

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**DISEÑO Y FACTIBILIDAD DE RELLENO SANITARIO
MANUAL PARA EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD,
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD.**

PRESENTADO POR:

IVANNIA YANET FERNÁNDEZ SANDOVAL

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERA CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2010.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO:

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

MSc. ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERON

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERA CIVIL

Título:

**DISEÑO Y FACTIBILIDAD DE RELLENO SANITARIO
MANUAL PARA EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD,
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD.**

Presentado por:

IVANNIA YANET FERNÁNDEZ SANDOVAL

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRÓN

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS

San Salvador, agosto de 2010.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRÓN

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS

Agradecimientos especiales:

De la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura:

MSc. Ing. Fredy Fabricio Orellana Calderón – Director de Escuela

Ing. José Arnulfo Cárcamo y Cárcamo – Docente

Ing. Ricardo Ernesto Herrera Mirón –Docente Coordinador

Ing. Edwin Santiago Escobar Rivas – Docente Asesor

De la Alcaldía de la Ciudad y Puerto de la Libertad:

Sr. Carlos Farabundo Molina Quinteros – Alcalde Municipal.

Ing. Paz Ovidio Jiménez Durán – Jefe de Proyectos.

Sr. Luis Felipe Rodríguez – Jefe de Unidad Ambiental.

Dedicatoria y Agradecimientos personales:

A Dios todo poderoso:

Por ser parte importante en mi ser, que me ha permitido culminar mi trabajo de graduación y muchas otras metas y dificultades que se me han presentado en mi vida, a través de su fortaleza y protección espiritual brindada en todo momento.

A mi amado esposo José Luis y a mis bellos hijos, Ivansito y Luisito:

Por ser la razón más importante de continuar con mis propósitos y metas, pues ellos me dan tanta alegría y felicidad, que complementan mi vida grandemente.

A mi querida mamá Angelita y a mi querido papá Nordman:

Que gracias a su cariño y a sus buenos y sabios consejos, me han dado la formación de mi vida, las herramientas y el carácter necesario para afrontar todos mis propósitos y dificultades.

A mis queridos hermanos Saúl, Alex y Ada Liz:

Por toda la amistad y apoyo incondicionales, brindados de muchas maneras a lo largo de toda mi vida.

A mis demás familiares y amigos:

Por todo el apoyo y amistad de buena voluntad que siempre me han demostrado, a través del tiempo.

ivannia yanet Fernández Sandoval

INDICE

Contenido	Pág.
Introducción.....	1
Capitulo I – Generalidades.....	2
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Alcances.....	7
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Justificaciones.....	8
1.7 Metodología de la Investigación Desarrollar.....	9
Capitulo II - Marco Teórico.....	10
2.1 Definición de Relleno Sanitario.....	11
2.2 Clasificación de los Rellenos Sanitarios.....	15
2.2.1 Relleno Sanitario Manual.....	15
2.2.2 Relleno Sanitario Semi-Mecanizado.....	15
2.2.3 Relleno Sanitario Mecanizado.....	16
2.3 Ventajas y Desventajas de los Rellenos Sanitarios.....	17
2.3.1 Ventajas de los Rellenos Sanitarios.....	17
2.3.2 Desventajas de los Rellenos Sanitarios.....	18
2.4 Diseño de Rellenos Sanitarios.....	19
2.4.1 Selección y Características del Terreno.....	19
2.4.2 Condiciones Climatológicas.	22
2.4.3 Aspectos Demográficos.....	22
2.4.4 Aspectos Generales de los Desechos Sólidos.	23
2.4.5 Selección del Método de Relleno.	25
2.4.6 Cálculos Necesarios.....	30
2.5 Operación, Mantenimiento y Cierre Técnico.....	34

2.5.1 Clausura del Botadero Municipal.....	35
2.5.2 Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario.	35
2.5.3 Clausura y Postclausura del Relleno Sanitario.	37
Capitulo III - Descripción Geográfica y Poblacional del Municipio de La Libertad.....	39
3.1 Ubicación Geográfica.....	40
3.2 Estructura Político-Administrativa.....	42
3.3 Densidad Poblacional.....	43
3.4 Topografía y Geología.....	43
3.4.1 Topografía.....	43
3.4.2 Geología.....	45
3.5 Hidrografía y Orografía.....	46
3.5.1 Hidrografía.....	46
3.5.2 Orografía.....	49
3.6 Climatología.....	50
3.6.1 Temperatura.....	50
3.6.2 Precipitación Pluvial.....	51
3.6.3 Humedad Relativa.....	52
3.6.4 Vientos.....	53
3.6.5 Radiación Solar.....	53
3.7 Flora y Fauna.....	54
3.7.1 Flora.....	54
3.7.2 Fauna.....	55
3.8 Servicios Básicos.....	55
3.8.1 Vivienda	55
3.8.2 Salud.....	56
3.8.3 Educación.....	56
3.8.4 Vías de Comunicación y Transporte.....	57
3.8.5 Servicio de Agua Potable, Aguas Negras y Aguas Lluvias.....	58
3.8.6 Servicios de Electrificación y Telecomunicaciones.....	59
3.9 Ambiente Socio-Económico.....	61
3.9.1 Comercio e Industria.....	61
3.9.2 Agricultura y Ganadería.....	64
3.9.3 Turismo y Recreación.....	64

Capitulo IV - Diagnostico del Sistema Actual del Manejo de los Desechos Sólidos para el Municipio de La Libertad.....	66
4.1 Manejo Actual de los Desechos Sólidos.....	67
4.2 Rutas de Recolección y Transporte.....	71
4.3 Almacenamiento.....	73
4.4 Tratamiento.....	73
4.5 Costo del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento.....	74
4.5.1 Gastos Mensuales por Transporte.	74
4.5.2 Gastos Mensuales por Personal Administrativo.....	75
4.5.3 Gastos Mensuales por Almacenamiento.....	75
4.5.4 Costo Mensual del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento.....	76
4.5.5 Subsidio Mensual del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento.....	77
 Capitulo V - Estudios Básicos para el Diseño del Relleno Sanitario Manual.....	 78
5.1 Estudios Básicos del Sitio Escogido para el Relleno Sanitario Manual	79
5.1.1 Descripción del Sitio.....	79
5.1.2 Estudio Topográfico.....	79
5.1.3 Estudio Geológico.....	82
5.1.4 Geotecnia.....	87
5.1.5 Ensayos de Laboratorio.....	87
5.2 Características de los Desechos Sólidos Generados en el Municipio.....	88
5.2.1 Muestreo de los Desechos Sólidos.....	88
5.2.2 Producción Per Cápita de los Desechos Sólidos.....	90
5.2.3 Cantidad de Desechos Sólidos Generados.....	90
5.3 Análisis de los Estudios Básicos.....	91
 Capitulo VI - Propuesta de Diseño del Relleno Sanitario Manual.....	 94
6.1 Diseño de las Rutas de Recolección.....	95
6.1.1 Trazado de Rutas.....	96
6.1.2 Control Diario del Sistema de Recolección.....	97

6.2	Diseño del Relleno Sanitario Manual.....	107
6.2.1	Aspectos Demográficos.....	107
6.2.2	Cálculo del Volumen Necesario.....	110
6.2.3	Cálculo del Area Requerida.....	113
6.2.4	Selección del Método.....	114
6.2.5	Calculo de la Vida Util.....	114
6.2.6	Calculo de la Celda.....	119
6.2.7	Calculo de la Mano de Obra.....	122
6.3	Diseño de las Obras de Drenaje.....	125
6.3.1	Tiempo de Concentración.....	126
6.3.2	Intensidad Pluvial Máxima o de Diseño.....	127
6.3.3	Pendiente Media de la Zona en Estudio.....	132
6.3.4	Calculo del Coeficiente de Escorrentía.....	132
6.3.5	Calculo del Caudal Máximo de Diseño.....	135
6.3.6	Drenaje Pluvial.....	135
6.3.7	Drenaje para Líquidos Lixiviados.....	139
6.4	Drenaje para Líquidos Lixiviados.....	145
6.5	Drenaje para Gases.....	149
6.6	Diseño de Obras Complementarias.....	151
6.6.1	Cerco Perimetral y Portón de Acceso.....	152
6.6.2	Rótulo de Identificación del Proyecto.....	152
6.6.3	Vías de Acceso Internas.....	152
6.6.4	Caseta de Control.....	153
6.6.5	Instalaciones Sanitarias.....	153
6.7	Presupuesto del Relleno Sanitario Manual.....	158
6.7.1	Costo de Inversión.....	158
6.7.2	Costo de Operación y Mantenimiento.....	160
Capitulo VII - Puesta en Marcha, Operación y Mantenimiento Periódico del Relleno Sanitario Manual.....		161
7.1	Descripción del Proyecto por Etapas.....	162
7.2	Cronograma de Trabajo.....	165
7.3	Operación y Mantenimiento.....	167
7.3.1	Construcción de la Celda Diaria.....	167

7.3.2	Material de Cobertura.....	169
7.3.3	Compactación.....	170
7.3.4	Vías de Acceso y Control de Descarga de los Vehículos Recolectores.....	171
7.3.5	Operación en Periodo de Lluvias.....	174
7.3.6	Herramientas.....	176
7.3.7	Seguridad de Trabajo.....	178
7.4	Administración y Control.....	181
7.4.1	Control de Vectores.....	181
7.4.2	Control de Gases Explosivos.....	182
7.4.3	Control de Incendios.....	183
7.4.4	Control de Polvo.	183
7.4.5	Control del Material Disperso.	184
7.4.6	Contaminación de las Aguas Superficiales.....	185
7.4.7	Monitoreo de la Calidad del Agua.....	186
7.4.8	Parámetros de Análisis de la Calidad del Agua.....	186
7.4.9	Control de Desechos Peligrosos.....	188
7.4.10	Control de Hurgadores de Basura.....	190
7.4.11	Control de Operaciones.....	191
7.4.12	Separación de Materiales y Materia Orgánica.....	191
Capitulo VIII - Normativas Ambientales Aplicables al Proyecto.....		195
8.1	Generalidades.....	196
8.2	Categorización del Proyecto.	197
8.3	Identificación, Priorización, Reducción y Cuantificación de los Impactos Ambientales.....	198
8.3.1	Impactos Ambientales Negativos.....	198
8.3.2	Impactos Ambientales Positivos.....	203
8.4	Componentes del Programa de Manejo Ambiental.....	204
8.4.1	Etapa de Preparación del Terreno.....	204
8.4.2	Etapa de Construcción del Relleno Sanitario.....	204
8.4.3	Funcionamiento del Relleno Sanitario.	205
8.4.4	Etapa de Cierre de Relleno Sanitario.	206
8.5	Descripción Detallada del Programa de Adecuación Ambiental.....	207
8.5.1	Preparación del sitio.	207

8.5.2 Construcción del Relleno Sanitario.	207
8.5.3 Funcionamiento del Relleno Sanitario.	207
8.5.4 Cierre del Relleno.....	208
8.5.5 Plan de Arborización y mejora de la belleza escénica en contornos de los límites de la propiedad donde se construirá el Relleno Sanitario.	208
8.6 Formulario Ambiental.	208
8.6.1 De la presentación del Formulario Ambiental.	209
8.6.2 Del Contenido del Formulario Ambiental.	209
8.6.3 De la Responsabilidad del contenido de la información proporcionada y remisión del formulario ambiental.	209
8.6.4. De la Reserva de la Información.	210
8.6.5 De la Tramitación del Formulario Ambiental.	210
8.6.6 De la Categorización de la Actividad, obra o proyecto.	211
8.6.7. De los criterios para establecer la envergadura de la actividad, obra o proyecto y la calificación de la sensibilidad del medio ambiente.	211
8.6.8 De las Categorías de la Actividad, Obra o Proyecto.....	213
8.6.9 De la Resolución de Categorización y de los lineamientos de términos de referencia.....	213
8.6.10 De la Vigencia de la Resolución de Categorización de la Actividad, Obra o Proyecto.....	214
8.6.11 Documentación Complementaria Anexada al Formulario Ambiental.....	214
Capitulo IX - Conclusiones y Recomendaciones.....	216
9.1 Conclusiones.....	217
9.2 Recomendaciones.....	220
Bibliografía.....	222
Anexos.....	225

Introducción.

Los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de los residuos están afectando, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, así como a las poblaciones rurales. En muchos municipios, el manejo empírico del servicio de aseo, se realiza con una evidente falta de criterios técnicos, económicos y sociales, ocasionado que este servicio carezca de una adecuada planificación y organización, traduciéndose en altos costos de funcionamiento, que las mismas municipalidades han tenido que subsidiar consumiendo buena parte de su presupuesto. Un Relleno Sanitario constituye una solución a esta problemática, pues es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo, utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

El presente estudio incluye la recopilación de información, datos, parámetros, cálculos y análisis que plantean una propuesta del diseño y la factibilidad para la construcción y operación de un Relleno Sanitario Manual para el municipio de La Libertad, ubicado en el departamento de La Libertad. Este relleno sanitario es un proyecto de ingeniería mas, destinado a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos que se generan en dicho municipio, de acuerdo con los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental, ayudando a resolver en gran parte de los problemas que se generan por la inadecuada disposición de los residuos sólidos, tomando en cuenta una buena planeación desde las etapas iniciales de diseño, hasta las de su clausura.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La salud pública ha sido la principal motivación para el adecuado manejo y la disposición final de los desechos sólidos. Esta problemática ha venido evolucionando en toda América Latina y nuestro país no es la excepción, desde el año 1977, es cuando se implementa la modalidad de los rellenos sanitarios mecanizados, aunque desarrollada en forma deficiente por sus altos costos de funcionamiento, no es sino hasta que en 1991 cuando se retoma el tema de la disposición final de los desechos sólidos, promovido por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), realizando el primer perfil de factibilidad de un relleno sanitario manual y su posterior construcción para la ciudad de Sensuntepeque, ubicada en el departamento de Cabañas.

Para el año de 1995 se eligió el municipio de Suchitoto por su importancia histórica y cultural para realizar un diagnóstico general del manejo de los desechos sólidos e implementar posteriormente un relleno sanitario manual¹.

En 1998 se promulgó la “Ley de Medio Ambiente” y en año 2000 el “Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de Desechos Sólidos” y la “Política sobre Desechos Sólidos”. Para el 2001 el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) realizó el primer censo Nacional de Manejo de Desechos Sólidos, concluyendo que en total son 182 municipios de El Salvador que cuentan con un servicio de recolección de desechos sólidos, lo que representa el 69% del total de municipios del país.

Además se hizo el análisis tomando como base la proyección de población para el año 2000, llegando al resultado total que el número de habitantes que cuentan con el servicio de

¹ Gestión Integral de los Desechos Sólidos de la Ciudad de Suchitoto, CESTA 1999.

recolección es de 3,955,063 que representa el 63% de la población total, generando desechos sólidos hasta de 1,977.53 ton/día. De los 182 municipios que cuentan con servicio de recolección, se han identificado 143 botaderos a cielo abierto. Para la disposición final de los desechos, solamente 19 municipios de los 182 (10.4%) cuentan con sitios adecuados (Rellenos Sanitarios) que reúnen las condiciones técnico-ambientales para este fin.²

Luego en julio de 2004, el gobierno de nuestro país decidió clausurar los botaderos a cielo abierto y obligar a las alcaldías a presentar un diagnóstico de impacto ambiental sobre los lugares donde depositan la basura e implementar un relleno sanitario para la disposición de acuerdo con el Decreto Ejecutivo editado en el 2001. Pero desde entonces la misma Asamblea Legislativa les ha dado prórrogas a las municipalidades –la última de ellas el 4 de noviembre de 2005 y que venció el pasado 5 de diciembre de 2006 – para que continúen elaborando ese diagnóstico y depositando la basura en lugares prohibidos por la ley.

Sin embargo, municipios a pequeña y mediana escala se han quedado atrás con esta implementación debido a la falta de conocimientos y habilidades del personal sobre el manejo de desechos sólidos y a los recursos financieros limitados.

Por lo anterior, la actual administración de la municipalidad de La Libertad esta gestionando estudios de factibilidad y buscando financiamiento para llevar a cabo el proyecto del adecuado manejo de los desechos sólidos, reduciendo de manera importante la contaminación ambiental de su municipio.

² “Informe Nacional del Estado del Medio Ambiente 2000-2002 de El Salvador” elaborado por el MARN.

1.2 Planteamiento del Problema.

El municipio de La Libertad posee una inadecuada disposición de los desechos sólidos, haciéndolo a través de botaderos ilegales a cielo abierto, quemas de basura, etc. por mencionar algunos, propiciando de esta forma un gran problema de contaminación para su municipio, así como para sus poblaciones aledañas, ocasionando un gran deterioro a sus recursos naturales e incumpliendo las normativas vigentes con respecto al medio ambiente.

El gobierno municipal de La Libertad posee una estructura organizativa, recursos humanos, financieros y técnicos propios, unidades de ingeniería y catastro, que cumplen más que todo las funciones de vigilancia municipal y tributaria. Se necesita de un apoyo técnico extra que realice estudios que planteen el método de disposición final que mejor se adapta a sus necesidades y sobre todo que este acorde a los recursos que las municipales poseen, sobre todo en el aspecto económico.

Es por ello que se considera la construcción de un relleno sanitario manual, como el método de disposición final más conveniente, principalmente porque estos rellenos necesitan de poco mantenimiento y conocimientos técnicos para operarlo, teniendo un costo relativamente bajo, pudiendo de esta manera proporcionar y cumplir con las necesidades de conservar la salud pública y el bienestar social, así como la obligatoria conservación del medio ambiente.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Elaborar un estudio de factibilidad técnica y el diseño de un relleno sanitario manual para la disposición final de los desechos sólidos generados por el municipio de La Libertad.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Efectuar un diagnóstico del sistema de manejo de los desechos sólidos que utiliza actualmente la municipalidad de La Libertad, con el fin de establecer los parámetros necesarios para el posterior diseño de un relleno sanitario manual, que contribuya a resolver la problemática de la disposición final de los desechos sólidos de dicha ciudad.
- Realizar los estudios básicos necesarios para el diseño del relleno sanitario manual, como lo son la selección del sitio, estudio topográfico, geológico, hidrológico y geotécnico, además de la caracterización de la basura generada por el municipio, el análisis poblacional y su estudio de impacto ambiental.
- Presentar las recomendaciones de operación, mantenimiento y puesta en marcha para el buen funcionamiento del relleno sanitario manual, a través de un manual de operaciones y un cronograma de actividades, que refleje las diferentes etapas de su vida útil hasta su posterior cierre técnico.

1.4 Alcances.

- Se elaborará la factibilidad técnica y el diseño final para la construcción de un relleno sanitario manual para el municipio de La Libertad, para un cierto período de tiempo, el cual deberá resolver la problemática de la disposición final de los desechos sólidos generados por dicho municipio.
- Se realizarán estudios técnicos necesario que posibiliten el diseño y posterior construcción del relleno sanitario manual, a través de estudios de ingeniería básicos como lo son el estudio topográfico, geológico, hidrológico y geotécnico, además se realizará una caracterización de la basura generada por dicho municipio, un análisis poblacional y un estudio de impacto ambiental.

1.5 Limitaciones.

Este proceso de investigación que consta de la Factibilidad Técnica y el Diseño del Relleno Sanitario Manual requiere de estudios de ingeniería de mucha importancia, por lo tanto el estudio se ve limitado por el aspecto económico, el tiempo de ejecución y el apoyo que aporte la alcaldía del Municipio de la Libertad, que es la entidad gubernamental que lo ha solicitado.

Por lo tanto el estudio se desarrollará en base a la colaboración tanto económica como humana que aporte la alcaldía del municipio, todo con el fin de mejorar totalmente la disposición final de los residuos sólidos generados en su municipio y de abandonar las

inadecuadas prácticas de disposición final de la basura que se han venido adoptando con el tiempo.

1.6 Justificaciones.

La generación masiva de los desechos sólidos y su inadecuada disposición final y tratamiento, ha conllevado a que en el municipio de la Libertad se estén afectado los recursos naturales notoriamente, condición que amerita especial atención, principalmente porque se están sobrepasando los niveles permisibles de contaminación, sobre todo con los recursos hídricos y la diversidad biológica, afectando notablemente la calidad de vida no solo de la flora y la fauna circundante, sino que también la de las personas que habitan el municipio, además de violar las normativas ambientales que rigen a nuestro país.

La municipalidad de la Libertad no cuentan con el personal adecuado, ni mucho menos con un departamento técnico que aborde este tipo de inconvenientes, es por ello que se presenta la necesidad de plantear la factibilidad técnica y una propuesta de diseño para la construcción de un relleno sanitario manual, siendo el método que mejor se adapta a las condiciones y recursos económicos de dicha municipalidad.

Existe una gran necesidad en cuanto a la creación de un adecuado manejo para la disposición final de sus desechos sólidos, producidos principalmente en la zona urbana de la ciudad, con el fin de brindar a sus habitantes y visitantes un claro beneficio, en lo que respecta a la conservación de sus recursos naturales y de su medio ambiente.

1.7 Metodología de la Investigación a Desarrollar.

Para poder desarrollar la factibilidad técnica y el proyecto de diseño del Relleno Sanitario Manual se efectuarán diversos estudios básicos y se utilizaran diferentes métodos proporcionados por la rama de la ingeniería sanitaria y ambientalista, que servirán como información y parámetros básicos para desarrollar el proyecto.

Se realizará un estudio completo del municipio de la Libertad, que constará de un análisis poblacional, una descripción geográfica, orográfica, topográfica e hidrológica, estudio de la flora, la fauna, el suelo, el clima, además se analizará el ambiente socio económico, el nivel de vida y los servicios públicos con que cuenta el municipio de la libertad.

Además se realizará un estudio de sitio escogido para construir el Relleno Sanitario Manual, el que constará de un levantamiento topográfico del terreno en planimetría y altimetría, un estudio geológico, hidrológico y geotécnico, diferentes análisis de laboratorio y un estudio de impacto ambiental para poder efectuar un informe ambiental. Además se hará una caracterización y cuantificación de la basura generada diariamente por el municipio, para poder tener un buen parámetro del problema que debemos resolver.

También se hará el diseño del relleno sanitario manual escogiendo la metodología que mejor se adapte a las condiciones tanto económicas como técnicas con las que cuenta la actual administración de la alcaldía de dicho municipio, presentando un presupuesto detallado de todas las obras necesarias para construir el relleno .

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de Relleno Sanitario.

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo.

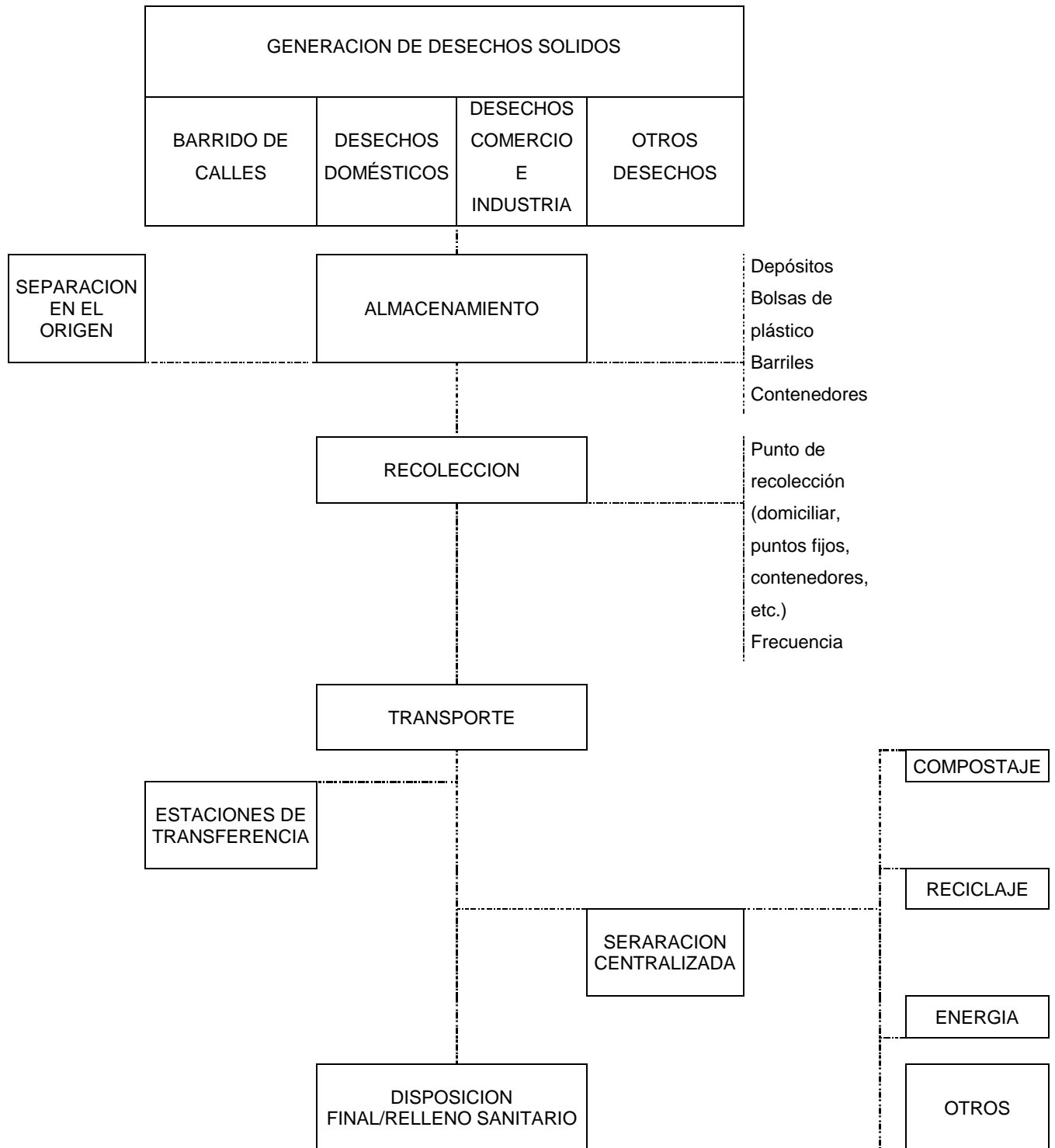
Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica³.

Para ofrecer una solución integral al problema del manejo de los residuos sólidos, las alternativas deben incluir los elementos imprescindibles, es decir, aquellos que no pueden faltar en el sistema, como son la recolección, el transporte y la disposición final, complementados por estaciones de transferencia, almacenamiento temporal, separación centralizada o en el punto de origen y compostaje por la comunidad o municipio.

A continuación se presenta la figura 2.1, donde se describen los elementos físicos que componen un sistema de gestión de residuos sólidos y sus interrelaciones.

³ Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Programa de Salud Ambiental Serie Técnica No. 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991.

Figura 2.1.
Elementos Físicos del Sistema de Manejo de Residuos Sólidos.



Pudiéndose ampliar algunos términos, como sigue:

Generación de Desechos Sólidos: puede darse por medio de:

- **Barrido de calles:** que consiste en la recolección que se realiza en las calles a través de la municipalidad.
- **Desechos domésticos:** son los desechos descartados por establecimientos residenciales.
- **Desechos de comercio e industria:** son desechos descartados por operaciones industriales o derivados de procesos de fabricación. Se dividen entre los que se pueden reciclar rentablemente y los desechos sólidos que no tienen ventajas económicas.
- **Otros desechos:** que pueden ser desechos farmacéuticos y quirúrgicos provenientes de clínicas médicas y hospitales o cualquier otro tipo de desechos que no estén incluidos en los anteriores.

Separación en el origen: que es la acción de agrupar determinados componentes o elementos de los residuos sólidos para ser manejados en forma especial.

Almacenamiento: el cual puede realizarse a través de depósitos, bolsas de plástico, barriles, contenedores, etc.

Recolección: que puede ser a través de puntos de recolección ya sea domiciliar, puntos fijos, contenedores, etc. y la frecuencia con que esta se realiza.

Transporte: que debe realizarse a través de vehículos recolectores de basura para cada sitio de los municipios.

Estaciones de transferencia: es una instalación multipropósito, que puede incluir las siguientes funciones: recolección de desechos separados, recuperación de materiales (compostaje y bioconversión de desechos) producción de combustible derivado de los desechos, transferencia y transporte de materiales.

Separación centralizada: consiste en la separación de los desechos para:

- **Compostaje:** descomposición controlada de desechos orgánicos sólidos en condiciones aeróbicas, puede realizarse en pilas, pilas estáticas y contenedores cerrados.
- **Reciclaje:** consiste en someter de nuevo una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto, también se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida y se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales y para eliminar de forma eficaz los desechos.
- **Energía:** generación de biogás, que es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores, en ausencia de aire, en un ambiente anaeróbico. Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto.

Disposición Final / Relleno Sanitario: es la instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, de acuerdo con principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.

En nuestro país la gestión del manejo de los desechos sólidos ha cobrado relevancia en los últimos 10 años y eso se manifiesta en la existencia de un marco legal moderno, que se estructura a partir de la aprobación de la Ley de Medio Ambiente en mayo de 1998, a través del Decreto Legislativo No. 233 y la entrada en vigencia del Reglamento Especial Sobre Manejo Integral de los Desechos Sólidos, a partir del 1ro de junio del año 2001, a través del Decreto Ejecutivo No. 42.

2.2 Clasificación de los Rellenos Sanitarios.

Los rellenos sanitarios pueden ser manuales, semi-mecanizados y mecanizados.

2.2.1 Relleno Sanitario Manual.

El relleno sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones urbanas y rurales menores de 40,000 habitantes, como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 20 toneladas diarias de basura. Mediante la técnica de la operación manual, sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas y excavación de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y método de relleno. En cuanto a los demás trabajos, todos pueden realizarse manualmente, lo cual permite a estas poblaciones de bajos recursos, sin posibilidades de adquirir y mantener equipos pesados permanentes, disponer adecuadamente sus basuras y utilizar la mano de obra que en países en desarrollo es bastante abundante. Si el costo de transporte lo permite, puede resultar ventajosa la utilización de un mismo relleno sanitario manual para dos o más poblaciones.

2.2.2 Relleno Sanitario Semi-Mecanizado.

Tiene todas las características básicas de un relleno, diseñado, construido y operado con criterios de ingeniería civil y sanitaria para poblaciones hasta de 100,000 habitantes, para

ciudades que generan entre 20 y 40 toneladas diarias de basura. Se requiere de equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas y excavación de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y método de relleno. En cuanto a los demás trabajos de esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realizan con el apoyo de equipo mecánico, siendo posible también el empleo de herramientas manuales para complementar los trabajos de confinamiento de residuos.

2.2.3 Relleno Sanitario Mecanizado.

Las operaciones en el relleno sanitario se realizan íntegramente a través de equipo pesado, ya sea en forma parcial o permanente, la utilización de estos equipos se realiza cuando la producción diaria de desechos sólidos es de 40 o más toneladas.

Según datos del “Segundo Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales”, realizado en nuestro país en el período comprendido entre el 8 de mayo al 5 de diciembre de 2006, por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) con fondos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Se estima que en nuestro país se encuentran 11 rellenos sanitarios, la mayor parte posee limitada capacidad, uno de ellos no ha entrado en operación y otro opera como botadero controlado, como se muestra en la Tabla # 2.1.

Actualmente, de los 210 municipios de nuestro país que poseen servicios de recolección y transporte de desechos sólidos, solamente 39 municipios utilizan rellenos sanitarios contra 16 municipios que lo hacían en el año 2001, esto equivale a un incremento del 8% a un 19%, comparando datos obtenidos en el “Primer Censo Nacional de Desechos Sólidos Municipales”, realizado en el año 2001, por el MARN con fondos del BID.

Tabla # 2.1
Rellenos Sanitarios en El Salvador.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
San Salvador	MIDES-Nejapa
Cuscatlán	Suchitoto
Usulután	SOCINUS SEM – Usulután
Ahuachapan	Atiquizaya – San Francisco Menéndez
Sonsonate	Sonsonate
Morazán	Perquín – Corinto – Jocoatique
La Unión	ASIGOLFO – Pasaquina*

*ASIGOLFO se encuentra cerrado y Pasaquina opera como botadero controlado.

2.3 Ventajas y Desventajas de los Rellenos Sanitarios.

2.3.1 Ventajas de los Rellenos Sanitarios.

- a) El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para nuestros países. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- b) La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implementar cualquiera de los métodos de tratamiento de incineración o compostación.
- c) Bajos costos de operación y mantenimiento.
- d) Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.

- e) Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
- f) Recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
- g) Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- h) Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación.
- i) Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes, ni fijas, además de ser apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

2.3.2 Desventajas de los Rellenos Sanitarios.

- a) La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte de la población cercana, ocasionada en general por factores tales como:
 - La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
 - Asociarse el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto".
 - La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
 - El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
- b) La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria

debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo, a fin de evitar fallas futuras.

- c) Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se podrían mostrar renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
- d) Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- e) Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

2.4 Diseño de Rellenos Sanitarios.

El diseño básico debe incluir en lo posible la delimitación del área total del sitio y del terreno a ser relleno sucesivamente, indicando el método constructivo, el origen de la tierra de cobertura y la disposición de las obras de infraestructura. Es necesario además presentar en las memorias de cálculo la vida útil, el uso futuro y el costo global estimado del proyecto⁴.

2.4.1 Selección y Características del Terreno.

La geología y características específicas del suelo del terreno son algunos de los factores más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar el sitio. Gracias a

⁴ Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Programa de Salud Ambiental Serie Técnica No. 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991

estos se puede obtener información acerca de posibles desplazamientos de las infiltraciones de agua y de una eventual contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Al mismo tiempo, el estudio del suelo permite evaluar la estabilidad del terreno y la localización, así como la calidad del banco de material de cobertura. Los principales parámetros que se deben tener en cuenta en el análisis y la evaluación de cualquier terreno son:

- **Tipo de suelo.**

Un relleno sanitario debe estar localizado de preferencia sobre un terreno cuya base sean suelos areno-limo-arcillosos (arena gruesa gredosa, greda franco-arcillosa); también son adecuados los limo-arcillosos (franco-limoso pesado, franco-limo-arcilloso, arcillo-limoso liviano) y los arcillo-limosos (arcillo-limoso pesado y arcilloso). Es mejor evitar los terrenos areno-limosos (francoarenosos) porque son muy permeables.

