos Prioritarios, Caso de Operación Directa por la DGSU.....	H-105
Cuadro H-73: Costo de los Proyectos Prioritarios, Caso de Contratación.....	H-106
Cuadro H-74: Opciones para la Operación de la PC y los RS.....	H-109
Cuadro H-75: Programación de Educación Pública.....	H-110
Cuadro H-76: Plan Educativo para Proyectos Prioritarios.....	H-111
Cuadro H-77: Marco Institucional (Casos).....	H-114

Cuadro H-78: Fuente de Recursos	H-114
Cuadro H-79: Costos de Financiamiento en Dependencia de la Combinación de Componentes y Fuente.....	H-116
Cuadro H-80: Necesidades Financieras dentro de la DGSU por Opción	H-117
Cuadro H-81: Resumen de "Situación de Ingresos" por Opción	H-118
Cuadro H-82: Calendario de Pagos Indicativo para la Alternativas	H-119
Cuadro H-83: Resumen de la Delimitación de Alcance	H-128
Cuadro H-84: Tasa de Disponibilidad de Servicios Públicos (1995).....	H-133
Cuadro H-85: Descripción del Proyecto de la Planta de Compostaje.....	H-134
Cuadro H-86: Tiempo Máximo Permisible de Exposición al NCSE	H-140
Cuadro H-87: Condiciones Previas para Evitar Impactos Ambientales	H-144
Cuadro H-88: Descripción del Proyecto del Sitio de Disposición Final en la Etapa V.....	H-145
Cuadro H-89: Condiciones Previas para Evitar Impactos Ambientales	H-155
Cuadro H-90: Estimación de Empleos Requeridos para Procesamiento de Material Reciclable(1999-2010).....	H-161
Cuadro H-91: Evaluación Social de Proyectos Prioritarios	H-162
Cuadro H-92: Ingreso Bruto y Disponible por Beneficiario.....	H-166
Cuadro H-93: VPP y Transferencia Reales de Dinero por Beneficiario.....	H-167
Cuadro H-94: Totales de VPP Revelada, Transferencia Real de Dinero y VPP Hipotética en el DF, 1998	H-167
Cuadro H-95: CMLP por Componente del Proyecto y Marco Institucional.....	H-168
Cuadro H-96: TGIF por Variante de Beneficio y Componente del Proyecto – Alternativa 1, porcentaje.....	H-169
Cuadro H-97: TGIF por Variante de Beneficio y Componente del Proyecto – Alternativa 2, porcentaje.....	H-169
Cuadro H-98: TGIF por Variante de Beneficio y Componente del Proyecto – Alternativa 3, porcentaje.....	H-169
Cuadro H-99: TGIF por Variante de Beneficio y Componente del Proyecto – Alternativa 4, porcentaje.....	H-169
Cuadro H-100: Resumen de Costos Financieros por Alternativa.....	H-171
Cuadro H-101: Resumen de Costos Económicos.....	H-177
Cuadro H-102: Resumen del Flujo Neto de Efectivo para el VPNE.....	H-181
Cuadro H-103: Resumen de Factibilidad Económica por Componentes e Índices de Medición	H-181

Lista de Figuras

	Página
Figura H-1: Ubicación de los Proyectos Prioritarios	H-2
Figura H-2: Resultados de la Muestra de Perforación en la "Etapa IV " (SM-8).....	H-6
Figura H-3: Sistemas Principales para Fermentación.....	H-8
Figura H-4: Diagrama de Flujo de la Planta de Compostaje Propuesta.....	H-14
Figura H-5: Balance de Materiales de la Planta de Compostaje.....	H-15
Figura H-6: Plano de la Planta de Compostaje Propuesta	H-17
Figura H-7: Corte Transversal A-A de la Planta de Compostaje Propuesta.....	H-18
Figura H-8: Asentamiento del Subsuelo.....	H-29
Figura H-9: Asentamiento del Subsuelo y la Membrana.....	H-29
Figura H-10: Generación de Lixiviados.....	H-31

Figura H-11: Precipitación vs. Thomas Plot.....	H-35
Figura H-12: Configuración Actual de las Capas del Relleno.....	H-36
Figura H-13: Alternativas para Disposición de Lixiviados	H-45
Figura H-14: Curva de Altura vs. Volumen (Etapa IV).....	H-48
Figura H-15: Impermeabilización de los Caminos del Primer Nivel.....	H-52
Figura H-16: Líneas para recolección y drenaje de lixiviados.....	H-53
Figura H-17: Caminos Externos en el Primer, Segundo, y Tercer Nivel.....	H-55
Figura H-18: Tubería Vertical (para Recolección/Bombeo de Lixiviados, Eliminación de Biogas)	H-56
Figura H-19: Ubicación del Nuevo Sitio (Etapa V).....	H-68
Figura H-20: Ubicación del Gasoducto	H-71
Figura H-21: Asentamiento del Subsuelo	H-76
Figura H-22: Asentamiento del Subsuelo y la Geomembrana.....	H-76
Figura H-23: Configuración del Sistema de Impermeabilización.....	H-78
Figura H-24: Curva de Altura vs. Volumen (Etapa V).....	H-81
Figura H-25: Esquema del Relleno de la Etapa V	H-83
Figura H-26: Instalaciones para Controlar el Transporte de Residuos	H-84
Figura H-27: Plano de Planta del Primer Nivel (0 m. de elevación)	H-93
Figura H-28: Plano de Planta del Segundo Nivel (8 m. de elevación)	H-94
Figura H-29: Plano de Planta del Tercer Nivel (16 m. de elevación).....	H-95
Figura H-30: Plano de Planta del Relleno Terminado	H-96
Figura H-31: Sección Transversal A-A'.....	H-97
Figura H-32: Sección Transversal de los Caminos.....	H-98
Figura H-33: Evaluación Tipo Tótem - Orden Preferencial entre las Opciones... H-125	
Figura H-34: Relación de Causa-Efecto (Proyecto para Planta de Compostaje).. H-143	
Figura H-35: Relación de Causa - Efecto (Proyecto de Relleno Etapa V)	H-154
Figura H-36: Ejemplo de Distribución del Ingreso en el DF, 1998	H-165

1

2

3

4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

H Estudio de Factibilidad para los Proyectos Prioritarios

H.1 Delineamiento de los Proyectos

H.1.1 Meta

Los sitios de disposición final son componentes indispensables del manejo de residuos sólidos del GDF para proporcionar servicios de limpieza a los ciudadanos. Sin embargo, debido a la urbanización dentro y alrededor del DF, cada año se dificulta para el GDF reservar terrenos para utilizarlos como sitios de disposición final. Lo que es más, los sitios de disposición final existentes cuentan con una capacidad bastante limitada, por lo que representan un tema crítico y urgente dentro del MRS del DF (la vida útil de servicio es hasta inicios del año 2001.).

Por lo tanto, el GDF requiere de acciones como las siguientes:

- reducción de la cantidad de disposición final.
- establecimiento de un nuevo sitio para disposición final.

para cumplir con su misión de manejo de residuos sólidos. Además, para facilitar las acciones requeridas para la “reducción de la cantidad de disposición final” y resolver el tema crítico del “establecimiento de un nuevo sitio para disposición final”, se seleccionaron proyectos prioritarios; así como su diseño preliminar, costo estimado y viabilidad.

En la práctica, los proyectos prioritarios comprenden los siguientes:

- **una planta de compostaje** para procesar los residuos orgánicos que se entregan de manera separada a partir del sub - sistema y cuyo objetivo principal es prolongar la vida útil de los sitios de disposición final.
- **la expansión vertical** del sitio existente de disposición final (BP-IV) y la construcción de un **nuevo sitio de disposición final (BP-V)**.

La Figura H-1 muestra la ubicación de estos proyectos prioritarios.

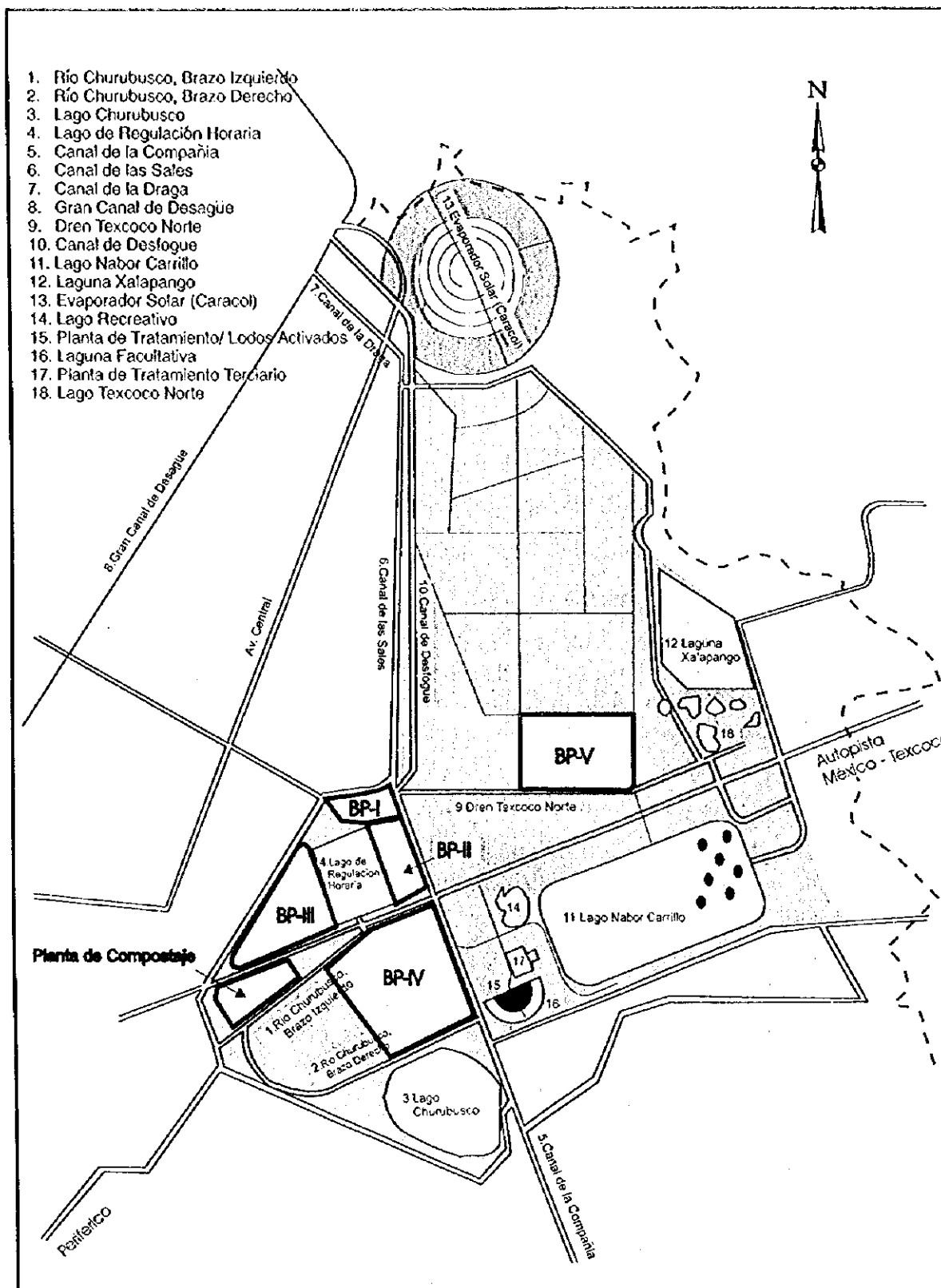


Figura H-1:
Ubicación de los
Proyectos Prioritarios

KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.

H.1.2 Delineamiento de los Proyectos

El Cuadro H-1 muestra el delineamiento de los proyectos.

Cuadro H-1: Delineamiento de los Proyectos

	*Actual	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Población	8,610,000	8,654,000	8,698,000	8,747,000	8,796,000	8,846,000	8,896,000
Cantidad Generada de residuos (ton/año)							
Domiciliarios	1,925,000	1,946,000	1,956,000	1,967,000	1,976,000	1,989,000	1,999,000
Comerciales	1,210,000	1,217,000	1,221,000	1,225,000	1,230,000	1,234,000	1,238,000
Servicios	636,000	639,000	641,000	645,000	647,000	650,000	657,000
Especiales	133,000	135,000	135,000	135,000	137,000	137,000	137,000
Otros	265,000	267,000	269,000	269,000	272,000	273,000	274,000
Total	4,169,000	4,204,000	4,222,000	4,241,000	4,262,000	4,283,000	4,302,000
Compostaje							
**Calendario de construcción y operación	E/F	D/B, P/P (1)	P/P (2), D/D, S/V	CON(3/5)	OP(3/5)	OP(4/5)	OP(5/5)
					CON(1/5)	CON(1/5)	
Capacidad de tratamiento (ton/día)	-	-	-	-	750	1,000	1,250
Cantidad tratada (ton/año)	-	-	-	-	253,000	338,000	424,000
Disposición Final							
**Calendario de construcción y operación	BP-IV	E/F	D/B	D/D, CON	OP	-	-
	BP-V		D/B	D/D	CON	OP	OP
Sitio que será utilizado	BP-IV	BP-IV	BP-IV	BP-IV	BP-V	BP-V	BP-V
Cantidad de disposición (ton/año)	3,751,000	3,903,000	3,889,000	3,876,000	3,609,000	3,493,000	3,385,000

* : Datos de 1997/1998,

** E/F : Estudio de factibilidad, D/B : diseño básico, D/D : diseño detallado, CON : construcción, OP : operación, P/P : proyecto piloto

H.2 Diseño Preliminar del Sistema Técnico

H.2.1 Planta de Compostaje

a. Análisis de las Condiciones de Diseño

a.1 Capacidad de Diseño

Se delineó la capacidad de la planta de compostaje bajo el supuesto de que se entregará e introducirá en la planta la cantidad total de residuos orgánicos generados en el sub - sistema.

Se planea introducir la recolección separada en el sub - sistema a partir del año 2000, alcanzando su difusión total (100%) en el año 2004. El Cuadro H-3 muestra el cálculo de la cantidad de residuos orgánicos que ingresarán hasta el año 2010.

Se calcula que la operación de la planta de compostaje iniciará en el año 2002 y la separación de residuos orgánicos en ese año será de 60%, y la planta tendrá que recibir 100% de los residuos orgánicos separados del sub - sistema para el año 2004. Por lo tanto, la planta deberá construirse del año 2001 al 2003 para mejorar su capacidad de manera gradual, y así controlar el aumento en la tasa de separación de residuos orgánicos.

Cuadro H-2: Plan de Descarga y Recolección Separada

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Plan de Descarga y Recolección Separada	Descarga Mezclada					100%		Descarga Separada				

Cuadro H-3: Cantidad de recolección de residuos orgánicos

unidad: 1,000 ton/año

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Residuos orgánicos	0	84	168	253	338	424	425	426	428	429	430	431

a.2 Composición de los Residuos

El Cuadro H-4 muestra la composición de los residuos orgánicos que se utilizó para el diseño de la planta, con base en la cantidad proyectada de residuos y las tendencias de composición previstas en el marco del P/M. Se calculó en 90% la tasa efectiva de separación en la fuente, teniendo como base el nivel de 92% alcanzado en los proyectos pilotos de la DGSU para la separación en fuente.

Se estima que el contenido de humedad es el siguiente:

- cerca de 78%, calculado a partir de los datos empíricos de la DGSU para los componentes respectivos y a partir de una serie de datos también empíricos registrados en Japón.
- cerca de 68%, que es la cantidad de humedad que el equipo obtuvo de las investigaciones de campo para la composición de residuos.

Por lo tanto, el contenido de diseño de humedad se encuentra entre un máximo de 78% y un mínimo de 68%.

Cuadro H-4: Composición de los Residuos Orgánicos

Composición	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de humedad de cada componente (%)	Contenido de humedad (%)
Residuos orgánicos			
Fibra dura vegetal	2.29	*68	1.56
Hueso	1.02	*68	0.69
Residuo alimenticio	78.38	**90	70.54
Residuo de jardinería	8.3	***40	3.32
Total orgánicos (a)	90		76.11
Residuos reciclables			
Cartón	0.99	***24	0.24
Fibra sintética	0.19	***17	0.03
Hule	0.04	***17	0.01
Latas	0.27	***4	0.01
Metal	0.41	***4	0.02
Metal no ferroso	0.05	***4	0
Papel	0.46	***24	0.11
Periódico	0.83	***24	0.2
Plástico de película	0.77	***17	0.13

Composición	Contenido de materia orgánica (%)	Contenido de humedad de cada componente (%)	Contenido de humedad (%)
Plástico rígido	0.67	***8	0.05
Vidrio de color	0.34	***8	0.03
Vidrio transparente	0.58	***8	0.05
Total reciclables (b)	5.58	-	0.88
Residuos no reciclables			
Abatelenguas	0	-	-
Algodón	0.23	***19	0.04
Piel	0.01	***9	0
Envase de cartón	0.43	***24	0.1
Gasa	0	-	-
Jeringa desechable	0	-	-
Loza y cerámica	0.05	***8	0
Madera	0.33	***24	0.08
Material de construcción	0.38	***8	0.03
Papel sanitario	1.09	***24	0.26
Pañal desechable	0.25	***80	0.2
Placas radiológicas	0	-	-
Poliuretano	0.02	***17	0
Poliuretano expandido	0.12	***17	0.02
Toalla sanitaria	0	-	-
Trapos	0.23	***19	0.04
Vendas	0	-	-
Residuo fino	0.92	***24	0.22
Otros	0.35	***24	0.08
Total de no reciclables (c)	4.42	-	1.07
Total (a+b+c)	100	-	78.06

*: resultados del sondeo de composición de residuos

** : Harina Vegetal a Partir de Residuos Orgánicos, LUGARDA ARACELI SANTOS PEREZ, MARGARITA GUTIERREZ ROJAS, VICTOR MANUEL FLORES VALENZUELA, DGSU

***: Lineamiento de diseño para las plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales en Japón, 1978 (supervisión editorial del Ministerio de Salud y Bienestar de JAPÓN)

a.3 Condiciones Geológicas

No existen datos de muestreo geológico del sitio candidato para la planta de compostaje; sin embargo, este lugar se encuentra cerca de Bordo Poniente Etapa IV, cuya información geológica se utilizó (ver Figura H-2) para analizar el diseño de la planta de compostaje.