- **Permeabilidad del suelo.**

Es la mayor o menor facilidad con que la percolación del agua ocurre a través de un suelo. El coeficiente de permeabilidad (k) es un indicador de la mayor o menor dificultad con que un suelo resiste a la percolación del agua a través de sus poros, en otras palabras, es la velocidad con la que el agua atraviesa los diferentes tipos de suelo. En la Tabla # 2.2, se aprecia el tipo de suelo y su relación con el coeficiente de permeabilidad.

- **Profundidad del nivel freático.**

Tiene que ver con la profundidad de las aguas o la altura dominante del nivel freático. Se deberán preferir los terrenos bien drenados y con el nivel de aguas a más de un metro de profundidad durante todo el año. Los terrenos pobremente drenados o sea, aquellos que en

la tabla de aguas se mantienen la mayor parte del año por debajo de un metro se deben drenar de manera artificial. En estos casos es mejor descartarlos, sobre todo los que permanecen inundados durante largos periodos.

Tabla # 2.2
Relación entre el tipo de suelo, el coeficiente de permeabilidad y su aceptación para drenaje y relleno sanitario

Coeficiente de Permeabilidad k (cm/s)
(Escala logarítmica)

k (cm/s)	10 ²	10 ¹	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Malo		Prácticamente impermeable			
Relleno Sanitario	Pésimo									Bueno		
Tipo de suelo	Grava gruesa (cascajo)		Arena limpia, Arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla			Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización			
						Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización						

- **Disponibilidad del material de cobertura.**

Los terrenos planos, que cuentan con un suelo limo-arcilloso y el nivel freático a una profundidad tal que no haya posibilidad de contaminar las aguas subterráneas por la disposición de residuos, pueden ofrecer una buena cantidad de material de cobertura, en especial si se decide usar el relleno en zanjas. Por el contrario, si el terreno tiene un suelo

arenoso o si el nivel freático está a poca profundidad (a menos de un metro), primero se tendrá que impermeabilizar el terreno y luego, acarrear el material de cobertura desde otro sitio, lo que elevará enormemente los costos, de ahí que sería preferible descartarlo. Las hondonadas o los terrenos ondulados pueden brindar buenas posibilidades de material de cobertura, al nivelar el terreno y hacer los cortes en las laderas de las depresiones.

2.4.2 Condiciones Climatológicas.

La precipitación pluvial, la evaporación, la temperatura y la dirección del viento son los principales datos climatológicos que se deben recopilar para establecer las especificaciones de diseño de la infraestructura del relleno sanitario y tener un mejor conocimiento de las condiciones a las que estará sometida la obra en general. La dirección del viento y sobre todo, los registros de precipitación pluvial de la zona son muy importantes para el diseño de los diferentes sistemas de drenaje de agua y lixiviado.

2.4.3 Aspectos Demográficos.

- **Población.**

Es necesario conocer el número de habitantes a servir para definir las cantidades de desechos sólidos de que se ha de disponer. Es de anotar que la producción de desechos sólidos se debe discriminar entre la producción rural y la urbana. La primera, debido a la baja producción, presentará menos exigencias, pero su recolección resulta más difícil. En cambio, la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población, y desarrollo tecnológico y urbanístico, mereciendo nuestra atención en este caso.

- **Proyección de la población.**

Es además de suma importancia estimar la producción en el futuro, para definir las cantidades de desechos sólidos de que se deben disponer durante el período de diseño, lo

cual conlleva a realizar una proyección de la población, al igual que en cualquier obra de servicio público. El crecimiento poblacional se podrá estimar por métodos matemáticos, como el crecimiento geométrico, aritmético, etc. o vaciando los datos censales en una gráfica y haciendo una "proyección" de la curva dibujada.

2.4.4 Aspectos Generales de los Desechos Sólidos.

Entre los parámetros más importantes que debemos conocer para el manejo adecuado de los desechos sólidos que se producen en una población, se encuentran la composición y la cantidad.

- **Producción per cápita.**

La producción per cápita de desechos sólidos se puede estimar globalmente por habitante por día (kg./hab-día), también es posible relacionar la cantidad de desechos sólidos producidos por vivienda, o sea, kg/vivienda-día, dado que la basura es entregada por vivienda y además tiene la ventaja de la facilidad de contar las casas.

$$PPC = \frac{CRS}{Pob \times 7 \times C}$$

Donde:

PPC = producción por habitante por día (kg./hab-día)

CRS = cantidad de residuos sólidos recolectados en una semana (kg./sem)

Pob. = población área urbana (hab)

7 = días de la semana

C = cobertura del servicio de aseo (%)

- **Producción Total.**

El conocimiento de la producción total de desechos sólidos nos permite establecer, entre otros, cuáles deben ser los equipos de recolección más adecuados, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad de área para la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa o tasa de aseo.

La producción de desechos sólidos está dada por la relación de la población con la producción per cápita.

$$\text{CRD} = \text{Pob} \times \text{PPC}$$

Donde:

CRD = Cantidad de residuos sólidos producidos (kg./día)

Pob = Población área urbana (hab.)

PPC = Producción per cápita (kg./hab-día)

- **Proyección de la Producción Total.**

La producción anual de desechos sólidos se debe estimar con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita. La proyección de la población puede estimarse por métodos matemáticos pero, en cuanto al crecimiento de la producción per cápita, conviene anotar que difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente, para tratar de evaluar cambios. No obstante, para obviar este punto y conociendo que con el desarrollo y el crecimiento urbanístico y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular con una tasa de incremento del 1% anual, la producción per cápita total.

2.4.5 Selección del Método de Relleno.

El diseño del relleno sanitario depende del método adoptado, trinchera, área o su combinación, de acuerdo con las condiciones topográficas del sitio, las características del suelo y la profundidad del nivel freático. El diseño debe presentar los planos que orienten la construcción del relleno sanitario.

- **Método de Trinchera o Zanja.**

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad, aunque ya se han registrado experiencias de excavación de trincheras hasta de 7 metros de profundidad, estas excavaciones se realizan con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura, los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra diariamente. Se recomienda hacer cada zanja de tal forma que pueda tener una vida útil entre 30 y 90 días, considerando que hay que tener lista una nueva zanja antes de clausurar la que está en uso. De otra forma se corre el riesgo de que el lugar se convierta en un botadero abierto. La separación entre zanja y zanja debe ser por lo menos de un metro, dependiendo del tipo de suelo del lugar.

Es importante tener datos sobre el nivel freático y el tipo de suelo antes de implementar este método, ya que si el nivel freático está muy próximo a la superficie del suelo existe un alto riesgo de contaminar los acuíferos. Por otro lado, los terrenos rocosos dificultan la excavación.

Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlos y desviarlos e incluso

proveerlas de drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser cortadas de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado. La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación. La Figura 2.2 muestra un esquema del método de trinchera.

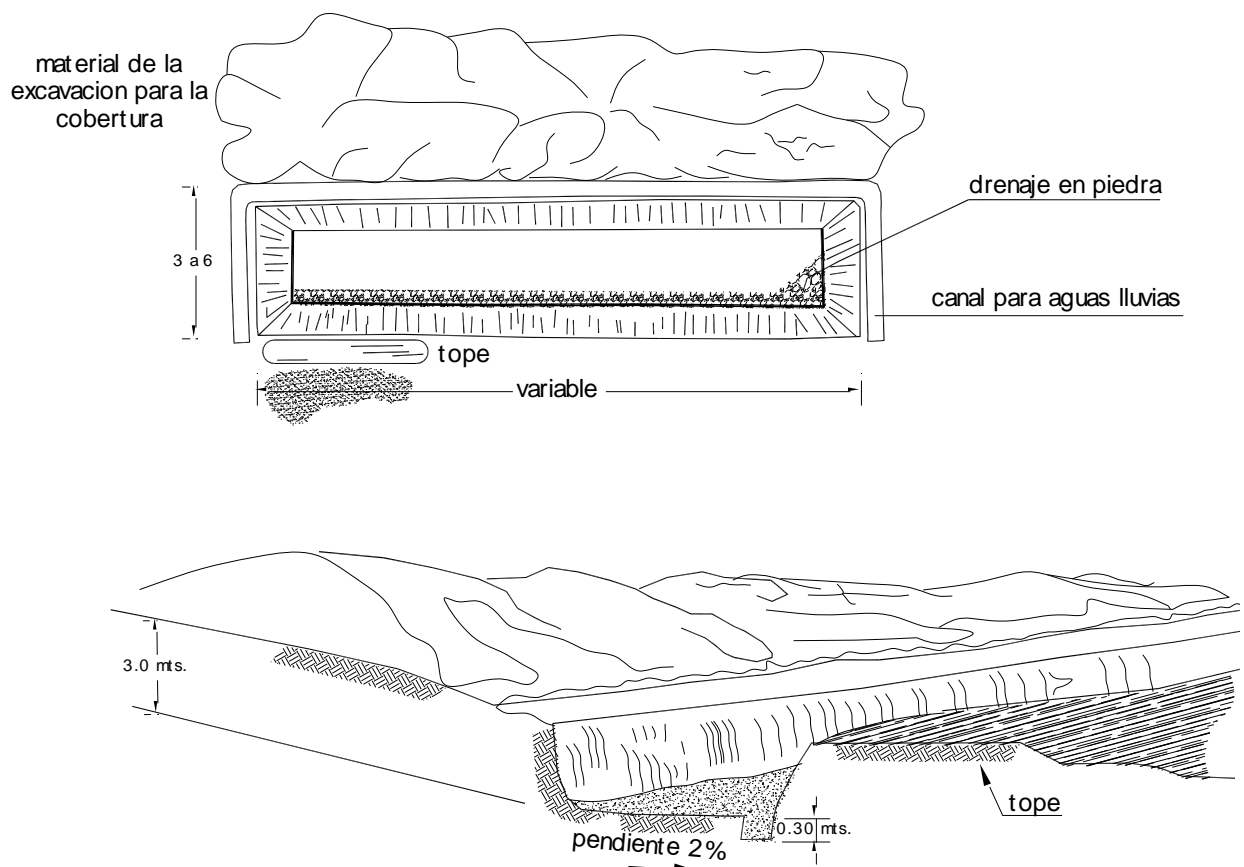


Figura 2.2
Método de Trinchera para construir un Relleno Sanitario

- **Método de Area.**

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno, como se muestra en la Figura 2.3.

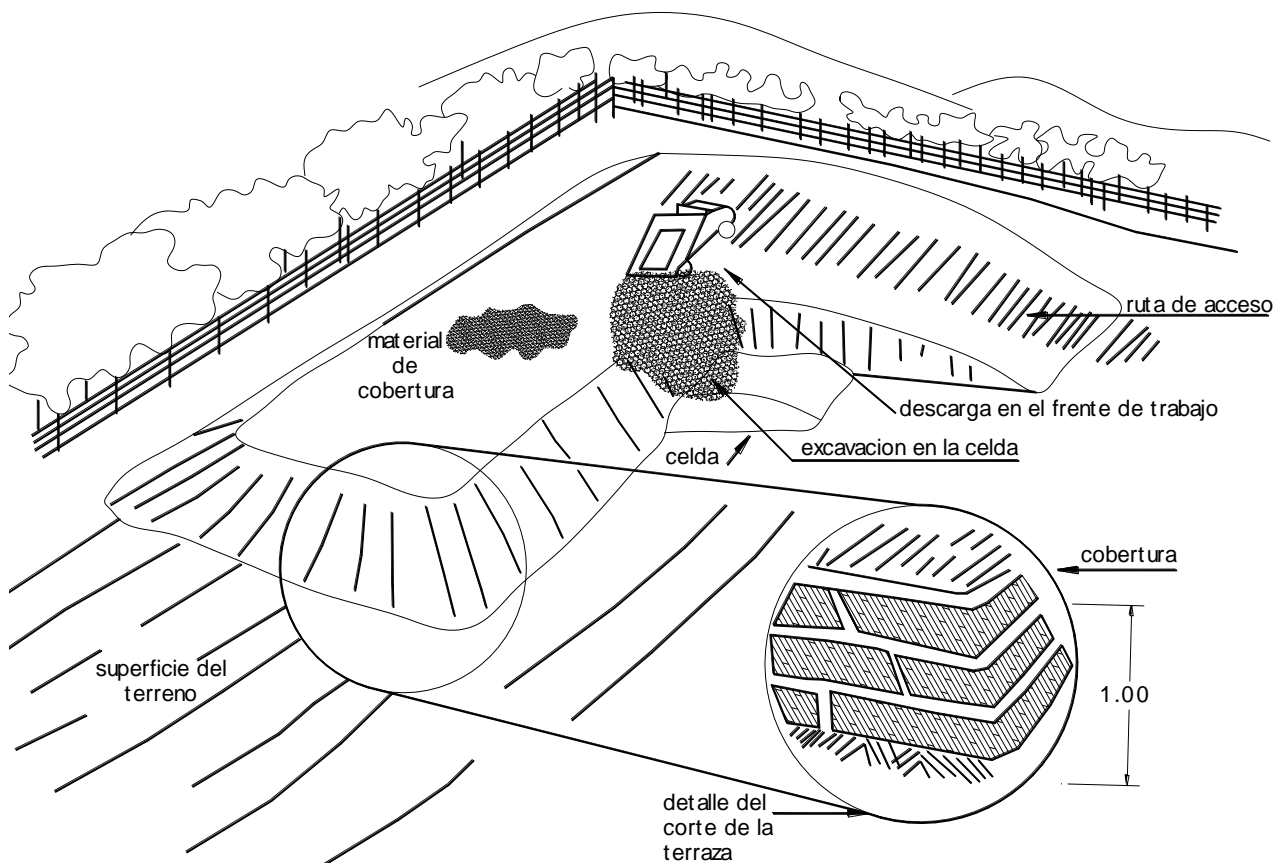


Figura 2.3
Método de Area para construir un Relleno Sanitario

Este método se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno, o en su defecto se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba, como se muestra en la Figura 2.4.

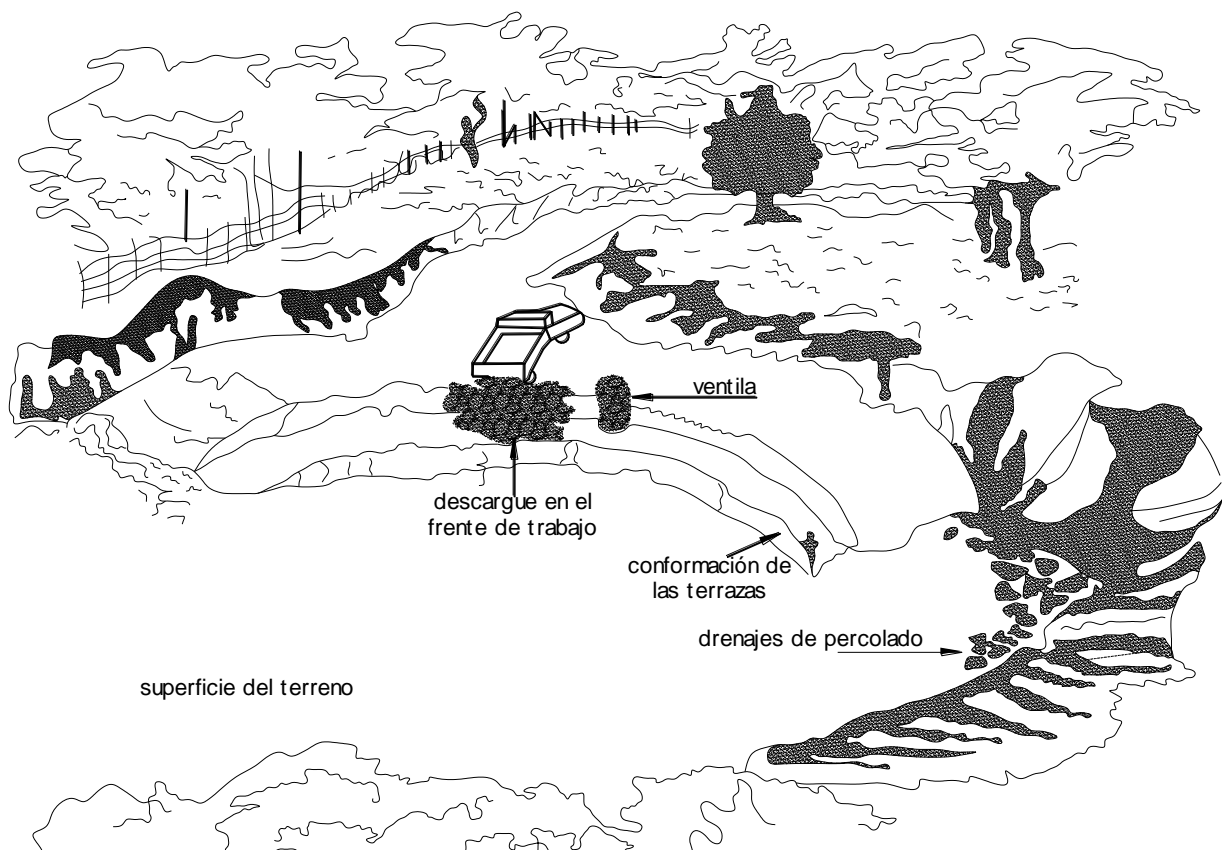


Figura 2.4
Método de Área para rellenar depresiones

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, la basura se vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre

diariamente con una capa de tierra de 0.10 a 0.20 m de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie.

- **Combinación de Ambos Métodos.**

Es necesario mencionar que, dado que estos dos métodos de construcción de un Relleno Sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno, del material de cobertura y de los rendimientos en la operación, como se muestra en la Figura 2.5.

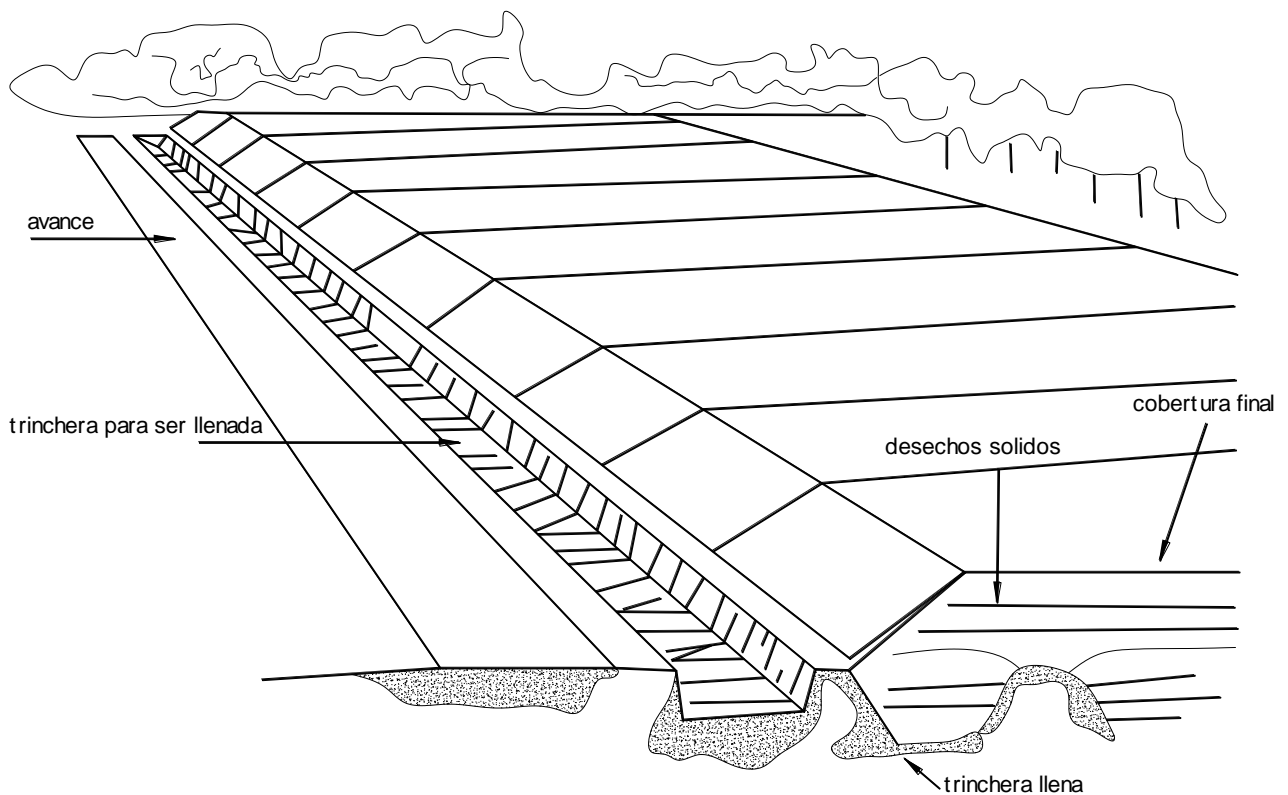


Figura 2.5
Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario

2.4.6 Cálculos Necesarios

Una vez elegido el método de diseño que mejor se adapte a nuestras condiciones, se deben realizar varios cálculos que son muy necesarios para concluir con esta etapa de diseño.

- **Densidad de los Residuos Sólidos.**

Para calcular y dimensionar la celda diaria y el volumen del relleno se pueden estimar las siguientes densidades así:

- Celda diaria: densidad de la basura recién compactada 400-500 kg/m³.
- Volumen del relleno: densidad de la basura estabilizada 500-600 kg/m³.

Estas densidades se alcanzan mediante la compactación homogénea y a medida que se estabiliza el relleno, incidiendo en la estabilidad y vida útil del sitio. El aumento de la densidad de los desechos sólidos en el relleno sanitario se logra, entre otras cosas por:

- El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas.
- El apisonado manual, mediante el uso periódico del rodillo y pisones de mano.
- La separación y recuperación de materiales tales como: papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra y otros, dado que difícilmente se compactan. La práctica del reciclaje trae además del beneficio económico, una menor cantidad de desechos sólidos a enterrar, aumentando por tanto la vida útil del sitio. Cuando la separación se hace en el origen, se puede conseguir además la generación de empleo organizado y digno, con seguridad social.
- Otros mecanismos que aumentan la densidad de los desechos sólidos son: el proceso de descomposición de la materia orgánica y el peso propio de las

capas o celdas superiores que producen mayor carga y obviamente, disminuyen su volumen.

- **Cálculo del Volumen Necesario.**

Los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de:

- La producción diaria de residuos sólidos, si se espera tener una cobertura del 100% o, en su defecto, de la cantidad de residuos sólidos recolectados.
- La densidad de los residuos sólidos estabilizados en el relleno sanitario.
- La cantidad de material de cobertura (20-25%) del volumen estabilizado de residuos sólidos.

- **Volumen de Residuos Sólidos.**

El volumen diario resulta de la relación entre el volumen de residuos sólidos a disponer en un día ($m^3/día$) y la densidad de los residuos sólidos recién compactados, (400-500 kg/m^3) y estabilizados (500-600 kg/m^3). El volumen anual de residuos sólidos que se requieren disponer se encuentra a partir de la relación entre el volumen de residuos sólidos a disponer en un día ($m^3/día$) entre 365 que es el equivalente los días en un año (días).

$$V_{diario} = \frac{CRD}{Drsc}$$

$$V_{anual} = V_{diario} \times 365$$

Donde:

V_{diario} = Volumen de residuos sólidos a disponer en un día ($m^3/día$)

V_{anual} = Volumen de residuos sólidos en un año ($m^3/año$)

CRD = Cantidad de residuos sólidos producidos ($kg./día$)

365 = Equivalente a un año (días)

Drsc = Densidad de los residuos sólidos recién compactados, (400-500 kg/m³)
y estabilizados (500-600 kg/m³).

- **Volumen del Relleno Sanitario.**

De esta manera, se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, tomando el volumen de residuos sólidos en un año (m³/año) ya calculado por el material de cobertura, utilizando el factor de material de cobertura (1.2 a 1.25).

$$\mathbf{VRS = Vanual \times MC}$$

Donde:

VRS = Volumen del relleno sanitario manual (m³/año)

MC = Factor de material de cobertura (1.2 a 1.25)

Los datos obtenidos se tabulan para conocer el volumen total ocupado durante toda la vida útil del relleno, es decir los valores acumulados anualmente, de ello se tiene:

$$\mathbf{VRS_{vu} = \sum_{i=1}^n VRS}$$

Donde:

VRS_{vu} = Volumen relleno sanitario durante la vida útil (m³)

n = Número de años.

- **Cálculo del Area Requerida.**

Con el volumen calculado, se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario manual, solamente si se puede estimar en forma aproximada la profundidad o altura del relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea de la topografía de los alrededores. El área requerida para la construcción de un relleno sanitario depende principalmente de factores como:

- Cantidad de residuos sólidos a disponer y cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los residuos sólidos.
- Profundidad o altura del relleno sanitario manual.
- Capacidad volumétrica del terreno.
- Áreas adicionales para obras complementarias.

El área de los residuos sólidos se halla relacionando el volumen necesario del relleno sanitario ($m^3/año$) entre la altura o profundidad media del relleno sanitario (m).

$$A_{RS} = \frac{VRS}{h}$$

Donde:

VRS = Volumen necesario del relleno sanitario ($m^3/año$)

A_{RS} = Área a rellenar sucesivamente (m^2)

h = Altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

El área total requerida será la multiplicación entre el área total requerida ya calculada, por el factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de

aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este se considera entre un 20-40% del área a rellenar.

$$A_{\text{total}} = F \times A_{\text{RS}}$$

Donde:

A total = Area total requerida (m²).

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este se considera entre un 20-40% del área a rellenar.

- **Cálculo de la Vida Útil.**

El volumen del relleno o el volumen comprendido entre las configuraciones inicial y final del terreno, calculadas mediante cualquiera de los métodos descritos anteriormente nos dará el volumen total disponible. El volumen total disponible del terreno se compara con los valores de los volúmenes acumulados del relleno, hasta encontrar un valor similar o ligeramente mayor al número de años que equivalen a la vida útil del relleno.

2.5 Operación, Mantenimiento y Cierre Técnico.

Para garantizar que el relleno sanitario manual se construya y opere de conformidad con las especificaciones y recomendaciones dadas en el estudio o informe final del proyecto y para tener la certeza de que se cumplan los objetivos propuestos, es necesario que éste cuente con una buena administración.

La administración del relleno sanitario debe considerar las relaciones públicas como un factor prioritario tanto durante la construcción como después de clausurado el relleno,

puesto que la opinión pública juega un papel definitivo para la promoción y divulgación de esta obra de saneamiento básico en otras zonas donde se requiera la ubicación de un nuevo relleno. Para ello se deben tener en cuenta los siguientes factores:

2.5.1 Clausura del Botadero Municipal.

Para la exitosa operación del sistema proyectado, se debe programar y clausurar el botadero tradicional del municipio así como los demás botaderos existentes en la zona, realizando las siguientes acciones:

- Hacer pública la clausura del botadero, anunciando que ya no se permitirá la disposición de basuras en el lugar e informar además a la comunidad sobre la existencia del relleno sanitario para que se dirijan al mismo y su ubicación para obtener su cooperación.
- En especial a los comerciantes, que esporádicamente generan gran cantidad de basuras y contratan a un particular para su disposición, informarles de la existencia del relleno sanitario, e indicarles que las depositen allí.
- Colocar avisos informando a la ciudadanía las sanciones que se aplicarán a quienes infrinjan las normas dictadas al respecto.
- Construir un cerco para impedir el ingreso de personas extrañas y de animales.
- Realizar un programa de exterminio de roedores y artrópodos, evitando que emigren a las viviendas vecinas, con los consiguientes riesgos y problemas.

2.5.2 Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario.

A pesar de la poca magnitud de esta obra de saneamiento básico, representa sin embargo una actividad fundamental en lo relacionado con el manejo de los desechos sólidos a nivel de cualquier comunidad, motivo por el cual debe prestársele sumo interés para que se

desarrolle en las mejores condiciones. Por lo tanto, es importante realizar evaluaciones periódicas para mantener buen control en los siguientes aspectos.

- **Control de Operaciones.**

Llevar a cabo un control diario de las operaciones que se realizan en el relleno sanitario, tales como:

- Ingreso de materiales (basura y tierra):
- Cantidad (peso y volumen estimado).
- Procedencia (sector del área urbana).
- Recepción de residuos sólidos solamente que hayan sido autorizados por la administración del relleno sanitario.
- Ingreso de vehículos y visitantes.
- Horario del personal empleado.
- Mantenimiento de las herramientas.
- Ocurrencias extraordinarias.

- **Control de Construcción.**

Es importante mantener el alineamiento de las plataformas, así como los niveles señalados para las alturas de las celdas, los cuales se podrán controlar con base en los planos de diseño del proyecto, o incluso por simple observación. Las pendientes de los taludes deben brindar la estabilidad que se requiere para la obra de acuerdo con la topografía del terreno.

- **Control de Costos.**

Uno de los aspectos que frecuentemente descuidan los administradores municipales es el relativo a la recolección y análisis de los costos del servicio de aseo urbano, pese a que éstos presentan uno de los mayores problemas, puesto que en general este servicio debe

ser subsidiado por el municipio, devorando gran parte del presupuesto. Por lo tanto, es necesario enfatizar la importancia de recolectar la información relacionada con los costos del relleno sanitario manual, tanto durante la etapa de inversión como de construcción, operación y mantenimiento, puesto que su análisis nos permite buscar los máximos rendimientos con una mayor economía. Se recomienda separar las cuentas de cada servicio público.

Por otra parte, se puede demostrar que el porcentaje que representa el relleno sanitario manual en el gasto global del servicio de aseo en el municipio, oscila entre un 10-20%, y desvirtuar así la imagen equivocada que tienen los administradores locales respecto a los costos de esta obra. De esta forma además se calculará de una manera más real el valor de la tasa o tarifa de aseo, la cual se constituye en un elemento vital para garantizar la solvencia económica del servicio y por consiguiente optimizar su calidad y eficiencia. Entre los factores a considerarse para efectuar los costos operacionales se tienen las herramientas, el material de cobertura y los costos indirectos

- **Control del Ambiente.**

Inicialmente, el control de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales se efectuará mensualmente, para luego realizarse con menor frecuencia, luego de confirmar que no hay contaminación por el relleno. Los parámetros a analizar son aquellos exigidos por la autoridad local o regional de control de la contaminación de las aguas. Las chimeneas de evacuación de gases deben ser observadas para verificar su ventilación.

2.5.3 Clausura y Postclausura del Relleno Sanitario.

Esta etapa comprende las acciones orientadas a conservar el relleno clausurado al final de su vida útil, en condiciones estables o similares a las que presentaba el área antes de su

operación; esto implica conservación de la cobertura final, funcionamiento adecuado de los sistemas de drenaje de gases y lixiviados y funcionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento.

Las causas que pueden alterar la estabilidad del relleno clausurado con material de cobertura final son principalmente posibles afloramientos y escurrimientos de lixiviados, emanaciones de biogás y averías en el sistema de tratamiento del biogás a que las estructuras de emanación están expuestas en el área. A estos les siguen algunas explosiones como consecuencia del aumento de presión en los bolsones de biogás retenido, obstrucciones de la red de lixiviados y averías en la estructura de tratamiento de lixiviados. Esto produce principalmente malos olores, emanaciones de biogás y presencia explícita de lixiviados. Estas relaciones de causalidad son, evidentemente, de menor implicancia y riesgo ambiental que su correspondiente en la etapa de operación, pero de mayor trascendencia y riesgo que su correspondiente en la etapa de habilitación.

De todos los elementos que afectan al medio ambiente en esta fase, los lixiviados ofrecen los mayores riesgos y peligros para el medio ambiente y la salud, seguidos de los olores como consecuencia del biogás emanado. Las categorías que se verán más afectadas como consecuencia de la presencia de elementos potenciales son la salud pública y seguridad y la calidad del aire atmosférico, subsuelo y el paisaje.

CAPITULO III

DESCRIPCION GEOGRAFICA Y POBLACIONAL DEL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD

3.1 Ubicación Geográfica.

El municipio de La Libertad, se encuentra ubicado en el Departamento de La Libertad, entre las coordenadas geográficas Latitud Norte 13° 32´ 47" del extremo septentrional y 13° 25´ 03" del extremo meridional. Longitud Oeste 89° 08´ 18" de Greenwich, extremo oriental y 89° 22´ 53" extremo occidental.

Se encuentra delimitado por los siguientes municipios:

- **Al Norte:** por Comasagua, Nueva San Salvador, Zaragoza, San José Villanueva, Huizúcar y los municipios del departamento de San Salvador; Rosario de Mora y Panchimalco.
- **Al Oriente:** por los municipios de Olocuilta y San Luís Talpa, pertenecientes al departamento de La Paz.
- **Al Sur:** por el Océano Pacífico.
- **Al Poniente:** por el Municipio de Tamanique.

Posee un área total de 162 Km², de los que 46.74 Km² (28.85%) corresponden al área urbana y 115.16 Km² (71.15%) al área rural, la cabecera municipal es la Ciudad y Puerto de La Libertad, situada en una planicie aluvial costera con una altura de 10.00 m.s.n.m.

Todos estos datos han sido proporcionados por la Unidad de Catastro de la Alcaldía del Municipio de La Libertad. En el Mapa # 3.1 se muestra la ubicación geográfica del municipio.

**Mapa # 3.1.
Ubicación Geográfica**

3.2 Estructura Político-Administrativa.

El municipio de La Libertad está constituido por 10 cantones y 38 caseríos, como se detalla en la Tabla # 3.1.

Tabla # 3.1
División Político - Administrativa por Cantones y Caseríos - Municipio de La Libertad

Nº	Cantón	Area (Kms)	Caserío
1	EL MAJAHUAL	1,917.59	Caserío El Majahual Caserío La Playa Caserío El Almendral Caserío Los García
2	SAN RAFAEL	1,454.09	Caserío San Rafael Caserío Conchalío Caserío Morral Caserío El Charcón
3	SAN DIEGO	2,046.72	Caserío San Diego Caserío La Playa Caserío El Amatal
4	MELARA	272.12	Caserío Melara Caserío Nuevo Toluca
5	SANTA CRUZ	1,181.61	Caserío Santa Cruz Caserío Cordoncillo
6	CANGREJERA	668.50	Caserío Cangrejera Caserío Valle Nuevo Caserío La Victorias Caserío Sobaco
7	CIMARRÓN	1,165.53	Caserío El Cimarrón Caserío El Jute Caserío El Rial Caserío Coplanar Caserío Las Mesas Caserío La Danta Caserío Brisas del Mar Caserío El Chorizo
8	TOLUCA	465.13	Caserío Toluca Caserío Toluca Playa
9	TEPEAGUA	1,070.84	Caserío Plan del Mar Caserío Tepeagua Caserío El Jute
10	SAN ALFREDO	2,294.77	Caserío San Alfredo

Fuente: Recopilación de información de la Unidad Catastro de la municipalidad – Año 2009

El 60% de los cantones del Municipio de La Libertad se ubican al oriente del área urbana, siendo el 40% de los cantones que tienen mayor cercanía a la zona urbana, los cuales se muestran en el Mapa # 3.2.

3.3 Densidad Poblacional.

Según cifras oficiales del VI Censo de Población y V de Vivienda, realizado en nuestro país en durante el año 2007 y presentado en el año 2008, el Municipio de La Libertad cuenta con 35,997 habitantes, de los cuales 23,103 viven en el área urbana, correspondiente al 64.2% y 12,894 viven en el área rural, correspondiente al 35.8%.

3.4 Topografía y Geología.

3.4.1 Topografía.

El Municipio de La Libertad, esta caracterizado por terrenos semi planos careciendo de grandes elevaciones y sus alturas principales oscilan entre 0 y 300 m.s.n.m. La topografía en dicho municipio se divide en 2 zonas, según la altura que posean respecto al nivel del mar:

- De 0 a 200 msnm.

Esta franja se extiende sobre la Costa del Pacífico, con un ancho que varía de 1 a 15 kilómetros con pendientes de 2 a 20%.

- De 200 a 500 msnm.

Su ancho varía de 1 hasta 3 Kilómetros, comprende los cerros y montañas, con pendientes de 40 a 75%.

Mapa # 3.2.
División Administrativa por Cantones

Sus lomas están orientadas de norte a sur y fisiográficamente desde el punto de vista de suelos se compone de dos paisajes diferentes:

- Planicies inclinadas de pie de monte.

Las planicies inclinadas de pie de monte se encuentran al norte de la Carretera Litoral, en la parte superior del municipio. Están orientadas de moderada a fuerte disecionadas por quebradas, que separan los remanentes con topografía ondulada a alomada. Las pendientes son muy variables, ya que van desde muy suaves hasta llegar a ser muy fuertes.

- Planicies aluviales costeras.

Las Planicies aluviales costeras, han sido formadas por las sucesivas deposiciones de los materiales arrastrados de las partes altas de los ríos, son áreas casi planas sin disección y sin relieve, donde las pendientes predominantes son menores de 3%.

3.4.2 Geología.

- **Tipo de Suelo.**

Los suelos son de textura arcillosa, de color superficial de semioscuro a oscuro, con poca materia orgánica en zonas de cultivo, hasta 1.50 mts. de espesor, podemos encontrar capas o estratos de tobas líticas. En general este tipo de suelo y estratos inferiores permite poca permeabilidad de agua a distintas profundidades.

- **Geología.**

Los suelos de las planicies inclinadas de pie de monte pertenecen a los grandes grupos Latosoles Arcillo Rojizos y a los Litosoles. Los Latosotes Arcillo Rojizos, son de la serie de los suelos mjb, mjc y mjf, que son suelos francos de color café grisáceo muy oscuro,

desarrollados en depósitos francosos, más o menos profundos de cenizas volcánicas blancas pomiciticas, algunos son suelos francos arcillosos, de café muy oscuro, pedregosos, con subsuelos arcillosos de colores café rojizos, están desarrollados sobre aglomerados volcánicos, tobas y lavas bastante meteorizadas.

En lo que respecta a los Litosoles, estos están representados por los suelos muy superficiales y por afloramientos de los aglomerados volcánicos, tobas y lavas. En pequeñas áreas se encuentran los suelos pertenecientes a las series: Apj, Aps y Apd, las cuales son suelos Regosoles, estos son superficiales de 20 a 30 cm de espesor, de textura franca, arenosos finos color café grisáceo muy oscuro y estructura débilmente granular; a profundidades de 0.50 a 1.50 mts se encuentran suelos arcillosos de colores rojizos. Los tipos de suelos descritos pueden apreciarse, según zonas en el Mapa # 3.3.

3.5 Hidrografía y Orografía.

3.5.1 Hidrografía.

Los principales ríos que se encuentran en dicho municipio son San Diego, Cangrejera, Comalapa Grande, Majahual, Comasagua, Conchalío, Chilama, El Jute, San Antonio, Amayo, Aquisquillo, Huiza, El Muerto y Tihuapa, mostrados en el Mapa #3.4.

Tipos de Suelos
Mapa # 3.3

Hidrografía
Mapa #3.4

- **Hidrología Superficial.**

En las elevaciones topográficas ya descritas, el drenaje superficial está bien definido por numerosas quebradas y surcos de erosión desarrolladas en forma radial convergente, las cuales conducen las masas de agua durante la estación lluviosa. En general la disponibilidad de agua superficial se clasifica de moderadas a enormes cantidades de agua provenientes de riachuelos intermitentes desde principios de mayo a octubre y en condiciones generalmente secas durante el resto del año.

- **Hidrología Subterránea.**

De acuerdo a estudios hidrogeológicos, se ha determinado que el nivel freático en esta zona se encuentra en promedio a una profundidad de 15 metros y también se ha podido constatar que el acuífero es recargado subterráneamente por las aguas que se infiltran en la cadena volcánica del sur, que fluye en dirección oriente-poniente y las descargas se realizan en la parte norte del área, a través de manantiales o como flujo de base de las quebradas y ríos de la zona. Al respecto ya se ha mencionado que la precipitación promedio en el Municipio de La Libertad, alcanza los 1,766 mm de agua, mientras que en la cadena volcánica asciende a valores mayores, lo que aumenta la recarga por medio de la infiltración de dichas zonas.

3.5.2 Orografía.

Los principales cerros que se encuentran en el municipio son La Máquina, El Burro, La Piloná, Pelón, El Lanchón, El Tigre, La Granja y Tecolote. Las principales lomas son El Pulido, de las Tortugas, El Chillón, El Tacuazín, La Conera, La Hija, El Conacaste, El Pintadillo, El Tamarindo, El Aceituno, El Coyal, El Irayol, El Caulote, Miramar, El Almendral, San Antonio, El Morrón, La Piloná, El Toro Negro, El Coco, Santa Adela, Signal, Brizuelon,

El Cagalero, El Chumpe, Casa Loma, Livingston, El Ángel y la Hacienda. La mayor elevación que pueden alcanzar estos cerros es de 300 msnm.

3.6 Climatología.

En cuanto al clima del municipio se han tomado en cuenta todas las variables meteorológicas responsables de regular y transformar las condiciones ambientales en la vida y hábitat de las personas, estudiadas generalmente por variaciones anuales correspondientes a una región determinada.

Para nuestro estudio se han tomado en cuenta la Temperatura, la Precipitación Pluvial., la Humedad Relativa, los Vientos y los Asoleamientos, datos que han sido proporcionados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), basados en datos arrojados por la Estación Meteorológica más cercana al municipio, la cual es la L-36, ubicada en San Diego y Estero Toluca del Cantón San Diego.

3.6.1 Temperatura.

La temperatura es la responsable de determinar el flujo de calor de un cuerpo a otro. Para nuestro estudio, en el municipio se registran temperaturas promedios mensuales mostrados en la Tabla #3.2, medidas en grados centígrados. La temperatura promedio varía entre 25.7 °C y 28.2 °C, siendo los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero los de temperatura más baja, abril y mayo los de temperatura más alta. La temperatura mínima registrada en el año es de 11.0 °C en el mes de diciembre y la máxima es de 44.5 °C en el mes de abril. Esto nos indica que la temperatura es generalmente elevada debido a su ubicación muy cercana a la Costa del Pacífico, clasificando la zona de la Ciudad y Puerto de La libertad como "Bosque Húmedo Subtropical" (Bh-St).

Tabla # 3.2
Resumen de Temperaturas

PARAMETRO MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura Promedio (°C)	25.7	26.1	27.2	28.2	27.9	27.1	27.0	26.8	26.3	26.3	26.3	25.8
Temperatura Mínima promedio (°C)	19.4	19.9	21.3	23.1	23.5	22.7	22.2	22.0	22.2	21.9	20.8	19.8
Temperatura Máxima promedio (°C)	33.5	34.0	34.0	34.5	33.2	32.5	33.2	33.1	32.0	32.5	33.1	33.7
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	39.7	41.0	40.1	44.5	40.5	38.7	39.0	39.0	37.0	37.0	38.8	39.6
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	13.6	14.0	15.6	16.0	20.2	19.9	18.8	18.3	18.6	17.6	15.9	11.0

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) - Año 2009.

3.6.2 Precipitación Pluvial.

La precipitación por año varía aproximadamente desde 1400 mm hasta más de 2000 mm; lo más interesante del régimen de precipitación es la distribución concentrada en el año, el patrón es definitivamente monzónico, con seis meses de lluvia concentrada y seis meses de sequía continua. Los niveles promedios mensuales de lluvias se pueden observar en la Tabla # 3.3, medidos en mm.

Tabla #3.3
Resumen de Precipitación Pluvial

PARAMETRO MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación Pluvial (mm)	2.5	0.5	14.5	42.6	167.2	292.7	229.9	293.4	326.9	190.6	46.9	5.0

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) - Año 2009.

De acuerdo con estos datos y la clasificación de Koppen, Sapper y Lauer, mostrada en el Informe del Estado del Medio Ambiente de El Salvador-2006, la Ciudad y el Puerto de La Libertad se zonifica climáticamente como Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente, presentándose estación seca de noviembre a abril y estación lluviosa de mayo a octubre, con una precipitación pluvial media anual de 1,766 mm.

3.6.3 Humedad Relativa.

La humedad relativa se refiere a las cantidades de agua que transportan las masas de aire y los tres factores que inciden en la esta, son los vientos, la vegetación y la temperatura. En la Tabla # 3.4 se detallan los valores promedio de la humedad relativa registrada en el año, datos en porcentaje.

Tabla # 3.4
Resumen de Humedad Relativa

PARAMETRO MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humedad Relativa (%)	71.0	68.0	71.0	72.0	80.0	83.0	81.0	82.0	85.0	84.0	78.0	72.0

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) - Año 2009.

Los niveles más bajos de humedad generalmente se alcanzan entre las doce y las quince horas y luego comienza a subir hasta la media noche, cuando se alcanza el punto de saturación se mantiene hasta el amanecer, momento que inicia nuevamente su descenso. Los niveles aumentan en el día, alcanzando un máximo secundario entre las nueve y las quince horas, provocando un aumento de evaporación del suelo y transpiración vegetal. El nivel máximo se da entre las quince y diecinueve horas.

3.6.4 Vientos.

La acción del viento en el municipio es variable, dependiendo de la morfología del terreno y los árboles. La potencia y dirección del viento repercuten notablemente en la transmisión de los distintos tipos de contaminación ambiental como los ruidos, los malos olores y otros. La orientación predominante de los vientos es de norte a sur, debido a que los Vientos Alisios o Brisas Marinas, solo son flujo constante que comienza a partir del medio día y son reemplazadas después de la puesta del sol por los Vientos Dominantes, es por ello que las Brisas del Sur no alcanzan las velocidades de los Vientos del Norte, registrándose una velocidad promedio anual de 8 Km/h aproximadamente, los cuales están representados en la Tabla # 3.5.

Tabla # 3.5
Resumen de Vientos

PARAMETRO MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Velocidad Media (Km/h)	10.2	9.7	9.1	7.9	7.0	5.9	6.1	6.0	5.7	6.9	9.3	10.4

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) - Año 2009.

3.6.5 Radiación Solar.

La incidencia mayor del sol en el medio de la ciudad es de Este a Oeste, dado que el sol es más intenso en los períodos secos y aún en los lluviosos. La radiación en esta zona tiene un promedio de 460 Cal/cm²/día, siendo una de las más altas en nuestro país. Las horas promedio de sol durante un día en el municipio de La Libertad es de 8.5 a 9.0 horas al día.

3.7 Flora y Fauna.

3.7.1 Flora.

Según datos encontrados en el “Informe del Estado del Medio Ambiente de El Salvador-2006”, el cual se ha basado en el “Estado del Conocimiento de la Biodiversidad en El Salvador” Proyecto Desarrollando Capacidades y Compartiendo Tecnología para la Gestión de la Biodiversidad en Centroamérica, INBIO, MARN, 2005. Se pueden encontrar variedades de flora tales como plantas vasculares, briofitas, líquenes, helechos y algunas especies de gimnospermas y mayormente angiospermas (plantas con semillas) y entre ellas las dicotiledóneas y monocotiledóneas. Al mismo tiempo un gran número de especies arbóreas nativas y cultivadas, además se reportan taxones exóticos, entre ellos las leguminosae, rubiaceae, asteraceae, lauraceae, euforbiaceae, moraceae y solanaceae.

Las especies arbóreas más notables son mangle, conacaste, guanaba, sunsa, amate de río, sálamo, jote, quebracho, palo de hule, bálsamo, izote, e icaco. También se encuentran presentes bosques húmedos subtropicales, los cuales están conformadas por manglares o bosques salados, están situados en La Playa Las Flores, Playa Los Pinos, Playa Toluca y el más grande y el cual es compartido por los sectores de Ticuiziapa, Bocana San Diego y El Amatal.

La flora ha recibido grandes transformaciones, esto debido a la tala de árboles y vegetación silvestre para abrir espacio y realizar grandes áreas de cultivos de caña de azúcar y de siembra de granos básicos, obteniendo con estas actividades la disminución de algunas especies. Otra de las causas en la disminución de la flora es la constante tala para la venta de madera y la utilización de leña para la elaboración de alimentos de uso familiar.

3.7.2 Fauna.

El grupo de invertebrados y vertebrados es tan amplio como diverso. Entre los invertebrados existe un buen reporte de invertebrados marinos, destacándose el grupo de los moluscos, debido a que estos representan un recurso alimenticio de importancia económica. Para el caso de los invertebrados terrestres, solamente existen algunos ejemplos de descripción a nivel de especies de la fauna invertebrada para algunos grupos de insectos.

En el grupo de los vertebrados, con el mayor número de especies, predominan los peces, entre ellos especies de peces continentales, estuarios y marinos y el otro grupo que predominan son las aves, entre ellas especies de aves residentes, migratorias, residentes migratorias, migratorias reproductoras, transeúntes, vagabundas migratorias y vagabundas no migratorias. La fauna vertebrada característica el municipio son cusuco, tacuazín, gato de monte, garrobo, taltuza, ardilla, cotuza, perico, loro guacalchia y urraca.

3.8 Servicios Básicos.

3.8.1 Vivienda.

De acuerdo a datos proporcionados por la municipalidad, la obtención de la tierra se da por medio de títulos de propiedad, propiedad privada, comodatos y arrendamientos, de ellos existe un total de 2,000 viviendas en carácter de alquiler y un total de 30 colonias no legalizadas. La mayor parte de dichas viviendas son de sistema mixto, sin embargo, aún se observan construcciones de adobe, bahareque, madera entre otros.

La población con deficiencia habitacional que representa los hogares con carencias en techo y pared, población sin acceso a agua por cañería y la población sin acceso a electricidad, es del 0.97% de la población total del país.

3.8.2 Salud.

En el municipio la atención institucional en salud es desempeñada principalmente por la Unidad de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y la Clínica Comunal del ISSS. A ambos lugares acude la población urbana y rural, no obstante a nivel rural cada cantón y caserío es atendido por promotores de salud quienes brindan medicina preventiva enfocada a la vacunación y saneamiento ambiental, incluyendo pequeñas curaciones. Además se pueden encontrar 15 clínicas privadas de diferentes especialidades de la rama de la medicina y 5 laboratorios clínicos, ubicados en el área urbana del municipio.

3.8.3 Educación.

En lo que respecta a la escolaridad promedio de la población, se ha considerado la encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples realizada en el año 2003, para identificar un promedio general de 4.3 años de estudio a nivel nacional, datos que pueden observarse en la Tabla # 3.6.

Para el municipio, la cobertura de las escuelas y los centros educativos es de 8 en la zona urbana y de 14 en la zona rural. Según cifras oficiales del VI Censo de Poblacional y V de Vivienda, realizado en nuestro país en durante el año 2007 y presentado en el año 2008, la tasa de matrícula neta en educación primaria en el municipio es del 81.5%, la población analfabeta mayor de 15 años representa el 0.71% de la población nacional y los niños con retardo de talla representa el 0.60% de la población nacional. El índice de carencia educativa es de 20.47 (resultado a partir de la inasistencia escolar entre las edades de 7 a 15 años y la tasa de analfabetismo de mayores de 15 años).

Tabla # 3.6
Porcentaje de Analfabetismo y Número de Escuelas con Educación Básica
(Hasta 9º grado)

Región	Nivel estimado de Analfabetismo (%)	Dentro del núcleo urbano			Fuera del núcleo urbano		
		1º a 3º grado	4º a 6º grado	7º a 9º grado	1º a 3º grado	4º a 6º grado	7º a 9º grado
La Libertad	18	0	0	5	0	0	13

Encuesta Hogares de Propósitos Múltiples - Año 2003

3.8.4 Vías de Comunicación y Transporte.

Su accesibilidad desde la ciudad de San Salvador es a través de las carreteras CA4 y CA2, las cuales son de pavimento asfáltico, catalogadas en buen estado. La red vial urbana tiene una extensión longitudinal de 16 kilómetros, construida en el sentido norte-sur, el 84% de esta red se encuentra pavimentada, presentando buenas características de funcionalidad para su tránsito interno y tránsito de paso, accesible para todo tipo de vehículos durante la época de verano e invierno. La red vial rural es extensa debido a que en ella se incluyen todas las vías de acceso a las playas y cantones que no se encuentran cerca del casco urbano de la ciudad.

El municipio cuenta con servicio de transporte colectivo a partir de tempranas horas de la mañana, hasta la tarde. El área urbana se encuentra atendida por 58 unidades del transporte colectivo, lo que contribuye su aceptabilidad para movilizarse y conectarse hacia el exterior del municipio. El área rural es atendida a través de microbuses para algunos lugares de dicha área y también a través de transporte ocasional por medio de pick ups, por lo que se puede concluir que el transporte colectivo para esta zona no es muy eficiente.

3.8.5 Servicio de Agua Potable, Aguas Negras y Aguas Lluvias.

El 95 % de las viviendas en la zona urbana cuenta con servicio de agua domiciliar para consumo humano, las viviendas del área rural están cubiertas en menor proporción, utilizando fuentes de agua para consumo humano por medio de pozos artesanales y nacimientos, reservorios y las corrientes de los ríos. Según datos de la municipalidad, en el municipio se encuentran actualmente y en funcionamiento pozos de agua para consumo humano en la zona de Cangrejera, Santa Cruz, Tepeagua, San Rafael, El Majahual, El Cimarrón, Toluca, San Diego, San Alfredo y Melara.

Para la zona urbana el alcantarillado de las aguas negras, se estima con un 70% de cobertura, dejando sin ningún fuera a las zonas del Morral, Chilama Norte y Sur y El Carmen, que corresponde al restante 30%. De acuerdo al censo realizado por la municipalidad en el año 2007, se ha encontrado que existen 2,615 viviendas que cuentan con un sistema de letrización a través de inodoros, 5,741 viviendas con un sistema de letrización de fosa o abonera y 1,830 viviendas que no poseen ningún sistema de letrización. Existen plantas de tratamiento de aguas negras y servidas del municipio, en diferentes puntos, las cuales son:

- Planta de tratamiento de aguas residuales de ANDA situada en 7ª Avenida Sur, Calle al Cementerio, descargadas sobre el río Chilama, cubre la zona urbana.
- Planta de tratamiento de aguas residuales FACTORI S.A de C.V. ubicada sobre el km. 36 de la Carretera Litoral, cubre el complejo comercial El Faro.
- Planta de tratamiento de aguas residuales del Área de Turismo ubicada sobre el km. 35 de la Carretera Litoral, cubre las instalaciones de turismo.

- Planta de tratamiento de aguas residuales de la Cooperativa 13 de Enero ubicada en el Majahual, cubre la Urbanización 13 de Enero.

En el área rural la población no cuenta con un sistema de recolección, tratamiento ni disposición de aguas residuales, existiendo una diversidad de métodos de disposición y evacuación naturalmente, algunos bajo la asesoría técnica de ONG,s.

La mayoría de los ríos se encuentran contaminados con basura y productos químicos como jabón, detergente, champú, etc. En la zona rural se encuentran contaminados por contacto con ganado del tipo vacuno, caballar y porcino. El Rio Chilama es el que mayormente se encuentra contaminado por las descargas que se efectúan de la Planta de Tratamiento de ANDA y del Rastro Municipal.

3.8.6 Servicios de Electrificación y Telecomunicaciones.

Respecto a la energía eléctrica domiciliar para el municipio, se tiene que el 99 % de las viviendas de la zona urbana poseen dichos servicios, el cuál es superior para la zona rural, ya que solamente el 70% poseen este tipo de suministro, que muchas veces se ve afectado y motivado en parte por las dimensiones y distancias de las zonas rurales de la municipalidad.

En cuanto al servicio de comunicaciones el nivel de provisión reflejado se considera bajo de acuerdo a datos proporcionados por la municipalidad, considerado solamente las líneas fijas telefónicas. Los principales servicios con que cuenta el municipio se detallan en la Tabla # 3.7.

Tabla # 3.7
Principales Servicios a la Población

Categoría	Cantidad
Alcaldía Municipal	1
Acueductos y Alcantarillado	1
Alumbrado Público	1
Escuelas	19
Bachilleratos	2
Polideportivo	1
Clínica Comunal del ISSS	1
Cuerpo de Seguridad	1
Rastro Municipal	1
Gasolineras	4
Marina Nacional	1
Telecomunicaciones	1
Servicio Recolector de Desechos Sólidos	1
Unidad de Salud	1
Parque	1
Cementerio General	1
Agencias Bancarias (Banco Agrícola Comercial y Banco de Fomento Agropecuario)	2
Casa Comunal	1
Mercado Municipal	3
Templo Católico	1
Correo Postal	1
Juzgado	1
Transporte Urbano e Interurbano	1
Policía Nacional Civil	1
Cooperativa Pesquera	1
Centro Comercial	1
Fábrica de Plástico	1
Cantera	1
Fiscalía General de la República	1
Muelle Artesanal	1
Hoteles y Restaurantes	No cuantificados, pero representan una buena cantidad en la zona costera
Parque Ecológico	1
Negocios varios (ferreterías, papelerías, abarroterías, etc.)	No cuantificados, pero se encuentran ubicados en el centro de la zona urbana

Fuente: Unidad de Catastro de la municipalidad – Año 2009.

3.9 Ambiente Socio-Económico.

A continuación se describen las principales características socio-económicas que identifican a la Ciudad y Puerto La Libertad, las cuáles se han tomado de la base de información recopilada en el Plan de Acción Ambiental del Municipio de La Libertad preparado por la municipalidad, en el año 2008.

3.9.1 Comercio e Industria.

Las actividades económicas del municipio se han estimado en función de la Población Económicamente Activa (PEA), las cuales se han obtenido en función de proyecciones realizadas en el año 2004, por la DIGESTYC-MINEC, en el informe presentado Diagnóstico Situacional que forman parte integral de su estudio, las ocupaciones predominantes se detalla en la Tabla # 3.8.

La actividad empresarial dentro del municipio cuenta con un 11% de empresas con menos de 4 empleados y solo un 9% con más de 5 empleados, presentando un bajo nivel industrial en la zona; en cuanto a la pesca artesanal, los trabajadores únicamente reúnen lo más necesario para subsistir a diario. La mayoría de la población que no tiene una ocupación formal se dedica al comercio informal, representando a la mayoría de los habitantes, pero aunque es más fuerte no proporciona los niveles de ingreso necesarios para poder llenar las demandas mínimas de vida en una persona.

Tabla # 3.8
Población por Rama de Ocupación
Municipio de La Libertad

Ocupación	Cantidad	Porcentaje (%)
Agricultura	4,213	30.54
Pesca	487	3.53
Explotación de minas y canteras	15	0.11
Industria Manufacturera	1,366	9.90
Suministro de gas, agua y vapor	125	0.91
Servicio doméstico	1,239	8.98
Construcción	1,033	7.49
Comercio	2,119	15.36
Hoteles y restaurantes	314	2.27
Transporte y comunicaciones	614	4.45
Intermediación financiera	108	0.78
Actividades Inmobiliarias	189	1.37
Administración Pública y defensa	585	4.24
Enseñanza	149	1.08
Actividades de servicios sociales y salud	98	0.71
Otras actividades comunitarias	375	2.72
No especificada	767	5.56
TOTAL	13,796	100

Fuente: DIGESTYC-MINEC, Proyecciones Año 2004.

La población económicamente activa representa el 27.90% en el Municipio de La Libertad, lo cual es considerablemente poca, para las necesidades actuales de subsistencia, agregando que de estos un 50% tienen ingresos inferiores al salario mínimo, indicador de los bajos niveles en la oferta de empleo para la mano de obra existente en la zona, como puede observarse en la Tabla # 3.9.

Tabla #3.9
Población Ocupada por Area y Sexo
Municipio de La Libertad

SEXO/ÁREA	RURAL	URBANO	TOTAL
Hombres	6,317	3,967	7,275
Mujeres	1,644	1,868	2,654
Total	7,961	5,835	13,796

Fuente: DIGESTYC-MINEC, Proyecciones de Población de El Salvador 1995-2025.

En el Mapa de Pobreza elaborado por el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) en el año 2005, el Municipio de La Libertad está categorizado como uno de los 50 municipios con menor nivel de extrema pobreza. Aun así, el 41.7% de los hogares está clasificado como pobre (sus ingresos son menores a dos veces la canasta básica alimentaria) y 13.2% de los hogares como pobres extremos -ingresos menores a la canasta básica alimentaria- (0.54% de los hogares totales del país).

La brecha de pobreza, es decir el porcentaje de la línea de pobreza que tendría que aportar cada persona u hogar para que los pobres salgan de esta condición, corresponde al 16.19%, el índice de desarrollo humano (IDH) es de 0.683, este es un promedio simple de tres componentes: un índice de esperanza de vida, un índice de nivel educacional y un índice del ingreso per cápita, el índice de nivel educacional, a su vez, incluye dos componentes: un índice de alfabetismo adulto y un índice de matriculación bruta combinada. El índice de pobreza humana es del 16.3%, que significa el porcentaje de población que sufre privaciones.

Entre las industrias y el comercio de las zonas urbanas sobresalen el Centro Comercial El Faro, Super Selectos, Pollo Campero, Hotel Pacific Sunrais, Centro Comercial Plaza Porteña, Pupusodromo, diversas zapaterías, farmacias, neverías, hoteles y restaurantes, el Muelle donde se comercian mariscos y artículos en general. Los días lunes de cada semana se declara “Día de la Plaza”, fecha en la cual se presentan comerciantes y compradores de los distintos cantones del municipio. A lo largo de toda la zona costera se ubican hoteles y restaurantes, así como venta informal de comida, etc.

3.9.2 Agricultura y Ganadería.

En las áreas rurales predomina las actividades de agricultura lo que representa el 30% del uso del suelo del municipio, se obtienen siembras de maíz, maicillo, arroz de secano, árboles frutales, plátano, guineo y caña de azúcar, al mismo tiempo se han desarrollado programas de conservación de suelos y de reforestación en forma más concentrada.

Para la actividad ganadera se tienen áreas con pastos cultivados muy importantes, en su mayoría están ubicados en terrenos de pendientes leves a fuertes en las zonas de drenaje natural, a la vez está representado por el aprovechamiento de las tierras en época de descanso.

3.9.3 Turismo y Recreación.

Los lugares turísticos con los que cuenta La Ciudad y Puerto de La Libertad son las playas de fácil acceso, las que son visitadas por turistas nacionales y extranjeros, entre ellas las más sobresalientes son la playa El Obispo, El Majahual, Conchalío, La Libertad, San Diego y El Tunco.

Otra atracción turística con la que cuenta el municipio es la reserva forestal conocida como Parque Nacional Walter Thilo Deininger catalogado como selva costera, que representa un gran potencial de restauración para el municipio, ubicado a unos 5 km. al este del Puerto de La Libertad, ocupa una extensión superficial de 732 hectáreas y se encuentra entre los 8 y 280 mts sobre el nivel del mar.

Entre las principales tradiciones del municipio se encuentran las celebraciones del día del pescador, conmemorada al Santo Patrono de los Pescadores Artesanales, dedicada a San Rafael Arcángel celebrada en la fecha del 23 y 24 de octubre y sus fiestas patronales, dedicada a la Virgen de la Inmaculada Concepción celebrada entre el 1ro y el 8 de diciembre. Estas festividades promueven la visita de los habitantes residentes de los municipios cercanos y la comercialización de productos tradicionales.

CAPITULO IV

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DEL MANEJO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS PARA EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD

4.1 Manejo Actual de los Desechos Sólidos.

La situación actual de los desechos sólidos para el municipio de La Libertad constituye uno de los mayores problemas de saneamiento ambiental para sus pobladores y sobre todo para su municipalidad.

Por un lado porque constituye un aspecto de la vida diaria que repercute en grandes índices de contaminación en el suelo, aire y agua del municipio, que va desmejorando en gran medida las condiciones de la calidad de vida de su población, principalmente de las comunidades de escasos recursos económicos y sobre todo de las que se encuentran localizadas en terrenos marginales. Y por otro lado porque es un problema que tiene una gran incidencia en el aspecto económico para su municipalidad, pues un alto porcentaje de su presupuesto es destinado al aseo, recolección, transporte y disposición final de los desechos sólidos generados en el municipio.

Antes del 9 de septiembre del año 2007, la disposición final de los desechos sólidos se realizaba a través de un botadero a cielo abierto, que se encontraba ubicado en el Cantón Melara, de dicho municipio, zona que comprendía un área aproximada de 3 manzanas. Las fotografías # 4.1 a y 4.1 b muestran el botadero a cielo abierto que era utilizado por la municipalidad para realizar la disposición final de todos los desechos generados. La razón de su cierre y clausura es a partir del decreto legislativo # 237, de fecha 9 de septiembre del año 2007, el cual estipula que en nuestro país queda prohibido el depósito de los desechos sólidos en botaderos a cielo abierto u otro lugar que no estuviere legalmente autorizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), es decir que debe realizarse el cierre técnico de todos los botaderos a cielo abierto, de manera tal manera que no existan botaderos ilegales.



Fotografía # 4.1 a



Fotografía #4.1 b

**Botadero a Cielo Abierto
Cantón Melara, Municipio de La Libertad**

Es por ello que la municipalidad decide a partir de esta fecha, clausurar y realizar el cierre técnico del botadero a cielo abierto que había estado utilizando como el medio de disposición final de los desechos sólidos generados en su municipio. El cierre técnico de dicho botadero puede observarse en las fotografías # 4.2 a y 4.2 b.

La generación diaria de desechos sólidos en el municipio se estima aproximadamente en 26.0 toneladas; de éstas 7.5 toneladas pertenecen al área urbana, lo que representa el 28.85% y el resto 18.5 toneladas pertenecen al área rural, lo que representa el 71.15%.

Con estos datos puede notarse que la población urbana es de 23,103 habitantes, mayor que la población rural, sin embargo la generación de los desechos sólidos es menor para el área urbana y contrariamente, la población rural es de 12,894 habitantes, menor que la población urbana y es en donde mas se registra la generación de los desechos sólidos. Esta incongruencia puede aclararse contando con el hecho que el Municipio de La Libertad se encuentra en zona turística, recibiendo muchos visitantes por año, lo que se denomina "Población Flotante", aumentando significativamente la generación de los desechos sólidos para el área rural, lastimosamente el dato de esta población no se ha registrado en la municipalidad, ni en ningún otra institución. Es por tal razón que la generación de los desechos sólidos del municipio de La Libertad puede llegar a ser incongruente con el registro del número de habitantes para la zona rural y urbana.

La estructura organizativa de la municipalidad está conformada por departamentos y el sistema de aseo público está manejado por la Comisión de Transporte, la que se encuentra administrada por 3 concejales.



Fotografía #4.2 a



Fotografía #4.2 b

**Cierre Técnico del Botadero a Cielo Abierto
Cantón Melara, Municipio de La Libertad**

4.2 Rutas de Recolección y Transporte.

Los servicios de recolección y transporte de los desechos sólidos se gestionan a través de la Comisión de Transporte, la que se encuentra administrada por 3 concejales. Para ello se cuenta con una flota de cinco vehículos recolectores, dos camiones con capacidad de 8 toneladas cada uno y otros tres con capacidad de 4 toneladas cada uno, designados en cinco equipos de trabajo y cada uno de ellos está integrado por un motorista que es la persona que conduce el vehículo recolector y tres tripulantes o auxiliares, que realizan la recolección. El horario de trabajo de la recolección es de 6:00 a.m. a 2:00 p.m. de lunes a domingo, alternando cada día y para cada zona y se brinda el servicio a través de distintas rutas designadas para cada uno de los equipos.