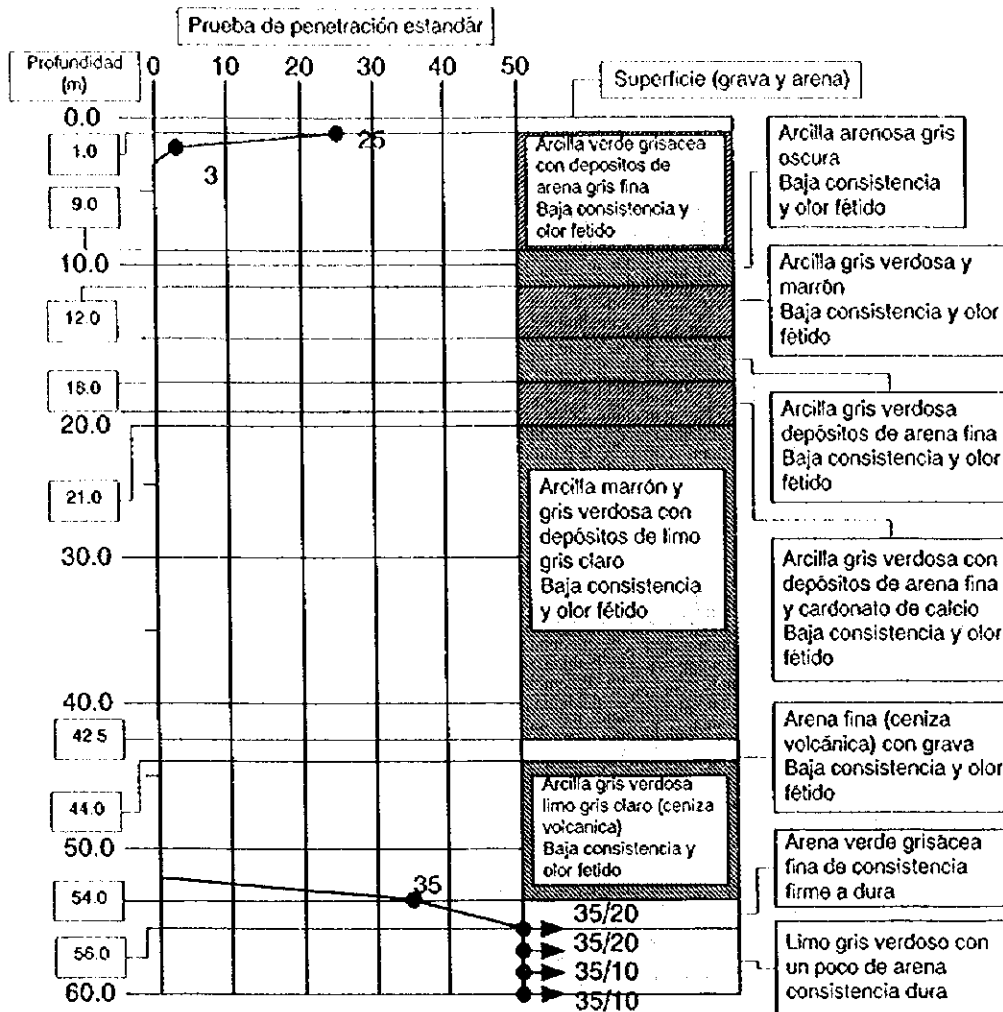


Figura H-2: Resultados de la Muestra de Perforación en la "Etapa IV" (SM-8)

b. Análisis de la Alternativa Técnica

b.1 Alternativa Básica

Existen dos tipos básicos para el proceso de fermentación de los materiales orgánicos finos presentes en los residuos sólidos municipales: el "proceso aeróbico" y el "anaeróbico". El Cuadro H-5 muestra la comparación entre los dos procesos.

Cuadro H-5: Comparación de Fermentación Aeróbica y Anaeróbica para el Material Orgánico Fino de los RS Municipales

Características	Proceso aeróbico	Proceso anaeróbico
Uso de energía	Consumidor neto de energía	Productor neto de energía
Producto final	Humus, CO ₂ , H ₂ O	Lodo, CO ₂ , CH ₄
Reducción en volumen	Hasta 50%	Hasta 50%
Tiempo de procesamiento	20 a 30 días	20 a 40 días
Tiempo de maduración	30 a 90 días	30 a 90 días
Objetivo principal	Reducción de volumen	Producción de energía
Segundo objetivo	Producción de composta	Reducción de volumen, estabilización de residuos

Fuente : Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill

Ya que la planta de compostaje es uno de los proyectos prioritarios en el Estudio con el propósito de "reducir la cantidad de disposición final", se seleccionó al proceso aeróbico para el diseño de este proyecto.

b.2 Análisis de la Alternativa Técnica

La fermentación aeróbica puede llevarse a cabo de las siguientes maneras: en pilas; fermentación en pilas estáticas; o dentro de digestores. Incluso la fermentación en pilas se sub - divide en dos: las pilas con tecnología mínima y las pilas de alto desempeño. El Cuadro H-6 muestra la comparación entre estos métodos de fermentación.

En virtud de la situación presente se diseñará este proyecto de acuerdo con el método de pilas de alto desempeño, ya que la DGSU cuenta con la experiencia práctica y el conocimiento para este método, adquirido a través del proyecto en marcha para producir composta a partir de residuos de poda, y el terreno disponible en el sitio candidato es lo suficientemente extenso para establecer este método.

Cuadro H-6: Comparación de los Métodos de Fermentación

	Pila con tecnología mínima	Pila de alto desempeño	Pila estática	Dentro de digestor
Bosquejo	El enfoque de este método consiste en formar pilas largas (aprox. 3.5m de altura por 7.3m de ancho) que son volteadas una sola vez al año con un cargador frontal.	Este sistema emplea pilas con una sección transversal más pequeña, generalmente de 1.5 a 2.0 m de altura por 4 a 5m de ancho. Las dimensiones de las pilas dependen del tipo de equipo que se utilizará para voltear los residuos para fermentación. Los residuos se voltean dos veces por semana y la temperatura se mantiene a unos 55 grados centígrados.	Este sistema de pilas estáticas aireadas consiste en una rejilla de aireación o tubería de escape sobre la cual se colocan los residuos finos orgánicos procesados. La altura común de las pilas es de 2 a 2.5 m. Generalmente se coloca una capa de composta cribada sobre las filas recién formadas para controlar la insolación y los olores.	Esta fermentación está formada por un digestor cerrado. Este sistema puede sub - dividirse en dos categorías: flujo tipo pistón y dinámico (capa con agitación). En el primero, la proporción entre las partículas en la masa de fermentación permanece igual durante todo el proceso, y el sistema opera con base en el principio primeras entradas - primeras salidas. En el sistema dinámico se mezcla el material para fermentación de manera mecánica durante el proceso.
Olores	Probablemente se despidan olores desagradables	Generalmente se despiden olores penetrantes (al voltearlos)	Controlable	Menos que los de pilas estáticas y controlables
Período para descomposición	Tres a cinco años	Tres a cuatro semanas (fermentación) Tres a cuatro meses (maduración)	Tres a cuatro semanas (fermentación) Tres a cuatro meses (maduración)	Una a dos semanas (fermentación) Cuatro a doce semanas (maduración)
Espacio requerido	Muy grande	Grande	Grande	Pequeño
Costo de construcción	Muy barato	Barato	Mediano	Alto
Costo de O & M	Muy barato	Barato	Mediano	Alto

Fuente: Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill.

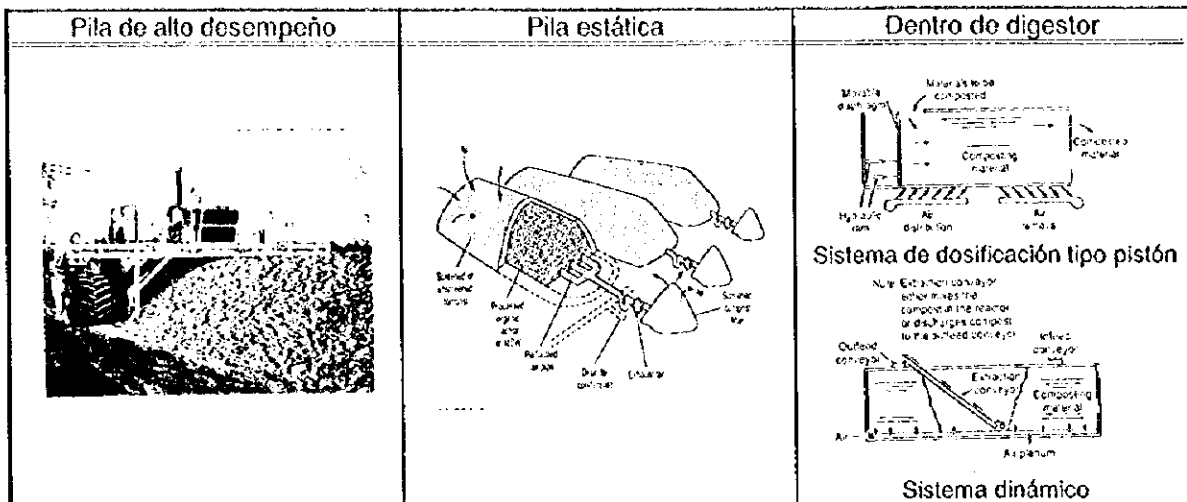


Figura H-3: Sistemas Principales para Fermentación

c. Diseño Conceptual y Estimación de Costos

c.1 Delineamiento

Se planea ubicar la planta de composta en el área triangular de aproximadamente 85 ha y delimitado por (ver Figura H-6):

- un canal denominado Brazo Izquierdo del Río Churubusco y cercano al sitio de disposición final Bordo Poniente Etapa IV.
- la autopista México-Texcoco.
- el Anillo Periférico.

Se determinó que la capacidad de tratamiento de la planta será de 1,250 ton/día, de acuerdo con los siguientes factores:

- 431,000 ton/año de residuos orgánicos que serán tratados para el año meta 2010.
- 350 días/año como días laborales para la planta.

Por otro lado, se calcula que la producción de composta será de 166 ton/día, es decir, aproximadamente 58,000 ton/año.

Los procesos de la planta de compostaje comprenden principalmente los siguientes pasos (ver Figura H-6):

- fermentación.
- maduración.
- separación.

El tiempo del proceso, para propósitos del diseño preliminar, es de 28 días para la fermentación y 120 días para la maduración.

Las instalaciones auxiliares para la planta son las siguientes:

- báscula.
- lugar para recepción de los residuos.
- lugar para almacenamiento.

- taller de mantenimiento para maquinaria/equipo.
- oficina y laboratorio.

c.2 Definición de Términos para el Compostaje

- **Materia prima:** material que va a introducirse a la planta de compostaje, representado por los residuos orgánicos del sub - sistema para este proyecto.
- **Fermentación:** descomposición biológica controlada de los materiales orgánicos bajo condiciones aeróbicas. El producto resultante de este proceso se conoce como **composta fresca**.
- **Período de maduración:** tiempo durante el cual se descompone la materia prima. Se calcularon **28 días** para este diseño preliminar.
- **Volteo:** revolver la pila para mantener las condiciones aeróbicas dentro de la pila.
- **Maduración:** proceso para madurar la composta fresca. El producto resultante de este proceso es la **composta madura**.
- **Período de maduración:** tiempo de estabilización de la materia orgánica, es decir, **120 días**.
- **Separación:** proceso de eliminar los materiales no compostables voluminosos (como plásticos, vidrio, latas, metal, etc.) y los materiales que aún no se descomponen (como el papel). La composta madura pasa por el separador (la criba o trommel) para eliminar las partículas grandes, y posteriormente se recuperan materiales ferrosos por medio de un separador magnético.
- **Composta:** producto final obtenido de los procesos de fermentación, maduración y separación.

c.3 Parámetro de Diseño de la Planta de Compostaje

c.3.1 Principios de Diseño

- Se planea que la planta de composta inicie operaciones en el año 2002, cuando se alcance en el sub - sistema una recolección separada de alrededor de 60%, por lo que la capacidad requerida para compostaje en esas fechas será de 750 ton/día. Está calculado que esta recolección separada aumentará a 80% en el año 2003 y 100% en el año 2004.
- La instauración del proyecto comprende lo siguiente: la fase 1 (sitio para las pilas con una capacidad de 750 ton/día y un área para la maduración con capacidad de 240 ton/día en el año 2001); y la fase 2 y 3 en el año 2002 y 2003, respectivamente (cada sitio para las pilas con una capacidad de 250 ton/día y un lugar para la maduración con capacidad de 80 ton/día). Se planea que la capacidad total para compostaje será de 1,250 ton/día a partir del año 2004 y se mantenga hasta el 2010.
- Ya que no se puede poner en práctica el mejoramiento gradual de la instalación para la separación, ésta se construirá a 100% de su capacidad en el año 2001.

- Si se considera que el sitio para el proyecto se encuentra sobre un terreno suave muy compresible (en la región del antiguo lago de Texcoco), se tiene estipulado que la maquinaria/equipo a incorporarse en las instalaciones sea tipo móvil, para que así se eviten los problemas de asentamiento del suelo durante la operación de la planta.

c.3.2 Parámetros de Diseño Principales

c.3.2.1 Tiempo de Operación para la Planta de Compostaje

Se proponen las siguientes condiciones operativas para las instalaciones.

- La planta operará las 24 horas, para reducir el costo y magnitud de la maquinaria planeada para el procesamiento.
- La recepción de materia prima corresponderá con el programa de recolección. Por lo tanto, se recibirá materia prima 12 horas al día.
- El tiempo de operación anual para las secciones de fermentación y maduración son 350 días por año, tomando en cuenta 15 días para el mantenimiento general de las instalaciones y/o días feriados.
- Se estima que en las secciones de fermentación 20 de las 24 horas serán de operación, y el resto (4 horas) serán para el mantenimiento rutinario a la maquinaria, los cambios entre turnos, etc. Habrá tres (3) turnos en este proceso.
- Para la sección de maduración con trabajos durante 16 horas, 14 de éstas serán para operación y las dos restantes de mantenimiento de la maquinaria, además de los cambios entre turnos, etc. Habrá 2 turnos en este proceso. Ya que la cantidad diaria manejada en la sección de separación es substancialmente pequeña en comparación con la cantidad manejada en las otras dos secciones, se propone un tiempo de operación de 350 días/año y 16 horas/día para la separación, con dos (2) turnos.

c.3.2.2 Hipótesis de Diseño

A continuación se muestran las hipótesis para el diseño preliminar. Sin embargo, se recomienda ampliamente volver a analizar y/o verificarlos a través de un proyecto piloto antes de formular el diseño final detallado (en el año 2000).

- **Período de Fermentación:** Se calcula un factor de diseño para el período de fermentación de 20 a 30 días. Este diseño preliminar propone un período de 28 días para el fermentación, añadiendo un margen de seguridad para las variaciones en el contenido de humedad de la materia prima que presente un alto contenido de humedad.
- **Frecuencia de Volteo:** Se plantea instrumentar cinco (5) volteos durante los 28 días del período de fermentación con un intervalo de cinco o seis días. La transferencia de la composta fresca al área de maduración en el día 28 también se cuenta como el quinto volteo. En caso de que la materia prima que se entrega en la planta tenga un alto contenido de humedad, se deberá llevar a cabo un volteo adicional para acelerar la evaporación uno o dos días después de formar las pilas de la materia prima. El diseño estima una temperatura para las pilas de

55 °C. El Cuadro H-7 muestra un calendario estándar de trabajos para el proceso de fermentación.

Cuadro H-7: Calendario de Trabajo en el Proceso de Fermentación

1 ^{er} día	Formación de pilas
5 ^{to} día	1 ^{er} volteo
10 ^{mo} día	2 ^{do} volteo
16 ^{vo} día	3 ^{er} volteo
22 ^{vo} día	4 ^{to} volteo
28 ^{vo} día	Composta fresca llevada al área de maduración como 5 ^{to} volteo

- **Período de maduración:** El factor de diseño para este período toma generalmente de 30 a 90 días. El diseño preliminar calcula 120 días como período de maduración para contar con el tiempo suficiente para maduración de la composta. El espacio reservado para la maduración en 120 días también servirá como un sitio de almacenamiento (para la composta madura).
- **Peso volumétrico y proporción de C/N:** Se utilizaron los resultados del peso volumétrico y la proporción C/N, obtenidos en septiembre de 1998, de la investigación de campo del Equipo acerca de los residuos orgánicos como las cifras para la materia prima. Las cifras (como por ejemplo del peso volumétrico) para la composta fresca y madura se obtuvieron a partir de valores empíricos registrados en Japón.
- **Contenido de Humedad:** Se calculó que el contenido de humedad es de 78% a 68%; la primera cifra proviene de los datos empíricos de la DGSU, mientras que la segunda es de los resultado obtenidos en la investigación de campo por parte del Equipo. Los contenidos de humedad de diseño para la composta fresca y madura se obtuvieron a partir de valores empíricos registrados en Japón.
- **Contenido de Producto Compostable:** El análisis de la DGSU clasifica a la materia prima en 35 categorías. Éstas a su vez se clasifican en materiales de descomposición y no compostables para el diseño preliminar. Los materiales de descomposición se clasifican en descomposición acelerada y descomposición lenta (papel y madera) (ver Cuadro H-8).

Cuadro H-8: Categorías de Materia Prima

Categoría de Materia Prima	Las 35 categorías incluyen
Descomposición acelerada	Fibra vegetal, residuos alimenticios y de jardinería
Descomposición lenta (papel y madera)	Cartón, Papel, Periódico, Madera, Papel sanitario
Metal	Latas, Metal
No compostables	Otros

Respecto a esta agrupación, se muestra el contenido de sólidos de los correspondientes residuos (descomposición acelerada, papel y madera, metal, otros) y de agua (por peso) en tres casos para el contenido de humedad, siendo éstos de 68%, 78% y el promedio de ambos (73%). El Cuadro H-9 también incluye el contenido de humedad de los residuos alimenticios.

Cuadro H-9: Composición de la Materia Prima

Componente (% por peso)	Contenido de humedad 1	Contenido de humedad 2	Contenido de humedad 3
Contenido de humedad de la materia prima	68.00	73.00	78.00
Descomposición acelerada	23.61	18.61	13.61
Papel y madera	2.81	2.81	2.81
Metal	0.65	0.65	0.65
No compostables	4.93	4.93	4.93
Total	100.00	100.00	100.00
Contenido de humedad en residuos alimenticios	77.16	83.54	89.92

Fuente: Basado en el Cuadro 3-4

c.3.2.3 Resumen de los Parámetros de Diseño

El Cuadro H-10 resume los parámetros de diseño basados en los factores de compostaje establecidos arriba.