El equipo No. 1 corresponde al vehículo FUTIA con placa No. 3186 que labora de lunes a domingo y realiza 7 rutas de recolección, el equipo No. 2 corresponde al vehículo INTER con placa No. 12-240 que labora de lunes a domingo y realiza una sola ruta de recolección, el equipo No. 3 corresponde al vehículo DELTA con placa No. 3786 que labora de martes a domingo y realiza dos rutas de recolección, el equipo No. 4 corresponde al vehículo INTER COMPACTADOR con placa No. 12034 que labora de lunes a sábado y realiza una sola ruta de recolección y el equipo No. 5 corresponde al vehículo CHEVROLET con placa No. 3187 que labora de lunes a domingo y realiza una sola ruta de recolección, para mayor detalle se muestra la Tabla # 4.1.

Tabla # 4.1
Rutas de Tren de Aseo - Municipio de La Libertad

Equipo	Nº de personal	Vehiculo/Placa	Ruta	Frecuencia	Horario
1	3	FUTIA Placa No. 3186	A.- Sinaí, Los Poma, C. El Majahual, El Charcón	Lunes y jueves	6:00 am 1:00 pm
			B.- Contenedor(convento), Av. Simón Bolívar, Av. Luz	Todos los días	
			C.- Col. San José El Jute, Pje Esperanza, C Las Flores, Pje. La Escuelita, C. Fisherman, Pje Las Flores, La Pedrera, Rio Mar	Lunes, miércoles y viernes	
			D.- c. Apolonio Morales, C. 13 de Enero, San Diego Hacienda	Lunes y viernes	
			E.- El Riel, Lot. Agua Escondida I y II, La Cueva	Martes y viernes	
			F.- Melara	Miércoles y domingo	
			G.- los Pinos, Cangrejera, Amayo	Martes	
2	3	INTERN Placa No. 12-240	H. Pasaje estero mar, Lot. Playa San Diego, calle Ticuiziapa 1ª y 2ª calle la bocana.	Todos los días	6:00 am 1:00 pm
3	4	DELTA Placa No. 3786	H. Col. El Carmen, col. El Morral com. Chilama 1 y 2, playa La Cima 1 y 2.	Martes, jueves y sábado	6:00 am 1:00 pm
			H. Com. Chilama 1 y 2, la Cima 1 y 2, Lot. Conchalio 1 y 2 El Cocal.	Miércoles, viernes y domingo	
4	3	INTERCOM PACTADOR Placa No.12034	I. Contenedores, Restaurantes y Majahual. Contenedores, Restaurantes y San Blas.	Lunes, miércoles, y viernes	6:00 am 1:00 pm
			I. Contenedores, Restaurantes, Majahual y San Blas.	Martes y jueves sábado	
5	3	CHEVROLET Placa No. 3187	J. Col. Santa Adela, Col. Huezo, pje La Revolución, Col. Los Filtros, pje La Presa, Col. Los Ángeles, Centro de la Ciudad (todas las calles y avenidas) carretera a San Salvador hasta Ferreteria San Rafael, Despensa de Todos y Familiar.	Todos los días	6:00 am 1:00 pm

Fuente: Unidad de Catastro de la Alcaldía del Municipio de La Libertad – 2009

4.3 Almacenamiento.

Después de realizar diariamente las rutas de recolección en todo el municipio por los camiones del tren de aseo, los desechos sólidos generados se transportan hacia una planta de transferencia, donde son almacenados temporalmente, dicha planta se encuentra ubicada, en la Ciudad del Puerto de La Libertad, contiguo al Polideportivo y tiene una capacidad de almacenamiento aproximado de 12 toneladas.

Luego de este almacenaje temporal de los desechos sólidos, se lleva a cabo su disposición final, se realizan diariamente cuatro viajes hacia el Relleno Sanitario ubicado en Sonsonate, el cual es administrado actualmente por la empresa “Coordinadora y Asesora de Proyectos S.A. de C.V. (CAPSA), esta disposición final representa un costo económico muy significativo para la municipalidad.

4.4 Tratamiento.

El único tratamiento que reciben los desechos sólidos generados en el municipio, es a través de un programa de compostaje y reciclaje que es realizado por la municipalidad. En la ubicación de la Planta de Transferencia, se lleva a cabo diariamente una recolección previa de la materia orgánica, la cual es destinada al compostaje y la recolección de plástico, aluminio, papel, cartón, los cuales son destinados al reciclaje.

Esta recolección no genera ningún aporte económico a la municipalidad, ya que esta solamente se encarga de permitir el acceso ordenado y controlado a las personas que realizan esta actividad a la planta de transferencia. En la Tabla # 4.2 se presentan las cantidades semanales que se recuperan de este tipo de desechos.

Tabla # 4.2

**Cantidades Semanales del Programa de Reciclaje
Municipio de La Libertad**

Desecho Sólido	Cantidad Semanal Recolectada (Lbs)
Materia orgánica para compostaje	4,000
Plástico soplado	528
Plástico duro	976
Embase plástico	2,256
Lata de aluminio	108
Papel periódico y papel de todo tipo	468
Total	8,336

4.5 Costo del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento.

El costo del servicio de recolección, transporte y almacenamiento de los desechos sólidos generados en el municipio se detalla en tres principales actividades:

4.5.1 Gastos Mensuales por Transporte.

Los gastos mensuales generados por el transporte de los desechos sólidos se estiman en la compra de combustible diesel y mantenimiento de cada camión recolector, lo cual se detalla en la Tabla #4.3.

Tabla # 4.3
Gastos Mensuales por Transporte - Municipio de La Libertad

Equipo	Vehiculo/Placa	Total (\$)
1	Futia/ No.3186	1,055.57
2	Intern / No.12240	4,998.60
3	Delta / No. 3786	279.15
4	Intercom Pactador/ No.12034	4,414.79
5	Camion Chevrolet / No. 3187	424.84
Total		11,172.95

4.5.2 Gastos Mensuales por Personal Administrativo.

Los gastos mensuales generados por el personal administrativo que labora para el sistema de recolección de los desechos sólidos se estiman en el pago de salarios a motoristas, recolectores, barrenderos y personal administrativo, como se muestra en la Tabla #4.4.

Tabla # 4.4
Gastos Mensuales por Personal Administrativo - Municipio de La Libertad

Cargo	Cantidad de Empleados	Total de Salarios Mensuales (\$)
Motoristas	7	2,584.00
Recolectores	16	4,702.00
Barrenderos	16	3,791.00
Personal Administrativo	5	1,393.00
Total		12,470.00

4.5.3 Gastos Mensuales por Almacenamiento.

Los gastos mensuales generados de los desechos sólidos que son entregados y almacenados por la empresa Coordinadora y Asesora de Proyectos S.A. de C.V. (CAPSA), hacia el Relleno Sanitario ubicado en Sonsonate, se detallan en la Tabla #4.5.

Tabla # 4.5
Gastos Mensuales por Almacenamiento
Municipio de La Libertad

Cantidad de Desechos Sólidos Mensuales (Ton)	Costo por Ton (\$)	Total Mensual (\$)
743.66	14.69	10,924.37
Total		10,924.37

4.5.4 Costo Mensual del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento.

En resumen y tomando en cuenta estas tres principales actividades, gastos por transporte, gastos por personal administrativo y gastos mensuales por el almacenamiento de los desechos sólidos generados en el municipio, se estima en un costo total mensual aproximado de \$34,567.32, se encuentra reflejado en la Tabla # 4.6.

Tabla # 4.6
Costo Mensual del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento
Municipio de La Libertad

Descripción	Unidad	Cantidad	Inversión (\$)
Compra de combustible Diesel y mantenimiento para los camiones recolectores de los desechos sólidos	galones	2,685.80	11,172.95
Pago de salarios a motoristas, recolectores, barrenderos y personal administrativo	empleados	44	12,470.00
Desechos sólidos entregados a CAPSA	toneladas	743.66	10,924.37
Total			34,567.32

4.5.5 Subsidio Mensual del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento.

Por otra parte, los ingresos mensuales promedios que la municipalidad obtiene de los contribuyentes pagados voluntariamente, en base a los impuestos por la recolección de los desechos sólidos es por \$12,732.25, lo que conlleva a concluir que dicha municipalidad se encuentra subsidiando el sistema de recolección, transporte y almacenamiento de los desechos sólidos que se generan en el municipio, por mucho más del doble de lo que recauda en impuestos destinados a esta actividad. Datos que se pueden observar en la Tabla #4.7.

Tabla # 4.7
Subsidio Mensual del Servicio de Recolección, Transporte y Almacenamiento
Municipio de La Libertad

DESCRIPCION	TOTAL
Inversión mensual de la recolección de los desechos sólidos	\$34,567.32
Ingresos mensuales de los impuestos obtenidos de la recolección de los desechos sólidos	\$12,732.25
Subsidio mensual por parte de la municipalidad	\$21,835.07

CAPITULO V

**ESTUDIOS BASICOS
PARA EL DISEÑO DEL
RELLENO SANITARIO MANUAL**

5.1 Estudios Básicos del Sitio Escogido para el Relleno Sanitario Manual.

5.1.1 Descripción del Sitio.

El terreno destinado para la construcción del relleno sanitario se encuentra ubicado en la Parcelación Agrícola de la Hacienda Melara, Cantón Melara, calle a San Juan Buena Vista, sobre la Carretera del Litoral del Municipio de La Libertad, Departamento de La Libertad. La ruta de acceso hacia el sitio en estudio es bastante accesible y transitable, se encuentra aproximadamente a 10 km del casco urbano del municipio y el acceso hacia dicho terreno es a través de una carretera de tierra la que se encuentra en buen estado, ubicada a 0.90 Km. de carretera Carretera del Litoral. El terreno está ubicado dentro de la clasificación de la zona de vida Bh-st (bosque húmedo sub-tropical), la cuál es la mayoritaria en el municipio y a nivel nacional, en la zona se cultivan pastos y rastrojos los que se utilizan para ganadería principalmente y aisladamente para agricultura rudimentaria, además de cultivos variados como siembra maíz, maicillo, arroz de secano, plátano, guineo, árboles frutales y caña de azúcar, al mismo tiempo se han desarrollados programas de conservación de suelos y de reforestación en forma más concentrada. Además existe una densa población de malezas de pequeña y mediana altura constituidas por escobillas (sida acuta), dormilona (mimosa púdica), pan caliente (gronovia scandens), malvas (malvaviscos populifolius) y flor amarilla (baltimore recta) principalmente.

5.1.2 Estudio Topográfico.

Se realizo por parte de la municipalidad de La Libertad el levantamiento topográfico del terreno destinado a la construcción del relleno sanitario. Se trabajó con equipo de estación total en un levantamiento planimétrico como puede observarse en el Plano #5.1 y un levantamiento altimétrico, como puede observarse en el Plano #5.2. El área aproximada de dicho terreno es de 12 mz 5,197.58 vr², lo que equivale a 87,501.80 m².

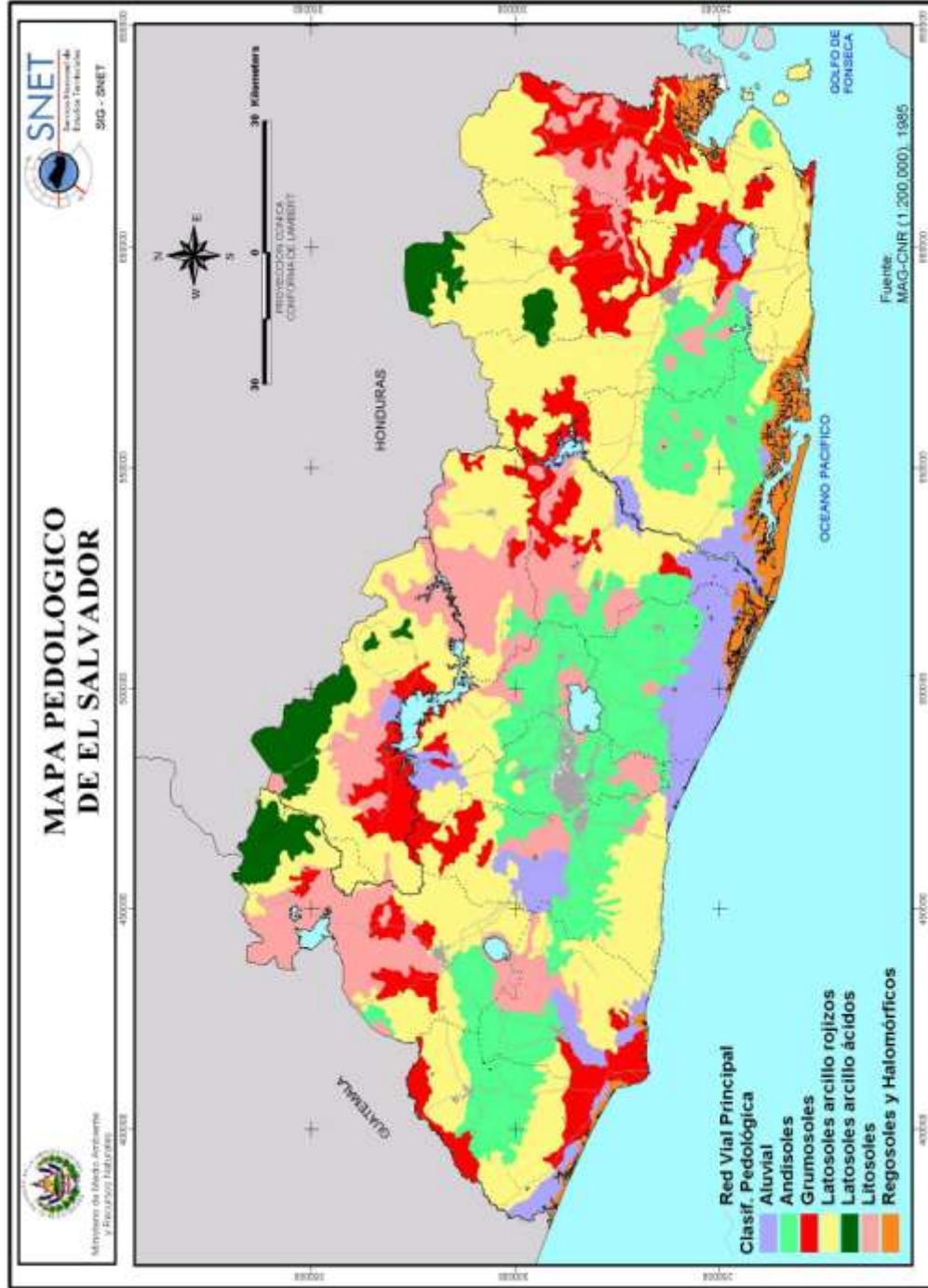
Plano #5.1
Levantamiento Planimétrico

Plano #5.2
Levantamiento Altimétrico

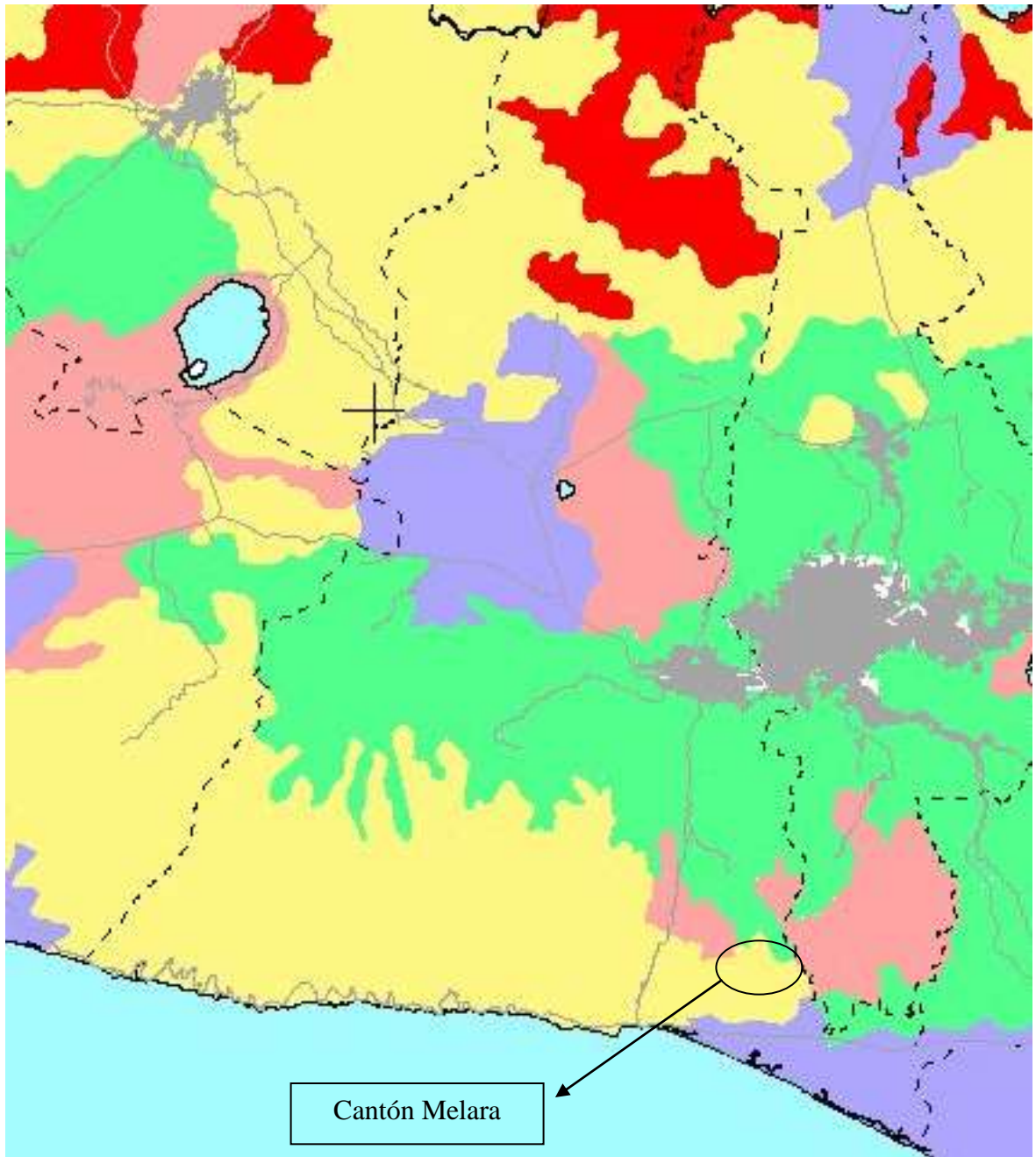
5.1.3 Estudio Geológico.

En el Mapa #5.1 se muestra el Mapa Pedológico de El Salvador, escala 1:200,000 proporcionado por el CNR - MAG, donde puede observarse la clasificación pedológica, señalando específicamente la zona de estudio, en el Mapa #5.2, correspondiente al Cantón Melara que pertenecen a suelos de las planicies inclinadas de pie de monte, de los grandes grupos Latosotes Arcillo Rojizos de la serie de los suelos mjb, mjc y mjf, que son suelos francos de color café grisáceo muy oscuro, desarrollados en depósitos francosos, más o menos profundos, de cenizas volcánicas blancas pomiciticas, algunos son suelos francos arcillosos, de café muy oscuro, pedregosos, con subsuelos arcillosos de colores café rojizos, están desarrollados sobre aglomerados volcánicos, tobas y lavas bastante meteorizadas.

En el Mapa #5.3 se muestra el Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:100,000 proporcionado por el CNR – MAG, señalando específicamente la zona de estudio, en el Mapa #5.4, correspondiente al Cantón Melara donde puede observarse que pertenecen a suelos formados en los periodos Mioceno y Plioceno, de la formación del Bálsamo, correspondientes a la clasificación b1 Eplicastitas Volcánicas (Fluviales), localmente efusivas básicas - intermedias intercaladas.

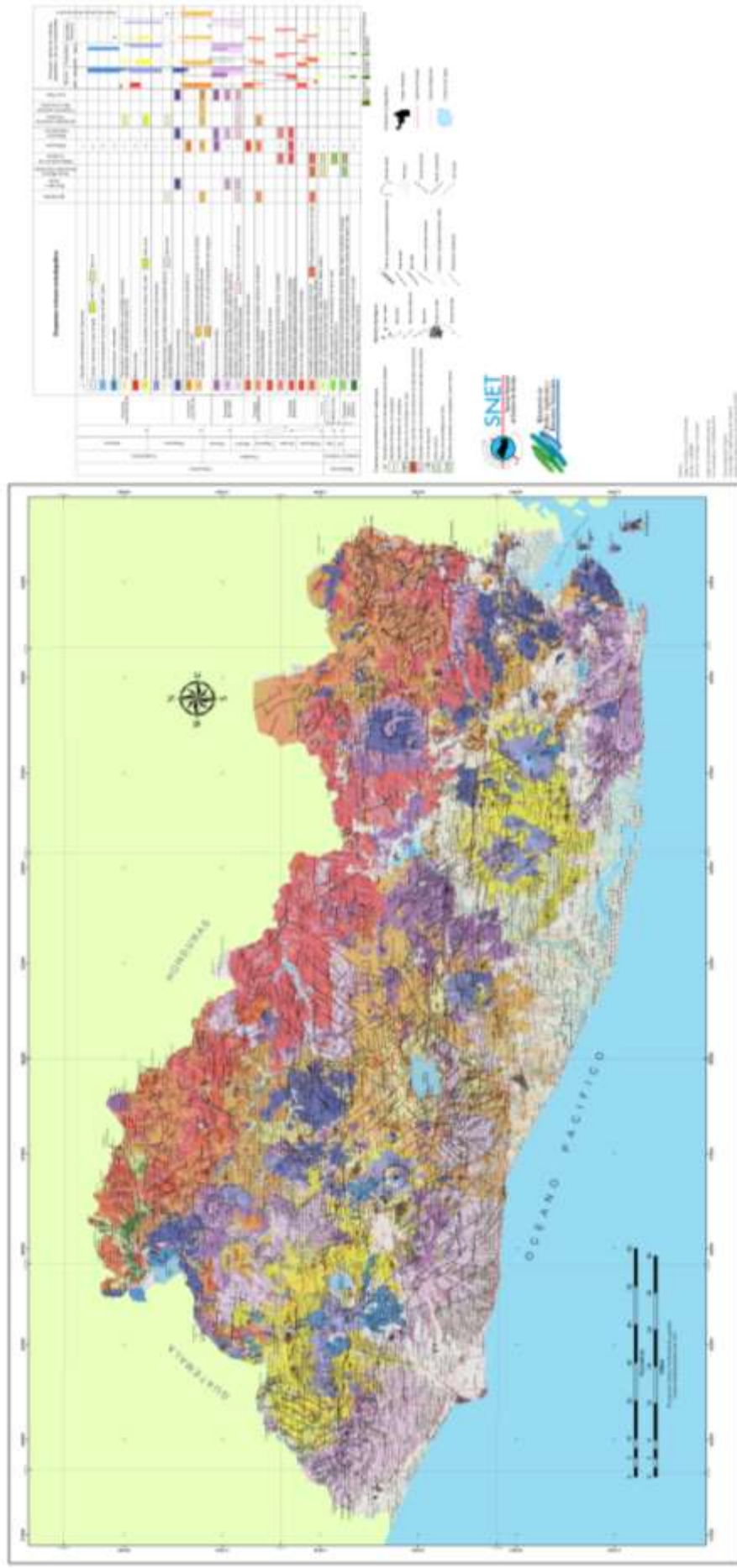


Mapa #5.1
Mapa Pedológico de El Salvador

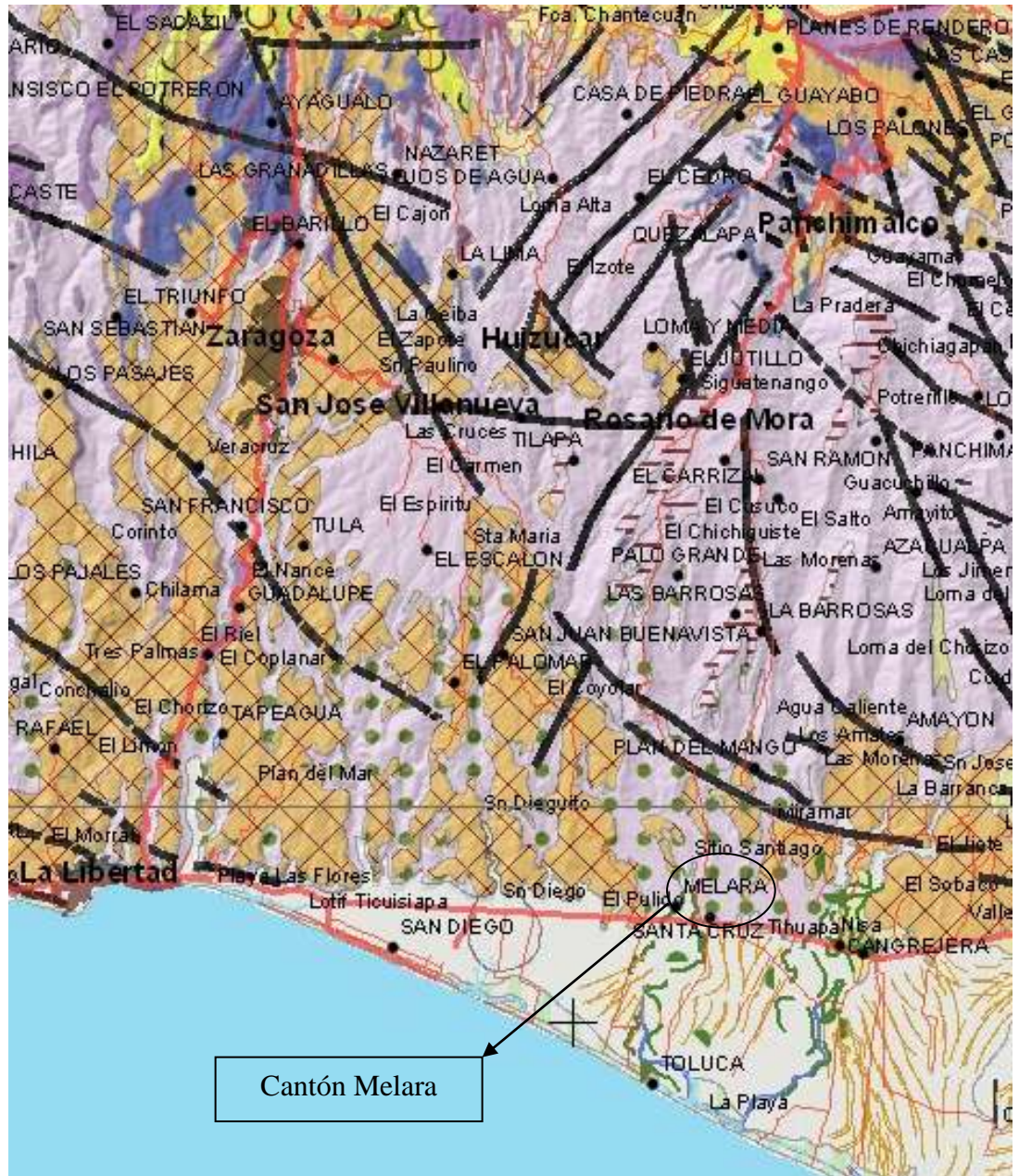


Mapa #5.2
Cantón Melara
Mapa Pedológico de El Salvador

Mapa Geológico de El Salvador



Mapa #5.3
Mapa Geológico de El Salvador



Mapa #5.4
Cantón Melara
Mapa Geológico de El Salvador

5.1.4 Geotecnia.

Por parte de la municipalidad de La Libertad se realizo el estudio de suelos del terreno destinado a la construcción del relleno sanitario, el cual fue realizado por la empresa Ingenieros Civiles Asociados S.A. de C.V. (ICIA S.A. DE C.V.), lo que consistió en pruebas de penetración estándar y determinación de la permeabilidad del suelo.

En las pruebas de penetración estándar (SPT), se realizaron 12 sondeos, donde se encontraron suelos predominantes del tipo arenas arcillosas (SC) y limos arenosos de mediana a alta plasticidad (ML" y MH), presentando características de densos a muy densos.

El contenido de humedad natural (w%) de los suelos encontrados indican un estado variable de parcial saturado a saturado entre los rangos $13 < w\% < 60$.

Los ensayos de infiltración fueron realizados a través de dos pozos a cielo abierto, los cuales indican un coeficiente de permeabilidad (k) clasificando el tipo de suelo encontrado como moderadamente permeable con tendencia a poco permeable entre los rangos $1.0 \times 10^{-3} > k > 1.0 \times 10^{-7}$ cm/seg.

5.1.5 Ensayos de Laboratorio.

En el Anexo No. 1 se presenta el informe entregado por la empresa ICIA S.A. DE C.V. que fue la empresa que realizo el estudio de suelos para la construcción del relleno sanitario, ubicado en la zona del Cantón Melara, en donde se detallan las memorias de cálculo obtenidas por las pruebas realizadas de la Penetración Estándar (SPT) y los Ensayos de Infiltración.

5.2 Características de los Desechos Sólidos Generados en el Municipio.

La composición de los desechos sólidos que se generan en un sector en específico, esta determinada por los diferentes componentes que la forman y dependen fundamentalmente del tipo de procedencia y varía según los hábitos de consumo de la población de dicho sector, al igual que su indicador del nivel de desarrollo económico alcanzado.

5.2.1 Muestreo de los Desechos Sólidos.

A inicios del presente año se realizó el muestreo de los desechos sólidos, por parte de la municipalidad de La Libertad, cuyo objetivo fue cuantificar y cualificar dichos desechos generados por los habitantes del municipio y la población turística que lo visita, realizando las respectivas medidas de cantidades en peso y en volumen.

El muestreo se realizó durante 14 días consecutivos, mediante personal de campo capacitado, la metodología utilizada se basó en tomar datos reales en cuanto al ingreso de los desechos durante todo el día a la planta de transferencia, con lo que se cubrió cada uno de los camiones recolectores y se tomo una muestra representativa de 100 libras por cada viaje, posteriormente se procedió a clasificar manualmente cada uno de los elementos según las categorías de Envases Plásticos, Papel en general, Textiles, Madera, Follaje y Materia Orgánica en general, Caucho, Cuero y Vidrio en general, Metales Varios tales como latas y otros y finalmente Ripio procedente de construcción.

Los resultados obtenidos al finalizar el estudio de campo se describen en la Tabla #5.1 tomando en cuenta parámetros en cuanto a peso medido en libras, kilogramos y en porcentajes. Por lo tanto en porcentajes podemos decir que un 78.56% que es la mayoría pertenece a materia orgánica tales como residuos de comida, papel, cartón, plásticos,

textiles, goma, residuos de jardín, madera, y todo tipo de materia orgánica, seguido por un 21.44% de materia inorgánica tales como vidrio, metales y tierra. Con lo que se deduce que los desechos de mayor peso y volumen esta representado por materiales desde todo punto de vista reciclable.

Tabla #5.1
Caracterización de los Desechos Sólidos
Municipio de La Libertad

Descripción		Pesos		
		Libras	Kilogramos	%
Orgánicos	Residuos de comida	21.5	9.77	21.20
	Papel	8.06	3.66	7.95
	Cartón	2.88	1.31	2.84
	Plásticos	8.08	3.67	7.97
	Textiles	1.00	0.45	0.99
	Goma	0.09	0.04	0.09
	Cuero	0.00	0.00	0.00
	Residuos de Jardín	36.19	16.45	35.68
	Madera	1.88	0.85	1.85
Sub - Total		79.68	36.22	78.56
Inorgánicos	Vidrio	10.5	4.77	10.35
	Metales	3.00	1.36	2.96
	Suciedad	0.00	0.00	0.00
	Cenizas	0.00	0.00	0.00
	Tierra	8.24	3.75	8.12
Sub- Total		21.74	9.88	21.44
Total		101.42	46.10	100.00

Fuente: Unidad del Medio Ambiente de la Alcaldía del Municipio de La Libertad – 2009.

5.2.2 Producción Per Cápita de los Desechos Sólidos.

La producción per cápita de desechos sólidos para el año en estudio, se estima aplicando la siguiente ecuación:

$$PPC = \frac{CRS}{Pob \times 7 \times C} = \frac{182,000 \text{ kg/sem}}{37,841 \text{ hab} \times 7 \text{ días/sem} \times 100\%}$$

$$PPC = 0.6871 \text{ kg./hab-día}$$

Donde:

PPC = producción por habitante por día (kg/hab-día)

CRS = cantidad de residuos sólidos recolectados en una semana (kg/sem)

Pob = población (hab)

7 = días de la semana

C = cobertura del servicio de aseo (%)

5.2.3 Producción Total.

La determinación de la cantidad de los desechos sólidos generados y producidos en el municipio es muy importante, pues sobre la base de estos datos se realiza la planificación del sistema de aseo, de lo cual depende la asignación de los recursos y la cantidad de equipo necesario para operar el sistema de recolección y sobre todo el dimensionamiento del sitio de disposición final.

- **Producción Diaria.**

La producción diaria de los desechos sólidos se encuentra por la relación de la población con la producción per cápita, de la siguiente manera:

$$D_{Sp} = P_{ob} \times P_{PC} = 37,841 \text{ hab} \times 0.6871 \text{ kg/hab-día} = 26,000.55 \text{ kg/día}$$

$$D_{Sp} = 26,000.55 \text{ kg/día} = 26.00 \text{ ton/día}$$

Donde:

D_{Sp} = Cantidad de desechos sólidos producidos (kg/día)

P_{ob} = Población (hab)

P_{PC} = Producción per cápita (kg/hab-día)

- **Producción Anual.**

La producción anual de los desechos sólidos se encuentra por la relación de la producción diaria por los 365 días del año, de la siguiente manera:

$$D_{Sp_{anual}} = D_{Sp} \times 365 = 26,000.55 \text{ kg/día} \times 365 \text{ días} = 9,490,000.00 \text{ kg./año}$$

$$D_{Sp} = 9,490,000.00 \text{ kg/año} = 9,490.00 \text{ ton/año}$$

Donde:

$D_{Sp_{anual}}$ = Cantidad de desechos sólidos producidos (kg/año)

D_{Sp} = Cantidad de desechos sólidos producidos (kg/día)

365 = Equivalente a un año (días)

5.3 Análisis de los Estudios Básicos.

A continuación se presenta un análisis de los estudios realizados de acuerdo con los requerimientos establecidos en el “Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de Los Desechos Sólidos” descritos en el Decreto Legislativo No. 42, presentado adjunto como

Anexo No. 2 y que es también el requerimiento principal establecido por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), para la construcción de rellenos sanitarios.

En la Tabla #5.2 se realiza una comparación entre de las características que necesitan las áreas destinadas para la construcción de rellenos sanitarios por requerimientos del MARN de acuerdo al Anexo del Decreto Legislativo No. 42 “Criterios Técnicos para el Establecimiento de Proyectos de Compostaje y para el Manejo de Rellenos Sanitarios, sección Características de las Areas Destinadas para Relleno Sanitario” con las características estudiadas que presenta el sitio escogido por la Alcaldía del Municipio de La Libertad.

Es importante aclarar que el terreno en el Cantón Melara, destinado para la construcción del relleno sanitario ya estaba seleccionado por la Alcaldía del Municipio de la Libertad, es por ello que no se realizó previamente el estudio de selección del sitio requerido para esta clase de proyecto.

Tabla #5.2
Comparación de las características del área destinada para la construcción del Relleno Sanitario Manual - Municipio de La Libertad

Características	Requisitos del MARN	Características del sitio en estudio	Resultados
Zona de recarga de acuíferos y fuentes de abastecimientos de agua potable	Estar ubicado a una distancia que garantice que las zonas de recarga de acuíferos o de fuentes de abastecimiento de agua potable estén libres de contaminación	No se encuentra zona de recarga de acuíferos cerca del área destinada para la construcción del relleno sanitario	Cumple
Permeabilidad	Que el suelo reúna características de impermeabilidad, aceptando un coeficiente máximo permisible de infiltración de 10^{-7} cm/seg y que posea características adecuadas de remoción de contaminantes	El coeficiente de permeabilidad se clasifica como moderadamente permeable con tendencia a poco permeable entre los rangos $1.0 \times 10^{-3} > k > 1.0 \times 10^{-7}$ cm/seg	Se encuentra dentro del rango
Material de Cobertura	Contar con suficiente material terreo para la cobertura diaria de los desechos sólidos depositados durante la vida útil	El sitio es bastante factible para la extracción del material de cobertura	Cumple
Zonas de inundación, cuerpos de agua y zonas de drenaje natural	Estar ubicado a una distancia no perjudicial para las zonas de inundación, pantanos, marismas, cuerpos de agua y zonas de drenaje natural	El sitio no se encuentra ubicado cerca de zonas de inundación, ni de ningún cuerpo de agua	Cumple
Núcleos poblacionales	Estar ubicados a una distancia de 500 metros de los núcleos poblacionales y con un fácil acceso por carretera o camino transitable en cualquier época del año	La población mas cercana se encuentra a más de 500 metros del sitio escogido para el relleno, además presenta fácil acceso hacia él en cualquier época del año	Cumple
Areas naturales protegidas y servidumbre de paso	Estar ubicado fuera de las áreas naturales protegidas o de los ecosistemas frágiles, así como de las servidumbres de paso de acueductos, canales de riego, alcantarillados y líneas de conducción de energía eléctrica	El sitio escogido se encuentra fuera de áreas naturales protegidas y no hay líneas de conducción de energía eléctrica y de ningún otro servicio	Cumple
Fallas geológicas	Estar ubicado a una distancia mínima de 60 metros de fallas que hayan tenido desplazamientos recientes	No se observa ninguna falla geológica reciente cerca del sitio	Cumple

CAPITULO VI

**PROPUESTA DE DISEÑO
DEL RELLENO SANITARIO
MANUAL**

6.1 Diseño de las Rutas de Recolección.

Es importante establecer un eficiente diseño de recolección de los desechos sólidos, para contribuir al ornato y la limpieza de una ciudad y sobre todo para disminuir los problemas ambientales y de salud de la población. El propósito del diseño de las rutas de recolección es dividir la ciudad en sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad mas apropiada de trabajo, ni mucha ni poca carga y desarrollar una ruta para cada subsector, de modo que facilite a cada equipo llevar a cabo el trabajo con una menor cantidad de tiempo recorrido.

En general, el trazado de las rutas de recolección es un proceso de aproximaciones, no hay reglas fijas que se puedan aplicarse a todas las situaciones, sin embargo se pueden definir algunos criterios generales que deben ser tomados en consideración y que ayudan a trazar las primeras rutas, dichos criterios son:

- Identificar las políticas y regulaciones relativas a detalles como los puntos de recolección y su frecuencia.
- Características de los vehículos recolectores como son el tipo y tamaño del camión.
- En áreas con topografía accidentada las rutas deben de comenzar en el punto más alto y luego comenzar a bajar.
- Las rutas deben ser trazadas de tal manera que el último recipiente o contenedor de la ruta este ubicado lo más cerca posible del sitio de disposición final.
- Proporcionar cobertura a toda la población en forma sanitaria y con una frecuencia adecuada.

- De ser posible trazar las rutas de tal forma que estas inicien y terminen cerca de arterias principales, utilizando barreras topográficas y naturales como límites de las rutas.
- Los desechos generados en zonas con congestionamiento de tráfico deben ser recolectados tan temprano como sea posible.
- Los puntos de producción donde se generen cantidades muy grandes de desechos deben ser cubiertos durante la primera parte del día.
- Que se realice en el menor tiempo posible.

6.1.1 Trazado de Rutas.

La Sectorización es la primera etapa del diseño de rutas, la cual consiste en dividir la ciudad en sectores, de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad apropiada de trabajo, utilizando toda su capacidad, para ello se definen los siguientes pasos:

- Preparar los mapas del área de interés mostrando datos e información relativa a las fuentes de generación de los desechos.
- Análisis de los datos y la preparación de los cuadros resumen de la información.
- Trazado preliminar de las rutas.
- Comparación de las rutas de recolección preliminares y el desarrollo de las rutas de recolección balanceadas por prueba y error.

La diagramación es la segunda etapa del diseño de las rutas y consiste en desarrollar una ruta de recorrido para cada sector, de manera que permita a cada equipo realizar el trabajo de recolección de basura con una menor cantidad de tiempo y recorrido.

Para llevar a cabo el trabajo de diagramación se necesitan los siguientes datos:

- Lugar de garaje.
- Lugar de Disposición final.
- Sentidos de Circulación.
- Hora de mayor cantidad de tránsito y situación del congestionamiento vehicular.
- Topografía.
- Vías transitables y vías no transitables.
- Tipo de trazo de rutas.

Para un sector con sistema de recolección domiciliar manual en la acera, las rutas de recolección pueden diseñarse tomando las siguientes diagramaciones⁵:

- Recorrido en moño.
- Recorrido en semicírculo.
- Recorrido en espiral.
- Recorrido ondulado (se caracteriza por ser el más eficiente).

Utilizando los parámetros de diseño antes mencionados y tomando en cuenta los resultados a los que se llega en asignación del equipo a la zona y los diseños que se van mejorando por pruebas sucesivas, se puede llegar a un sistema cercano a lo óptimo.

6.1.2 Control Diario del Sistema de Recolección.

No basta con diseñar un buen sistema de recolección, si no hay que tener en cuenta un buen sistema de control que garantice la operación de acuerdo a lo estipulado, que permita detectar y corregir problemas cuando estos ocurran, responder adecuadamente a las

⁵ Recolección y Disposición Final de la Basura: Un Servicio Público Municipal, Programa DEMUCA, septiembre de 1995.

emergencias y dar un servicio de calidad a los usuarios. Para ello es necesario que se controlen algunos factores que afectan al servicio tales como:

- Cobertura diaria del servicio: es necesario verificar que se cumpla con el programa de las rutas a diario, por medio de un supervisor de dichas rutas, que verifique que se esta dando la cobertura estipulada y en algún caso de emergencia, que se dificulte el cumplimiento de las rutas, como por ejemplo reparación de calles, instalación de tuberías, construcción de calles, etc., diseñar rutas alternas.
- Carga del vehiculo: si el vehiculo al final de su ruta de recolección no esta completamente lleno, se debe rediseñar la ruta de recolección para hacer uso de toda su capacidad de carga.
- Tiempo: es importante controlar el tiempo empleado durante todo el proceso de recolección para reducir las ineficiencias y los tiempos de no recolección que son causados por falta de responsabilidad de los operarios.
- Costos: el responsable del sistema de recolección deberá tener un control sobre los costos de la operación del mismo y detectar posibles problemas y sugerir cambios en la operación del sistema.

Para el sistema de recolección de los desechos sólidos en el municipio de La Libertad se ha dividido la zona en 5 sectores, los cuales se muestran en los Planos # 6.1 a 6.8, en donde se muestra el trazado preliminar del diseño de las rutas de recolección y en donde se han tomado en consideración todos los parámetros de diseño antes mencionados.

Plano #6.1

Plano #6.2

Plano #6.3

Plano #6.4

Plano #6.5

Plano #6.6

Plano #6.7

Plano #6.8

6.2 Diseño del Relleno Sanitario Manual.

6.2.1 Aspectos Demográficos.

- **Población.**

De acuerdo con el VI Censo de Población y V de Vivienda, realizado en nuestro país durante el año 2007 y presentado en el año 2008⁶, el Municipio de La Libertad cuenta con 35,997 habitantes, de los cuales 23,103 viven en el área urbana, correspondiente al 64.2% y 12,894 viven en el área rural, correspondiente al 35.8%.

A partir de estas cifras se ha obtenido la población proyectada para nuestro año en estudio 2010, utilizando el Método del Crecimiento Geométrico, que considera que las ciudades crecen en proporción correspondiente a un porcentaje uniforme de la población actual del período y que permite obtener resultados menores de población a corto plazo, pero mayores en largos periodos.

Para el cálculo de la población proyectada para el año 2010, se ha utilizado la tasa de crecimiento poblacional de 1.6790%², los resultados se presentan en la Tabla #6.1 y se han obtenido en base a la Ecuación del Crecimiento Geométrico:

$$P_{2008} = P_{2007} (1 + r)^n = 35,997 (1 + 0.01679)^1 = 36,601$$

$$P_{2009} = P_{2007} (1 + r)^n = 35,997 (1 + 0.01679)^2 = 37,216$$

$$P_{2010} = P_{2007} (1 + r)^n = 35,997 (1 + 0.01679)^3 = 37,841$$

Donde:

Pf = Población futura

⁶ Taza de Crecimiento Poblacional según la Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC), año 2008.

Po = Población actual

r = Tasa de crecimiento

n = (t_f - t_o) intervalo en años

Tabla #6.1
Proyección de la Población para el Año 2010
Municipio de La Libertad

Población Censo 2007			Población proyectada para el año 2008			Población proyectada para el año 2009			Población proyectada para el año 2010		
total	urbana	rural	total	urbana	rural	total	urbana	rural	total	urbana	rural
35,997	23,103	12,894	36,601	23,491	13,110	37,216	23,885	13,331	37,841	24,286	13,555

• **Proyección de la Población.**

Se proyectará la población para el municipio de La Libertad para los próximos 20 años, tomando como base de estudio los resultados obtenidos de la proyección de la población para el año 2010, tomando este año como año cero, los datos calculados se presentan en la columna 1 de la Tabla #6.2 de la página #115 y se han obtenido en base a los siguientes cálculos:

$$P_0 = 37,841$$

$$P_1 = 37,841 (1 + 0.01679)^1 = 38,476$$

$$P_2 = 37,841 (1 + 0.01679)^2 = 39,122$$

$$\dots = \dots = \dots$$

$$P_{20} = 37,841 (1 + 0.01679)^{20} = 52,794$$

- **Proyección de la Producción Per Cápita de los Desechos Sólidos.**

Se estima que la producción per cápita aumente en 1% anual⁷, para ello se realiza una proyección para los siguientes 20 años, de la siguiente manera:

$$PPC=0.6871 \text{ kg./hab-día}$$

$$PP_{C1}=PPC + 1\% = 0.6871 \text{ kg./hab-día} * 1.01 = 0.6940 \text{ kg./hab-día}$$

$$PP_{C2}=P_{C1} + 1\% = 0.6940 \text{ kg./hab-día} * 1.01 = 0.7009 \text{ kg./hab-día}$$

Y así sucesivamente se ha calculado la PPC para los siguientes años, los datos obtenidos se muestran en la comuna 2 de la Tabla #6.2 de la página #115.

- **Proyección de la Producción Total.**

- **Proyección de la Producción Diaria.**

La proyección de la producción diaria de los desechos sólidos se encuentra por la relación de la población con la producción per cápita, para cada año, por ejemplo:

$$DSp_0 = 26,000.55 \text{ kg./día} = 26.00 \text{ ton/día}$$

$$DSp_1 = \text{Pob} \times \text{PPC} = 38,476 \text{ hab} \times 0.6940 \text{ kg./hab-día} = 26,702.34 \text{ kg./día}$$

Donde:

DSp = Cantidad de desechos sólidos producidos (kg/día)

Pob = Población (hab)

PPC = Producción per cápita (kg/hab-día)

Los datos obtenidos se muestran en la columna 3 de la Tabla #6.2 de la página #115.

⁷ Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Programa de Salud Ambiental Serie Técnica No. 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991.

- **Proyección de la Producción Anual.**

La proyección de la producción anual de los desechos sólidos se encuentra por la relación de la producción diaria por los 365 días del año. Los datos obtenidos se muestran en la columna 4 de la Tabla #6.2, página #115 y se calculan de la siguiente manera:

$$D\text{Sp}_{\text{anual-0}} = 9,490,000 \text{ kg./año} = 9,490.00 \text{ ton/año}$$

$$D\text{Sp}_{\text{anual-1}} = D\text{Sp}_1 \times 365 = 26,701.23 \text{ kg/día} \times 365 \text{ día} = 9,745,948.95 \text{ kg/año} = 9,745.95 \text{ ton/año}$$

Los valores acumulados de dicha proyección de la producción anual se presentan en la comuna 5, de la Tabla #6.2 de la página #115.

6.2.2 Cálculo del Volumen Necesario.

Los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de los siguientes datos:

1. La producción diaria de desechos sólidos, si se espera tener una cobertura del 100% o, en su defecto, de la cantidad de desechos sólidos recolectados, que para el municipio de La Libertad es de 26 ton/día, equivalente a 52,000 lbs/día.
2. La densidad de los desechos sólidos estabilizados en el relleno sanitario manual, que puede estimarse de acuerdo a los siguientes parámetros⁸:
 - a) Para una celda diaria como la densidad de la basura recién compactada que varia entre 400-500 kg/m³.
 - b) Para el volumen del relleno como la densidad de la basura estabilizada que varia entre 500-600 kg/m³.

⁸ Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Programa de Salud Ambiental Serie Técnica No. 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991

3. La cantidad de material de cobertura que varía entre el 20 y el 25% del volumen estabilizado de los desechos sólidos.

Los cálculos para obtener el volumen necesario del relleno sanitario son:

- **Volumen de los Desechos Sólidos.**

Con el dato de la producción diaria y la densidad de los desechos sólidos estabilizados se puede obtener el volumen diario y anual de los desechos sólidos que se requieren disponer, calculándose de la siguiente manera:

- Volumen diario compactado:

$$V_{\text{diario}} = \frac{D_{\text{Sp}}}{D_{\text{rsm}}} = \frac{26,000.55 \text{ kg/día}}{450 \text{ kg/m}^3} = 57.78 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Volumen anual compactado:

$$V_{\text{anual}} = V_{\text{diario}} * 365 = 57.78 \text{ m}^3/\text{día} * 365 \text{ días} = 21,089.70 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Volumen anual estabilizado:

$$V_{\text{anual}} = \frac{D_{\text{Sp}}}{D_{\text{rsm}}} * 365 = \frac{26,000.55 \text{ kg/día}}{550 \text{ kg/m}^3} * 365 \text{ días} = 17,254.91 \text{ m}^3/\text{año}$$

Donde:

V_{diario} = Volumen de desechos sólidos a disponer en un día ($\text{m}^3/\text{día}$)

V_{anual} = Volumen de desechos sólidos en un año ($\text{m}^3/\text{año}$)

D_{Sp} = Cantidad de desechos sólidos producidos ($\text{kg}/\text{día}$)

D_{rsm} = Densidad de los desechos sólidos recién compactados, ($400\text{-}500 \text{ kg}/\text{m}^3$) y estabilizados ($500\text{-}600 \text{ kg}/\text{m}^3$).

365 = Equivalente a un año (días)

Los datos obtenidos de la proyección del volumen de los desechos sólidos compactados o estabilizados para los años en estudio, tanto diario como anual y acumulados se muestran en las columnas 6, 7, y 8 respectivamente de la Tabla #6.2 de la página #115.

- **Volumen del Relleno Necesario.**

Se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, afectando el valor anterior por el material de cobertura por medio de la siguiente expresión:

$$\text{VRS} = \text{V}_{\text{anual}} \times \text{MC} = 17,254.91 \text{ m}^3/\text{año} * 1.25 = 21,568.64 \text{ m}^3/\text{año}$$

Donde:

VRS= Volumen del relleno sanitario ($\text{m}^3/\text{año}$)

MC = Factor de material de cobertura (1.2 a 1.25)

Los datos obtenidos se muestran en la columna 9 de la Tabla #6.2, de la página #115, luego se debe obtener el volumen total ocupado durante la vida útil, por medio de la siguiente expresión:

$$\text{VRS}_{\text{vu}} = \sum_{i=1}^n \text{VRS}$$

Donde:

VRS_{vu} = Volumen relleno sanitario durante la vida útil (m^3)

n = número de años

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla #6.2, columna 10, de la página #115, que corresponden a los valores acumulados anualmente.

6.2.3 Cálculo del Area Requerida.

- **Area Requerida.**

A partir de la ecuación utilizada para el cálculo del volumen del relleno sanitario podremos estimar las necesidades de área, así:

$$ARS = \frac{VRS}{HRS} = \frac{21,568.64 \text{ m}^3/\text{año}}{5 \text{ m}} = 4,313.73 \text{ m}^2$$

Donde:

ARS = Area a rellenar sucesivamente (m²)

VRS = Volumen del relleno sanitario (m³/año)

HRS = Altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

- **Area Total Requerida.**

El área total requerida se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$A_T = F * ARS = 1.30 * 4,313.73 \text{ m}^2 = 5,607.85 \text{ m}^2$$

Donde:

A_T = Area total requerida (m²)

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc.

Este se considera entre un 20-40% del área a rellenar.

Los valores obtenidos del cálculo del Area Requerida y del Area Total Requerida se presentan en la columna 11, 12 y 13 de la Tabla #6.2, de la página #115.

6.2.4 Selección del Método.

El método constructivo y la seguridad de operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno escogido, las características del suelo, del material de cobertura que se utilizará y de la profundidad del nivel freático.

El sitio escogido en su mayor parte se adapta a la construcción de un relleno sanitario utilizando el método de trinchera o zanja pues las condiciones topográficas del terreno son de acuerdo a los requerimientos de este tipo de método, además las inspecciones en campo demuestran que en promedio el nivel freático alcanza los 15 metros y el material de cobertura se obtendrá de la excavación de las mismas celdas, por lo tanto este se encuentra disponible en el sitio.

6.2.5 Calculo de la Vida Util.

Con frecuencia muchas municipalidades no cuentan con maquinaria pesada, tales como un tractor de orugas o una retroexcavadora, etc. entonces se recomienda su arriendo o préstamo, para la excavación periódica de las zanjas que deberán tener una vida útil entre 30 y 90 días, para evitar así su empleo constante. La excavación de las zanjas entonces se deberá planificar para todo el año, dependiendo de la disponibilidad del equipo.

Tabla #6.2
Volumen y Area Requerida

AÑOS	POBLACION (hab)	PPC TOTAL (kg/hab-día)	CANTIDAD DE DESECHOS SOLIDOS			VOLUMEN DE DESECHOS SOLIDOS					AREA REQUERIDA		
			DIARIA (kg)	ANUAL (ton)	ACUMULADA (m3/año)	COMPACTADO		ESTABILIZADO ANUAL (m3)	RELLENO		RELLENO AREA (m2)	TOTAL AREA (m2)	TOTAL AREA (mz)
						DIARIO (kg)	ANUAL (m3)		DS+MC (anual)	Acumulada (m3)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	37841	0.6871	26,000.55	9,490.20	9,490.20	57.78	21,089.34	17,254.91	21,568.64	21,568.64	4,313.73	5,607.85	0.80
1	38476	0.6940	26,701.23	9,745.95	19,236.15	59.34	21,657.66	17,719.91	22,149.88	43,718.52	8,743.70	11,366.82	1.62
2	39122	0.7009	27,421.03	10,008.68	29,244.82	60.94	22,241.50	18,197.59	22,746.99	66,465.51	13,293.10	17,281.03	2.46
3	39,779	0.7079	28,160.34	10,278.52	39,523.35	62.58	22,841.17	18,688.23	23,360.28	89,825.80	17,965.16	23,354.71	3.33
4	40,447	0.7150	28,919.57	10,555.64	50,078.99	64.27	23,456.98	19,192.08	23,990.09	113,815.89	22,763.18	29,592.13	4.22
5	41,126	0.7221	29,699.10	10,840.17	60,919.16	66.00	24,089.27	19,709.40	24,636.75	138,452.64	27,690.53	35,997.69	5.13
6	41,817	0.7294	30,500.09	11,132.53	72,051.69	67.78	24,738.96	20,240.97	25,301.21	163,753.85	32,750.77	42,576.00	6.07
7	42,519	0.7367	31,322.23	11,432.61	83,484.31	69.60	25,405.80	20,786.57	25,983.21	189,737.06	37,947.41	49,331.64	7.04
8	43,233	0.7440	32,166.69	11,740.84	95,225.15	71.48	26,090.76	21,346.98	26,683.73	216,420.79	43,284.16	56,269.40	8.02
9	43,959	0.7515	33,033.92	12,057.38	107,282.53	73.41	26,794.18	21,922.51	27,403.14	243,823.93	48,764.79	63,394.22	9.04
10	44,697	0.7590	33,924.39	12,382.40	119,664.93	75.39	27,516.45	22,513.46	28,141.82	271,965.75	54,393.15	70,711.10	10.08
11	45,447	0.7666	34,838.57	12,716.08	132,381.01	77.42	28,257.95	23,120.14	28,900.17	300,865.93	60,173.19	78,225.14	11.16
12	46,210	0.7742	35,777.70	13,058.86	145,439.87	79.51	29,019.69	23,743.38	29,679.23	330,545.15	66,109.03	85,941.74	12.26
13	46,986	0.7820	36,742.30	13,410.94	158,850.80	81.65	29,802.08	24,383.52	30,479.40	361,024.56	72,204.91	93,866.38	13.39
14	47,775	0.7898	37,732.87	13,772.50	172,623.30	83.85	30,605.55	25,040.91	31,301.13	392,325.69	78,465.14	102,004.68	14.55
15	48,577	0.7977	38,749.96	14,143.73	186,767.04	86.11	31,430.52	25,715.88	32,144.85	424,470.54	84,894.11	110,362.34	15.74
16	49,393	0.8057	39,794.89	14,525.14	201,292.17	88.43	32,278.08	26,409.34	33,011.67	457,482.21	91,496.44	118,945.38	16.96
17	50,222	0.8137	40,867.43	14,916.61	216,208.79	90.82	33,148.02	27,121.11	33,901.39	491,383.60	98,276.72	127,759.74	18.22
18	51,065	0.8219	41,968.94	15,318.66	231,527.45	93.26	34,041.47	27,852.12	34,815.14	526,198.75	105,239.75	136,811.67	19.51
19	51,923	0.8301	43,100.85	15,731.81	247,259.26	95.78	34,959.58	28,603.29	35,754.11	561,952.86	112,390.57	146,107.74	20.84
20	52,794	0.8384	44,262.10	16,155.67	263,414.92	98.36	35,901.48	29,373.94	36,717.42	598,670.28	119,734.06	155,654.27	22.20

Antes de que se complete el período de vida útil de la zanja, se debe disponer del equipo para proceder a la excavación de una nueva zanja, para poder continuar con una disposición sanitaria final de los desechos sólidos y proteger el ambiente. De lo contrario, el servicio sería interrumpido y se podría convertir el lugar en un botadero a cielo abierto.

A partir de la vida útil de la zanja, se calcula el volumen de excavación y el tiempo requerido de la maquinaria, así:

- **Volumen de la Zanja.**

$$Vz = \frac{t \times DSr \times MC}{Drsm} = \frac{90 \text{ días} \times 26,000.55 \text{ kg/día} \times 0.95 \times 1.25}{550 \text{ (kg/m}^3\text{)}} = 5,052.38 \text{ m}^3$$

$$Vz = 5,052.38 \text{ m}^3$$

Donde:

Vz = Volumen de la zanja (m³).

t = Tiempo de vida útil (90 días).

DSr = Cantidad de desechos sólidos recolectados (26,000.55 kg/día).

0.95 = Se estima que se recolectará el 95% de la producción.

MC = Factor de material de cobertura de 1.20 a 1.25 (20 a 25%).

Drsm = Densidad de los desechos sólidos en el relleno (550 kg/m³).

Es decir, que para depositar los desechos sólidos de un día, se requerirán excavar:

$$DSrd = \frac{Vz}{tz} = \frac{5,052.38 \text{ m}^3}{90} = 56.14 \text{ m}^3$$

Donde:

DSrd = Cantidad de desechos sólidos recolectados y depositados en un día (kg/día)

Vz = Volumen de la zanja (m³)

Tz = Tiempo de servicio de la zanja (días)

- **Dimensiones de la Zanja.**

Para efectos de la operación manual, las dimensiones de la zanja estarán limitadas por las siguientes dimensiones:

- La profundidad de la zanja, de 2 a 3 metros de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo, tipo de equipo y costos de excavación.
- El ancho de la zanja entre 10 y 30 metros, que resulta conveniente para evitar el acarreo de larga distancia de la basura y el material de cobertura y sobre todo para proporcionar mejor utilización del equipo, lo cual implica mejores rendimientos de trabajo, de tal manera que puede ser planeada la operación dejando un lado para acumular la tierra y el otro para la descarga de los desechos sólidos.
- El largo está condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja.

Entonces se tiene que:

$$l = \frac{Vz}{a \times hz} = \frac{5,052.38 \text{ m}^3}{30\text{m} \times 3\text{m}} = 56.14 \text{ m}$$

Donde:

l = Largo o longitud

Vz = Volumen de la zanja (m³)

a = Ancho (30 mts.)

hz = Profundidad (3 mts.)

- **Tiempo de la Maquinaria.**

El tiempo requerido para la excavación de la zanja y el movimiento de la tierra en general dependerá mucho del tipo de material del suelo, del tipo y potencia de la máquina, de su sistema de tracción (ya sea de ruedas o de orugas) y de la pericia del conductor, tomando un rendimiento de 14 m³/hora tenemos:

$$t_{exc} = \frac{V_z}{R \times J} = \frac{5.052.38 \text{ m}^3}{14 \text{ m}^3/\text{hora} \times 8 \text{ horas/día}} = 45.11 \approx 45 \text{ días}$$

Donde:

t_{exc} = Tiempo de la maquinaria para la excavación de la zanja (días)

V_z = Volumen de la zanja (5,052.38 m³)

R = Rendimiento de excavación del equipo pesado (14 m³/hora)

J = Jornada de trabajo diario (8 horas/día)

Lo anterior significa que para tener completamente lista la zanja, se debe disponer de 45 días para su excavación. Sin embargo, conviene indicar que por lo menos siete días antes de que se llene una zanja, se debe llevar el equipo para abrir una nueva y mantener una buena programación de la máquina, para disponer correctamente los desechos sólidos.

- **Vida Util del Terreno.**

De la Tabla #6.2 columna 12 de la página 115, podemos conocer el área requerida sólo si se conoce la profundidad promedio del relleno sanitario, sin embargo, en la práctica nos encontramos con un terreno al que hay que calcularle su vida útil. En lo que respecta al método de zanja, una vez calculado el volumen de la misma, suponemos un factor para las áreas adicionales (separación entre zanjas, vías de circulación, aislamiento, etc.) y se estima el número de zanjas que se podrían excavar en el terreno, por lo tanto:

$$n = \frac{At}{F \times Az} = \frac{87,501.80 \text{ m}^2}{1.40 \times 30.00 \times 56.14 \text{ m}} = 37.11 \approx 37 \text{ zanjas}$$

Donde:

n = Número de zanjas

At = Area del terreno (m²)

F = Factor para áreas adicionales de 1.2 a 1.4 (20 a 40%)

Az = Area de la zanja (m²)

Se recomienda que la separación entre zanjas sea como mínimo de un metro, por los empujes que se presentan. Esta separación depende del tipo de suelo y de la forma de la trinchera ya sea cuadrada o trapezoidal, entre otros factores. Entonces la vida útil estará dada por:

$$Vu = \frac{tz \times n}{365} = \frac{90 \text{ días} \times 37}{365} = 9.12 \approx 9 \text{ años}$$

Donde:

Vu = Vida útil del terreno (años)

tz = Tiempo de servicio de la zanja (días)

n = Número de zanjas

6.2.6 Calculo de la Celda.

Las celdas están conformadas básicamente por los desechos sólidos y el material de cobertura y serán dimensionadas con el objeto de economizar el material de cobertura, sin perjuicio del recubrimiento y con el fin de que proporcionen un frente de trabajo suficiente

para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores. Las dimensiones y el volumen de la celda diaria dependen de factores tales como:

- La cantidad diaria de desechos sólidos a disponer.
- El grado de compactación.
- La altura de la celda más cómoda para el trabajo manual.
- El frente de trabajo necesario que permita la descarga de los vehículos de recolección.

Es recomendable mantener una altura entre un metro y un máximo de un metro y medio para la celda diaria, debido a la baja compactación alcanzada por la operación manual, brindando así una mayor estabilidad mecánica a la construcción del relleno sanitario y un frente de trabajo lo más estrecho posible, los cuales, junto con el avance (largo), se calcularán dependiendo del volumen diario de desechos.

- **Cantidad de Desechos Sólidos a Disponer.**

La cantidad de basura para diseñar la celda diaria se puede obtener a partir de la cantidad de basura producida diariamente, de la siguiente manera:

$$DSrs = \frac{DSp \times 7}{Dhab} = \frac{26,000.55 \text{ kg/día} \times 7}{6} = 30,333.98 \text{ kg/día laboral}$$

Donde:

DSrs = Cantidad media diaria de los desechos sólidos en el relleno sanitario (kg/día)

DSp = Cantidad de los desechos sólidos producido por día (kg/día)

Dhab = Días hábiles o laborales en una semana (normalmente dhab varía entre 5 ó 6 días y aún menos en municipios más pequeños)

- **Volumen de la Celda Diaria.**

$$V_c = \frac{DSrs}{Drsm} \times MC = \frac{30,333.98 \text{ kg/día laboral} \times 1.25}{450 \text{ kg/m}^3} = 84.26 \text{ m}^3/\text{día laboral}$$

Donde:

V_c = Volumen de la celda diaria (m^3)

$Drsm$ = Densidad de los desechos sólidos recién compactados en el relleno sanitario manual,

400-500 kg/m^3 .

MC = Factor de material de cobertura (1.20-1.25)

- **Dimensiones de la Celda.**

- Area de la celda.

$$Ac = \frac{V_c}{hc} = \frac{84.26 \text{ m}^3/\text{día}}{1.50 \text{ m}} = 56.17 \text{ m}^2/\text{día}$$

Donde:

Ac = Area de la celda ($\text{m}^2/\text{día}$)

hc = Altura de la celda (m) – tomando el límite de 1.50 m.

- Largo o avance de la celda (m)

$$l = \frac{Ac}{a} = \frac{56.17 \text{ m}^2/\text{día}}{3.50 \text{ m}} = 16.05 \text{ m.}$$

Donde:

a = Ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores, determinándose de 3.5 m.

La configuración de las terrazas obtenidas del relleno sanitario a partir de los cálculos realizados puede observarse en el Plano #6.9, donde se encuentran configuradas todas las celdas y sus dimensiones.

6.2.7 Calculo de la Mano de Obra.

La mano de obra necesaria en la operación manual del relleno sanitario para conformar la celda diaria depende de:

- La cantidad de desechos sólidos a disponer.
- La disponibilidad y tipo de material de cobertura.
- Los días laborables en el relleno.
- La duración de la jornada diaria.
- Las condiciones del clima.
- La descarga de los desechos en el frente de trabajo o distante de él.
- El rendimiento de los trabajadores.

• Numero de Trabajadores.

Para calcular el número de trabajadores necesarios en el relleno sanitario manual se muestra la Tabla #6.3, donde se presentan rendimientos de mano de obra bajo condiciones normales⁹, en la cual se considera una jornada de ocho horas diarias, con un tiempo efectivo de seis horas.

⁹ Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Programa de Salud Ambiental Serie Técnica No. 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991.