Cuadro H-10: Parámetros de Diseño

Sección de fermentación		
Materia prima (residuos orgánicos)	Cantidad	431,000 ton/año
	Cont. a ser compostado	16.6 % peso - 26.6 % peso
	Contenido de humedad	68 % peso - 78 % peso
	Peso volumétrico	280 kg/m ³
	C/N	20 - 27
Operación		350 días/año 20 horas/día
Capac. de tratamiento	Total	1,250 ton/día
	Año 2002	750 ton/día
	Año 2003	1,000 ton/día
	Año 2004 y adelante	1,250 ton/día
Pila	Ancho (Parte inferior)	Trapezoide *1 5.0 m *1
	Ancho (Parte superior)	3.0 m *1
	Altura	1.5 m *1
	Área de Sección transversal	6.0 m ² *1
Período de fermentación		28 días
Frecuencia de volteo		1 vez/5 - 6 días
Temperatura de pila		55°C
Sección de maduración		
Operación		350 días/año 20 horas/día
Capac. de tratamiento	Total composta fresca	400 ton/día (max.) *2
	Año 2002	240 ton/día
	Año 2003	320 ton/día
	Año 2004 y adelante	400 ton/día
	Contenido de humedad	45 %
	Peso volumétrico	600 kg/m ³
Período de maduración		120 días
Separación		
Operación		350 días/año 16 horas/día
Capac. de tratamiento	Composta madura	300 ton/día (max.) *2
	Contenido de humedad	30 %
	Peso volumétrico	600 kg/m ³

*1: Estas cifras se refieren a la especificación de la máquina de volteo utilizada por la DGSU para la fermentación de residuos verdes (pasto, ramas podadas) de parques y jardines.

*2: Estas cifras se calculan a partir del *1 con base en las condiciones proporcionadas en la sección c.5 "Balance de materiales".

c.3.3 Cantidad y Calidad de la Composta

El Cuadro H-11 muestra la calidad y cantidad de la composta enfocada para el diseño preliminar.

- El contenido de humedad de la composta debe tener un valor reducido (por ejemplo 30%), con el propósito de mitigar los impactos del olor al ambiente circundante.
- Se incluye un camión cisterna dentro del plan para la maquinaria de la planta para ajustar el nivel de humedad del producto final, considerando la posibilidad de que el mercado solicite una composta con mayor grado de humedad. Este camión cisterna también puede utilizarse para humedecer las pilas.

Cuadro H-11: Cantidad y Calidad de la Composta

Cantidad		166 ton/día 58,000 ton/año
Calidad	Contenido de Humedad	30 % peso
	Peso volumétrico	600 kg/m ³
	Proporción C/N	< 15

c.4 Flujo de Proceso de la Planta de Compostaje

La Figura H-4 muestra el flujo de la planta de compostaje.

- El proceso es el siguiente: primero es el proceso de fermentación de la materia prima (triturado, formación de pilas y volteo de la materia prima); segundo, el proceso de maduración (formación de pilas y maduración durante 128 días); tercero, el proceso de separación (eliminación de objetos extraños con un tamaño mayor a 25 mm con una criba o trommel y un separador magnético).
- No se recomienda otra secuencia del proceso (separar en primer o segundo lugar) por las siguientes razones.
 - 1) Se anticipa que la mayor parte de productos no compostables se separarán en la fuente generadora. Se considera a la recolección separada de los residuos orgánicos en el subsistema como el primer paso de separación en el proceso de la composta.
 - 2) Cualquier material no compostable en los residuos provoca espacios dentro de la pila. Esto proporciona una condición favorable para suministrar oxígeno para ayudar a la descomposición aeróbica.
 - 3) La separación de la composta madura es más eficiente que la composta fresca, ya que: a) el contenido de humedad de la primera es menor que el de la segunda, haciendo a la composta madura menos cohesiva y más fácil de separar; y b) la primera tendrá partículas más pequeñas que la segunda, por lo que se rechazará una menor cantidad de material orgánico.
 - 4) Ya que la cantidad de composta madura es menor que la de la composta fresca, la instalación para separar puede ser menor y reduce algunos costos.

c.5 Balance de Materiales

La Figura H-5 muestra el balance de materiales en la planta de compostaje para el caso de un contenido de humedad de 73%. Se calculó un nivel de 60% de descomposición para los materiales compostables de descomposición acelerada y 40% para el material de descomposición lenta, de acuerdo con la experiencia en Japón.

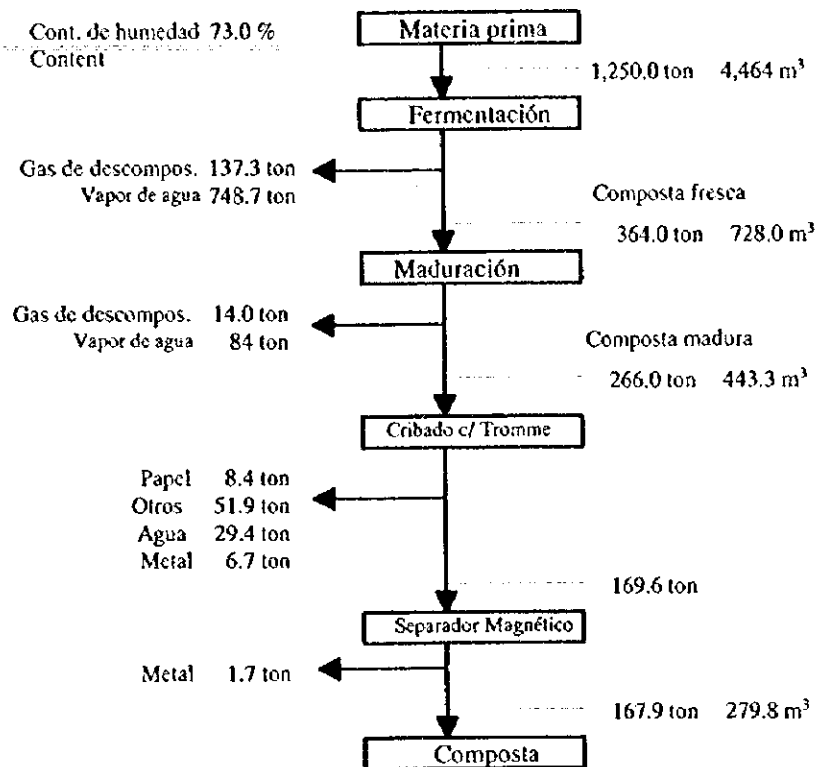


Figura H-5: Balance de Materiales de la Planta de Compostaje

c.6 Plano de la Planta de Compostaje

Se preparó la propuesta del plano de la planta de compostaje considerando los siguientes aspectos.

- Para evitar la influencia sobre las estructuras de los canales, la planta estará separada del margen del canal por lo menos 60 metros a partir del margen del brazo izquierdo de Río Churubusco.
- El área para fermentación de las pilas representa una porción muy grande del área total de la planta. Por lo tanto, el plano considera el trazado del dibujo para las pilas y en consecuencia las áreas para maduración y el sitio de separación, para tener un transporte eficiente dentro del sitio.
- El sitio propuesto para la planta de compostaje está ubicado cerca del sitio de disposición Bordo Poniente Etapa IV y la planta de selección. Para establecer rutas de transporte directas se hace necesario la construcción de puentes ya que ambos sitios (planta de compostaje y el sitio de disposición/planta de selección)

se encuentran divididos por el Río Churbusco. Sin embargo, se estima que los costos para construcción de puentes son sumamente caros. Pero favorablemente, el sitio de la planta de compostaje está unido al Anillo Periférico, cuyo camino puede ser utilizado para el transporte de residuos y composta sin realizar grandes gastos en construcción puentes.

- Para poder mitigar los olores y el ruido ocasionados principalmente al estar formando las pilas y volteándolas, se propone una zona de amortiguamiento de más de 100 metros entre las pilas y las vías principales más cercanas.
- Ya que algunas veces se presentan ventarrones en los alrededores, el plano incorpora una cortina arbórea que funcionará para mitigar el ruido generado y, además, mejorará la apariencia de la planta.

La Figura II-6 ilustra el plano propuesto de la planta de compostaje, y la Figura II-7 muestra el corte transversal de la misma.

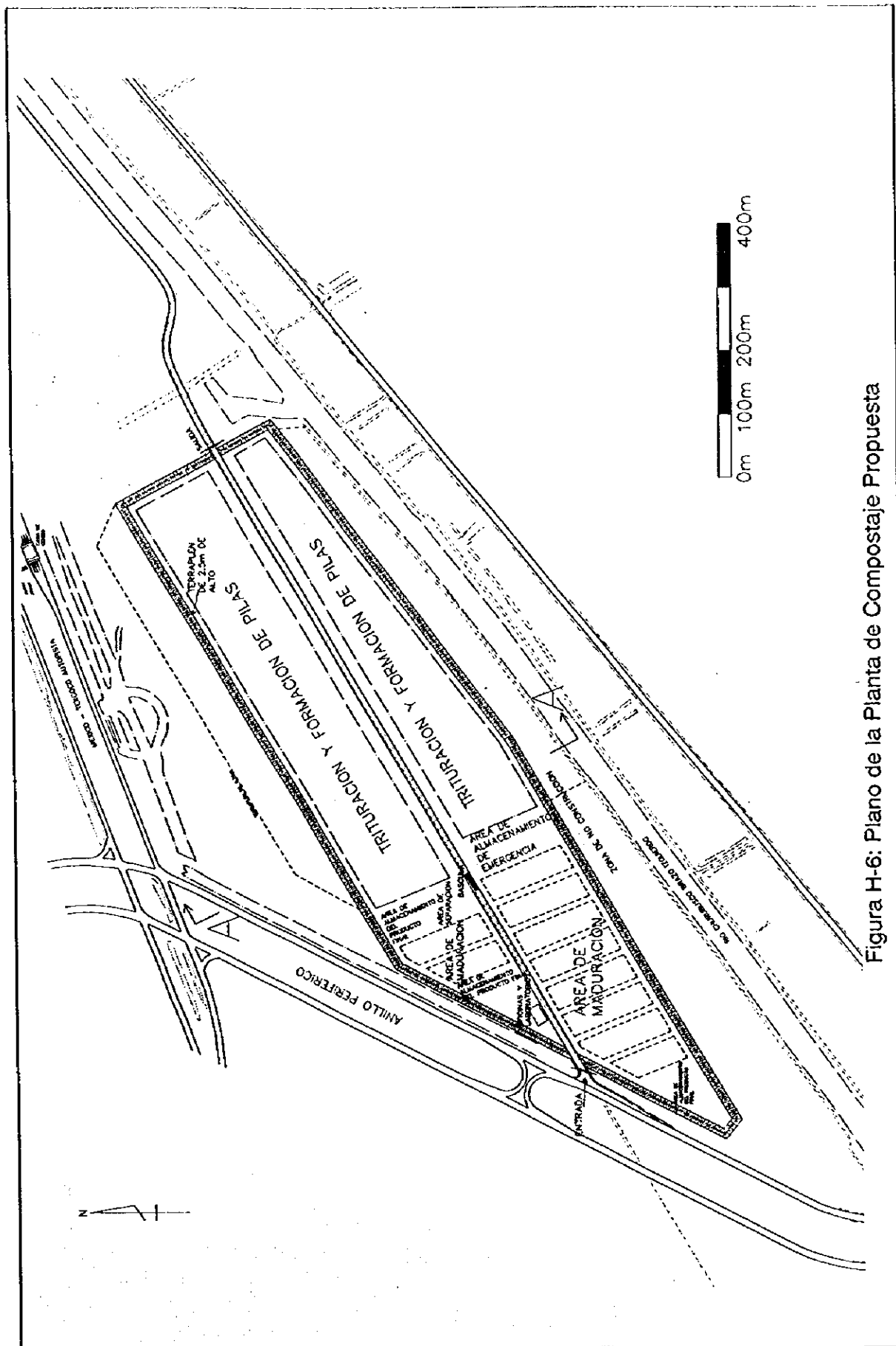
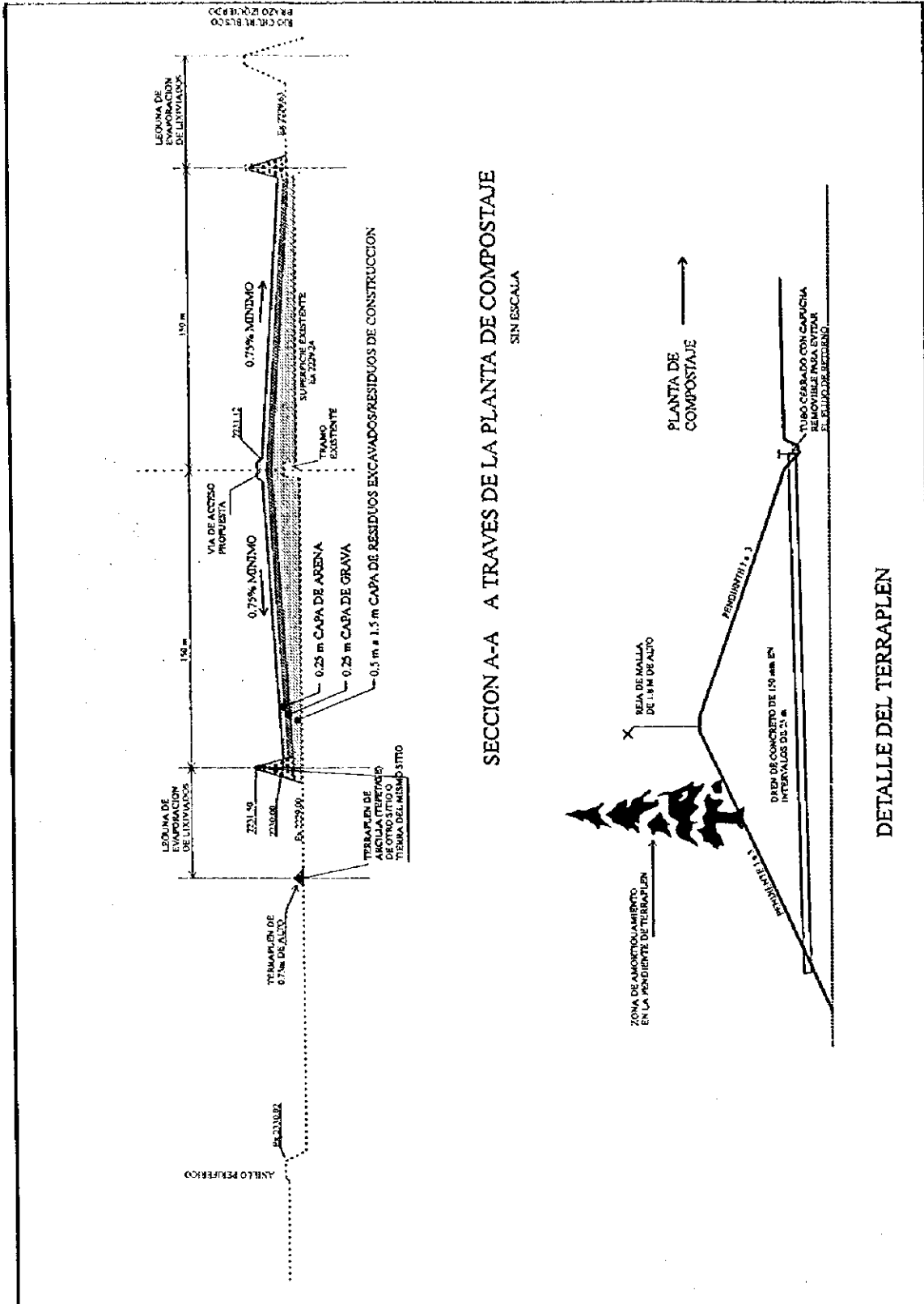


Figura H-6: Plano de la Planta de Compostaje Propuesta



SECCION A-A A TRAVES DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE
SIN ESCALA

DETALLE DEL TERRAPLEN

Figura H-7: Corte Transversal A-A de la Planta de Compostaje Propuesta

c.7 Calendario de Construcción

El Cuadro H-12 muestra el calendario de construcción para la planta de compostaje.

Cuadro H-12: Calendario de Construcción de la Planta de Compostaje

Año	2001	2002	2003	2004	2010
Capacidad requerida (ton/día)	---	750	1,000	1,250	1,250
Sección de fermentación (ton/día)	750	250	250	---	---
Sección de maduración (ton/día)	240	80	80	---	---
Sección de Separación (ton/día)	300	---	---	---	---

c.8 Plan de Operación

El plan de operación propuesto es el siguiente.

c.8.1 Báscula para Camiones

Esta báscula pesa las cantidades de materia prima que entran, la composta producida que abandona el sitio, los materiales ferrosos recuperados y el rechazo.

c.8.2 Sección de Fermentación

Un ingreso de residuos orgánicos de 1,250 ton/día da una longitud total para las pilas de 800 metros por día.

- Se debe descargar temporalmente la materia prima que se entregue cerca del lugar planeado para las pilas.
- Debe haber disponible un cargador frontal y un molino de cuchillas móvil en el sitio propuesto para las pilas, para poder cargar la materia prima depositada temporalmente al molino. Las pilas se forman con una banda transportadora conectada a la salida del molino y moldeadas con el cargador frontal y manualmente por trabajadores.
- Se debe llevar a cabo el volteo de las pilas de acuerdo con el calendario mencionado en la sección anterior. El cargador frontal y los trabajadores deben limpiar el área y hacer el reacomodamiento de la pila.
- Se debe controlar periódicamente la temperatura y el contenido de humedad de todas las pilas.
- Después de la fermentación de 28 días, el cargador frontal debe cargar la composta fresca a un camión de volteo para ser transportada al área de maduración. El cargador frontal y los trabajadores deben preparar la sección para las pilas en donde se encontraba previamente la composta fresca para así recibir nueva materia prima triturada.

c.8.3 Sección de Maduración

Si se considera la cantidad de composta fresca que se va a manejar diariamente y la eficiencia esperada en el trabajo, se debe contar con dos áreas para maduración.

- Se debe descargar la composta fresca traída desde el área de fermentación cerca del área de maduración.
- La composta fresca descargada debe apilarse por medio de un cargador frontal a una altura de 3 metros para formar una pila de maduración.
- Se debe controlar periódicamente la temperatura y el contenido de humedad de todas las pilas de maduración a diferente altura.
- Después del período de maduración de 120 días, la composta madura debe cargarse a un camión de volteo con la ayuda de un cargador frontal y transportarla a la sección de separación. El cargador frontal y los trabajadores deben preparar la sección de maduración en donde se encontraba previamente la composta madura para así recibir composta fresca para maduración.

c.8.4 Sección de Separación

- Se debe introducir la composta madura que se descarga (con un cargador frontal compacto) de un camión de volteo a una tolva con una banda transportadora, la cual acarrea la composta madura a la criba o trommel. Debe haber personal para controlar la alimentación, dar mantenimiento y limpieza al área de separación.
- La criba, con tamices de 8 mm y 25 mm, separa la composta madura introducida en tres categorías: composta de gran calidad (8 mm y menos); composta de calidad normal (25 mm y menos) y el material rechazado (25 mm y más).
- Después de la criba, la composta se transporta a un patio para almacenamiento por medio de una banda transportadora con un separador magnético, el cual extrae los metales ferrosos de la composta. Los fragmentos metálicos que se recuperan son almacenados en el patio.
- Los residuos rechazados (25 mm y mayores) son transportados a otro patio por medio de una banda para la disposición final.
- La composta que está apilada en el área de almacenamiento es colocada en un cargador frontal para entregarla a los usuarios.

c.9 Calendario del Personal

El Cuadro H-13 ilustra el calendario de la mano de obra para esta planta de fermentación. Este calendario se calculó a partir del volumen del material procesado y la capacidad de operación de la planta. Se planea conservar a toda la mano de obra para el año 2003, cuando aumente la capacidad de la planta a 80% de la capacidad total de diseño. Se estima que a partir del año 2003 en adelante trabajarán 93 personas en la planta propuesta. El laboratorio de San Juan de Aragón y/o otros realizará los análisis biológicos, físicos y químicos de la composta para controlar el proceso y la calidad del producto.