Plano #6.9

configuradas las celdas y sus dimensiones

Tabla #6.3
Rendimientos de Mano de Obra

OPERACION	RENDIMIENTOS
Movimiento de desechos	0.95 ton/hora-hom.
Compactación de desechos	20 m ² /hora-hom.
Movimiento de tierra	0.35 a 0.70 m ³ /hora-hom.
Compactación de la celda	20 m ² /hora-hom.

Adaptando estos rendimientos al diseño del relleno sanitario, obtenemos los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{Movimiento de desechos} &= \frac{\text{Desechos sólidos (ton/día)} *}{0.95 \text{ ton/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} \\ &= \frac{26.00 \text{ ton/día}}{0.95 \text{ ton/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} = 4.56 \text{ hom/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Compactación de desechos} &= \frac{\text{Area superficial (m}^2\text{)} *}{20 \text{ m}^2\text{/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} \\ &= \frac{56.17 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2\text{/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} = 0.47 \text{ hom/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Movimiento de tierra} &= \frac{\text{Tierra (m}^3\text{)} *}{0.35 \text{ a } 0.70 \text{ m}^3\text{/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} \\ &= \frac{84.26 \text{ m}^3 * 0.25}{0.53 \text{ m}^3\text{/hora-hom}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} = 6.62 \text{ hom/día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Compactación de la celda} &= \frac{\text{Area superficial (m}^2\text{)} *}{20 \text{ m}^2\text{/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} \\ &= \frac{56.17 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2\text{/hora-hom.}} * \frac{1}{6 \text{ horas}} = 0.47 \text{ hom/día} \end{aligned}$$

Total Hombres = 4.56 + 0.47 + 6.62 + 0.47 = 12.12 hombres. ≈ 12 hombres

Por lo tanto tenemos que este relleno sanitario podrá ser operado con un total de 12 hombres aproximadamente, equivalente a un rendimiento laboral de 2.17 ton/hombre-día. Tomando en cuenta que el número de hombres dependerá de cuán cerca al frente de trabajo se descarguen los desechos sólidos y el material de cobertura, de las condiciones del clima, de la época de lluvias y fundamentalmente de las variaciones de la cantidad de desechos recibidos en el relleno.

Un requisito indispensable es la supervisión en el frente de trabajo, ya que juega un papel de primera línea, tanto en la buena marcha del relleno sanitario, como en el rendimiento de los trabajadores, además del número de hombres que ejecutarán las labores propias de la construcción del relleno, es necesario otra persona que dirija y oriente las operaciones en calidad de supervisor, el cual podrá ser una persona profesional capacitada en el manejo de desechos sólidos, como un tecnólogo en saneamiento o un promotor de saneamiento.

6.3 Diseño de las Obras de Drenaje.

Para evitar la contaminación de los mantos acuíferos subterráneos, la atmósfera y el agua superficial del área donde se construirá el relleno sanitario, es necesario construir obras de drenaje con dimensiones adecuadas a las condiciones de precipitación pluvial local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía del lugar. Es importante estudiar la precipitación pluvial del lugar, con el fin de establecer las características de los drenajes perimetrales y las obras necesarias, así se minimizará la producción del líquido lixiviado o percolado y se evitará la contaminación de las aguas.

Las aguas de lluvia que caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario suelen escurrirse hasta él, lo que dificulta la operación del relleno, interceptar y desviar el escurrimiento de

estas aguas por medio de un canal perimetral fuera del relleno sanitario es, pues, un elemento fundamental de su infraestructura, que contribuirá a reducir el volumen del líquido percolado y a mejorar las condiciones de operación. Es necesario construir un canal en tierra o suelo-cemento de forma trapezoidal y dimensionarlo teniendo en cuenta las condiciones antes mencionadas.

6.3.1 Tiempo de Concentración.

El tiempo de concentración equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto mas alejado hasta el punto de salida de la zona en estudio, para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$T_c = \frac{\sqrt{A} + 1.5 L_c}{0.80 \sqrt{\Delta H}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (horas).

A = area de la cuenca (km^2).

L_c = longitud del cauce mas largo (km).

ΔH = elevación media de la cuenca (mts).

Para obtener los datos de área de influencia, longitud del cauce más largo y la elevación media de la cuenca se utilizo el plano de restitución proporcionado por el Centro Nacional de Registros (CNR), el cual hace referencia al Mapa Catastral # 0506r09, Parcela # 296, donde se determino el parteaguas de nuestra zona de estudio. El área total de la cuenca es de $117,552.11 \text{ m}^2$ equivalente a 0.11755211 km^2 , esta valor se determinó por medición directa en el mapa catastral. La longitud del cauce más largo consiste en el recorrido mas largo que tiene el agua al caer en el punto más lejano al punto de salida del área de recogimiento de

la cuenca, determinándose de 754.19 mts equivalente a 0.75419 kms. La elevación media de la cuenca se obtuvo directamente de la medición en los planos, a través de las elevaciones involucradas en la cuenca, con el valor de la elevación máxima y mínima de la siguiente manera:

$$\Delta H = \frac{1}{2} (\text{elevación máxima} + \text{elevación mínima})$$

$$\Delta H = \frac{1}{2} (69.00 + 19.00) = 44.00 \text{ mts.}$$

Sustituyendo datos, encontramos que el tiempo de concentración es:

$$T_c = \frac{\sqrt{A} + 1.5 L_c}{0.80 \sqrt{\Delta H}} = \frac{\sqrt{0.11755211 \text{ km}^2} + 1.5 (0.75419 \text{ kms})}{0.80 \sqrt{44.00 \text{ mts}}}$$

$$T_c = 0.28 \text{ horas} \approx 16.80 \text{ min.} \approx 17.00 \text{ min}$$

6.3.2 Intensidad Pluvial Máxima o de Diseño.

La intensidad de diseño se calcula en base al dato obtenido del Tiempo de Concentración que se ha calculado, equivalente a 17 minutos y también se calcula con el valor de las Intensidades de Lluvia de la zona en estudio, para el municipio de la Libertad la estación Pluviométrica correspondiente es San Diego L-36, ubicada en el Cantón San Diego de dicho municipio, los valores se muestran en la Tabla #6.4, dichos datos fueron proporcionadas por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

Luego en la Tabla #6.5a y #6.5b, se muestra el calculo para elaborar la Curva Intensidad - Duración - Frecuencia, utilizando la distribución Gumbel y el ajuste de los mínimos cuadrados por el método de Chow, en la Grafica #6.1 se muestran los datos, para un periodo de retorno de 20 años y el tiempo de concentración correspondiente a 17 minutos, el valor obtenido es de 2.64 mm/min.

Tabla #6.4

Intensidades de Lluvia - Municipio de La Libertad

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)

En mm/minuto para diferentes períodos.

ESTACION: SAN DIEGO

INDICE: L- 36

LATITUD: 13° 28.2'

LONGITUD: 89° 15.2'

ELEVACION: 6 m.s.n.m.

AÑO	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240	360
1972	2.06	1.99	1.77	1.62	1.50	1.11	0.69	0.59	0.35	0.20	0.17	0.12	0.04
1973	2.26	1.19	1.73	1.58	1.47	1.27	0.96	0.71	0.33	0.27	0.22	0.15	0.09
1974	2.66	2.44	2.16	1.92	1.41	0.98	0.79	0.60	0.47	0.38	0.32	0.26	0.19
1975	2.06	1.55	1.35	1.12	1.04	0.89	0.75	0.59	0.51	0.50	0.45	0.36	0.26
1976	2.02	1.89	1.59	1.42	1.24	0.91	0.71	0.50	0.41	0.34	0.25	0.24	0.16
1977	2.40	2.20	2.13	2.10	1.73	1.36	1.03	0.77	0.59	0.42	0.40	0.31	0.27
1978	3.88	2.64	2.00	1.94	1.62	1.19	1.08	0.81	0.66	0.64	0.58	0.46	0.31
1979	2.00	2.00	1.84	1.78	1.51	1.21	0.93	0.63	0.49	0.46	0.37	0.28	0.22
1980	3.06	2.63	2.09	1.76	1.41	1.21	0.96	0.67	0.50	0.40	0.35	0.31	0.27
1981	3.04	2.23	2.02	1.77	1.30	1.11	0.97	0.75	0.59	0.49	0.41	0.31	0.21
1982	2.84	2.34	1.73	1.42	1.12	0.82	0.68	0.52	0.44	0.33	0.34	0.32	0.24
1983	2.60	2.22	2.09	1.74	1.28	0.91	0.88	0.61	0.46	0.38	0.30	0.24	0.18
1984	(3.00)	(2.90)	(2.67)	(2.55)	(2.53)	(2.10)	(1.84)	(1.50)	(1.27)	(1.08)	(0.92)	(0.70)	(0.48)
PROM.	2.57	2.11	1.88	1.68	1.39	1.08	0.87	0.65	0.48	0.40	0.35	0.28	0.20
DS.	0.57	0.42	0.25	0.27	0.20	0.17	0.14	0.10	0.10	0.12	0.11	0.09	0.08
MAX.	3.88	2.64	2.09	1.94	1.62	1.21	1.08	0.81	0.66	0.64	0.58	0.46	0.31
MIN.	2.00	2.00	1.73	1.42	1.12	0.82	0.68	0.52	0.44	0.33	0.30	0.24	0.18

Tabla #6.5a
Elaboración de la Curva Intensidad - Duración – Frecuencia
Ajuste de Chow - Estación San Diego L-36

No.	5 min.	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
1	2.06	1.99	1.77	1.62	1.50	1.11	0.69	0.59	0.35	0.20	0.17
2	2.26	1.19	1.73	1.58	1.47	1.27	0.96	0.71	0.38	0.27	0.22
3	2.66	2.40	2.16	1.92	1.41	0.98	0.79	0.60	0.47	0.38	0.32
4	2.06	1.55	1.35	1.12	1.04	0.89	0.75	0.59	0.51	0.45	0.36
5	2.02	1.89	1.59	1.42	1.24	0.91	0.71	0.50	0.41	0.34	0.25
6	2.40	2.20	2.13	2.10	1.73	1.36	1.03	0.77	0.59	0.42	0.40
7	3.88	2.64	2.00	1.94	1.62	1.19	1.00	0.81	0.81	0.66	0.64
8	2.00	2.00	1.84	1.78	1.51	1.21	0.93	0.63	0.49	0.44	0.37
9	3.06	2.63	2.09	1.72	1.41	1.21	0.96	0.67	0.59	0.40	0.35
10	3.04	2.23	2.02	1.77	1.30	1.11	0.97	0.75	0.59	11.43	0.41
11	2.84	2.34	1.73	1.42	1.12	0.82	0.68	0.52	0.44	0.38	0.34
12	2.60	2.22	2.09	1.74	1.28	0.98	0.68	0.61	0.46	0.38	0.30
13	3.00	2.90	2.67	2.55	139.60	114.40	96.18	74.86	67.17	60.19	0.52
Media	2.61	2.17	1.94	1.74	12.02	9.80	8.18	6.35	5.64	5.84	0.36
DesviaciónStandar	0.56	0.46	0.33	0.35	38.33	31.43	26.44	20.58	18.49	16.61	0.12

TR	5 min.	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
2	2.51	2.09	1.88	1.69	5.72	4.64	3.84	2.97	2.60	3.11	0.34
5	3.01	2.50	2.17	2.00	39.60	32.41	27.20	21.16	18.94	17.79	0.45
10	3.33	2.77	2.36	2.20	62.03	50.80	42.67	33.21	29.76	27.51	0.52
15	3.51	2.92	2.47	2.32	74.68	61.18	51.40	40.00	35.86	33.00	0.56
20	3.64	3.03	2.54	2.40	83.54	68.44	57.51	44.76	40.13	36.84	0.59
25	3.74	3.11	2.60	2.46	90.37	74.04	62.22	48.42	43.42	39.79	0.61
30	3.82	3.17	2.65	2.52	95.92	78.59	66.05	51.41	46.10	42.20	0.63
50	4.05	3.36	2.78	2.66	111.39	91.27	76.72	59.71	53.56	48.91	0.68
100	4.35	3.61	2.96	2.85	132.26	108.38	91.12	70.92	63.63	57.95	0.74
1000	5.35	4.44	3.54	3.48	201.22	164.92	138.68	107.94	96.89	87.83	0.96

Tabla #6.5b

Elaboración de la Curva Intensidad - Duración – Frecuencia

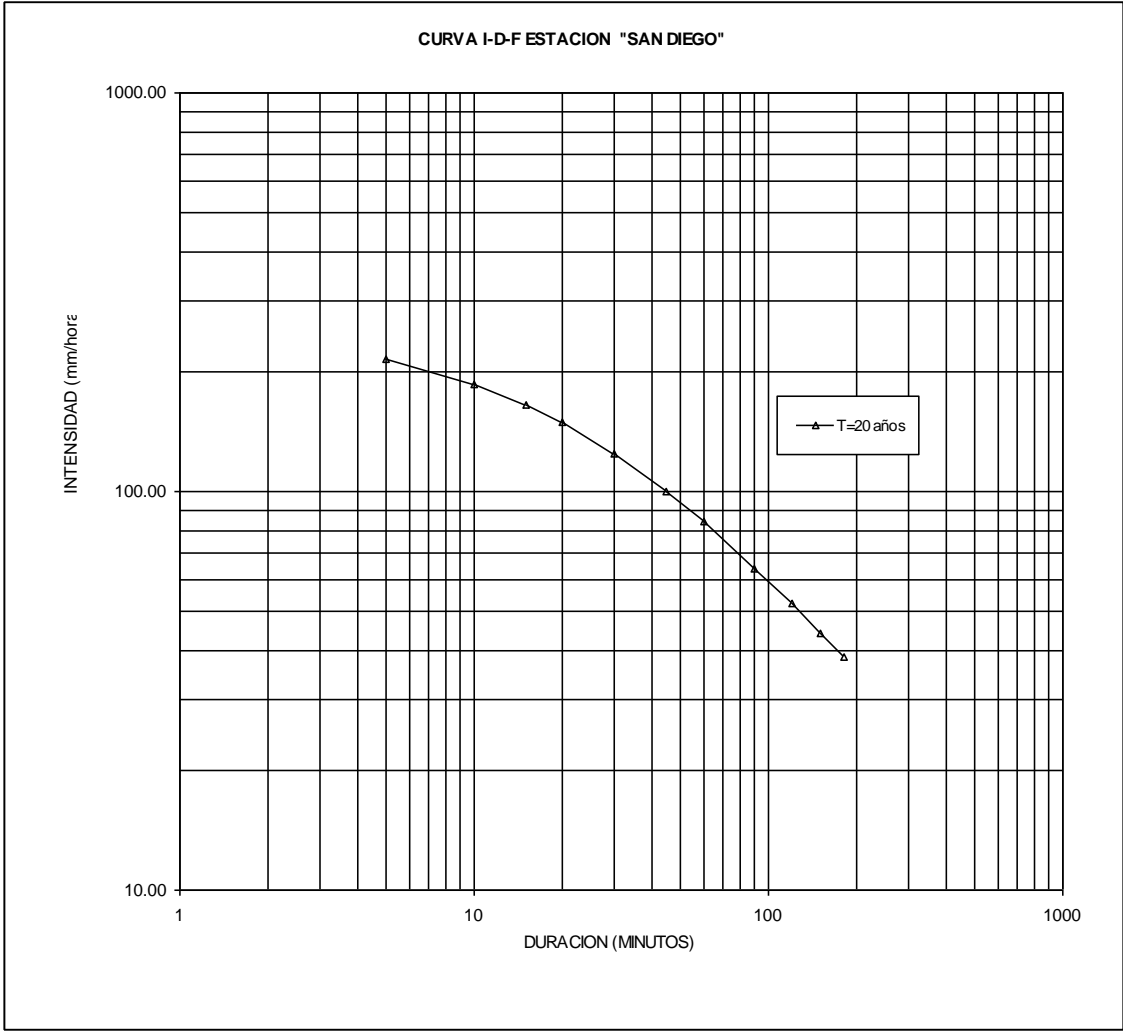
Ajuste de Chow

Estación San Diego L-36

CONSTANTES DEL AJUSTE DE MINIMOS CUADRADOS						
Constantes	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	50 años
a	5614.245	5028.276	3954.372	4253.879	3790.527	3316.021
b	27.884	26.585	23.638	24.268	23.055	20.761
c	0.990	0.940	0.880	0.885	0.855	0.810
r ²	0.997	0.995	0.994	0.993	0.993	0.991

T (minutos)	T=20 años (mm/hr)	T=20 años (mm/min)
5	214.30	3.57
10	186.38	3.11
15	165.22	2.75
20	148.59	2.48
30	124.08	2.07
45	99.98	1.67
60	84.06	1.40
90	64.20	1.07
120	52.23	0.87
150	44.19	0.74
180	38.39	0.64

Grafica #6.1
Intensidad – Duración – Frecuencia



6.3.3 Pendiente Media de la Zona en Estudio.

La pendiente media de la cuenca en estudio, se determinó mediante la utilización de la siguiente formula:

$$S = \frac{D * \sum L}{A}$$

Donde:

S = Pendiente media de la cuenca (%)

D = Intervalo entre curvas de nivel (mt.)

$\sum L$ = Sumatoria de los contornos de las curvas de nivel (mts.)

A = Area total de la cuenca (m²)

La sumatoria de los contornos de las curvas de nivel se ha calculado a partir de la medición directa de las curvas de nivel en los planos, los datos obtenidos se muestran en la Tabla #6.6.

Luego se calcula:

$$S = \frac{1 \text{ mt} * 22,983.36 \text{ mts}}{117,552.11 \text{ m}^2} * 100$$

$$S = 19.55 \%$$

6.3.4 Calculo del Coeficiente de Escorrentía.

La escorrentía es denominada como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre de la cuenca y que llega a una corriente para que finalmente drene hasta el punto de salida de la cuenca. Para calcular el coeficiente de escorrentía, se

utilizó el Nomograma de Ven Te Chow el cual se muestra en la Grafica #6.3, utilizando los parámetros de tipo de vegetación, condiciones de permeabilidad y pendiente media de la cuenca.

Tabla # 6.6
Longitudes de las Curvas de Nivel a Cada Metro

No.	COTA	LONGITUD	SUMA ACUMULADA	No.	COTA	LONGITUD	SUMA ACUMULADA
1	67	6.65	6.65	26	42	765.15	12,179.03
2	66	26.93	33.58	27	41	753.63	12,932.66
3	65	57.3	90.88	28	40	748.46	13,681.12
4	64	115.08	205.96	29	39	793.87	14,474.99
5	63	140.41	346.37	30	38	808.53	15,283.52
6	62	189.02	535.39	31	37	788.63	16,072.15
7	61	213.96	749.35	32	36	801.96	16,874.11
8	60	248.99	998.34	33	35	721.35	17,595.46
9	59	293.85	1,292.19	34	34	631.73	18,227.19
10	58	369.79	1,661.98	35	33	562.82	18,790.01
11	57	404.87	2,066.85	36	32	506.4	19,296.41
12	56	432.83	2,499.68	37	31	452.81	19,749.22
13	55	459.98	2,959.66	38	30	453.6	20,202.82
14	54	520.52	3,480.18	39	29	402.09	20,604.91
15	53	617.8	4,097.98	40	28	373.18	20,978.09
16	52	638.68	4,736.66	41	27	347.4	21,325.49
17	51	660.83	5,397.49	42	26	312.64	21,638.13
18	50	688.64	6,086.13	43	25	297.7	21,935.83
19	49	724.38	6,810.51	44	24	264.66	22,200.49
20	48	736.73	7,547.24	45	23	244.7	22,445.19
21	47	747.19	8,294.43	46	22	230.37	22,675.56
22	46	749.68	9,044.11	47	21	163.41	22,838.97
23	45	775.89	9,820.00	48	20	105.61	22,944.58
24	44	796.86	10,616.86	49	19	38.78	22,983.36
25	43	797.02	11,413.88				

Grafica #6.3

Nomograma de Ven Te Chow

Del Nomograma de Ven Te Chow, Grafica #6.3, se obtiene el resultado del Coeficiente de Escorrentía igual a $C=0.45$.

6.3.5 Calculo del Caudal Máximo de Diseño.

Para obtener el caudal que influirá en el relleno sanitario, se utiliza la formula racional siguiente:

$$Q = C I A$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/seg)

C = Coeficiente de escorrentía superficial

I = Intensidad pluvial máxima (m/seg)

A = Area total de la cuenca (m^2)

Sustituyendo datos obtenemos:

$$Q = (0.45) * (4.40 \times 10^{-5} \text{ m/seg}) * (117,552.11 \text{ m}^2)$$

$$Q = 2.33 \text{ m}^3/\text{seg}$$

6.3.6 Drenaje Pluvial.

Las aguas lluvias deben encausarse con el fin de desviar la escorrentía dentro del mismo terreno y no a los terrenos aledaños, esto se pretende realizar a través de un sistema superficial de canaletas perimetrales forjadas en tierra, disminuyendo en gran medida el

riesgo de un aumento significativo de líquidos lixiviados y por supuesto para mejorar las condiciones de operación del relleno sanitario.

Al obtener las dimensiones de la canaleta, es necesario calcular el tamaño del desagüe, utilizando la formula de Manning, se tiene:

$$Q = \frac{A * Rn^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q = Caudal de desagüe (m³/seg)

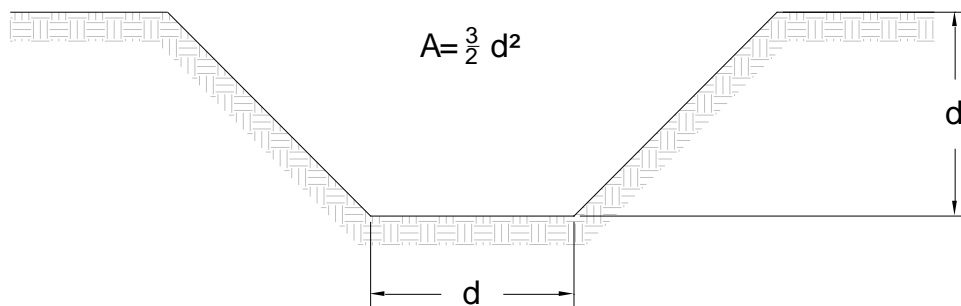
A = Area de la sección del canal (m²)

S = Pendiente longitudinal del canal (asumiendo una pendiente del 2%)

n = Coeficiente de Manning (0.023 y 0.15 para canales de tierra rectos y bien conservados, pulido ordinario con cemento)

Rh = Radio Hidráulico.

Para un canal trapezoidal se tiene el cálculo del área y de su radio hidráulico igual a:



$$A = 3/2 d^2$$

$$Rh = \frac{3d}{2(1+\sqrt{5})} = 0.4635 d$$

Sustituyendo datos en la ecuación, se obtiene:

Para un valor de $n = 0.023$

$$2.33 = \frac{(3/2 d^2) * (0.4635 d)^{2/3} * (0.02)^{1/2}}{0.023}$$

$$2.33 = 5.524 d^{19/6}$$

$$d = 0.76 \text{ cms.}$$

Para un valor de $n = 0.015$

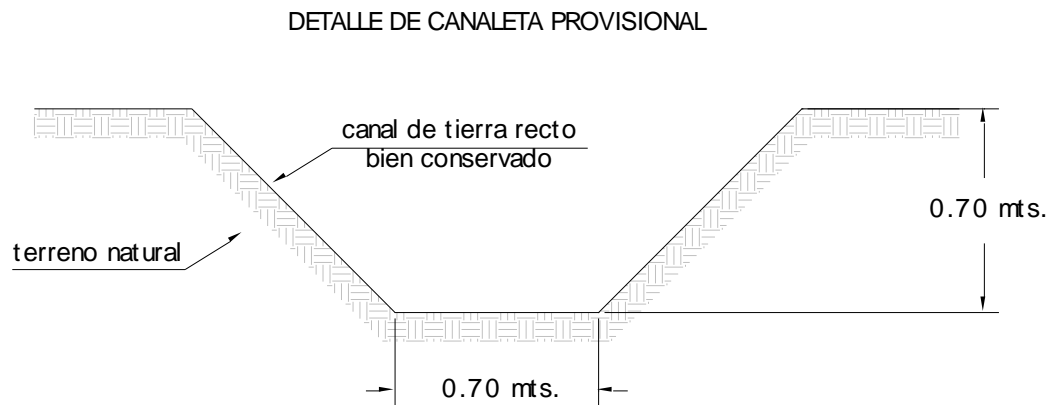
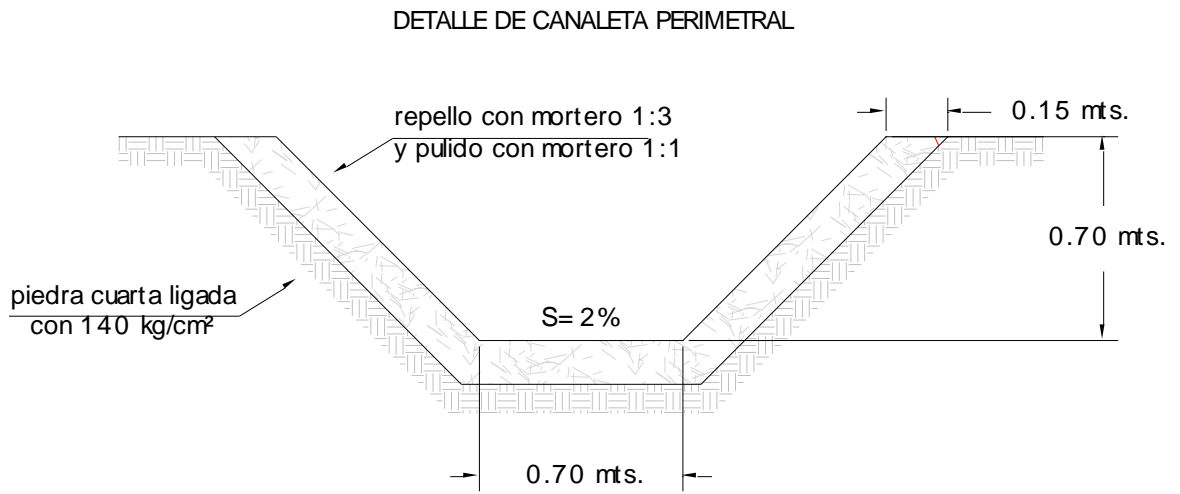
$$2.33 = \frac{(3/2 d^2) * (0.4635 d)^{2/3} * (0.02)^{1/2}}{0.015}$$

$$2.33 = 8.469 d^{19/6}$$

$$d = 0.67 \text{ cms.}$$

Escogiendo el valor promedio que es de $d = 0.72$ centímetros, aproximando a 0.70, se muestra la Figura #6.2 donde se detalla el diseño de la canaleta para el drenaje de las aguas lluvias tanto en la periferia del terreno, así como dentro del mismo, que vendría siendo la canaleta provisional.

Figura #6.2
Detalle de Canaletas



6.3.7 Drenaje para Líquidos Lixiviados.

Los líquidos generados por la descomposición de la basura en el relleno sanitario son denominados líquidos percolados o lixiviados, son de color oscuro y tienen mal olor, poseen elevada demanda bioquímica de oxígeno, pueden ser muy contaminantes para las aguas superficiales y para los mantos acuíferos, además pueden aumentar significativamente con la lluvia que cae directamente sobre el relleno sanitario. Estos líquidos deben tener su propio sistema de alcantarillado sanitario en la zona del terreno donde se va a construir el relleno sanitario, para ello se construirán canaletas cuadradas al pie del talud del nivel de desplante de cada terraza bajo la celda de los desechos sólidos.

Las canaletas para el drenaje de los líquidos lixiviados se construirán bajo el sistema denominado Dren Frances, que consiste en una canaleta de forma cuadrada que debe llenarse con grava No. 2 y tubería de PVC perforada con diámetros de 4, 6 u 8 pulgadas, colocada sobre un colchón semipermeable de suelo compactado.

Para determinar las dimensiones del diámetro de la tubería se aplica el siguiente cálculo:

$$Q = P \cdot A \cdot K \cdot T^{-1}$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviados (Lts/seg)

P = Precipitación media anual (mm de agua)

A = Area del relleno sanitario (m²)

K = Coeficiente de compactación, que depende del grado de compactación ≈ un 30%

T = Numero de segundos en un año (31,536,000 seg.)

La precipitación pluvial anual para el departamento de La Libertad varía entre los 1400 mm hasta los 2000 mm, obteniéndose una precipitación promedio anual de 1700 mm.

El coeficiente de compactación se calcula por medio de la densidad de los residuos sólidos por medio de la siguiente formula:

$$K = \frac{\text{Densidad de la basura descargada en el Relleno Sanitario}}{\text{Densidad en el Relleno Sanitario}}$$

$$K = \frac{0.275 \text{ ton/ m}^3}{0.450 \text{ ton/m}^3}$$

$$K = 0.61$$

Sustituyendo los datos para el cálculo del caudal medio de los líquidos lixiviados se obtiene:

$$Q = (1700 \text{ mm}) * (87,501.80 \text{ m}^2) * (0.61) * (31,536,000 \text{ seg.})^{-1}$$

$$Q = 2.88 \text{ lts/seg} = 0.0029 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Aplicando la formula de Manning se calcula:

$$Q = \frac{A * Rh^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

$$A = \frac{\pi * d^2}{8}$$

$$Rh = d/4$$

$$S = 0.02$$

$$n = 0.013 \text{ (para un tubo de PVC)}$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$0.0029 = \frac{\pi * d^2 * d^{2/3} * \sqrt{0.02}}{8 * 4^{2/3} * 0.013}$$

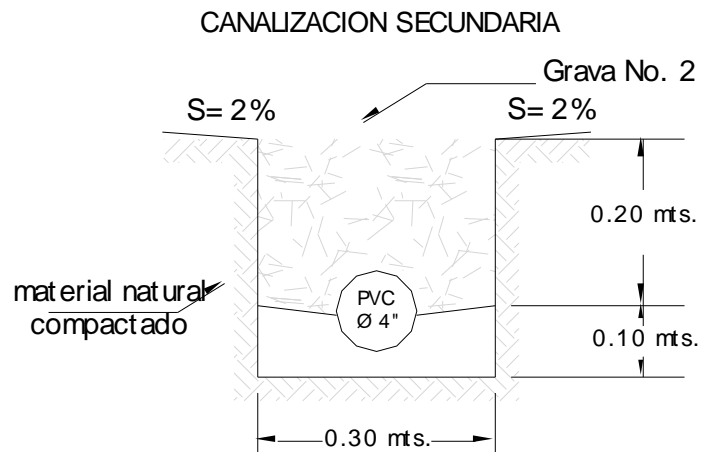
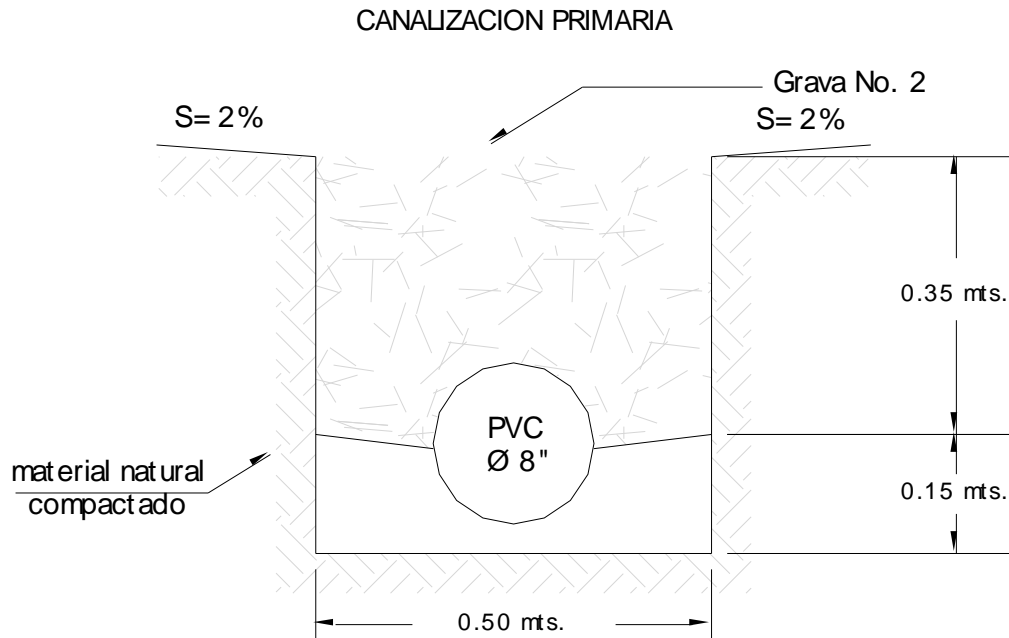
$$0.0029 = 1.70 * d^{8/3}$$

$$d = 0.09 \text{ mts} = 9.00 \text{ cms} = 3.54 \text{ pulg.}$$

Entonces necesitamos una tubería de PVC de 3.54 pulgadas, pero para poder obtener una completa seguridad del funcionamiento de esta tubería se sobre dimensionará este diámetro utilizando una tubería de PVC de 4 pulgadas para los ramales o drenajes secundarios y para el drenaje principal se utilizará tubería PCV de 8 pulgadas, de esta manera se estarán previniendo periodos largos de lluvia y con gran precipitación, así como la posible colocación de sedimentos en el fondo de esta, utilizando siempre el sistema del Dren Francés. En la figura #6.3 se muestra el detalle y las dimensiones de este tipo de sistema y las canalizaciones primarias y secundarias requeridas.

Para determinar el diámetro de los agujeros de la tubería se asumirá una velocidad dentro de la tubería de 1 centímetro/segundo de entrada en el agujero, de esta manera se calculará el área tributaria de cada ramal y en base al caudal por cierta distancia de la tubería.

Figura #6.3
Detalle para el Drenaje de Líquidos Lixiviados.



Para ello se realizan los siguientes cálculos:

$$Q = P \cdot A \cdot K \cdot T^{-1}$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviados (lts/seg)

P = Precipitación media anual, para el departamento de La Libertad
determinado de 1700 mm de agua.

A = Area de la terraza #1 + talud (1,800+120 =1,920m²)

K = Coeficiente de compactación, determinado de 0.61

T = Numero de segundos en un año (31,536,000 seg.)

Sustituyendo datos se obtiene:

$$Q = (1700 \text{ mm}) \cdot (1,920.00 \text{ m}^2) \cdot (0.61) \cdot (31,536,000 \text{ seg.})^{-1}$$

$$Q = 0.063 \text{ lts/seg} = 6.31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Luego de la formula de Manning se tiene:

$$Q = V \cdot A$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviados (lts/seg)

V = Velocidad asumida de 1 cm/seg.

A = Area de la terraza (m²)

Despejando el área necesaria para toda la terraza se obtiene:

$$A = Q / V$$

$$A = (6.31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}) / (0.01 \text{ mt}/\text{seg.})$$

$$A = 0.00631 \text{ m}^2.$$

Asumiendo agujeros con diámetro de 5/8 de pulgada (0.015875 metros) colocados a cada 10 centímetros a lo largo de toda la tubería en dos filas y tomando una longitud de 30 metros para el área de influencia, se tendrá en total 600 agujeros. También debe asumirse que dichos agujeros no trabajan completamente, sino que al 50% de su capacidad, entonces se tiene:

$$A_{\text{agujero}} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_{\text{agujero}} = \frac{\pi * (0.015875 \text{ mts})^2}{4}$$

$$A_{\text{agujero}} = 0.00020 \text{ m}^2$$

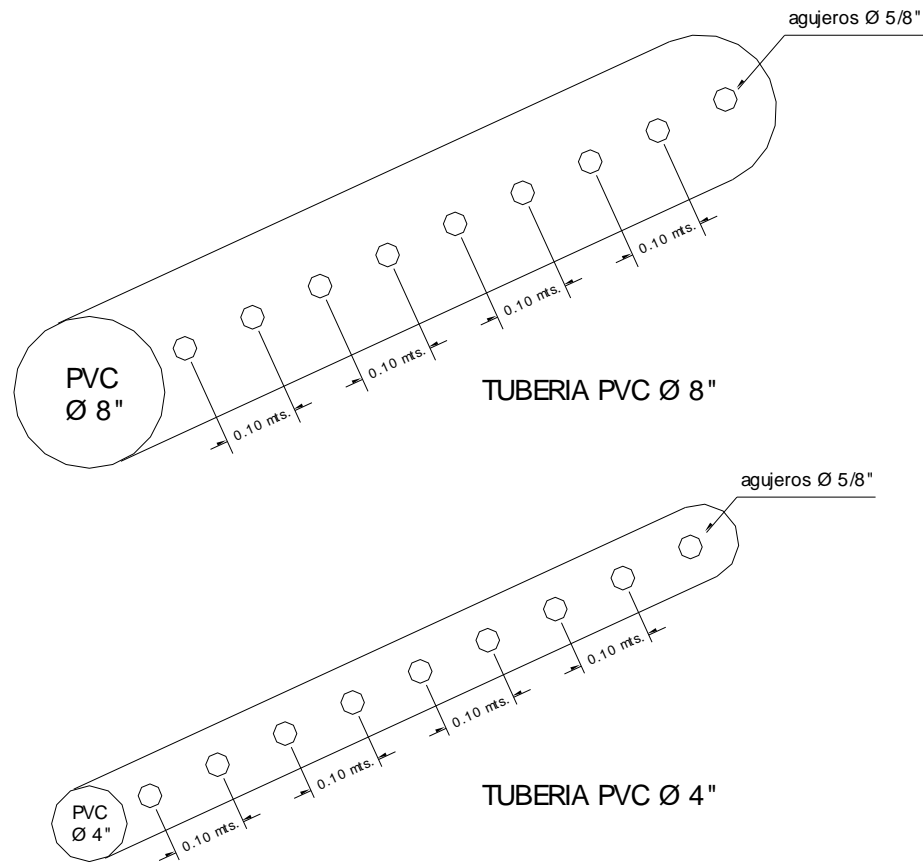
El área de influencia tributaria para los 600 agujeros será entonces de:

$$A_{\text{trabajo}} = 600 * 0.00020 \text{ m}^2 * 0.50$$

$$A_{\text{trabajo}} = 0.06 \text{ m}^2 > 0.00631 \text{ m}^2.$$

Lo que proporciona una área de trabajo suficiente para cubrir el área determinada de la terraza, el detalle de los agujeros de la tubería se representan en la Figura # 6.4.

Figura #6.4
Detalle de Agujeros en Tuberías
para el Drenaje de Líquidos Lixiviados.



6.4 Lagunas de Estabilización para el Tratamiento de los Líquidos Lixiviados.

Los líquidos lixiviados producidos por la basura en descomposición poseen alta concentración de material que es soluble y contaminante para la naturaleza, con el motivo de amortiguar los efectos de estos líquidos se deben construir lagunas de estabilización, diseñadas para el tratamiento de las aguas residuales, por medio de la interacción de la biomasa y la materia orgánica de los desechos, la mortalidad bacteriana y otros procesos

naturales como la demanda de oxígeno, trabajando en cierta medida por evaporación. Estas lagunas consisten en una serie de estanques donde se descargan las aguas residuales recolectadas, construidas de tierra y con una profundidad menor a los 5 metros y con periodos de retención hasta de 90 días, impermeabilizadas con una capa de arcilla compactada de 0.30 metros de espesor y recubiertas con una geomembrana de Cloruro de polivinilo (PVC⁴) o de polietileno de alta densidad (HDPE).

Los parámetros que deben monitorearse en las lagunas de estabilización para observar el comportamiento de los líquidos lixiviados son:

- La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que caracteriza la cantidad de materia orgánica.
- El número mas probable de coniformes fecales que caracteriza la contaminación microbiológica.
- Los sólidos disueltos en suspensión, que son la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Potencia de Hidrogeno (PH) y los Nitratos (Ni).

Estimando el volumen del líquido percolado en un 15% del volumen de la precipitación pluvial en el área del relleno sanitario y utilizando el método del coeficiente de compactación en el relleno sanitario basado en una relación empírica que establece que el percolado es una función directa de la compactación de la basura se tiene:

$$Q = P * A * K$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviados (m³/año)

P = Precipitación media anual (1700 mm/año)

A = Area del terreno (87,501.80 m²)

K = coeficiente que depende del grado de compactación (15%)

Sustituyendo datos, se obtiene:

$$Q = (1.70 \text{ m/año}) * (87,501.80 \text{ m}^2) * 0.15$$

$$Q = 22,312.96 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q = 22,312.96 \text{ m}^3/\text{año} / 365 \text{ año/día}$$

$$Q = 61.13 \text{ m}^3/\text{día}$$

Entonces el periodo de retención se obtiene a través del siguiente cálculo:

$$\Phi_f = V / Q$$

Donde:

Φ_f = Periodo de retención.

V = Volumen de las lagunas.

Q = Caudal medio de líquidos lixiviados.

Para un periodo de retención de 90 días se tiene:

$$V = \Phi_f * Q$$

$$V = 90 \text{ días} * 61.13 \text{ m}^3/\text{día} = 5,501.70 \text{ m}^3$$

Luego calculando para cuatro lagunas de estabilización se tiene:

$$V = 5,501.70 \text{ m}^3 / 4 = 1,375.43 \text{ m}^3$$

Entonces para cada laguna de estabilización se requiere de un volumen aproximado de 1,375.43 m³, las cuales serán ubicadas en dos etapas del relleno sanitario, los detalles y dimensiones se muestran en el Plano #6.10.

plano #6.10
DETALLE PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACION

6.5 Drenaje para Gases.

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos. La descomposición natural o putrefacción de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, en una etapa anaerobia, produce cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor repugnante como ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente peligro de explosión en las áreas vecinas.

Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases. Como el gas metano es combustible, se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje, una vez concluido el relleno sanitario. También se puede aprovechar este gas como energía en el empleo de una pequeña cocina para calentar alimentos o como lámpara para iluminar el terreno.

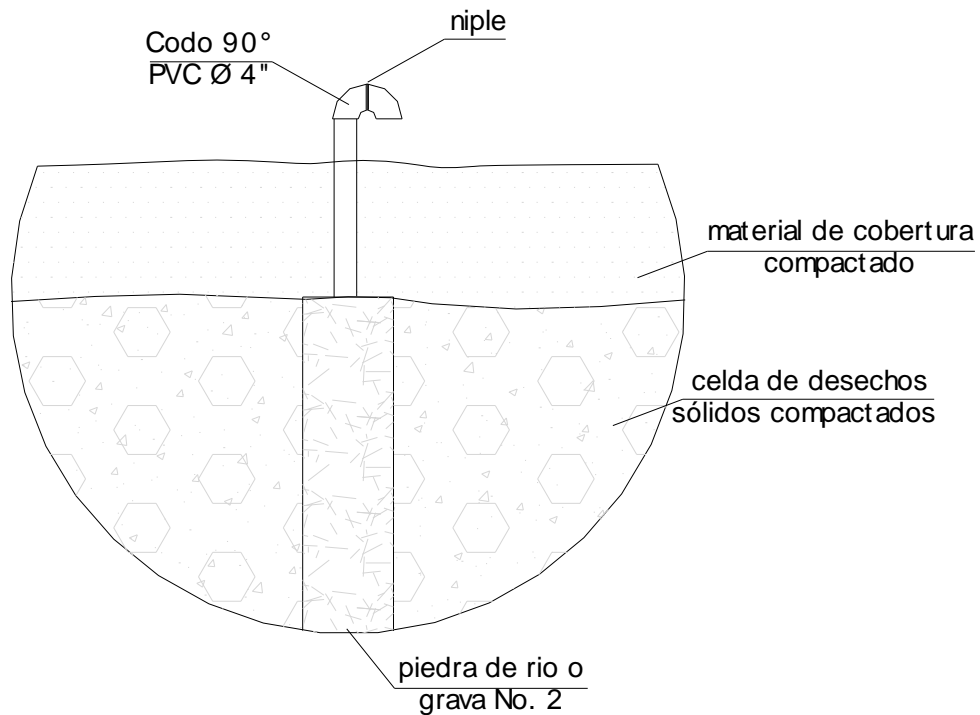
La recuperación y el aprovechamiento del gas metano con propósitos comerciales, sólo se recomienda para rellenos sanitarios que reciban más de 200 ton/día y siempre que las condiciones locales así lo ameriten.

Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra, colocado en diferentes puntos del relleno sanitario, para que éstos sean evacuados a la atmósfera. El drenaje de gases estará constituido por un sistema de ventilación, que funcionará a manera de chimeneas o ventilas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie.

Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando siempre una buena compactación a su alrededor, se recomienda instalarlas con barriles metálicos de 60 centímetros de diámetro, relleno con piedra de río o grava #2, distribuidas a cada 20 ó 50 metros, colocadas directamente sobre el sistema de drenaje de líquidos lixiviados.

Luego de tenerse prevista la conclusión de la última celda, se colocan tubos de concreto: uno perforado para facilitar la captación y salida de gases; además, para que los desechos sólidos o la tierra de cobertura no obstruyan los orificios del tubo, se reviste en piedra o cascajo a manera de camisa de protección. Un segundo tubo, en cambio, no será perforado, a fin de coleccionar el gas y quemarlo, eliminando los olores producidos por otros gases. En la figura #6.6. se muestra un esquema de dicha chimenea.

Figura #6.6
Detalle de Chimenea para Gases



6.6 Diseño de Obras Complementarias.

Las obras complementarias que se proponen son pequeñas y de bajo costo, tratando de hacerlas compatibles con la vida útil prevista, puesto que entre las características de esta obra de saneamiento básico, están las de atender los requerimientos sanitarios con la máxima economía y utilización intensiva de la mano de obra en todas sus actividades, a fin de minimizar las inversiones temporales. Entre estas obras se puede mencionar el cerco

perimetral y el portón de acceso, la caseta de control, los servicios sanitarios, las vías de acceso interno y el rotulo de identificación.

6.6.1 Cerco Perimetral y Portón de Acceso.

Se debe construir un cerco perimetral y un portón de acceso para darle seguridad y disciplina a la obra, es importante también para impedir el libre acceso del ganado al interior del relleno, dado que aquél no sólo entorpece la operación, sino también destruye las celdas, especialmente cuando se retiran los trabajadores al final de la jornada diaria.

Es también necesaria la conformación de un cerco vivo de árboles y arbustos como aislamiento visual, pues oculta de los vecinos y transeúntes la vista de los desechos sólidos; da buena apariencia estética al contorno del terreno y puede servir para retener papeles y plásticos levantados por el viento. Se recomienda plantar árboles de rápido crecimiento como pino, eucalipto, laurel, bambú, etc. Los detalles del cerco perimetral y el portón de acceso, así como la pluma de control de entrada se muestran en el Plano #6.11.

6.6.2 Rotulo de Identificación del Proyecto.

Es necesaria la colocación de un rótulo de presentación de la obra, a fin de que sea identificada por los habitantes del municipio, este debe ubicarse en la entrada principal del proyecto, en el Plano #6.11 se muestra una propuesta de los detalles que debe llevar dicho rótulo.

6.6.3 Vias de Acceso Internas.

Resulta conveniente la construcción de vías internas en el relleno sanitario, pues estas permiten el desplazamiento por todo el terreno, facilitando la entrega de los desechos en el frente de trabajo, pueden ser construidas de forma rustica, hechas de tierra, piedra y restos

de demoliciones, pero deben de mantenerse en buen estado y sobre todo bien drenadas durante todo el año. El ancho de rodaje de estas vías deben ser de 6.00 mts, con pendiente entre el 5 y el 10% sobre su eje y con una pendiente del 3% perpendicular a su eje, con el objetivo de obtener un buen drenaje de las aguas lluvias en las vías. En el Plano #6.11 se muestran los detalles de esta vía.

6.6.4 Caseta de Control.

La construcción de una caseta de control es importante para ser utilizada como control de ingreso de los camiones con los desechos sólidos, además también puede ser adaptada y empleada para las funciones de bodega para guardar las herramientas, cambio de ropa antes y después del trabajo del personal de operación y mantenimiento, instalaciones sanitarias, cocina para calentar alimentos en una hornilla y resguardo de los trabajadores en caso de una fuerte lluvia. En los Planos #6.12 y #6.13 se muestran los detalles de la caseta de control.

6.6.5 Instalaciones Sanitarias.

El sitio del relleno sanitario debe contar con instalaciones mínimas que aseguren la comodidad y bienestar de los trabajadores, para ello se requiere construir una letrina abonera o pozo negro. En el Plano #6.14 se muestra como debe ser la letrina abonera y sus componentes. La gran ventaja de utilizar este tipo de sistemas es que se produce abono orgánico, si se utiliza correctamente es segura para la salud humana y no produce malos olores ni atrae moscas, además no contamina los pozos, ni las aguas subterráneas, ni la tierra, también la orina puede servir como abono foliar y puede ser utilizada por largo tiempo.

Plano #6.11

Plano #6.12

Plano #6.13

Plano #6.14

6.7 Presupuesto del Relleno Sanitario Manual.

6.7.1 Costo de Inversión.

No PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	MONTO
1.00	INSTALACIONES PROVISIONALES Y GENERALES					\$5,010.00
1.01	Bodega de materiales, oficina y caseta de vigilancia	1.00	s.g	\$2,145.00	\$2,145.00	
1.02	Instalaciones eléctricas provisionales	1.00	s.g	\$450.00	\$450.00	
1.03	Instalaciones hidrosanitarias provisionales	1.00	s.g	\$190.00	\$190.00	
1.04	Barda perimetral de protección incluye portón de ingreso	125.00	Mt-l	\$15.00	\$1,875.00	
1.05	Rotulo de proyecto	1.00	unidad	\$350.00	\$350.00	
2.00	TERRACERIA MASIVA					\$441,381.84
2.01	Descapote y desalojo 25cm	21,875.45	m3	\$3.23	\$70,657.70	
2.02	Trazo y replanteo de terrazas	65,581.00	m2	\$0.21	\$13,772.01	
2.03	Corte de tierra para generar celdas y lagunas de estabilización	196,743.00	m3	\$1.56	\$306,919.08	
2.04	Acarreo interno de tierra	29,511.45	m3	\$1.00	\$29,511.45	
2.05	Conformación de calle perimetral incluye las cunetas	5,440.00	m2	\$2.65	\$14,416.00	
2.06	Conformación de lagunas de estabilización	2,304.00	m2	\$2.65	\$6,105.60	
3.00	OBRAS DE DRENAJE					\$157,002.54
3.01	Canaleta perimetral	1,337.00	Mt-l	\$26.00	\$34,762.00	
3.02	Excavación para drenaje de lixiviados	1,030.10	m3	\$7.00	\$7,210.70	
3.03	Drenaje de lixiviados incluye filtro y geotextil	2,456.00	Mt-l	\$24.89	\$61,129.84	
3.04	Drenaje de gases	435.00	Mt-l	\$35.00	\$15,225.00	
3.05	Caja de registro y limpieza	45.00	c/u	\$175.00	\$7,875.00	
3.06	Chimenea de gases	112.00	c/u	\$275.00	\$30,800.00	
4.00	CALLE DE ACCESO PRINCIPAL					\$33,499.60
4.01	Balasto conformado para calle	5,440.00	m2	\$4.09	\$22,249.60	
4.02	Empedrado fraguado en area de maniobras	450.00	m2	\$25.00	\$11,250.00	
5.00	TAPIAL PERIMETRAL					\$43,683.90
5.01	Excavación para bases de postes de concreto de 15x15cm	75.00	m3	\$9.56	\$717.00	
5.02	Cerco de malla ciclón	1,360.00	mt	\$28.00	\$38,080.00	
5.03	Postes de concreto de 15x15 incluye concreto en bases	680.00	unidad	\$5.78	\$3,930.40	
5.04	Portón de ingreso vehicular de malla ciclón incluye postes	1.00	unidad	\$578.50	\$578.50	
5.05	Puerta de ingreso peatonal de malla ciclón	1.00	unidad	\$189.00	\$189.00	
5.06	Puerta de ingreso peatonal de malla ciclón	1.00	unidad	\$189.00	\$189.00	

No PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	MONTO
6.00	OFICINAS ADMINISTRATIVAS					\$19,755.47
	CASETA, OFICINAS Y COMEDOR					\$18,005.47
6.01	Trazo y nivelacion	39.75	m2	\$1.65	\$65.59	
6.02	Excavación de fundaciones	11.87	m3	\$7.00	\$83.09	
6.03	Solera de fundación	31.36	mt-l	\$21.00	\$658.56	
6.04	Instalaciones Eléctricas	1.00	s.g	\$870.00	\$870.00	
6.05	Zapata aislada	8.00	u	\$65.00	\$520.00	
6.06	Acometida de electricidad	1.00	s.g	\$1,235.00	\$1,235.00	
6.07	Instalaciones Hidráulicas	1.00	s.g	\$175.00	\$175.00	
6.08	Acometida de A.P	1.00	s.g	\$450.00	\$450.00	
6.09	Pared de bloque de concreto sisada y pintada	75.11	m2	\$39.00	\$2,929.29	
6.10	Columna de concreto	20.80	mt-l	\$75.00	\$1,560.00	
6.11	Viga de coronamiento	31.00	mt-l	\$45.00	\$1,395.00	
6.12	Losa densa	36.90	m2	\$46.00	\$1,697.40	
6.13	Columnas metálicas de cano de 4"	8.00	u	\$124.00	\$992.00	
6.14	Polin c de 4" ch 14	64.00	mt-l	\$6.98	\$446.72	
6.15	Viga metálica de cano de 4"	11.00	mt-l	\$65.00	\$715.00	
6.16	Cubierta de lámina Zinc Alum cal 26	44.39	m2	\$12.00	\$532.68	
6.17	Pasamanos de cano de 1 1/2"	20.78	mt-l	\$76.00	\$1,579.28	
6.18	Esacalera de caracol	1.00	u	\$650.00	\$650.00	
6.19	Puerta metálica un forro de 1/16" con chapa de parche	3.00	u	\$200.00	\$600.00	
6.20	Ventanas de aluminio y celosía de vidrio de 5mm	8.00	m2	\$35.00	\$280.00	
6.21	Acera con emplantillado de piedra cuarta y mortero de 5cm repellada	24.82	m2	\$23.00	\$570.86	
	LETRINA ABONERA					\$1,750.00
6.22	Letrina abonera según detalle en plano 6.14	1.00	s.g	\$1,750.00	\$1,750.00	
INVERSION TOTAL						\$718,338.82

CAPITULO VII

PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PERIODICO DEL RELLENO SANITARIO MANUAL

7.1 Descripción del Proyecto por Etapas.

El relleno sanitario manual, aunque es una pequeña obra, no deja de ser un proyecto de ingeniería, en el que gran parte de los problemas potenciales se previenen por medio de una buena planeación desde las etapas iniciales, ya que de esta manera resulta más sencillo y económico que si se efectúan correcciones en el transcurso o al final de las operaciones.

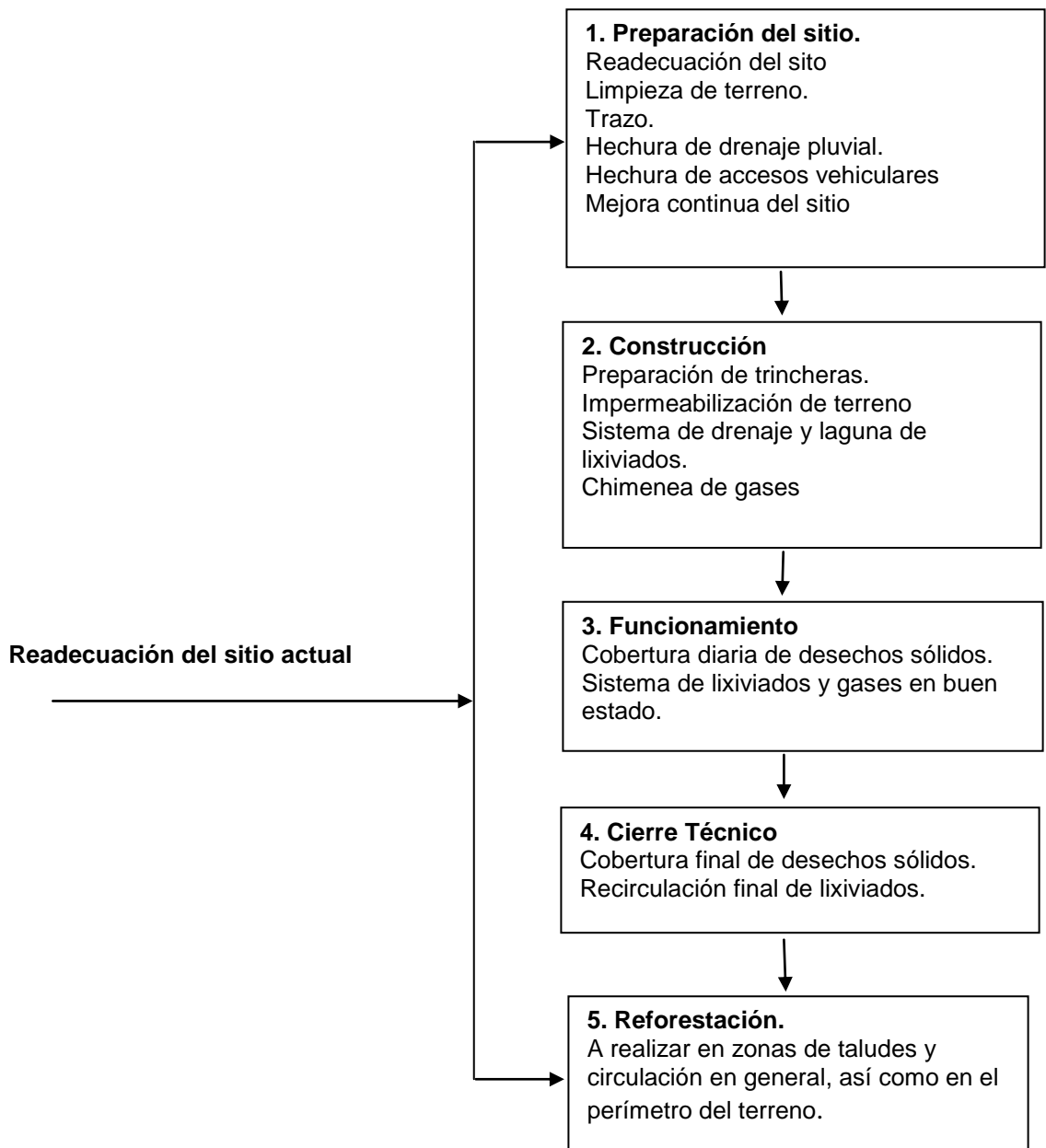
La planeación inicial desarrollará las bases para las diferentes actividades a cumplir, tales como: selección del sitio; diseño; construcción; operación y mantenimiento; y teniendo en cuenta que se debe contar con la información básica sobre la población a servir, la procedencia, calidad y cantidad de desechos sólidos a disponer, los posibles sitios disponibles, el uso futuro del terreno una vez terminado el relleno, los recursos para su financiación y la asesoría de un profesional competente, sobre todo en las etapas iniciales del proyecto.

Se deberá incluir un programa de información pública que explique cuáles son los pro y los contra de la implantación del relleno. El apoyo del público es una de las metas que debe procurar cualquier administración local que esté interesada en construir esta obra de saneamiento básico puesto que, sin este apoyo, es muy probable que la misma no pueda llevarse a la práctica. Además toda comunidad debe tener presente que un relleno sanitario manual, como cualquier obra, requiere de recursos para su financiación, tanto como para los estudios y diseños, como para su construcción, operación y mantenimiento.

El proceso a seguir en la preparación, construcción y funcionamiento del relleno sanitario por parte de la adecuación inmediata y desarrollo de actividades emergentes de mejoramiento

que incluye parte de las estructuras de soporte de las fases de construcción del relleno sanitario, se muestran en el Esquema #7.1.

Esquema #7.1.
Procesos a Desarrollar en el Relleno Sanitario



Ampliándose algunos términos, como sigue:

1. Preparación del Sitio.

Para la preparación del sitio es importante como primer punto considerar la selección apropiada del lugar destinado para la construcción del relleno sanitario y además tomar en consideración las actividades y operaciones que conduzcan a mejorar el terreno como lo son la readecuación del sitio, la limpieza de terreno, el trazo, la hechura del drenaje pluvial, la hechura de accesos vehiculares y la mejora continua del sitio.

2. Construcción.

En la etapa de construcción del relleno sanitario deben realizarse las actividades de preparación de trincheras, impermeabilización de terreno, sistema de drenaje y laguna de lixiviados y chimenea de gases.

3. Funcionamiento.

Comprende las actividades de cobertura diaria de desechos sólidos y el control del sistema de lixiviados y gases en buen estado.

4. Cierre Técnico.

Para el cierre del proyecto y para que pueda contemplarse como clausurado, se debe realizar la actividad de cobertura final de todos los desechos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, así como la adecuada inspección de la recirculación final de los lixiviados. Paralelamente es necesario estimar un plan que incluya el uso posterior del sitio para evitar daños al ambiente o riesgos a la salud.

5. Reforestación.

Se debe tener en mente la probabilidad de su utilización futura, a fin de integrarlo perfectamente al ambiente natural, una vez terminada su vida útil, el relleno sanitario manual puede ser transformado en un parque, área deportiva, jardín, vivero o en un pequeño bosque en todas las zonas de taludes y circulación en general, así como en perímetro del terreno.

7.2 Cronograma de Trabajo.

El siguiente cronograma que se muestra en la Tabla # 7.1 puede servir para orientar y programar las actividades y ejecución de las obras del relleno sanitario manual.

Es de tomar muy en cuenta que todas las actividades a partir del primer año son de manera cíclica y podrán ir variando en el desarrollo del proyecto, de acuerdo a la demanda en la disposición de los desechos sólidos del municipio.

Tabla #7.1
Cronograma de Actividades
Municipio de La Libertad

Etapas y Actividades por Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
1. Etapa de Preparación del Sitio									
Limpieza de lugar antes de iniciar proceso de construcción									
Trazo de obras a realizar									
Hechura de drenajes y accesos internos									
2. Etapa de Construcción de Relleno Sanitario									
Trincheras, sistema de captación, drenaje de lixiviados y chimeneas.									
Mantenimiento de drenaje superficial.									
3. Etapa de Funcionamiento de Relleno Sanitario									
Vigilancia y control de la disposición									
Cobertura de celdas diariamente									
Reforestación en perímetro y áreas de protección									
4. Etapa de Cierre del Relleno Sanitario									
Cobertura final de desechos sólidos.									
5. Etapa de Reforestación									

7.3 Operación y Mantenimiento.

Para que un relleno sanitario cumpla con sus objetivos como obra de saneamiento ambiental durante su vida útil, todas las actividades relativas a su operación y mantenimiento deben realizarse bajo un marco de alta disciplina y estricto apego a las normas de Ingeniería Sanitaria, ya que un descuido de pocos días pueden transformar al mejor de los rellenos en un botadero a cielo abierto. Por lo tanto se considera indispensable elaborar un plan de operaciones el cual contemple los siguientes aspectos¹⁰:

7.3.1 Construcción de la Celda Diaria.

La celda diaria es la unidad básica del relleno sanitario, la cual esta constituida por un frente de trabajo (ancho), el cual se define como el área destinada para la descarga de los desechos sólidos por los camiones recolectores, la ubicación de esta área no es permanente dentro del relleno sanitario si no que se moverá cada vez que sea necesario pasar a otra celda. El frente de trabajo tendrá un ancho suficiente que permita poder maniobrar el ancho del camión, además la celda también esta constituida por una longitud o avance variable y una altura de un metro.

Se descargan los desechos en el frente de trabajo y se esparcen de arriba hacia abajo, manteniendo una pendiente de 3:1 (H:V), también se debe mantener en la superficie de la celda una pendiente del 2% (en dirección Oeste – Este) para facilitar el drenaje de aguas lluvias. Una vez completada la primera base de celdas, se debe hacer transitar el vehículo por encima de ellas en los períodos secos para lograr una mayor compactación. Pasos para la construcción de las celdas:

¹⁰ Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales, Programa de Salud Ambiental Serie Técnica No. 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991

- Para la construcción de la primera celda se debe delimitar el área que ocupará, de acuerdo con las dimensiones estimadas basadas en la cantidad de desechos y grado de compactación fundamentalmente, esto dará una visión rápida y aclarará las dudas de los trabajadores.
- Descargar la basura en el frente de trabajo a fin de mantener una sola y estrecha área descubierta durante la jornada y evitar el acarreo de larga distancia. Ver Figura # 7.1.
- Esparcir la basura en capas delgadas de 20 a 30 centímetros y compactar hasta obtener la altura recomendada para la celda en el frente de trabajo.
- Cubrir las basuras compactadas con la tierra una vez al día al final de la jornada con el espesor suficiente para tapanlas completamente y rellenar las irregularidades de la superficie.
- Compactar toda la celda hasta obtener una superficie uniforme.

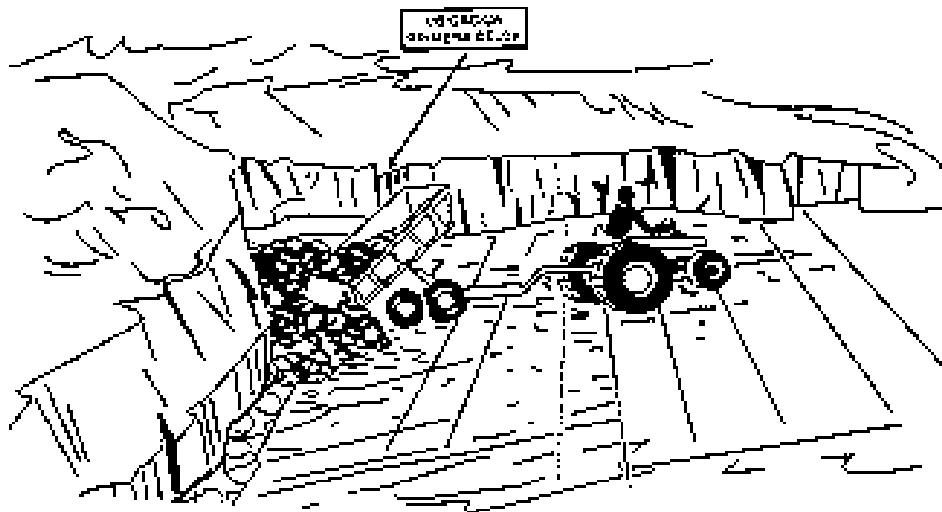


Figura # 7.1
Descarga de los Desechos Sólidos.

7.3.2 Material de Cobertura.

El material de cobertura es muy importante, ya que es lo que hace la diferencia entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto. La finalidad principal del material de cobertura es aislar los desechos sólidos del medio ambiente, además se tienen los siguientes objetivos:

- Prevenir la proliferación de vectores.
- Evitar el esparcimiento de los desechos por la acción del viento.
- Disminuir la infiltración de aguas lluvias y con esto la cantidad de líquidos lixiviados.
- Controlar los malos olores.
- Evitar la generación de incendios y presencia de humos.
- Estabilizar el relleno para que sea más transitable.
- Permitir el crecimiento de vegetación.

La cobertura de los desechos se realizará en tres etapas:

1ra. Etapa: Cobertura Diaria: en este tipo de cobertura el espesor de la capa de suelo puede ser de 20 a 30 cm. Lo que servirá para el control del arrastre de papeles y plásticos, controlar la proliferación de vectores y disminuir la infiltración de aguas lluvias.