Cuadro H-13: Calendario del Personal

Puesto	2002				2003 -			
	Turno			Total	Turno			Total
	1	2	3		1	2	3	
ADMINISTRACIÓN								
Gerente del sitio	1	-	-	1	1	-	-	1
Finanzas y promoción del producto	1	-	-	1	1	-	-	1
Secretaria	2	-	-	2	2	-	-	2
Ayudante en general	1	-	-	1	1	-	-	1
Conductor	2	-	-	2	2	-	-	2
subtotal	7	0	0	7	7	0	0	7
OPERACIÓN								
Subdirector del proceso	1	-	-	1	1	-	-	1
Supervisor de triturado	1	1	1	3	1	1	1	3
Supervisor de volteo y maduración	1	-	-	1	1	-	-	1
Operadores del triturador	2	2	2	6	3	3	3	9
Operadores del cargador	4	4	2	10	5	5	3	13
Conductores del tractor	2	2	2	6	3	3	3	9
Oper. del cargador de menor tamaño	1	1	-	2	1	1	-	2
Operador de la máquina de volteo	1	-	-	1	1	-	-	1
Conductores de camiones de volteo	3	3	-	6	4	4	-	8
Inspectores de residuos	1	1	-	2	1	1	-	2
Controladores de tránsito	3	3	-	6	3	3	-	6
Obreros en general	9	6	2	17	10	7	3	20
Trabajador en báscula de camiones	1	1	-	2	1	1	-	2
Conductor del camión cisterna	1	-	-	1	1	-	-	1
Seguridad	2	2	2	6	2	2	2	6
subtotal	33	26	11	70	38	31	15	84
MANTENIMIENTO								
Mecánicos	1	1	-	2	1	1	-	2
subtotal	1	1	0	2	1	1	0	2
Totales	41	27	11	79	46	32	15	93

c.10 Estimación de Costos

El Cuadro H-14 presenta la estimación preliminar de costo. Este cálculo está dividido en dos secciones; mejoras al sitio y equipo.

Cuadro H-14: Estimación Preliminar del Costo de la Planta de Compostaje

Concepto	Detalles	Unidad	Costo unitario US\$	Cantidad	Costo US\$	Costo pesos P9.1=\$1
MEJORAS AL SITIO Terraplenos	Aplicación de capa de 1.0m de residuos de construcción	m ²	1.04	370,000	385,000	3,504,000
	Grava para base, grosor = 0.25 m., A=33 ha	m ³	42	91,000	382,000	3,416,000
	Aplicación de arena, grosor = 0.25, A=33	m ³	5.35	94,000	503,000	4,577,000
	Aplanado de superficie para drenaje	m ²	0.23	330,000	76,000	692,000
Mejoras en general	Terraplenado, construcción de camino de salida, drenaje, enrejado, conexión de electricidad, alumbrado, mejoras a accesos, tanque de combustible, cisternas, construcciones portátiles				599,000	5,451,000
Total de mejoras al sitio					1,945,000	17,700,000
EQUIPO						
Báscula p/camión	80 ton + cimentaciones, etc.	Unidad	60,000	1	60,000	546,000
Cargador frontal (A)	Máquina con cucharón de 5.4m ³	Unidad	125,400	3	376,000	3,422,000
Cargador frontal (B)	Máquina con cucharón de 5.4m ³	Unidad	100,320	2	201,000	1,829,000
Cargador compacto	Retroexcavadora, cucharón de 2.36m/0.84m ³	Unidad	34,320	1	34,000	309,000
Camión de volteo	16m ³ , 10 ton	Unidad	33,660	4	135,000	1,229,000
Tractor convencional	60 hp (total máquina)	Unidad	33,000	3	99,000	901,000
Camión cisterna	8,000 litros	Unidad	28,380	1	28,000	255,000
Molino de cuchillas	Cap. de 30 ton/hora, 175 hp	Unidad	99,000	3	297,000	2,703,000
Máquina de volteo	Cap. de 2,500 ton/hora	Unidad	180,000	1	180,000	1,638,000
Trommel o criba	Tamiz de 8mm y transportadoras	Unidad	201,600	1	202,000	1,838,000
Separador magnético	Imán permanente y marco p=600, ángulo = 25%	Unidad	7,200	2	14,000	127,000
		Unidad	15,000	3	45,000	410,000
Banda transp. (separación)	Capacidad de 2 ton	Unidad	22,500	2	45,000	410,000
Equipo p/recolección						
Total de equipo					1,716,000	15,617,000
Subtotal (1)					3,661,000	33,617,000
Varios 10%					367,000	3,332,000
Costos directos					4,028,000	36,649,000
Gastos generales 30%					1,209,000	10,995,000
Costo de const. total					5,237,000	47,644,000
Contingencias físicas 10%					524,000	4,764,000
IVA 15%					785,000	7,147,000
Costo total					6,546,000	59,555,000

Las mejoras al sitio se basan en la hipótesis que una vez que se decida que este sitio se utilizará para la planta de compostaje, se depositarán residuos de construcción para formar la plataforma sobre la que se ubicará la instalación.

Se propone que este material se compacte en capas de 0.5 m a 1.0 metros de grosor. Sobre ésta base inferior se colocará una capa de grava de 0.25 m de grosor, y sobre ésta una capa superficial de arena, también de 0.25 m. Se propone que haya un terraplén alrededor de la plataforma, elevándose 2.5 m por encima de la superficie existente. Este terraplén tiene un propósito doble: primero, proporcionará una barrera contra inundaciones que resulten del sobreflujo del Brazo Izquierdo de Río Churubusco. En segundo lugar, se formará una zona de amortiguamiento mediante la plantación de árboles en el terraplén. Esta zona reducirá el polvo, olor y ruidos provenientes del sitio. También mejorará el aspecto visual a los transeúntes.

Los costos unitarios para el abastecimiento y transporte de tierra y grava y otras obras civiles se basan en datos de la DGSU.

La mayor parte de los costos unitarios del equipo se obtuvieron de distribuidores locales. Algunos de los equipos seleccionados para el estudio de factibilidad no se distribuyen en México (como los molinos de cuchillas), por lo que se contactaron fabricantes en los EU.

El tipo de cambio utilizado para la estimación de costos en el diseño preliminar es de 9.1 pesos por dólar estadounidense¹.

c.11 Costo del Proyecto Prioritario (Planta de Compostaje)

La Cuadro H-16 muestra los costos del proyecto de compostaje de 1999 al 2010 de manera anual. Los dos casos de abajo aquí muestran la estimación de costos.

- Caso 1: Inversión y operación por parte de la DGSU
- Caso 2: Inversión por parte de la DGSU y contratar la operación

En el caso 1, la DGSU invierte en toda la construcción, proporciona todo el equipo y opera la planta de composta directamente, mientras que en el caso 2 la DGSU invierte en toda la construcción, proporciona algunos de los equipos y una empresa privada abastece el resto de equipo y opera la planta de compostaje mediante un contrato con la DGSU.

- Báscula para camión
- Molino de cuchillas
- Máquina de volteo de pilas
- Trommel o criba (incluye separador magnético y banda transportadora)

Cuadro H-15: Abastecimiento de equipo en el Caso 2

DGSU		Compañía privada	
Báscula para camión:	1	Cargador frontal (A):	3
Molino de cuchillas:	3	Cargador frontal (B):	2
Máquina de volteo de pilas:	1	Cargador compacto:	1
Trommel o criba:	1	Camión de volteo:	4
Separador magnético:	2	Tractor de granja:	3
Banda transportadora:	3	Camión cisterna:	1
		Equipo de recolección:	2

¹ Tipo de cambio basado en el promedio de tasas recientes.

Cuadro H-16: Costo de Proyecto Prioritario (Planta de Compostaje)

unt.: US\$ 1.000

Caso	Año	Diseño Básico		Proyectos Piloto		Diseño Detallado + supervisión		Construcción		Equipo		O & M (contratado)		O & M (directo)		Renta del terreno		Total	
		Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo	Local	Foráneo
Caso 1	1999	50	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	2	60
	2000	-	-	8	2	164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172	2	174
	2001	-	-	-	-	99	-	2,376	-	-	-	-	-	-	-	-	2,508	2,548	5,056
	2002	-	-	-	-	33	-	551	-	530	132	-	-	-	-	-	1,147	662	1,799
	2003	-	-	-	-	33	-	551	-	656	164	-	-	-	-	-	1,273	164	1,437
	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	656	164	-	-	-	-	-	689	164	853
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	656	164	-	-	-	-	-	689	164	853
	2006	-	-	-	-	-	-	-	-	656	164	-	-	-	-	-	689	164	853
	2007	-	-	-	-	13	-	-	-	656	164	-	-	-	-	-	689	164	853
	2008	-	-	-	-	2	-	-	-	2,441	164	-	-	-	-	-	689	2,605	3,296
	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	520	164	-	-	-	-	-	689	684	1,373
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	164	-	-	-	-	-	689	164	853	
Total	50	-	16	4	344	-	3,478	-	6,029	-	5,778	1,444	330	9,996	7,477	17,473	-	-	
	50	-	20	344	-	3,478	-	6,029	-	7,222	-	330	-	-	-	-	-	-	-
Caso 2	1999	50	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	2	60
	2000	-	-	8	2	164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	172	2	174
	2001	-	-	-	-	99	-	2,376	-	1,250	-	-	-	-	-	-	2,508	1,250	3,758
	2002	-	-	-	-	33	-	551	-	177	1,051	-	-	-	-	-	1,749	197	1,946
	2003	-	-	-	-	33	-	551	-	-	-	-	-	-	-	-	1,902	25	1,927
	2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,318	25	1,343
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,318	25	1,343
	2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,318	25	1,343
	2007	-	-	-	-	13	-	-	-	1,186	1,186	-	-	-	-	-	1,318	25	1,356
	2008	-	-	-	-	2	-	-	-	1,142	1,186	-	-	-	-	-	1,318	1,167	2,487
	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	177	1,186	-	-	-	-	-	1,318	202	1,520
2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,186	-	-	-	-	-	1,318	25	1,343	
Total	50	-	16	4	344	-	3,478	-	2,746	10,539	-	873	220	15,630	2,970	18,600	-	-	
	50	-	20	344	-	3,478	-	2,746	10,539	1,093	-	330	-	-	-	-	-	-	

H.2.2 Sitios de Disposición Final

Varias alternativas fueron analizadas tomando en consideración que la vida útil remanente del relleno, que se utiliza actualmente (Etapa IV), es limitada. La contraparte mexicana estima que se completará la altura del relleno a 8 metros hasta febrero del año 2001. En virtud de esto, para poder ampliar y/o asegurar una disposición sustentable de los residuos, las alternativas que se analizaron son el reaprovechamiento de los rellenos, compostaje, plantas de incineración, construcción de un nuevo sitio para relleno, etc.

Finalmente, se eligieron a la expansión vertical del relleno existente (Etapa IV) y el desarrollo de un nuevo relleno (Etapa V) como dos de los tres proyectos prioritarios. En esta sección se evalúan las condiciones de diseño y las alternativas de los dos proyectos; además, se realizaron los diseños conceptuales y las estimaciones de costos para ambos.

H.2.2.1 Plan de Expansión Vertical de la Etapa IV

La Etapa IV es un relleno que se encuentra todavía en operación. Sin embargo, su vida útil es limitada, como se mencionó con anterioridad. La expansión vertical propone disponer residuos hasta una altura de 24 m., con el fin de extender su vida útil.

a. Análisis de las Condiciones de Diseño

Existen algunas restricciones importantes respecto a este plan de expansión vertical de la Etapa IV. Éstas son las siguientes:

- el acuerdo con la CNA.
- la NOM-083-ECOL-1996.
- restricciones técnicas.

El acuerdo con la CNA, que restringe la altura del relleno a 8m, necesita modificarse para realizar este plan.

La NOM-083 es una de las Norma Oficiales Mexicanas que establecen los requerimientos que se aplican para desarrollar nuevos rellenos para los residuos sólidos municipales. La NOM-083-ECOL-1996 no se aplicaba todavía cuando se completó el diseño del relleno de la Etapa IV en 1992. Sin embargo, el diseño tomó en cuenta algunos criterios de regulación de la US EPA, tales como la distancia mínima a un aeropuerto. Dichos criterios al final fueron incluidos en los requisitos de la norma; de hecho, el relleno actualmente cumple con ellos, en general.

Otras restricciones que se presentan están relacionadas con requisitos técnicos acerca del diseño del relleno. Los principales requerimiento técnicos tienen que ver con la evaluación de:

- impactos físicos (asentamiento del subsuelo, etc.) ocasionados por la carga del relleno.
- mejoras para la disposición de lixiviados.
- cantidad de disposición de residuos.

a.1 Impactos Físicos derivados de la Expansión Vertical Propuesta

El área de Bordo Poniente se encuentra sobre una capa arcillosa altamente compresible de 60 metros de grosor del antiguo lago de Texcoco. La Etapa IV se localiza sobre dicho terreno. La carga de los residuos causa el asentamiento de los suelos debajo del relleno debido a las características de los mismos. En el plan de expansión vertical se prevé que si se continúa colocando residuos en ese relleno, el asentamiento del subsuelo será mayor. Considerando lo anterior, se anticipa que un mayor asentamiento del sub-suelo podría dañar el canal de drenaje (Canal de la Compañía) que corre a lo largo del relleno, el cual es uno de los mayores canales de drenaje del área; además, este asentamiento causaría un estiramiento de la geomembrana.

También se espera que la expansión vertical causará inestabilidad de los taludes.

En esta sección, se evalúan aspectos que tienen que ver con los impactos físicos de la expansión vertical; estos puntos se enumeran a continuación:

- Estudio Geológico.
- Influencia sobre el Canal (Canal de la Compañía).
- Influencia sobre la geomembrana.
- Efecto en la estabilidad de los taludes del relleno.

a.1.1 Estudio Geológico

i. Objetivos del Estudio

El objetivo del estudio geológico es adquirir datos del suelo en la Etapa IV para analizar la viabilidad técnica de la expansión vertical. El muestreo de los suelos se realizó durante el 2do. Trabajo de Estudio en México.

ii. Aspectos del Estudio

El estudio se llevó a cabo en Bordo Poniente Etapa IV. El Cuadro H-17 muestra el número de perforaciones y aspectos del estudio.

Cuadro H-17: Trabajos del Estudio del Suelo en Etapa IV

Aspectos	Contenidos del Estudio
Sondeo	2 pozos de sondeo (0 a 40m de profundidad, y 0 a 60m de profundidad)
Pruebas realizadas a los suelos	límite de fluidez, límite de plasticidad, peso unitario, consolidación, granulometría, contenido de agua, compresión tri - axial

iii. Resultados del Estudio

El Cuadro H-18 muestra los niveles del agua subterránea, mientras que las características del suelo derivadas del estudio se resumen en el Cuadro H-19.

Cuadro H-18: Nivel del Agua Subterránea de la Etapa IV

Sitio	Código de la perforación	Nivel del agua subterr. (m.)
Etapa IV	SM-7	0.03
	SM-8	0.35

Cuadro H-19: Resultados del Estudio de los Suelos en la Etapa IV

Ubicación	SM-7		SM-8		
	8.0-9.0m	15.0-16.0m	16.0-17.0m	32.0-33.0m	42.0-43.0m
Características					
Tipo de suelo (observación visual)	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla
Peso específico	2.48	2.632	2.52	2.54	2.54
Peso unitario (ton/m ³)	1.13	1.26	1.18	1.18	1.67
Proporción de vacíos	4.037	5.139	10.399	6.28	4.837
Grado de saturación (%)	102.996	97.7	102.1	100	98.6
Contenido de agua (%)	167.7	238	421.3	247.7	187.2
Límite de fluidez (%)	256	158.3	365.3	270	169.4
Límite de plasticidad (%)	126.7	35	175.9	94.7	76.8
Índice de plasticidad (%)	129.3	112.6	189.4	175.3	92.6
C tri-axial sin drenar (ton/m ²)	0.3	0.2	1.4	0.9	1.1
Ángulo de fricción interno (grados)	2	9	4	0	11
Compresión simple (ton/m ²)	0	2.3	2.03	1.73	8.4
Valor N	0	0	0	0	0
Consolidación (índice de compresión)	1.456	3.825	6.395	5.033	3.392

iv. Hallazgos

El estrato superficial en Etapa IV está formado por un depósito lacustre arcilloso de más de 50m de grosor. Casi todos los valores N del estrato son cero. Existe una capa estable a partir de los 55 m., cuyo valor N es más de 50. El depósito lacustre presenta un contenido alto de agua que va de 160 a 420% y con un bajo peso unitario de aproximadamente 1.20 ton/m³. Por lo tanto, de los resultados del estudio de los suelos, se concluye que el depósito es esencialmente arcilla suave.

a.1.2 Influencia de la Expansión Vertical sobre el Canal

Se realizó el análisis de la influencia de la expansión vertical sobre el canal, utilizando los datos adquiridos en el estudio de suelo mencionado anteriormente. A continuación se presentan las condiciones establecidas para la estimación del asentamiento del suelo y los resultados del análisis.

i. Condiciones para la Estimación de esta Influencia

Se emplearon los datos de las capas de suelo extraídas del pozo de perforación SM-8 para hacer el cálculo. Para los propósitos de la estimación, la capa lacustre se ha subdividido en 10 capas, como lo muestra el Cuadro H-20. Además, se ha supuesto que la carga de residuos será aquella ejercida por residuos dispuestos hasta una altura de 24m.; y el peso unitario de estos residuos, después de su compactación inicial en el relleno, sería de 0.8 ton/m³. Además, se han estudiado dos casos, que dependen de la inclusión ó no de la fuerza ascensional que produce el agua subterránea. El Caso 1 ignora esta fuerza ascensional; mientras que el Caso 2 la toma en consideración.

Cuadro H-20: Condiciones del Subsuelo

Capa	Grosor de la capa (m)	Peso unitario (ton/m ³)
1	1.0	1.80
2	5.5	1.13
3	1.0	1.80
4	8.5	1.26
5	5.0	1.18
6	5.0	1.18
7	6.0	1.18
8	10.0	1.18
9	2.0	1.67
10	10.0	1.18

Nota: Se asume que el nivel del agua tiene una profundidad de 0m, ya que el nivel de esta agua subterránea en el SM-7 fue de 0.03m y en el SM-8 de 0.35m.

ii. Resultados de la Estimación

Los resultados se esquematizan en la Figura H-8. El resultado del caso 1, sin considerar la fuerza ascensional, muestra que el asentamiento final de subsuelo (el máximo hipotético) es de 19.6 m en el centro del relleno, lo cual puede provocar un hundimiento de 8cm en el canal de drenaje que se encuentra a una distancia de 80 metros de dicho centro. Por otra parte, si se considera la fuerza ascensional, como en el caso 2 (el mínimo hipotético), el hundimiento es de 12.6m en el centro del relleno, lo que puede ocasionar un asentamiento de 4cm en el canal de drenaje a una distancia de 80 metros del mencionado centro.

iii. Influencia sobre el Canal (Canal de la Compañía)

Los resultados muestran que el asentamiento máximo del subsuelo es de 19.6 metros y el mínimo de 12.6m. Sin embargo, el cálculo mostrado anteriormente asume las condiciones teóricas más favorables, en las que no se impide el drenado del agua contenida en el subsuelo como resultado de la presión de carga ejercida por los residuos. Por lo tanto, los resultados muestran los valores teóricos máximos del asentamiento. En realidad, el relleno cuenta con una capa impermeable que impedirá el drenaje del agua hacia arriba; además, el suelo de las áreas circunvecinas también está saturado con agua. Por lo tanto, el drenaje del agua del suelo bajo el relleno será impedido en gran medida. En consecuencia, el asentamiento real del subsuelo debe ser menor que el estimado. En resumen, el cálculo sólo muestra un asentamiento de 8cm del canal de drenaje, cuando ocurre el máximo asentamiento teórico que pueda ocasionar la expansión vertical. Por lo tanto, se puede afirmar que el plan de expansión vertical no causará un problema serio para la estructura del canal de drenaje.

a.1.3 Influencia de la Expansión Vertical sobre la Geomembrana

La Figura H-9 esquematiza el asentamiento del subsuelo. Tal y como lo muestra la Figura H-9, la membrana debajo del talud de la primera capa de relleno, sufrirá el esfuerzo de tensión más pronunciado. Este esfuerzo se puede representar como alrededor de 3.0%, en términos de elongación. Sufriendo un estiramiento de 1.5% si se considera el caso unidimensional ($32.47 \text{ m}/32 \text{ m}=1.015$) y de 3.0 % si se considera el estiramiento por área de membrana o sea el caso bidimensional

considera el estiramiento por área de membrana o sea el caso bidimensional ($32.47^2/32^2=1.030$). Se estima que esta elongación puede ser asimilada por la geomembrana, de acuerdo con sus propiedades mecánicas.

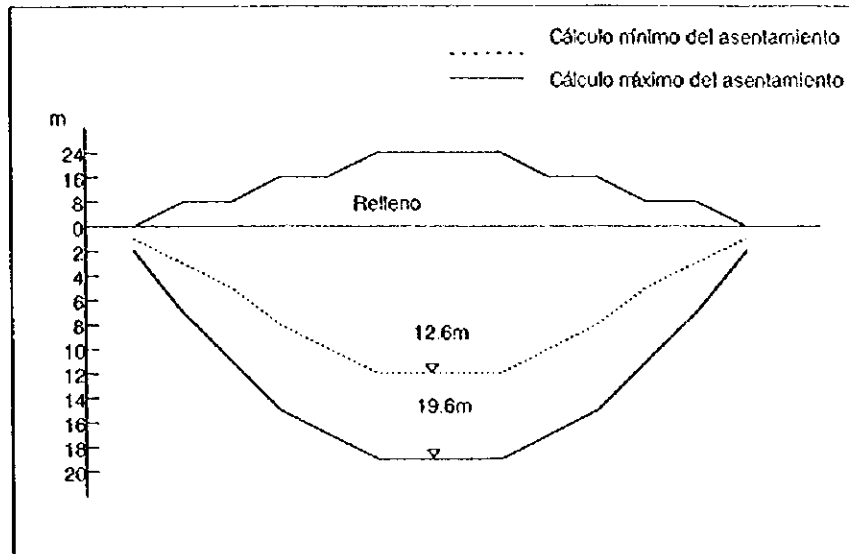


Figura H-8: Asentamiento del Subsuelo

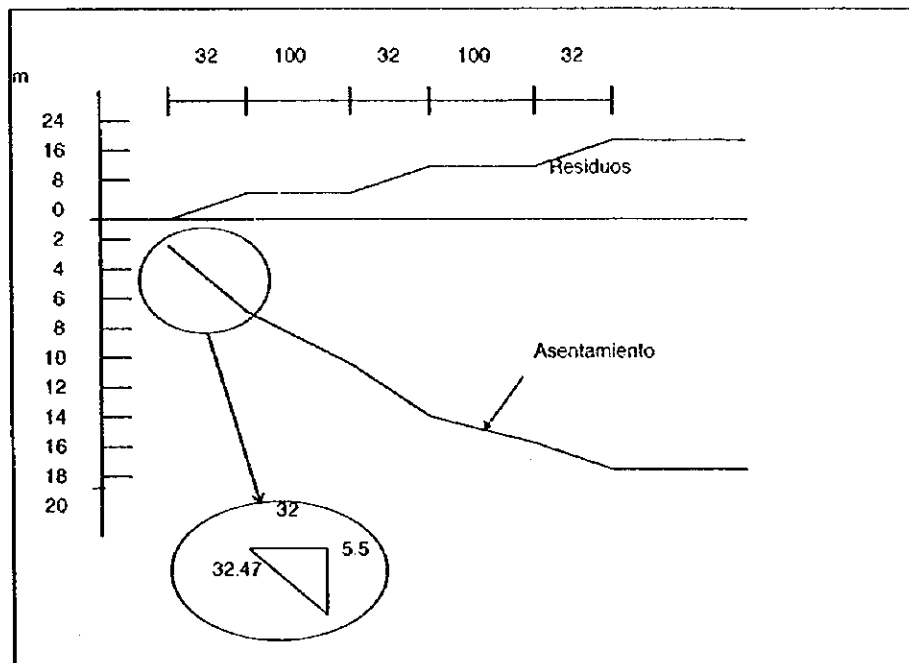


Figura H-9: Asentamiento del Subsuelo y la Membrana

a.1.4 Influencia de la Expansión Vertical sobre la Estabilidad del Talud del Relleno

Los datos mostrados en el Cuadro H-19 se emplean para evaluar la estabilidad del talud utilizando el método Bishop. El relleno existente tiene una pendiente de 1 a 4, y esta misma pendiente deberá ser utilizada para lograr la expansión de 8 a 16 m., y de

16 a 24 m. El menor factor de seguridad (0.948) se presenta para el talud formado entre los 0 a 8 m. Un factor de seguridad menor que 1.0 significa que, teóricamente, falla en la estabilidad del talud podría ocurrir; sin embargo, esto no ha ocurrido en la realidad. Por otra parte, para otros taludes formados entre 8 a 16 m. y 16 a 24 m., los factores de seguridad exceden 1.0, por lo tanto, la expansión vertical resulta viable desde la perspectiva de estabilidad de taludes.

Cuadro H-21: Resultado de los Cálculos sobre la Estabilidad de Taludes (Etapa IV)

Talud	Altura del Relleno	Factor Mínimo de Seguridad	Coordenadas del Talud de Deslizamiento		Radio del Deslizamiento Giratorio (m)	Momento de Resistencia (ton-m)	Momento de Deslizamiento (ton-m)
			X	Y			
1	0 a 8m	0.948	10.00	15.00	30.13	2,001.15	2,111.67
2	8 a 16m	1.077	146.00	16.00	51.00	8,584.00	7,968.72
3	16 a 24m	1.313	280.00	25.00	60.00	11,634.95	11,149.46

a.2 Manejo de Lixiviados

i. Condiciones Actuales

Actualmente los lixiviados drenan algunas veces del talud inferior de las celdas al camino circundante. Se han excavado zanjas alrededor de las celdas para recolectar dichos lixiviados (es posible que estén diluidos con agua subterránea). Una parte de éstos son recolectados por camiones cisterna y transportados a una laguna de evaporación, localizada al este de Etapa III. Se evalúa que el manejo actual de lixiviados en la Etapa IV es insignificante, considerando la cantidad estimada de generación de lixiviados. Esta cantidad resulta ser ineficiente e inefectiva en virtud de la gran posibilidad de dilución con el agua subterránea y la capacidad limitada de la laguna de evaporación

ii. Cálculo Existente sobre la Generación de Lixiviados

El cálculo existente sobre la generación de lixiviados² en el relleno indica que alcanzaría 61 mm/año, si se sigue el proceso de rellenado actual. Sin embargo, es muy probable que los lixiviados producidos sean mucho mayores que la cifra sugerida anteriormente, aunque no se ha realizado una investigación cuantitativa en este sentido. Pero, vale la pena mencionar, que otro cálculo en el mismo informe muestra que se producirán 182 mm/año de lixiviados.

La diferencia entre ambos cálculos se atribuye a los datos de precipitación utilizados y la forma de calcular. El primer cálculo utilizó una cifra de precipitación de 347 mm/año en Bordo Poniente y para un solo año. Por otro lado, el segundo cálculo utilizó los datos de precipitación de 617 mm/año del aeropuerto cercano al área de relleno, y la duración fue de 5 años. La información de precipitación de Bordo Poniente no necesariamente representa los datos reales, ya que otros datos de lluvia proporcionados por la estación meteorológica de Gran Canal, cerca del área de Bordo Poniente, muestran una precipitación de 581 mm/año, similar a la del aeropuerto. Además, el cálculo de un año tiende a subestimar la generación de lixiviados debido a

² Geo Ingenier Internacional, *Operación de las celdas de evaporación y experimentación ubicadas en las Etapas III y IV de Bordo Poniente*, 1997

las características del relleno: el agua que se infiltra en el terreno y los residuos, y no baja hasta que no se satisfacen las capacidades de absorción de ambos. En consecuencia, se piensa que sería más apropiado utilizar los datos del aeropuerto y cinco años de duración - 182 mm/año - para el cálculo de generación de lixiviados.

Cuadro H-22: Cálculo Existente sobre la Generación de Lixiviados

Estación	Precipitación (mm/año)	Lixiviados generados (mm/año)
Bordo Poniente	347	61
Aeropuerto	617	182

iii. Estimación de la Cantidad de Generación de Lixiviados

La estimación de la cantidad de lixiviados generados, que ocurre bajo las condiciones actuales, fue realizada utilizando datos de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Benito Juárez. Los resultados muestran que 101 mm/año de precipitación se infiltrará en el suelo; subsecuentemente, el contenido de agua de los residuos y suelos, bajo la cubierta de suelo aplicada, alcanzarán su capacidad de campo en 3 años. Finalmente, 101 mm/año de lixiviados se producirán en el fondo del relleno a partir del 4^{to} año (ver la Figura H-10). Detalles de las estimaciones se describen a continuación.

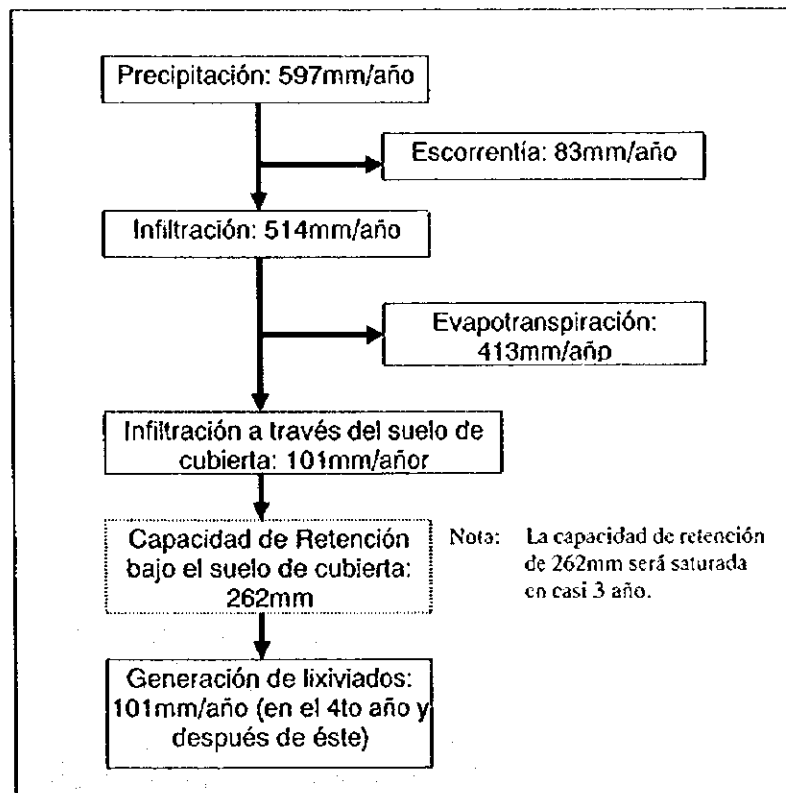
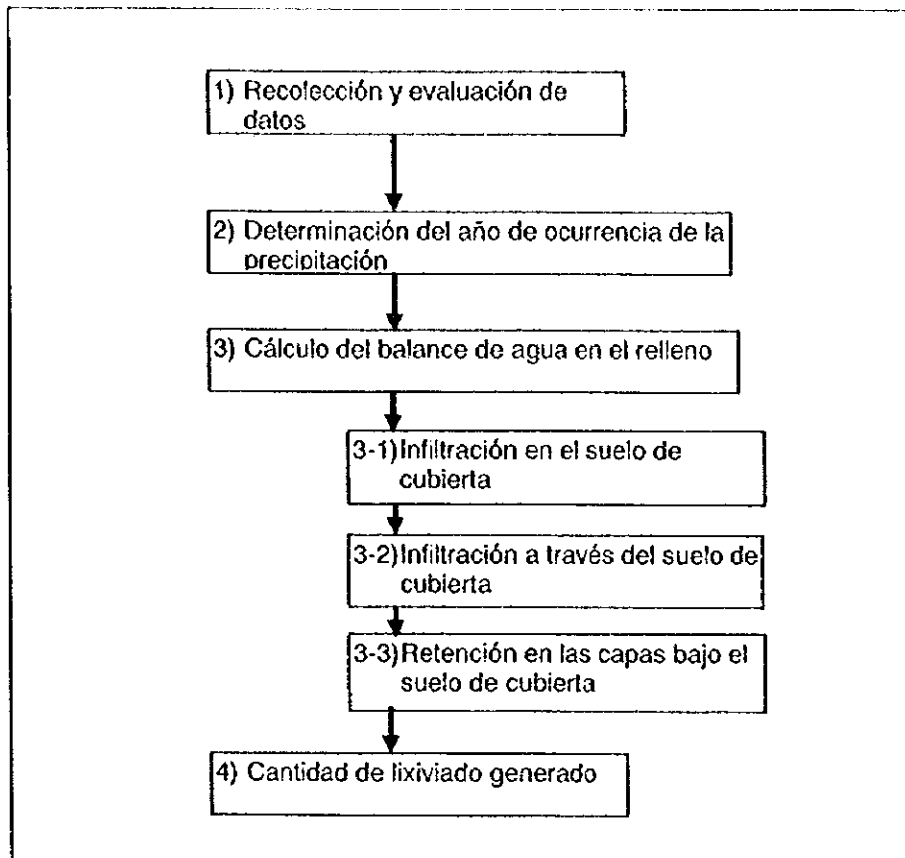


Figura H-10: Generación de Lixiviados

iv Generación de Lixiviados en el Relleno Existente (Etapa IV)

Esta sección presenta una secuencia del proceso para estimar la cantidad de lixiviado generada de la Etapa IV, bajo las condiciones existentes. El flujo del proceso se esquematiza a continuación.



Cuadro H-23: Flujo para Estimar la Generación de Lixiviados

1) Recolección y Evaluación de Datos

Para esta estimación, se pudo disponer de datos promedio mensuales de precipitación de la estación del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que van desde 1970 hasta 1989. La estación se encuentra ubicada en las proximidades del área de Bordo Poniente, a unos 4 kms. de la Etapa IV y a unos 10 kms. de la Etapa V. Sus coordenadas son 19°26'N (latitud 19 grados 26 minutos norte) y 99°05'W (longitud 99 grados 5 minutos oeste). La altitud es 2,235 m.

Sin embargo, debe considerarse que no todos los datos pueden considerarse válidos para la evaluación. Los datos de algunos años están incompletos, por ejemplo, no se registró información para agosto. Debido a lo anterior, los años con datos incompletos fueron excluidos; en consecuencia, del total de 20 años, sólo 14 años se consideraron para realizar la estimación (ver Cuadro H-24).

Cuadro H-24: Datos de Precipitación desde 1970 hasta 1999

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Remarks
1970	1.2	2.4	3.3	3.6	22.6	114.1	171.2	87.3	97.8	23.8	0.1	0.0	527.4	
1971	0.5	1.1	14.0	6.6	17.5	158.3	110.1	105.8	99.4	93.2	7.5	5.6	619.6	
1972	0.7	1.2	5.8	47.5	105.5	117.6	114.2	98.2	57.1	60.8	11.4	1.0	621.0	
1973	0.3	4.5		43.6	33.5	59.9	166.9	147.5	58.1	28.7	28.8		571.8	inválido
1974	2.0	4.0					135.8	52.3	84.1	13.6		0.0	291.8	inválido
1975	35.7	3.7	0.0	16.6	78.1	66.9	90.1	99.8	96.5	39.4	0.0	0.0	526.8	
1976	0.0	17.3	5.0	28.9	54.9	30.1	112.5	256.4	104.7	124.4	3.1	36.1	773.4	
1977	3.1	3.6	0.0	11.3	46.8	70.7	143.5	48.3	140.4	53.8	1.8	1.5	524.8	
1978	3.9	12.6	47.2	1.6	50.6	205.0	78.2	27.0	60.4	152.6	18.3	14.6	672.0	
1979		19.1	3.0	21.8		77.0	130.0	149.3	122.8	2.0		14.7	539.7	inválido
1980	34.2	5.5	4.7	39.8	59.6	47.7	69.7	162.8	118.9	45.2	12.9	0.0	601.0	
1981	19.9	20.3	10.2	40.1	23.9	177.6	148.4	67.5	50.7	35.3	1.6	1.3	596.8	
1982	0.0	9.1	16.9	28.0	66.4	108.9	178.2	57.1	21.7	64.0	1.9	3.3	555.5	
1983	13.5	0.7	3.9		35.2	66.4	109.2	102.8	82.0	50.7	10.1	15.6	490.1	inválido
1984	5.3	6.7	0.4		52.5	65.5	179.4	119.6	169.0	36.6	0.2	1.3	636.5	inválido
1985	9.4	2.1	14.4	91.3	44.6	159.6	79.4	60.8	65.6	15.1	0.7	0.0	543.0	
1986	0.0		0.0	10.4	57.4	193.8	69.3	70.6	50.8	28.1	5.2	0.0	485.6	inválido
1987	0.0	1.7	2.6	12.7	36.3	97.3	135.2	94.4	125.0	0.0	18.9	0.0	524.1	
1988	0.5	13.6	37.8	11.1	56.2	144.0	106.0	135.6	89.4	4.7	7.9	0.0	606.8	
1989		0.5	9.7	8.5	41.2								59.9	inválido

Estación: Estación Meteorológica Aeropuerto Internacional Benito Juez

2) Determinación del Año de Ocurrencia de la Precipitación más Adecuada para la Evaluación de Generación de Lixiviados

De los 14 años con datos aceptables, se escogió 1981 como el año adecuado para la evaluación utilizando el método Thomas Plot. La selección se basó en que la precipitación de 1981 se aproxima más a la cifra obtenida para un período de retorno de 2 años que es representativo de condiciones normales.

La secuencia para seleccionar el año para la evaluación se muestra a continuación.

2-1) Listar Datos de Precipitación de Acuerdo a su Orden de Magnitud

Cuadro H-25: Precipitación de Acuerdo al Orden de Magnitud

Orden (J)	Año	Precipitación (mm/año)
1	1976	773
2	1978	672
3	1972	621
4	1971	619
5	1988	607
6	1980	601
7	1981	597
8	1982	556
9	1985	543
10	1970	527
11	1975	527
12	1977	525
13	1987	524
14	1986	486

2-2) Cálculo de los Valores Thomas Plot

Los valores Thomas Plot se calculan por medio de la fórmula que se muestra a continuación:

$$P = \frac{J}{N + 1}$$

P: Valores Thomas Plot

J: Orden de Magnitud de la Precipitación

N: Número de datos

El siguiente cuadro muestra los valores Thomas Plot para cada dato de precipitación.

Cuadro H-26: Valores Thomas Plot y de Precipitación

Orden (J)	Px100	Precipitación (mm/año)
1	6.7	773
2	13.3	672
3	20.0	621
4	26.7	619
5	33.3	607
6	40.0	601
7	46.7	597
8	53.3	556
9	60.0	543
10	66.7	527
11	73.3	527
12	80.0	525
13	86.7	524
14	93.3	486

2-3) Método de los Cuadrados Mínimos

El método de los cuadrados mínimos se aplicó para obtener la fórmula que muestra la relación entre los valores Thomas Plot y los datos de precipitación. La fórmula obtenida es la siguiente:

$$y = -2.4665x + 707.46$$

y: precipitación (mm/año)

x: Valores Thomas Plot (P*100)

Precipitation-Thomas Plot

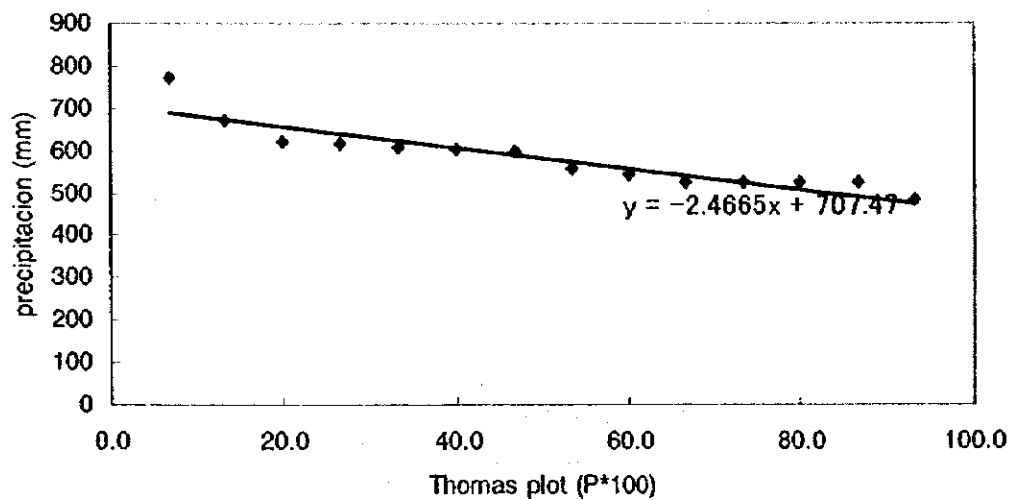


Figura H-11: Precipitación vs. Thomas Plot

2-4) Año para Evaluación de la Generación de Lixiviados

Un año para evaluación puede ser obtenido utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2n+1}$$

n = período de retorno

Para los propósitos de estimación, se ha escogido un período de retorno de 2 años, por lo que el valor de 'n' es substituido por 1/2. Cuando el valor de P obtenido (0.5) se substituye en la ecuación derivada por medio de los cuadrados mínimos (en otras palabras $x=P*100$, en la ecuación), entonces resulta una precipitación de 584 mm/año para un período de retorno de dos años.

$$y = -2.4665x + 707.46$$

$$x = 50$$

entonces,

$$y = -2.4665 \times 50 + 707.46$$

$$y = 584 \text{ (mm/año)}$$

Finalmente, 1981 fue seleccionado como el año para evaluación que se utilizó para estimar la generación de lixiviados, teniendo en consideración que la precipitación total en 1981 (597 mm/año) es la más cercana a 584 mm./año.

3) Cálculo del Balance de Agua en el Relleno

En esta sección, la infiltración de la precipitación en el suelo de cobertura y a través de las capas de retención subsiguientes (compuestas tanto de residuos como de suelo) es evaluada teniendo presente la configuración que se muestra en la Figura H-12.

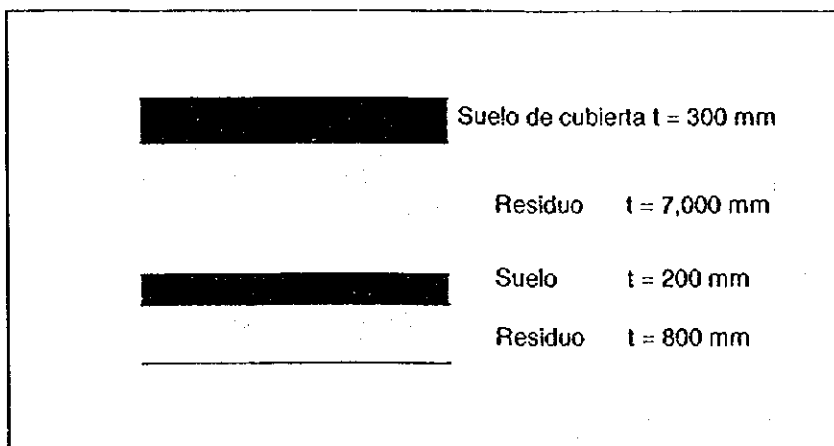


Figura H-12: Configuración Actual de las Capas del Relleno

3-1) Infiltración en el Suelo de Cobertura

No toda la precipitación se infiltra en el suelo de cobertura. Parte de ésta (precipitación) escurre superficialmente y parte sí se infiltra. Generalmente, es aceptado que el coeficiente de escorrentía para un relleno sanitario se encuentre entre 0.07 y 0.2³; por lo que un valor medio entre los dos mencionados anteriormente, ha sido aplicado para realizar los estimados.

Para el caso del año escogido para la evaluación (1981), 514 mm./año de precipitación se infiltrará en el suelo de cobertura al aplicar un coeficiente de escorrentía de 0.14.

Cuadro H-27: Escorrentía e Infiltración

Mes	Coef. de Escorrentía c = 0.14		
	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
Ene	20	3	17
Feb	20	3	17
Mar	10	1	9
Abr	40	6	34
May	24	3	21
Jun	178	25	153
Jul	148	21	127
Ago	68	9	59
Sep	51	7	44
Oct	35	5	30
Nov	2	0	2
Dic	1	0	1
Total	597	83	514

3-2) Infiltración a Través del Suelo de Cobertura

La evapotranspiración es el factor más importante para calcular la infiltración a través del suelo de cobertura. Cuando el contenido de agua es mayor que la Capacidad de Campo (CC), el agua excedente a la CC bajará debido al efecto de la gravedad. Por otra parte, hay agua que no puede ser extraída por la evapotranspiración. El contenido de agua que no puede ser extraído se denomina Punto Permanente de Marchitamiento (PPM). Por lo tanto, sólo los valores entre CC y PPM están sujetos a ser afectados por la evapotranspiración.

Se concluye que la infiltración ocurrirá una vez que el contenido de agua exceda la CC, y el contenido de agua nunca es menor que el PPM bajo condiciones normales.

A continuación se presenta la manera de calcular la infiltración a través del suelo de cobertura:

- Determinación la profundidad hasta donde la evapotranspiración es efectiva..
 - Determinación de la CC y el PPM del suelo de cobertura.
 - Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP).
- y entonces,
- Cálculo de la infiltración a través del suelo de cobertura.

³ Quasim S. R. and Chiang W., 1994, Lixiviados de los rellenos sanitarios, Technomic Publication, USA

Determinación de la profundidad hasta donde la evapotranspiración es efectiva

Se supone que la profundidad hasta donde la evapotranspiración es efectiva es de 150 mm.

Determinación de la CC y PPM del suelo de cobertura

El suelo de cobertura, Tepetate, es básicamente arena arcillosa. Por lo tanto, los valores típicos de CC (31%) y de PPM (15%)⁴ para arcilla limosa se han aplicado; lo anterior resulta en valores de CC y PPM de 50 mm y 25 mm respectivamente, para el caso de una profundidad de suelo de 150 mm.

$$CC = 150 \text{ mm} \times 31\% = 46.5 \text{ mm} \quad \text{se asume: } 50 \text{ mm}$$

$$PPM = 150 \text{ mm} \times 15\% = 22.5 \text{ mm} \quad \text{se asume: } 25 \text{ mm}$$

Cálculo de la evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP) fue calculada utilizando el método Thornthwaite y la temperatura del año 1981.

Cuadro H-28: Evapotranspiración Potencial (ETP)

Mes	Tm (°C)	im	a	Em	(Nm)	Nm	ETP (mm)
Ene	11.3	3.4	1.6	34.39	11.0	0.92	32
Feb	14.2	4.79		49.57	11.5	0.96	48
Mar	16.9	6.21		65.49	12.0	1.00	65
Abr	17.8	6.72		71.16	12.6	1.05	75
May	18.7	7.23		77.00	13.1	1.09	84
Jun	18.1	6.89		73.09	13.3	1.11	81
Jul	17.0	6.27		66.11	13.2	1.10	73
Ago	17.5	6.55		69.25	12.8	1.07	74
Sep	17.3	6.44		67.99	12.3	1.03	70
Oct	16.9	6.21		65.49	11.7	0.98	64
Nov	13.9	4.64		47.91	11.2	0.93	45
Dic	14.0	4.69		48.46	10.9	0.91	44
Año	16.1	70.04					755

Temp: temperatura (°C)

im: $(Tm/5)^{1.5}$

l: $\Sigma(im) = \Sigma(Tm/5)^{1.5}$

a: $6.7 \times 10^{-7} \times l^3 - 7.7 \times 10^{-5} \times l^2 + 1.8 \times 10^{-2} \times l + 0.49$

Em: Evapotranspiración no-ajustada, $16(10Tm/l)^a$

(Nm): Duración diaria promedio del máximo número de horas de luz solar posible a 20°N

Nm: Factor mensual de ajuste, (Nm)/12

ETP: Em x Nm

Cálculo de la Infiltración a Través del Suelo de Cobertura

Una infiltración de 101 mm/año a través del suelo de cobertura se ha calculado, tomando en consideración la CC, PPM, ETP, y la evapotranspiración real (ETR). El Cuadro H-29 refleja los cálculos.

⁴ Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil S.A., 1993, Manejo Integral de Residuos Sólidos, McGraw Hill, Inc., USA

Cuadro H-29: Infiltración a Través del Suelo de Cobertura

	I	ETP	I-ETP	PPAA	As	ΔAs	ETR	INFC
Ene	17	32	-15	-176	25	0	17	0
Feb	17	48	-31	-207	25	0	17	0
Mar	9	65	-56	-263	25	0	9	0
Abr	34	75	-41	-304	25	0	34	0
May	21	84	-63	-367	25	0	21	0
Jun	153	81	72	0	50	25	81	47
Jul	127	73	54	0	50	0	73	54
Ago	59	74	-15	-15	38	-12	71	0
Sep	44	70	-26	-41	25	-13	57	0
Oct	30	64	-34	-75	25	0	30	0
Nov	2	45	-43	-118	25	0	2	0
Dic	1	44	-43	-161	25	0	1	0
Año	514	755	-241			0	413	101

Suposiciones: CC = 31%, PPM = 15%, profundidad de evapotranspiración = 0.15m,
 $CC=31\% \times 0.15m=0.0465m=46.5mm$, se asume 50mm,
 $PPM=15\% \times 0.15m=0.0225m=22.5mm$, se asume 25mm

I: infiltration
 ETP: Evapotranspiración Potencial
 PPAA: Pérdidas potenciales de agua acumuladas
 As: Cantidad de agua en el suelo (nunca mayor que la CC ni menor que el PPM)
 ΔAs: cambio de la cantidad de agua en el suelo
 ETR: Evapotranspiración Real
 INFC: Infiltración a través del suelo de cobertura

3-3) Retención en las Capas Inferiores a la Cobertura de Suelo

Las capas bajo la cobertura de suelo tienen una capacidad total para retener agua de 262 mm. Esta cifra equivale a tres años consecutivos de infiltración a través del suelo de cobertura (101 mm/año x 3 años = 303 mm).

La estructura bajo el suelo de cobertura consiste de 7 m. en grosor de residuos, 0.2 m. en grosor de suelo, y nuevamente 0.8 m. de grosor de residuos. Además, para los cálculos de esta sección debe de tomarse en consideración 0.15 m. que forman parte del suelo de cobertura, pero que se encuentran por debajo de los iniciales 0.15 m. de suelo de cobertura que se calcularon como la profundidad afectada por la evapotranspiración.

Los residuos tienen una CC similar al de los suelos. En esta sección, lo que interesa es el contenido inicial de humedad (CIH) tanto de los residuos como de los suelos, y no tanto sus PPM. Los residuos y los suelos tienen cierta humedad inicial, de manera tal que el agua que se infiltra a través del suelo de cobertura es retenida, en dependencia de la diferencia de magnitud entre los valores de CC y de CIH. Cuando el contenido de agua es mayor que la CC, el agua se infiltra hacia el fondo del relleno debido a la gravedad.

Un valor típico de CC para los residuos municipales se puede definir entre 20 y 35% por volumen⁵; en consideración a lo anterior, se aplica un valor típico de 25%. Además, un valor típico de CIH para residuos municipales en un relleno varía entre

⁵ Qasim S. R. and Chiang W., 1994, Lixiviado de Rellenos Sanitario, Technomic publication, USA

15 y 40% por peso⁶; por lo tanto, un valor de 27.5% es adoptado. Por otra parte, un 31% se adopta para definir la CC del suelo; además, se asume un valor de 23% para obtener el CIH, que es una cifra ubicada entre el 31% de la CC y el 15% del PPM que son valores típicos para un suelo. Finalmente, la CC y el CIH de las capas localizadas más abajo de la profundidad afectada por la evapotranspiración (150 mm) son calculados a continuación.

Suelo de Cobertura (t=150 mm)

$$CC1 = 150 \text{ mm} \times 31\% = 46.5 = 47 \text{ mm}$$

$$CIH1 = 150 \text{ mm} \times 23\% = 34.5 = 35 \text{ mm}$$

Residuos (t=7,000)

$$CC2 = 7,000 \text{ mm} \times 25\% = 1,750 \text{ mm}$$

$$CIH2 = 7,000 \text{ mm} \times 0.8 \times 27.5\% = 1,540 \text{ mm}$$

0.8 es la densidad volumétrica de los residuos en el relleno

Suelo (t=200 mm)

$$CC3 = 200 \text{ mm} \times 31\% = 62 \text{ mm}$$

$$CIH3 = 200 \text{ mm} \times 23\% = 46 \text{ mm}$$

Residuo (t=800 mm)

$$CC4 = 800 \text{ mm} \times 25\% = 200 \text{ mm}$$

$$CIH4 = 800 \text{ mm} \times 0.8 \times 27.5\% = 176 \text{ mm}$$

Cuadro H-30: CC, CIH y Capacidad de Retención

Capa	CC	CIH	Capacidad de Retención
cobertura de suelo (t=150)	47	35	12
residuos (t=7,000)	1,750	1,540	210
suelos (t=200)	62	46	16
residuos (t=800)	200	176	24
Total	2,059	1,797	262

4) Cantidad Generada de Lixiviados

La infiltración a través del suelo de cobertura es de 101 mm/año, mientras que la capacidad total de retención del suelo que se localiza bajo la profundidad afectada por la evapotranspiración es de 262 mm. Por lo tanto, se estima que esta capacidad será saturada en 3 años, y a partir de entonces, se generará lixiviados en el fondo del relleno que es equivalente a la infiltración (101 mm/año).

⁶ Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil S.A., 1993, Manejo Integral de Residuos Sólidos, McGraw Hill, Inc., USA

a.3 Cantidad de Disposición de Residuos

De acuerdo con el Plan Maestro, los rellenos de la Etapa IV y V deben contar con la capacidad suficiente para asegurar una disposición final para los residuos del año 2001 al 2010. La proyección de la cantidad de residuos que será dispuesta durante el período de 10 años se muestra en el Cuadro H-31.

Cuadro H-31: Cantidad de Disposición de Residuos del año 2001 al 2010

Año	Disposición de Residuos					
	Total		Etapa IV		Etapa V	
	1000t ton	1000 m ³	1000 ton	1000 m ³	1000 ton	1000 m ³
2001	3,876	4,845	3,876	4,845		
2002	3,609	4,511			3,609	4,511
2003	3,493	4,366			3,493	4,366
2004	3,385	4,231			3,385	4,231
2005	3,373	4,216	3,373	4,216		
2006	3,358	4,198	3,358	4,198		
2007	3,340	4,175			3,340	4,175
2008	3,321	4,151			3,321	4,151
2009	3,300	4,125	3,300	4,125		
2010	3,278	4,098	3,278	4,098		
Total	34,333	42,916	17,185	21,482	17,148	21,434

Nota: la densidad volumétrica de los residuos en el relleno está calculada en 800kg/m³.

b. Análisis de las Alternativas Técnicas

Las causas principales para el impacto severo sobre el medio ambiente en el desarrollo de un relleno son los lixiviados y el biogas. Por estas razones, las medidas de atenuación en contra de éstas vuelven a la construcción, mantenimiento, operación e incluso cierre de los rellenos, algo costoso. Por lo tanto, los aspectos técnicos de mitigación son considerados con mucho detenimiento; estos aspectos técnicos pueden ser la membrana para el fondo del relleno, la cubierta intermedia, la cubierta final, drenaje en la superficie, recolección y disposición de lixiviados, disposición de biogas, etc. Aunque no se pueden modificar algunas situaciones porque la Etapa IV es un relleno ya existente, los aspectos presentados en el Cuadro H-32, son evaluados desde la perspectiva técnica, ambiental y de costos.

Cuadro H-32: Aspectos a Analizarse como Alternativas Técnicas

Lixiviado/gas	Propósito	Aspectos a analizarse
Lixiviado	Cómo reducir la cantidad generada de lixiviados	Durante la operación. - cubierta intermedia
	Cómo deshacerse del lixiviado	Después del cierre - cubierta final - Aspersado - Recirculación - Laguna de evaporación - Planta de tratamiento
Biogas	Cómo deshacerse del biogas	- Control pasivo - Control activo

b.1 Cubierta Intermedia

Para rellenar la Etapa IV, la cubierta diaria de tierra funcionará como una cubierta intermedia de tierra que se coloca a una altura de 8m. La tierra para cubierta intermedia es costosa (cerca de 20 pesos/m³) y no está disponible en el área de relleno. Por lo tanto, la colocación de una cubierta intermedia afecta considerablemente los costos de operación; en consecuencia, se han analizado dos aspectos para reducir los costos: i) grosor del suelo de cobertura y ii) utilización de residuos procesados en la planta de "compostaje". Finalmente, se recomienda un grosor de 30 cm. del suelo de cobertura que es similar al utilizado en la actualidad.

i. Grosor de la Cubierta

Hasta la fecha, una capa de suelo con grosor de 30 cm. se emplea como material intermedio de cobertura (diaria). Este tipo de cubierta limitará a 101 mm/año la precipitación que se infiltre; eventualmente, a partir del 4^{to} año, se generarán lixiviados equivalentes a la cifra antes mencionada (101 mm/año).

Para el caso que el grosor de la cubierta sea incrementado, la generación de lixiviados será retardada. Sin embargo, la misma cantidad (101 mm/año) de lixiviados sería teóricamente generada, una vez que las diferentes capas del relleno se hayan saturado de agua. En vista de lo anterior, puede aseverarse que es más efectivo, para mitigar la generación de lixiviados, mejorar las condiciones topográficas de drenaje en la parte superior del relleno que aumentar el grosor del material de cobertura.

Generalmente, se emplea de 20 a 30 cms. de suelo para cubierta diaria, principalmente, con fines sanitarios. La cubierta mencionada serviría más que todo para controlar la presencia de aves, materiales ligeros, polvo, roedores, y vectores; y no tanto para controlar el escurrimiento. Por otra parte, el propósito de una cubierta intermedia es principalmente controlar la infiltración. Aunque generalmente se tiende a ocupar más de 30 cms. de grosor para cubierta, lo utilizado en la actualidad se considera adecuado teniendo en consideración lo siguiente:

- la precipitación en el lugar es baja.
- el grosor de la cubierta no es efectivo para controlar la infiltración a largo plazo (si no se desarrolla la vegetación).
- el grosor actual satisface los propósitos de cubierta diaria de suelo.

ii Uso de Composta como Material de Cubierta

Se recomienda el uso de composta producida en la planta de compostaje como material de cubierta cuando la producción exceda la demanda.

La composta puede utilizarse para cubierta diaria y/o intermedia, de igual manera que el suelo nativo. Una ventaja de utilizar la composta es que parte de la capacidad del relleno que hubiera sido ocupada por el suelo nativo estaría disponible para material de residuo. Considerando el manejo de residuos sólidos integral, el uso de composta para cubrir residuos, considerablemente contribuye a la reducción del volumen de los mismos y, además, prolonga la vida útil del relleno.

b.2 Cubierta Final

Se debe utilizar la cubierta final cuando se cierren los rellenos, para atenuar la influencia nociva de los rellenos sobre sus alrededores. Los principales propósitos

de la cubierta final son i) mitigar la generación de lixiviados, ii) controlar la emisión de gases y iii) mejorar el paisaje. Tomando en consideración los propósitos anteriores, se recomienda un grosor de 50 cm. para la cubierta final.

i. Mitigación de la Generación de Lixiviados

Usualmente, en la cubierta final se incluye vegetación, con el fin de optimizar la evapotranspiración. La profundidad hasta donde la evapotranspiración es efectiva depende del tipo de vegetación. Generalmente, se sugiere un grosor de 50 cm. ó más para pastos y arbustos que pueden crecer bajo las condiciones de clima seco que predominan en el sitio.

La infiltración a través del suelo de cubierta de 50 cms. de grosor fue estimada. Se obtuvo un resultado de 51 mm/año de agua que podría infiltrarse a través del suelo de cubierta. Esta cifra es mucho menor que la infiltración que ha sido estimada bajo las condiciones existentes en el relleno sanitario, o sea 101 mm/año.

Cuadro H-33: Infiltración a través del Suelo de Cubierta (50 cm.)
unidad: mm

	I	ETP	I-ETP	PPAA	As	ΔAs	ETR	INFC
Ene	17	32	-15	-176	75	0	17	0
Feb	17	48	-31	-207	75	0	17	0
Mar	9	65	-56	-263	75	0	9	0
Abr	34	75	-41	-304	75	0	34	0
May	21	84	-63	-367	75	0	21	0
Jun	153	81	72	-3	147	72	81	0
Jul	127	73	54	0	150	3	73	51
Ago	59	74	-15	-15	135	-15	74	0
Sep	44	70	-26	-41	114	-21	65	0
Oct	30	64	-34	-75	90	-24	54	0
Nov	2	45	-43	-118	75	-15	17	0
Dic	1	44	-43	-161	75	0	1	0
Año	514	755	-241			0	463	51

Suposiciones: $CC = 31\%$, $PPM = 15\%$, grosor de cubierta de suelo = 0.15m,
 $CC = 31\% \times 0.5m = 0.155m = 155mm$, se asume 150mm,
 $PPM = 15\% \times 0.5m = 0.075m = 75mm$, se asume 75mm

ii. Control de la Emisión de Gases Originadas por el Relleno

Un control estricto de la emisión de gases producidos por el relleno no es necesario debido a que no se encuentra ubicado en un área residencial, ni existen instalaciones importantes en el área. Por lo tanto, no se requiere una cubierta sofisticada compuesta de material sintético. Una cubierta de suelo puede funcionar con efectividad.

iii. Mejoría del Paisaje

La vegetación contribuye a una mejoría del paisaje. Además, el acuerdo con la CNA establece que para su uso futuro, el sitio deberá ser destinado como terreno para sembrar pastos que tendrán el propósito de mejorar el ecosistema en Bordo Poniente. Sin embargo, debe notarse que el clima seco es muy adverso para hacer crecer cualquier vegetación; de manera tal que sólo pastos y arbustos que son resistentes a este tipo de clima adverso pueden sobrevivir. Como se mencionó anteriormente,

una cubierta final con un grosor mayor ó igual a 50 cm. se recomienda para ese tipo de vegetación.

b.3 Disposición de Lixiviados

Las condiciones actuales del relleno requieren de un sistema apropiado para disposición de lixiviados. Algunas alternativas que se analizan en esta sección son las siguientes:

- aspersado sobre el relleno
- recirculación dentro del relleno,
- laguna de evaporación y
- tratamiento de lixiviados.

En primer lugar, se debe notar que los lixiviados no pueden extraerse del relleno por medio de gravedad, debido a lo parejo del área y el asentamiento del suelo. Por lo tanto, todas las alternativas necesitan bombas para sacar el lixiviado del relleno.

Los pozos para extracción de lixiviados deben construirse no cerca de la periferia sino dentro del relleno, ya que la parte interna es más profunda por el asentamiento y el lixiviado se concentrará en la parte interna. Debido a esta característica del relleno, la recirculación, la laguna de evaporación y el tratamiento de lixiviados requieren un mayor número de instalaciones que el método de aspersado. Por lo tanto, el método de aspersado resulta más barato; y además, utiliza las ventajas climáticas (escasa precipitación y gran evaporación) para la disposición de lixiviados, como lo muestra el Cuadro H-34. En consecuencia, el método de aspersado es recomendable para la disposición de lixiviados.

Cuadro H-34: Comparación de las Alternativas para Disposición de Lixiviados

Alternativas	Instalación necesaria	Ventajas	Desventajas
Aspersado	- bombas - pozos - boquillas (para aspersado)	- menor costo - uso más eficiente de la evaporación (el lixiviado está más en contacto con el aire)	- olor desagradable sobre la superficie del relleno
Recirculación	- bombas - pozos - tubería (a los pozos de extracción de biogas)	- el segundo menor costo (tubos para conectar los pozos de extracción de biogas, se requieren como equipo adicional a los requeridos en el método de aspersado) - atenuación de la calidad de lixiviados	- precauciones para el control del biogas (éste tiende a ser mayor en los sistemas de recirculación de lixiviados) - no eficiente para reducir la cantidad de lixiviados - tal vez requiere mayor tratamiento de lixiviados
Evaporación	- bombas - pozos - tubería (a una laguna de evaporación) - laguna de evaporación	- operación simple	- requiere un área grande - olor desagradable en la laguna de evaporación - se necesita la disposición de los lodos
Tratamiento	- bombas - pozos - tubería (a las instalaciones de tratamiento) - instalaciones para tratamiento	- se puede controlar la calidad del agua de descarga.	- inversión muy grande y costos de operación altos - necesita un alto grado de técnica para la construcción, operación y mantenimiento

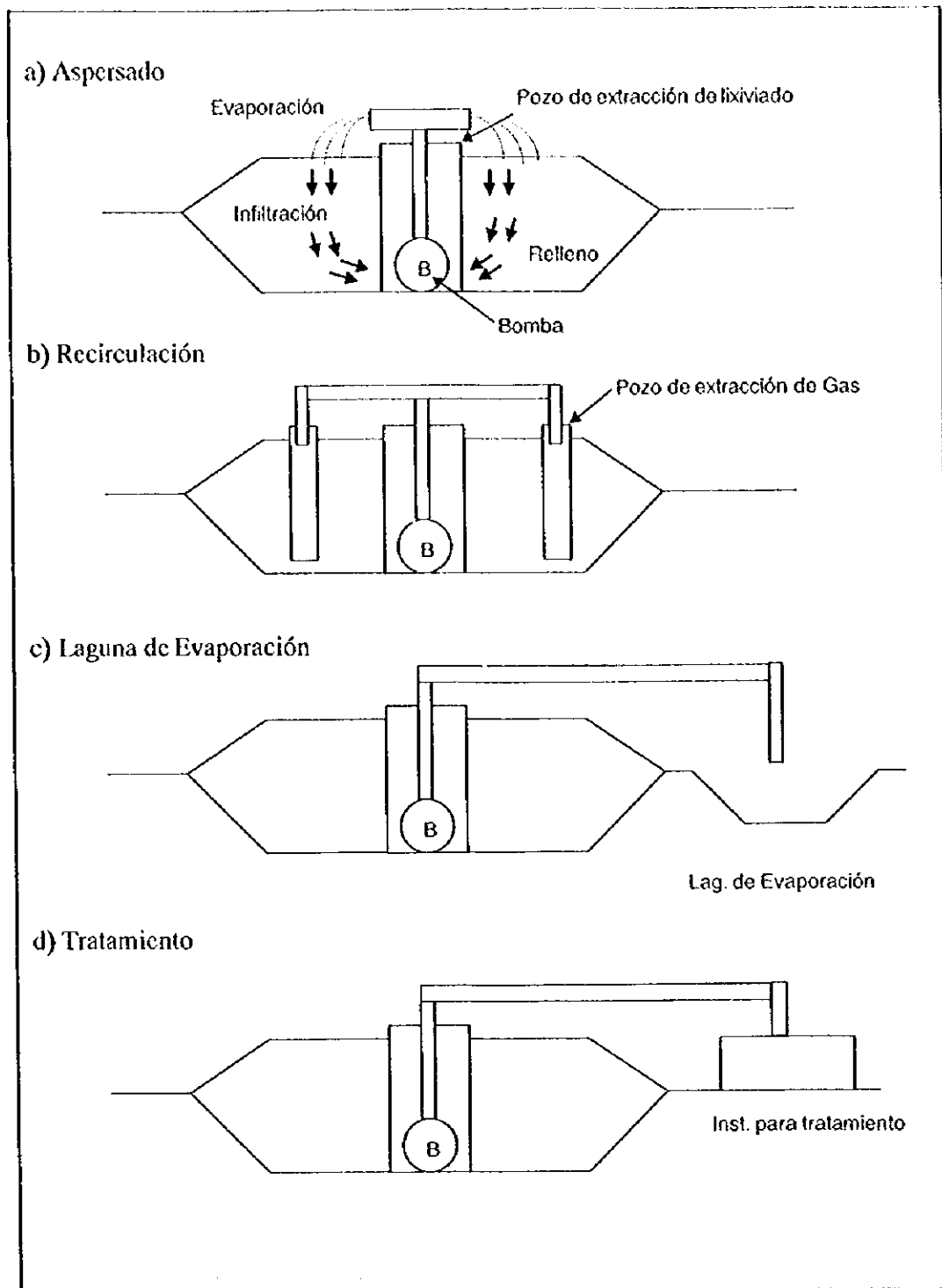


Figura H-13: Alternativas para Disposición de Lixiviados

b.4 Disposición del Biogas

El biogas se genera por la descomposición del material biodegradable. Está compuesto de diversos elementos y sus gases principales son el metano (CH_4) y el bióxido de carbono (CO_2), que se producen por la descomposición anaeróbica.

Existen dos clases de control para el biogas: el pasivo y el activo. El control pasivo utiliza la presión del biogas generado en el relleno para extraerlo por medio de válvulas de gas. Por otro lado, el control activo usa energía para sacarlo. Por lo tanto, el control activo es generalmente más costoso que el pasivo. Cuando es preferible la recuperación del gas para energía o las circunstancias requieren un estricto control del biogas, se puede optar por el control activo.

Tal y como se mencionó anteriormente, el método de aspersado es la manera recomendada para la disposición de lixiviados. Este sistema no propicia tanto la generación de biogas como el método de recirculación. Además, no existen áreas residenciales ni comerciales alrededor del relleno como es el caso del relleno de Prado de la Montaña que está equipado con instalaciones modernas para extracción de biogas. Por lo tanto se recomienda el control pasivo para el relleno Etapa IV.

c. Diseño Conceptual y Estimaciones de Costos

Esquema del diseño conceptual para el Plan de Expansión Vertical se presenta en el Cuadro H-35.

Cuadro H-35: Esquema del Diseño Conceptual para el Plan de Expansión Vertical

Aspectos	Instalaciones
Capacidad del Relleno	25,849,000m ³ (20,679,000ton) se encuentran disponibles para la disposición de residuos.
Acceso	a 0 m. de elevación camino externo: 8,285m (existente) camino interno: 26,675m (existente) a 8 m. de elevación camino externo: 7,075m camino interno: 19,623m a 16 m. de elevación camino externo: 5,160m camino interno: 6,453m
Manejo de Lixiviados	Pozos para extracción de lixiviados tubería de concreto de 600mm de diámetro: 24 unidades Bomba para la extracción de lixiviados: 24 unidades Tubería para recolección de lixiviados a 0m de elevación: 26,675m a 8m de elevación: 26,708m a 16m de elevación: 11,613m
Manejo de gas generado en el relleno	Pozos para la extracción de gases tubería de concreto de 600mm de diámetro: 198 unidades Tubería para la extracción de gases - PVC200 a 8m de elevación: 141 unidades a 16m de elevación: 102 unidades
Manejo de Aguas Superficiales	Diaria/cubierta intermedia de suelo: 30cm (Composta también está disponible.)
Monitoreo	Puntos a monitorearse: -asentamiento del relleno -calidad del lixiviado -calidad del gas extraído
Diseño Estético	Reja movable Cubierta intermedia diaria de suelo: 30cm ("Composta" también está disponible)

Aspectos	Instalaciones
Clausura y post-clausura	Cubierta final del suelo: 60cm Crear área verde por medio de la siembra de pasto
Equipo para el Relleno	Bulldozer (de 300hp): 4 unidades Camiones cisternas (de 15,000litros): 2 unidades Excavadora (85hp class): 2 unidades

c.1 Parámetros Claves para Diseño

Los parámetros claves para el diseño fueron establecidos de la manera siguiente:

- Densidad del residuo después de compactar el relleno: 800 kg./m³
- Cronograma de operación del relleno: 24 hrs./día
365 días/año
- Vida útil de los camiones y equipo pesado: 7 años
- Vida útil de los edificios y las obras civiles: 30 años
- Tasa de cambio: 1.0 USD=9.1 pesos
- Cubierta diaria de tierra (intermedia): 30 cm
- Elevación final del relleno: 24 m
- Cubierta de suelo diaria (intermedia): 30 cm.
- Elevación final del relleno: 24 m

c.2 Capacidad del Relleno

La capacidad de la expansión vertical que va de los 8 a los 24 m. es de 26,926,000 m³. De esta capacidad disponible, 25,849,000 m³ serán ocupados por residuos y 1,077,000 m³ serán ocupados por suelos (ver Cuadro H-37 y Figura H-14).

Todo el residuo dispuesto en el los años 2001, 2005 y 2006, y parte de los residuos en el 2009 serán colocados en el nivel que va de 8 a 16 metros. El resto de los residuos dispuestos en el 2009 y todos los del 2010 serán dispuestos en el nivel que va de 16 a 24 m. La capacidad remanente de el relleno después de año 2010 será de 4,368,000 m³, lo que representa 3,494,000 toneladas de residuos (ver Cuadro H-36).

Se debe recalcar que para los cálculos sobre la capacidad del relleno, no se ha tomado en consideración el asentamiento del subsuelo y los residuos.

Cuadro H-36: Cantidad de Residuo Dispuesta en la Etapa IV

Unidad: 1,000m³

Elevación	Capacidad del Relleno	Cantidad de Residuo Dispuesta					Total	Capacidad remanente
		2001	2005	2006	2009	2010		
8-16m	16,447	4,845	4,216	4,198	3,188		16,447	0
16-24m	9,402				937	4,098	5,035	4,367
Total	25,849	4,845	4,216	4,198	4,125	4,098	21,482	4,367

Cuadro H-37: Capacidad del Relleno de Etapa IV

Unidad: 1,000m³

Altura (m)	Volumen Total	Volumen de Residuo	Volumen de Suelo
8	0	0	0
9	2,225	2,136	89
10	4,426	4,249	177
11	6,603	6,339	264
12	8,755	8,405	350
13	10,885	10,450	435
14	12,991	12,471	520
15	15,072	14,469	603
16	17,132	16,447	685
17	18,408	17,672	736
18	19,669	18,882	787
19	20,915	20,078	837
20	22,146	21,260	886
21	23,363	22,428	935
22	24,564	23,581	983
23	25,752	24,722	1,030
24	26,926	25,849	1,077

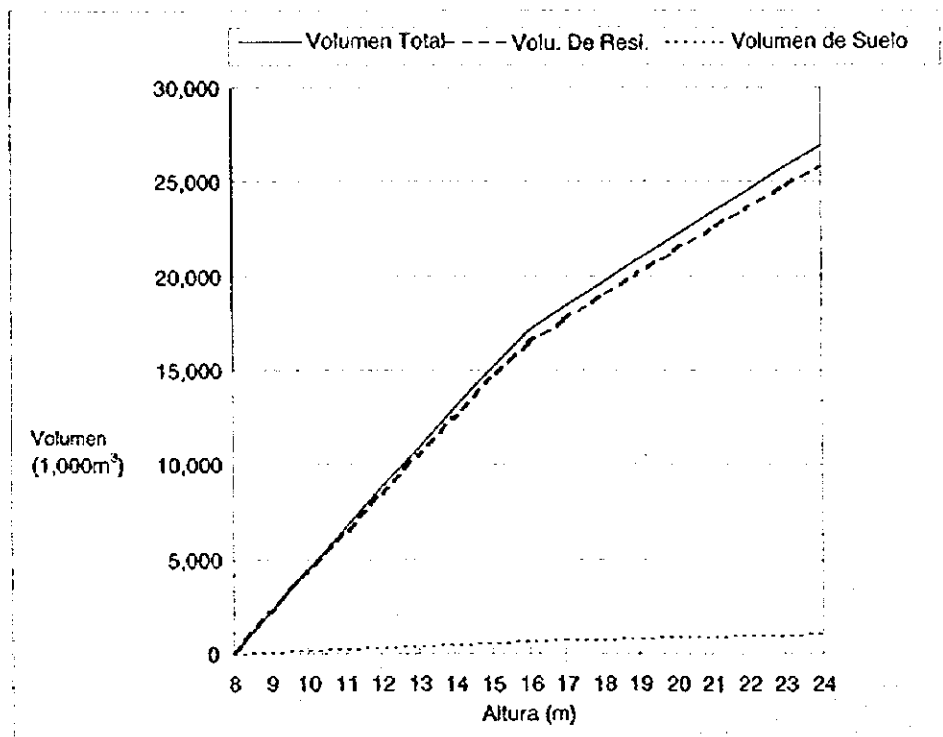


Figura H-14: Curva de Altura vs. Volumen (Etapa IV)

c.3 Acceso

Caminos internos y externos a 8 m y 16 m de elevación serán construidos con el fin de asegurar la accesibilidad al sitio. Los caminos externos serán utilizados para monitorear y proveer mantenimiento una vez que se haya completado la colocación de los residuos. Las dimensiones de los caminos se muestran a continuación:

- ancho de rodamiento: 9.0 m.
- ancho de acotamiento: 0.5 m. a ambos lados
- pavimentación: roca volcánica o su equivalente

c.4 Manejo de los Lixiviados

La cubierta diaria (intermedia), ya sea suelo nativo ó "composta", debe ser colocada apropiadamente para minimizar la infiltración debido a la precipitación. La parte superior del relleno deberá tener una inclinación adecuada para mejorar las condiciones de escurrimiento.

El lixiviado generado en el relleno deberá ser aspersado por medio de bombas sumergibles colocadas en pozos construidos para extracción de lixiviados. Las bombas son necesarias para extraer lixiviado debido a la naturaleza del sitio (terreno plano y asentamiento del subsuelo). Además, al aspersar el lixiviado, se está tomando ventaja de las características climáticas de la zona (baja precipitación y alta evaporación).

Durante la operación, se prevé que 101 mm/año de lixiviado serán generados. Lo anterior resultará en un total de 331,000 m³/año de lixiviado generado. Esta cantidad de lixiviados sería extraído utilizando 24 bombas sumergibles. El lixiviado presentaría características ácidas durante cierta etapa de la descomposición de los residuos y contendría una gran cantidad de sólidos en suspensión. Por lo tanto, se estima que ese tipo de lixiviados reducirá la vida útil de las bombas. Se supone que la vida útil de las bombas será de dos años; aunque ésta dependerá de la cantidad y calidad reales del lixiviado.

c.5 Manejo del Gas Generados en el Relleno

Para el manejo del gas generado en el relleno, se propone emplear un sistema pasivo. Una dispersión sin control de los gases en la superficie del relleno pretende ser minimizada por medio de la instalación de una tubería para remoción de gases. Tubos PVC de 200 mm de diámetro serán instalados a lo largo de los caminos perimetrales y externos; por otra parte, tubería de concreto de 600 mm de diámetro será instalada en las partes internas del relleno. Tubería de concreto también será utilizada para los pozos de extracción de lixiviados.

c.6 Manejo de la Escorrentía Superficial

Como se mencionó anteriormente, la parte superior del relleno deberá ser construida con cierta pendiente para inducir una apropiado escurrimiento. Se recomienda una pendiente de 2%.

c.7 Monitoreo

La calidad del lixiviado y de los gases generados ha sido monitoreada hasta la fecha y esta tarea deberá continuarse. A continuación se presentan recomendaciones sobre la manera actual de monitoreo:

- la muestra para el análisis de calidad de lixiviados deberá tomarse de un pozo de extracción de lixiviados que deberá instalarse.
- la manera de tomar muestras de gas generado por el relleno debe ser mejorada con el fin de no mezclar el gas con aire en el exterior del relleno.

Además, el monitoreo de la elevación del relleno deberá ser realizada con el propósito de:

- conocer las condiciones de la descomposición de los residuos.
- conocer el avance del asentamiento, tanto de los residuos como del subsuelo.

c.8 Consideraciones Estéticas

Con el fin de prevenir que los residuos livianos sean transportados por el viento, se recomienda el uso de rejas móviles cerca del área de operación. Una adecuada cobertura diaria (intermedia) debe ser realizada con el fin de controlar la presencia de aves, animales y vectores, así como prevenir que los residuos sean esparcidos por el viento.

c.9 Medidas de Clausura y Post-clausura

Una cobertura final de 60 cm. será empleada cuando haya finalizado la operación del relleno. Los propósitos principales de la cubierta final son i) reducir la generación de lixiviados, ii) prevenir una difusión sin control de los gases generados por el relleno, y iii) mejorar apariencia externa.

La creación de un área verde en la superficie del relleno debe ser efectiva con el propósito de mejorar la evapotranspiración sobre la superficie, y esto conllevará a la reducción de la generación de lixiviados. Además, tendría un efecto positivo sobre la apariencia del lugar.

c.10 Equipo del Relleno

El equipo recomendado para el relleno sanitario comprende lo siguiente:

- cuatro (4) bulldozers (de 300 hp) para esparcir y compactar tanto los residuos como el material de cubierta.
- dos (2) camiones cisterna (con capacidad de 15,000 litros) para controlar el polvo.
- dos (2) excavadoras (de 85 hp) para darle mantenimiento a los caminos y los taludes del relleno.

Los bulldozers deben ser equipados apropiadamente para las tareas de rellenamiento, por ejemplo, cuchilla para esparcir residuos, medidas para prevenir que el radiador no se obstruya con residuos, etc. El número de bulldozers fue calculado de la siguiente manera:

i. Productividad de los Bulldozers (de 300 hp)

Tiempo probable de un ciclo (Cm)

Movimiento frontal: 20 m/60m/min	= 0.33 min
Reversa: 20 m/80m/min	= 0.25 min
Otros (carga y cambio de los engranes)	= 0.32 min

Tiempo Total del Ciclo = 0.90 min

Desempeño

$$Q_h = \frac{60 \times q \times f \times E}{C_m}$$

Qh: Desempeño por hora	(m ³ /h)
q: Capacidad de la cuchilla	(8 m ³)
f: factor de conversión del residuo	1.0
E: Eficiencia de operación	0.6

Por lo tanto, el Qh es de 320 m³/h.

ii. Numero Requerido de Bulldozers

Peso de los residuos dispuestos por día:	:10,000 ton/día
Volumen de los residuos dispuestos por día: (con una proporción volumétrica de 0.8 para los residuos)	:10,000/0.8 = 12,500 m ³ /día
Horas de operación de un bulldozer	:10 horas
Volumen del residuo dispuesto por hora:	:12,500/10 = 1,250 m ³ /día
Numero requerido de bulldozers:	:1,250/320 = 3.91, lo que implica 4 unidades

c.11 Operación

El relleno Etapa IV ha estado operando de manera satisfactoria, por ejemplo, se le ha colocado una geomembrana, se le provee de cobertura diaria de suelo (intermedia), se registra la cantidad dispuesta por medio del uso de básculas. A lo único que se le debe de prestar mayor atención es al método de disposición de los lixiviados y al plan de relleno para los diferentes niveles. El método recomendado para la disposición de lixiviados es propuesto en la sección sobre el Manejo de lixiviados; mientras que la metodología sobre apilamiento de los residuos es descrita en la próxima sección denominada Secuencia de la Expansión Vertical.

c.12 Secuencia de la Expansión Vertical de BP-IV

Actualmente el lixiviado está escurriendo de la parte inferior del talud de la celda y hacia el camino adyacente. Esto causa en la actualidad problemas de operación y a corto plazo se deteriorará el camino, especialmente cuando llueva.

Para poder implementar la "Expansión Vertical de BP-IV" se deben llevar a cabo los siguientes componentes en una secuencia apropiada:

- Impermeabilización de los caminos (nivel de 0.0 metros)
- Instalar la parte horizontal del sistema de recolección de lixiviados (nivel de 0.0 metros)
- Construcción de una rampa (nivel de 0.0 metros a 8.0 metros)
- Construcción de caminos (a un nivel de 8.0 metros)
- Construcción de una tubería vertical (para la recolección/bombeo de lixiviados, eliminación del biogas)
- Rellenado de los valles en los caminos (de un nivel de 0.0 metros a 8.0 metros)
- Bombeo y aspersado (y/o represado) de lixiviados a un nivel de 8.0 metros

- h. Relleno (de 8.0 metro a 16.0 metros)
 - h'. Proporcionar un sistema de recolección de lixiviados horizontal (en caminos a una altura nivel de 8.0 metros)
 - c'. Construcción de un camino de acceso (de un nivel de 8.0 metros a 16.0 metros)
 - d'. Construcción de caminos (a un nivel de 16.0 metros)
 - e'. Expansión de la tubería vertical (de 8.0 metros a 16.0 metros)
 - f'. Rellenado de los valles en los caminos (de un nivel de 8.0 metros a 16.0 metros)
 - g'. Bombeo y aspersado (y/o represado) de lixiviados a un nivel de 16.0 metros
-
- h". Relleno (de 16.0 metros a 24.0 metros)
 - h''. Proporcionar un sistema de recolección de lixiviados horizontal (en caminos a una altura nivel de 16.0 metros)
 - c''. Construcción de un camino de acceso (de un nivel de 16.0 metros a 24.0 metros)
 - d''. Construcción de caminos (a un nivel de 24.0 metros)
 - e''. Expansión de la tubería vertical (de 16.0 metros a 24.0 metros)
 - f''. Rellenado de los valles en los caminos (de un nivel de 16.0 metros a 24.0 metros)
 - g''. Bombeo y aspersado (y/o represado) de lixiviados a un nivel de 24.0 metros.

a. Impermeabilización de los Caminos del Primer Nivel

Aunque todas las celdas cuentan con una geomembrana impermeable en el fondo, los caminos no tienen esta capa. Por lo tanto, se debe aplicar este recubrimiento en los caminos para alcanzar la impermeabilización completa del sitio BP-IV.

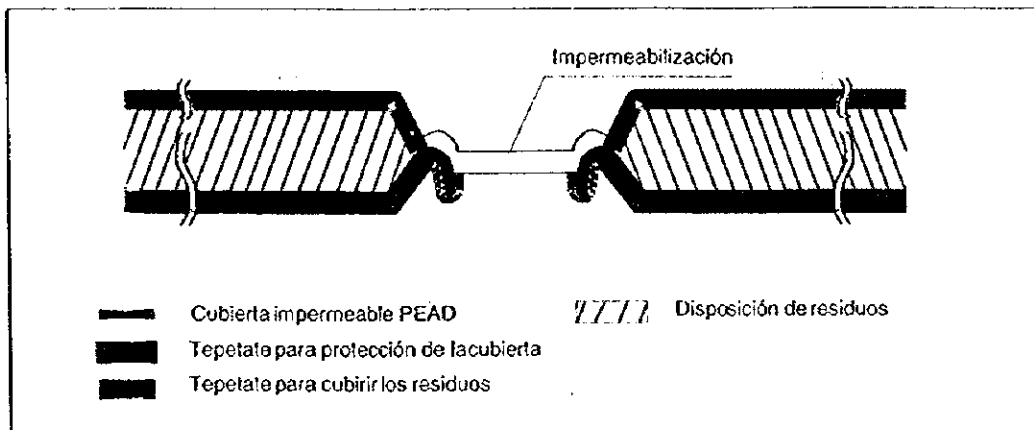


Figura H-15: Impermeabilización de los Caminos del Primer Nivel

b. Líneas para la Recolección y Drenaje de Lixiviados en los Caminos Internos en el Primer Nivel

Después de instalar la geomembrana en los caminos internos a un nivel de 0.0 metros, se debe depositar sobre la misma tepetate para su protección. Encima del tepetate se deben colocar líneas de recolección y drenaje de lixiviados formadas con tejas volcánicas porosas (Tezontle).

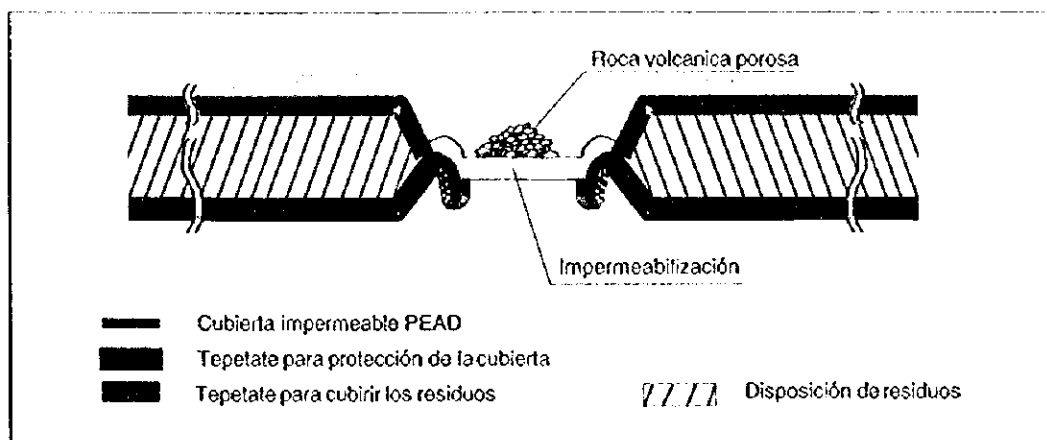


Figura H-16: Líneas para recolección y drenaje de lixiviados

b.1 Caminos Externos en el Primer Nivel

Los caminos perimetrales externos a un nivel de 0.0 metros deben conservarse como caminos de "monitoreo y de mantenimiento" para BP-IV.

c. Caminos de Acceso para el Segundo Nivel

Se debe planear primero un camino de acceso (rampa) a un nivel de 8.0 metros.

Ya que los vehículos con residuos pasan por la báscula que se encuentra a la entrada del sitio BP-IV, se recomienda que esta rampa se localice en la celda No. 19. La pendiente sería de 5.0% (para un incremento vertical de 8.0 metros a lo largo del acceso de 160 metros) teniendo presente que debe ser transitable bajo toda condición de clima.

Por otro lado, el área que existe entre la celda No. 19 y la planta de selección será rellenada en el futuro, por lo que la rampa debe contar con una geomembrana impermeable antes de construirla.

El ancho de esta rampa (**pendiente de 5%**) debe ser el suficiente para permitir el tráfico de vehículos en **un solo sentido**. Cuando se lleven a cabo operaciones de relleno en valles (en el camino a un nivel de 0.0 metros), el volumen de tráfico en la rampa debe ser tal, que se pueda mantener un tráfico alternado de un solo sentido. Cuando se lleve a cabo la operación de relleno a un nivel de 8.0 a 16.0 metros, el volumen de tráfico sobre la rampa será mayor, por lo que esta última (pendiente de 5%) debe utilizarse exclusivamente como una rampa de ascenso, y para entonces, se deberá añadir **otra rampa de descenso (con una pendiente de 10-15%)** en un lugar apropiado.

d. Caminos en un Segundo Nivel

Cuando el relleno de BP-IV se eleve más de los 8.0 metros, los caminos perimetrales externos a esta altura deben conservarse como caminos de "monitoreo y de mantenimiento". Siguiendo este concepto, se deben determinar las coordenadas de los caminos externos a un nivel de 8.0 metros, tal y como lo muestra la Figura H-17.

Después de que el relleno se eleve a una altura de 8.0 a 16.0 metros, los caminos internos a un nivel de 8.0 metros deben utilizarse como líneas para drenaje de lixiviados. Por lo tanto, cuando se eleve el relleno a 8.0 metros, los caminos internos deberán estar contruidos con roca volcánica porosa (Tezontle), que es barata para utilizarse como material para construcción de caminos, y posteriormente puede funcionar como dren para los lixiviados. La capa de roca volcánica porosa (Tezontle) debe ser lo suficientemente gruesa para permitir el tráfico de vehículos en los caminos a un nivel de 8.0 metros, ya que este camino se encuentra sobre residuos altamente compresibles.

Se deben construir los caminos internos a un nivel de 8.0 metros un poco desviados de las tuberías verticales. Ya que estos caminos pueden funcionar posteriormente como líneas para drenaje, estas líneas con roca volcánica porosa (Tezontle) a un nivel de 8.0 metros deben conectarse a las tuberías verticales cercanas.