2da. Etapa: Cobertura Intermedia: con esta cobertura, se logra los mismos propósitos que en la cobertura diaria, además sirve para el desplazamiento de los vehículos recolectores, da estabilidad a las chimeneas para el drenaje de los gases; por lo que se recomienda un espesor de capa de 30 a 40 centímetros, compactada a cada 15 o 20 centímetros, la cual deberá ser colocada cada semana y se deberá controlar que no se erosione.

3ra. Etapa: Cobertura Final: este deberá tener un espesor de 60 centímetros, compactada en capas de 20 centímetros, del mismo tipo de tierra utilizada para las demás coberturas y 20 centímetros, adicionales de humus (tierra negra), con el fin de que se facilite el crecimiento de vegetación.

7.3.3 Compactación.

La densidad de los desechos sólidos ha alcanzar en los rellenos sanitarios manuales deben ser de 400 – 500 Kg./m³ las cuales son relativamente bajas, ya que la compactación se realiza con pisones y rodillos manuales, para mayor ilustración se muestra la Figura #8.2, los que se consideran suficientes para este tipo de relleno. Además existen otros tipos de factores a considerar que aumentan la compactación de los desechos sólidos en el relleno, entre estos están:

- Tránsito de vehículos sobre las celdas ya terminadas, es recomendable no realizar este trabajo en período lluvioso, puesto que hay peligro que se hundan los vehículos si el terreno está demasiado flojo. El transitar de los vehículos sobre los desechos, se puede facilitar poniendo planchas y palos sobre la celda de la basura.
- Descomposición de la materia orgánica, la cual se transforma en agua, humus y gases, lo que reduce su volumen haciendo que las celdas superiores se compacten debido a su peso a las celdas inferiores.
- Almacenamiento de material de cobertura en las celdas ya terminadas.

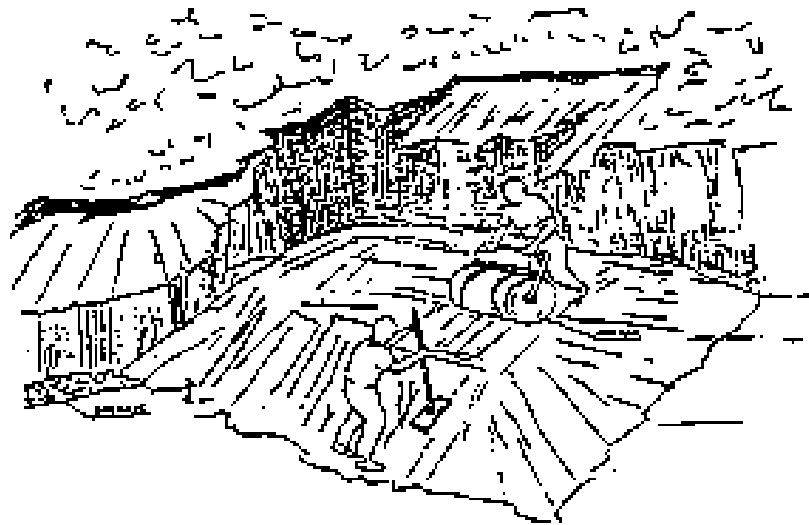


Figura # 7.2
Compactación realizada con pisones y rodillos manuales.

7.3.4 Vías de Acceso y Control de Descarga de los Vehículos Recolectores.

Para mantener una buena operación del relleno sanitario, es necesario mantener las vías de acceso internas en buen estado, las cuales se les debe dar mantenimiento durante y después de la época lluviosa. Las vías de acceso en la época seca deben ser regadas con suficiente agua para evitar la acumulación o distribución de polvo a ras de suelo y en el aire.

Esta actividad debe realizarla la persona responsable o supervisor, a lo largo de la vida útil del relleno sanitario, también será encargada de controlar el ingreso de los desechos sólidos, el flujo de vehículos, así como la descarga en el frente de trabajo. Cuando ingresen camiones ya sean particulares o de otras municipalidades, deberá estar de acuerdo la municipalidad, ya que se les cobrará por la disposición final; de lo contrario no se les permitirá el ingreso al relleno, el encargado del relleno sanitario tendrá la obligación de

revisar los desechos a depositar, esto con el fin de evitar el ingreso de desechos peligrosos, ya que estos no están considerados en el diseño.

Para llevar un correcto control de la descarga de los vehículos recolectores, es decir la cantidad de basura que ingresa al relleno sanitario, se recomienda utilizar un registro diario de lo que ingresa al relleno sanitario, como el mostrado en la Tabla #7.2 además se sugiere seguir el procedimiento siguiente:

- Los vehículos recolectores se tendrán que reportar en la portería para poder determinar la naturaleza de los desechos sólidos.
- El encargado del relleno, inspeccionará los vehículos para poder determinar la naturaleza de los desechos sólidos.
- Luego de la inspección, se les indicará la ubicación del frente de descarga de los desechos sólidos.
- El camión recolector debe abandonar el relleno sanitario inmediatamente después de haber realizado la descarga de la basura.

Todo lo anterior deberá ser aplicado tanto a los vehículos del servicio de aseo público como a particulares.

Tabla #7.2
Control de Descarga de los Vehículos Recolectores.

CONTROL DE RECOLECCION Y DISPOSICION FINAL DE LA BASURA

CONDUCTOR: _____ AYUDANTES: _____ _____							JORNADA DE TRABAJO			
							ENTRADA: _____			
							SALIDA: _____			
FECHA	No. DE VIAJE	HORA		VEHICULO			DESECHOS SOLIDOS		OBSERVACIONES	REVISADO
		ENTRADA	SALIDA	TIPO	CAPACIDAD (M3)	PROCEDENCIA	VOLUMEN (M3)	PESO (Kg)		

7.3.5 Operación en Periodo de Lluvias.

En los períodos de lluvias se presentan los mayores problemas de operación en un relleno sanitario, ya que todas las actividades realizadas en éste se ejecutan a la intemperie, entre los problemas que se pueden enfrentar en este periodo podemos mencionar:

- Difícil ingreso de los vehículos recolectores por encima de las celdas ya conformadas y posibles atascamientos debidos a la baja densidad alcanzada con la compactación manual.
- Dificultad para extraer y transportar el material de cobertura y arduo trabajo de conformación de las celdas, estos factores conducen a un menor rendimiento por parte de los operarios.
- En ocasiones, debido a las fuertes lluvias, sólo es posible descargar la basura y el material de cobertura sobre la terraza, quedando retrasada la conformación y compactación de las celdas. Por consiguiente, si no se toman las medidas apropiadas a tiempo, se va deteriorando la apariencia del relleno por la basura dispersa y la presencia de zopilotes.
- Mayor producción de lixiviado debido a la lluvia que cae directamente sobre las áreas rellenas. Por lo anterior, es necesario tomar las siguientes previsiones:
 - Reservar algunas áreas en los lugares menos afectados por las lluvias, con accesos conservados para operar en las peores condiciones.
 - Construir una vía artificial, empleando para ello troncos de madera de 3 metros de largo, conformando un "empalado o entarimado". Estos troncos deben ir unidos por medio de alambón de 1/8" de diámetro. Una vez armado el módulo, se cubre con cascajo para evitar que los vehículos patinen sobre ellos. Este camino artificial se construye de acuerdo con las necesidades y avance del relleno en módulos de 3 metros de longitud por

3 metros de ancho, dado que éste es el tamaño comercial de estos troncos, los cuales pueden ser reusados en el futuro. Se recomienda que los módulos sean armados en el sitio; el terreno debe estar bien compactado, para disminuir asentamientos, procurando además darle un buen drenaje provisional en tierra. Ver figuras #7.3 y #7.4.

- Aprovechar los escombros, producto de la demolición de viejas construcciones para conformar y mantener algunas vías internas.
- Limpiar constantemente las canaletas de desagüe de aguas lluvias existentes, para evitar acumulamientos de desechos u otros materiales.

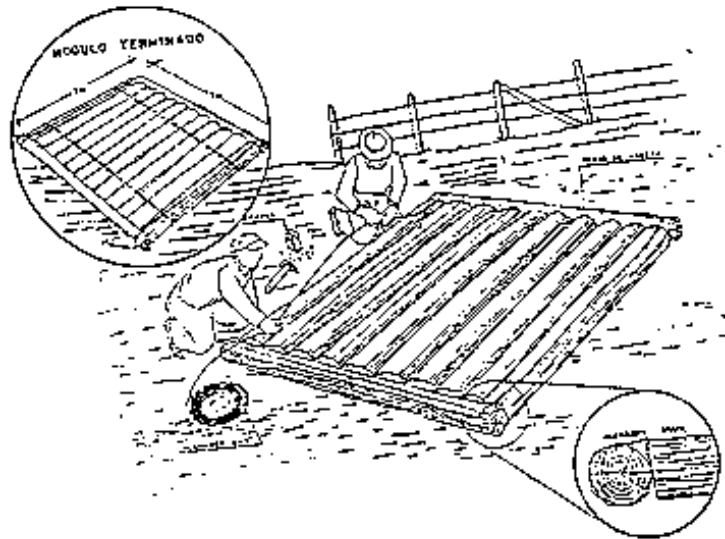


Figura #7.3
Construcción del módulo para el empalme.

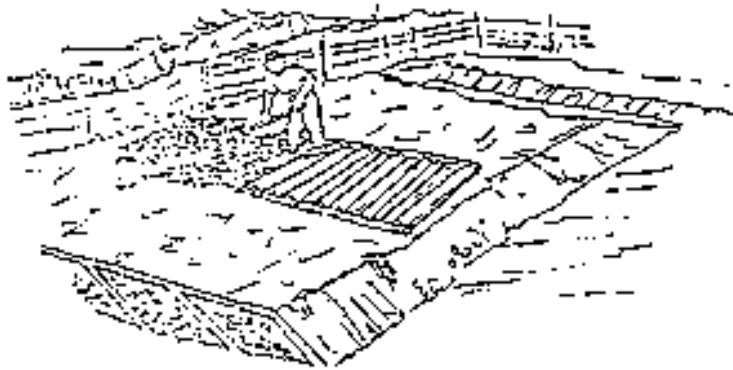


Figura #7.4
Colocación de cascajo sobre el módulo.

7.3.6 Herramientas.

Las herramientas necesarias para la operación del relleno sanitario manual consisten en utensilios de albañilería, como palas, azadones, barras, picos o pichas, pisones de mano, rastrillos, horquillas, etc, más un rodillo compactador manual.

Para la construcción del rodillo, se recomienda un barril metálico con capacidad de 55 galones, llenado con piedra, arena u hormigón, con el fin de evitar que los golpes en el terreno le abollen, ver Figura #7.5.

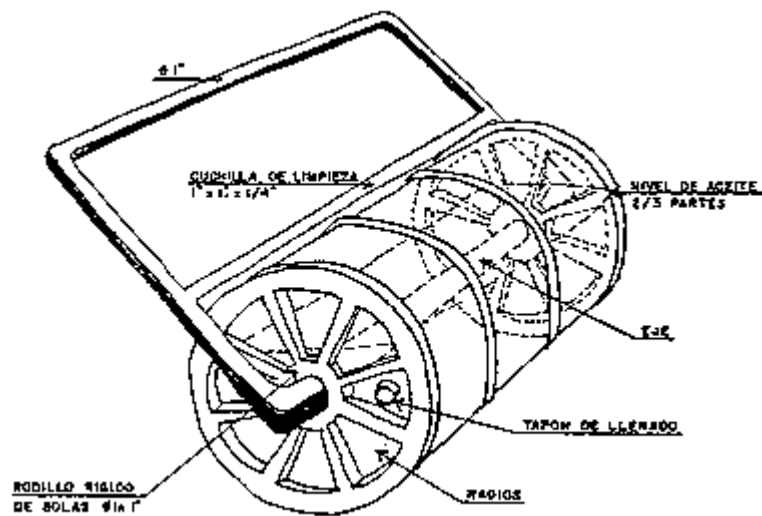


Figura #7.5
Barril de 55 galones acondicionado como rodillo compactador

Es importante tener en cuenta que la cantidad de herramientas está en función del número de trabajadores que estarán en el relleno sanitario, que serán los encargados de tapar o cubrir los desechos sólidos que llegarán diariamente al relleno, provenientes de los municipios involucrados en el proyecto.

En la Tabla #7.3, se describen las herramientas y el uso que debe tener en el relleno sanitario.

Tabla #7.3
Uso de las Herramientas en el Relleno Sanitario.

Nombre	Uso
Pala	- Cargar, descargar y colocar basura suelta - Cargar, descargar y colocar material de cobertura - Excavar - Mantenimiento de la fosa séptica y laguna de tratamiento biológico (excavación de sedimento) - Mantenimiento y construcción de cunetas
Azadón	- Aflojar el terreno - Trabajos de arborización - Mantenimiento de cunetas y canales de drenaje
Barra	- Aflojar el terreno para excavaciones - Trabajos de arborización - Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje
Pico	- Mullir el terreno para excavaciones - Trabajos de arborización - Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje
Pisón de mano	- Compactación manual de la basura colocada en las superficies laterales (taludes)
Horquilla o	- Carga y descarga de basura en fundas
Machete	- Cortar palos para la construcción de chimeneas u otros trabajos de mantenimiento - Afiliar palos y estacas - Cortar árboles pequeños para la preparación del terreno
Martillo	- Construcción y mantenimiento de chimeneas - Mantenimiento de herramientas
Sierra	- Cortar palos y otra madera
Rastrillo	Colocación homogénea del material de cobertura: homogenización de la basura colocada
Carretilla	Transporte interno de basura y del material de cobertura
Rodillo manual	Compactación de la basura y de la cubierta con tierra

7.3.7 Seguridad de Trabajo.

Debido al tipo de labores del servicio de aseo urbano como recolección, transporte y disposición final de los desechos sólidos, los trabajadores están constantemente expuestos

a accidentes en la vía pública y a enfermedades infecto-contagiosas por tener que trabajar con desechos potencialmente contaminados.

Los accidentes pueden tener dos orígenes, uno por condiciones inseguras de trabajo y otro por negligencia por parte del propio trabajador. Las principales actividades inseguras en el frente de trabajo y que no deben ser realizadas por los trabajadores son las siguientes:

- Recoger la basura manualmente, sin emplear guantes y recogedores, lo que puede producir cortes en las manos al encontrar vidrios rotos o metales afilados.
- Manejar recipientes muy grandes, inadecuados para el almacenamiento de las basuras porque producen desgaste excesivo del trabajador, cortaduras, luxaciones y desgarramientos musculares al ser levantados para su traslado y vaciado al vehículo.
- Trabajar en jornadas excesivamente largas, con la consiguiente fatiga de los trabajadores.
- Carecer de uniformes adecuados y equipos individuales de protección.

Entre los actos de negligencia más comunes del propio trabajador se encuentran:

- No usar el equipo individual de protección.
- Ingerir bebidas alcohólicas durante la jornada de trabajo.
- Levantar en forma indebida recipientes u objetos pesados.
- No prestar atención al tráfico vehicular.

Por lo tanto, se deben identificar cuidadosamente todas las condiciones inseguras así como las causas más comunes de accidentes de trabajo y riesgos a que esté expuesto el trabajador, con el objeto de darles la solución adecuada.

Seguidamente se indican algunas recomendaciones para tratar de minimizar los problemas anteriores:

- Tratar de evaluar las causas de accidentes más comunes y adoptar las medidas preventivas del caso.
- Elaborar normas de seguridad de trabajo, con las respectivas indicaciones para el uso del equipo.
- Dotar a los trabajadores de guantes, botas y por lo menos de dos uniformes al año, adecuados al tipo de trabajo que realizarán.
- Proveer al personal de un local para vestuario y duchas donde asearse y cambiarse de ropas después de la jornada de trabajo, a fin de no llevar a sus hogares cualquier clase de contaminación.
- Establecer un programa de exámenes médicos para que puedan ser identificados los riesgos potenciales de contaminación, relacionados con su actividad.
- Mejorar la calidad del equipo y herramientas, buscando la uniformidad de los recipientes en cuanto a forma, tamaño y peso y obligando, por lo menos al sector comercial, el empleo de recipientes plásticos de unos 60 a 100 litros de capacidad. Para el sector residencial, llevar a cabo una buena campaña de promoción y concientización.
- Señalizar los lugares de riesgo.
- Capacitar a los trabajadores sobre medidas de seguridad y uso de equipo de protección tales como mascarilla, anteojos y otros.

7.4 Administración y Control.

Uno de los requerimientos más exigentes para la construcción de un relleno sanitario es una constante supervisión y control de todas las áreas y actividades que se realizaran en el relleno sanitario, lo cual implica que la municipalidad debe atender oportunamente algunos gastos, que deben incluirse en el presupuesto anual del municipio; evitando que el relleno a lo largo de su vida útil cuente con una mala supervisión junto a un inadecuado mantenimiento técnico y económico, descartando por lo tanto la posibilidad de fácilmente convertirse en un botadero a cielo abierto, por lo tanto un relleno sanitario exige una constante supervisión y control para poder evitar fallas futuras, es por ello que se deben tomar en consideración los siguientes factores:

7.4.1 Control de Vectores.

Uno de los problemas más notorios que producen los desechos sólidos son el apareamiento de vectores porque proporcionan un medio con todas las características que facilitan su reproducción de manera acelerada, por lo que se hace necesario aplicar con prontitud, el método principal y recomendado para minimizar la acción de vectores como los roedores, las moscas, las cucarachas, etc. El método consiste en cumplir con cubrir diariamente los desechos con tierra, tratando en lo posible de tener el menor tiempo posible la basura al descubierto.

Por lo general, el vector que resulta con más notoria presencia en un relleno sanitario es la mosca, por su corto periodo de incubación y su fácil reproducción en la basura, sin dejar de lado que la mayoría de los casos las moscas son llevadas al relleno sanitario a través de los desechos transportados en los vehículos recolectores; teniendo como limitante para el control de las mismas el no poder utilizar insecticidas, ya que su excesivo empleo no sólo

origina la contaminación del ambiente, sino que además origina en las moscas el desarrollo de resistencias a los insecticidas, lo cual a largo plazo no permite su control; para un caso como el antes mencionado lo mejor es aumentar la capa de tierra, observando que espesor de capa de suelo puede resultar más efectiva para eliminar la proliferación de insectos (cucarachas, moscas, mosquitos), roedores (ratones y ratas) y la presencia de zopilotes. Una opción alternativa que es muy aceptable, es utilizar venenos que afecten directamente a insectos y se utilicen con la periodicidad que se requiera en cada caso, como por ejemplo, cuando existe una excesiva cantidad de moscas en el lugar.

7.4.2 Control de Gases Explosivos.

Como se mencionó en capítulos anteriores un relleno sanitario no es otra cosa que un digester anaerobio en el que, debido a la descomposición de los desechos sólidos, ocurre en dos etapas, la aerobia, es la etapa en la que el oxígeno está presente en el aire que está junto a la basura enterrada, siendo rápidamente consumido, la anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor repugnante como ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

En el relleno sanitario el gas metano es el que reviste mayor interés porque, es inodoro, inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción del 5 al 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno sanitario pudiendo originar altas concentraciones de este con el consiguiente peligro de explosiones en el área. Para evitar este tipo de problemas, en capítulos anteriores se propuso la evacuación de los gases por medio de chimeneas construidos por barriles metálicos perforados y rellenos de piedra, las cuales se deben cuidar por los asentamientos del relleno, el tránsito de vehículos por encima de las celdas y demás, ya que estos pueden deformar las chimeneas u

ocasionar la obstrucción en el avance de la otra, por lo que es necesario mantenerlas verticales. Teniendo la supervisión la responsabilidad de ir resguardando la debida distancia de seguridad por encima de las chimeneas fuego y en períodos cortos de tiempo para que la concentración de gas metano se mantenga a bajo del 25% del límite inferior de explosividad (LIE), que es la menor concentración de la mezcla de gases en el aire que produce un flamazo a 25 °C de temperatura y a una atmósfera de presión, la operación debe efectuarse en todas las chimeneas que existan en el relleno.

7.4.3 Control de Incendios.

En las zonas de trabajo, ya sea al interior del relleno sanitario o en las zonas aledañas, la supervisión y los trabajadores deben evitar quemas de materiales que son muy comunes en los desechos sólidos como lo son el papel, el cartón, los plásticos o cualquier otro material inflamable, etc. Todo esto con fin de no correr el riesgo de producir una explosión o un incendio, por el gas metano que se ha producido por la descomposición de la basura, poniendo de manifiesto que al practicar quemas de material dará un aspecto no estético del relleno sanitario asemejándolo a un botadero a cielo abierto.

7.4.4 Control de Polvo.

Uno de los objetivos al realizar un relleno sanitario es conservar el bienestar y la salud de las personas que operan el relleno sanitario, así como de las que viven en las zonas aledañas, debido a que esta es una construcción que genera mucho polvo especialmente por el tránsito de camiones, lo que puede causar molestias en el estado de salud de las personas, como afecciones respiratorias, además del consiguiente deterioro de los automotores y maquinarias que se encuentran operando en el relleno.

Sumado al movimiento de los camiones se tiene la acción del viento sobre el suelo y los montículos de suelo utilizados para la cobertura, si no están cubiertos con plástico, originando dispersión del material en toda el área de trabajo, afectando la labor de los trabajadores; teniendo que contrarrestar los efectos producidos en las máquinas con un chequeo continuo o limpieza de las unidades; para reducir los efectos del polvo en los trabajadores y los lugareños aledaños se recomienda un riego periódico de agua en las vías de circulación interna, pudiendo optar en realizar un imprimado en la vía principal al interior del relleno, si los fondos lo permiten la periodicidad del riego se hará acorde a las necesidades que observe el supervisor.

7.4.5 Control del Material Disperso.

El material disperso es uno de los aspectos en que la supervisión debe poner especial énfasis, para conservar la imagen estética del relleno y evitar la mala apariencia en el sitio de trabajo, para lo cual se necesita apoyo de los lugareños aledaños al mismo, ya que los desechos quedan dispersos en todo lugar cuando los camiones de basura no toman las debidas precauciones de cubrir la basura en el traslado, junto a lo antes mencionado se suma la acción del viento y que haya sido transportada y pegada en las ruedas de las unidades recolectoras o cualquier otra causa que se sume a dispersar los desechos alejándolos del frente de trabajo diario; exigiendo por lo tanto tomar medidas que mantengan limpias las zonas en las que no se está trabajando, sugiriendo para lograr tal fin las siguientes recomendaciones:

- Los dispersos fuera del área de trabajo, ya sean arrastradas por la acción del viento como papeles y plásticos o por otras causas, se recogerán al término de la jornada diaria por uno de los trabajadores utilizando para esto un saco y los deposite en el sitio donde se construye la celda diaria.

- Construir cercas móviles, con materiales que son fáciles de encontrar en el mercado local, utilizando para ello el método de construcción llamado corte y clavo, los materiales que se utilizarán son regla pacha, costanera, clavos y malla que es utilizada en los gallineros, su longitud deberá ser por lo menos de 10 metros, la altura que se propone es de 1.50 metros. Estas cercas se moverán según el avance de las celdas dentro de la terraza e igualmente en todo el frente de trabajo diario; teniendo la característica de no tener un lugar fijo dentro del relleno, colocándolas en la dirección predominante del viento y lugares de descarga, estos deberán limpiarse continuamente de los residuos acumulados para que no genere ningún problema y no se tomen como elementos no funcionales.
- Exigir a los camiones que ingresan los desechos sólidos al relleno sanitario, que cubran los cubran, ya que al ingresar con su carga al descubierto se caen algunos desechos como papel, plástico o alguna bolsa mal colocada, generando así una dispersión de basura que puede iniciar desde el portón de acceso hasta el lugar de trabajo de la celda, dando así paso a una mala apariencia en el relleno sanitario.
- Planear el frente de trabajo de tal forma que el lugar en donde se coloquen los desechos sólidos del día, se encuentre en contra de la dirección del viento para que los elementos que pueda arrastrar los empuje hacia el frente de trabajo.

7.4.6 Contaminación de las Aguas Superficiales.

Para este caso la contaminación de aguas superficiales es bastante mínima; ya que el nivel freático se encuentra bastante profundo en el terreno, pero no se descarta la posibilidad de contaminación de corrientes de agua permanentes en la época de invierno, entonces para minimizar este riesgo es necesario mantener en buen estado todo el sistema de drenaje pluvial periférico e interno para dejar de lado la posibilidad de la llegada de grandes

volúmenes de agua a las lagunas de estabilización, lo cual puede provocar el rebalse de estas y el arrastre de contaminantes a cauces que se encuentran cercanos al del terreno.

7.4.7 Monitoreo de la Calidad del Agua.

Las características requeridas para que el agua pueda ser utilizada por el hombre a través del tiempo se ha clasificado como aguas aptas para el consumo y otras como dañinas llegando a establecer parámetros y características químicas y bioquímicas del agua.

Para la región en la que se desea realizar la construcción del relleno sanitario, se ha determinado que el nivel freático está a una profundidad aproximada de 15 metros, por lo tanto para tener una plena certeza de que no se estén contaminando los niveles freáticos en los alrededores del relleno sanitario, es de vital importancia la creación de un sistema de monitoreo de las aguas subterráneas, por lo tanto para lograr conocer si se han afectado los niveles freáticos se deben controlar los pozos más cercanos a la zona donde se pretende realizar el proyecto, tomando muestras de los mismos para crear un sistema de monitoreo de las aguas subterráneas que tendrá como base las condiciones actuales de las mismas, teniendo de este modo una comparación confiable con los análisis o datos obtenidos a futuro y así evaluar en base a esto si se está dando algún tipo de contaminación por parte del relleno sanitario.

7.4.8 Parámetros de Análisis de la Calidad del Agua.

Como se explicó en capítulos anteriores la descomposición de la basura generan líquidos, gases y productos intermedios que algunos son retenidos en los poros del terreno, otros portados por líquidos que atraviesan las capas de suelo y los desechos sólidos.

Aunque el relleno sanitario manual es una obra pequeña que recibe los desechos de origen doméstico y comercial, es factible expresar que es necesario impermeabilizar la base del terreno y las paredes, para lograr esto se debe colocar una capa de arcilla compactada de 0.30 metros de espesor y recubrir con una geomembrana de Cloruro de polivinilo (PVC⁴) o de polietileno de alta densidad (HDPE), con estas condiciones se disminuye sensiblemente el poder contaminante del líquido.

Orientando los análisis en una base comparativa, tomando muestras antes de iniciar las operaciones y una vez teniendo estos valores como parámetros se procederán a tomar muestras posteriores en los que se evaluarán el valor que se considera como una de las propiedades más importantes de los contaminantes, ya que determina si la sustancia es corrosiva, de ser así se le puede considerar como residuo peligroso.

Para controlar los posibles contaminantes en las aguas subterráneas, se deben considerar el análisis de los siguientes parámetros:

- Potencial de Hidrógeno (pH)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO), mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), mg/l
- Cromo (Cr)
- Plomo (Pb)
- Mercurio (Hg)
- Níquel (Ni)
- Nitrato, mg/l
- Cloruros, mg /l
- Sulfatos, mg/l

Los análisis de laboratorio, se pueden hacer intensivos durante los primeros meses y menos frecuentes una vez se perciban valores constantes en los resultados.

7.4.9 Control de Desechos Peligrosos.

Para el relleno sanitario que se desea construir se han tomado las características de los desechos sólidos que producen las diferentes poblaciones interesadas en la construcción del mismo, encontrando solamente desechos de origen doméstico y comercial únicamente, por lo tanto se investigó si existía alguna industria peligrosa en alguno de los lugares interesados y no se encuentra ninguna de las poblaciones en estudio, por lo tanto el relleno sólo aceptará desechos no peligrosos, jugando un papel predominante la supervisión, chequeando todos los vehículos que quieran ingresar al relleno, sean estos particulares o públicos, con la intención de depositar los desechos sólidos que ingresan, este proceso no se aplicará a equipo propiedad de las municipalidades, ya que se supone que no presentan este tipo de problemas.

El nombre de los desechos peligrosos se le da al material descartado de su uso y representan un alto grado de peligrosidad para la salud de la población, generalmente el conglomerado de desechos se le conoce con las siglas C.R.E.T.I.B, donde:

- C: Corrosivos: Son desechos que contienen sustancias con alcalinidad arriba de nueve y debajo de seis.
- R: Reactivos: Contienen sustancias que producen reacciones al unirse con otros elementos.
- E: Explosivos: Desechos que contienen sustancias gaseosas o a presión y que pueden contener pólvora.
- T: Tóxicos: Desechos considerados como pesticidas, los órganos fosforados, etc.

- I: Inflamables: Desechos que contienen sustancias que con una leve temperatura los puede hacer inflamables.
- B: Biológicos: Son los desechos generados principalmente por hospitales, morgues, etc.

Los últimos mencionados I y B son los desechos peligrosos que se producen generalmente, por los centros y las unidades de salud, pero estos que deben ser manejados y depositados internamente.

Para la recolección de los desechos considerados como peligrosos biológicos-infecciosos, corto punzantes y patológicos, se utilizarán bolsas de color rojo, los cuales deben ser depositados en celdas de seguridad o incinerados según la disponibilidad y el criterio del personal que los maneja. El manejo de los desechos comunes de las unidades de salud se debe hacer recolectándolos en bolsas de color negro entregándolos después a las unidades recolectoras de las alcaldías municipales.

La supervisión deberá tener un método práctico para determinar si se trata de ingresar desechos sólidos considerados como peligrosos, en el método de verificación deberán incluirse por lo menos los siguientes aspectos:

- Deberá revisar todos los vehículos privados y públicos que deseen depositar la basura en el relleno, para poder detectar desechos peligrosos.
- Formar un archivo con todos los datos necesarios para poder identificar la frecuencia en que ingresa el vehículo particular o público y qué tipo de basura ingresa.

- Definir el procedimiento de notificación a las autoridades competentes de la municipalidad, en caso de detectar algún vehículo con cargas que contengan desechos peligrosos.
- Prohibir el ingreso de cualquier vehículo cuando sean detectados desechos peligrosos y notificar de inmediato a las autoridades del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del Municipio de La Libertad y al MARN.

7.4.10 Control de Hurgadores de Basura.

Se sabe que muchas personas frecuentan los rellenos sanitarios para tratar de recuperar objetos que puedan tener algún valor comercial o que puedan ser utilizados en su vida cotidiana. La práctica realizada por los pepenadores en muchas ocasiones interfiere con las actividades de disposición final, dificultando la descarga de las unidades y en algunas ocasiones poniéndose en peligro a sí mismos al subirse a las unidades en movimiento o en maniobras de descarga.

Por lo antes mencionado en el relleno sanitario manual, desde el inicio de operaciones y durante su vida útil se deberá prohibir la entrada a hurgadores, informando por medio de un cartel o rótulo que exprese lo siguiente "NO SE PERMITE LA ENTRADA A PEPENADORES". Aunque es difícil controlar en ocasiones el ingreso de estas personas en un relleno sanitario, pues estos siempre buscarán la manera de ingresar al recinto sin ser vistos, por lo que es de suma importancia mantener una vigilancia en la entrada al relleno sanitario y en las áreas de trabajo, jugando un papel muy importante la supervisión en el cumplimiento de no permitir la permanencia de personas no autorizadas en el área del relleno sanitario.

7.4.11 Control de Operaciones.

Para lograr cumplir con todas las labores en el relleno sanitario, se deben organizar y supervisar estrictamente todas las actividades al interior de este, desarrollando un programa de control y ordenamiento como el que se plantea a continuación:

- Registro del ingreso de los vehículos.
- Control del flujo de los vehículos desde la portería.
- La orientación del tráfico y las zonas de descarga.
- Supervisar la descarga en el frente de trabajo.
- Supervisar la conformación de las celdas.
- El buen mantenimiento de las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajadores.
- Mantener una vigilancia para impedir el ingreso de animales y personas extrañas y evitar la excavación de los residuos sólidos en las celdas ya conformadas.

7.4.12 Separación de Materiales y Materia Orgánica.

Esta técnica se realizará con el objeto de la reutilización y el reciclaje de los materiales y también para determinar el tipo de desecho a separar, se han tomado como base los materiales que se desechan en el municipio interesado en el proyecto y que pueden ser reutilizados o reciclados, entre ellos tenemos los metales, el papel, el plástico, el vidrio y la materia orgánica, los cuales se detallan a continuación:

- Los metales (específicamente aluminio y hierro): los productores y fabricantes de metales han promocionado activamente el reciclaje de estos desde los años sesenta. Este tipo de reciclaje tiene sentido desde el punto de vista económico, por varias razones, pues se pueden generar pequeños negocios de compra y venta de

chatarra, disminución de la energía necesaria para producirlos, los materiales reciclados son de una composición uniforme y conocida y las impurezas son separadas fácilmente. En el caso del aluminio, para fines de reciclaje, se pueden separar todos los objetos desechados como las ollas, cacerolas, picheles, marcos de cama, ventanas, mesas y sillas, manubrios de bicicleta, latas de bebidas gaseosas, cervezas y otras bebidas, perfiles de cielo falso, antenas de televisores, refrigeradoras, otros electrodomésticos y todos aquellos elaborados de este material. Del hierro se pueden separar las piezas de camas, sillas, mesas y otros muebles elaborados de hierro, sobrantes de polines y otros derivados de la construcción y demolición, como por ejemplo puertas, varillas, alambres, clavos deformados, barriles, piñones, ejes, bancadas de maquinaria, tornillos, arandelas y tuercas deformadas; manivelas, malla ciclón y otros utensilios elaborados de este material.

- El papel: con base al peso, el papel constituye un componente importante y de gran cantidad de los residuos sólidos urbanos, representa una opción relativamente fácil para desviarlos del relleno sanitario a los lugares de reciclaje, reduciendo el impacto generado sobre los bosques, además de reducir las fibras y el consumo de energía a nivel nacional. El tipo de papel que se puede separar es; papel periódico, facturas y sus copias, papel de fotocopiadoras, papel bond, papel de computadoras, revistas, separadores de archivos, cuadernos, fólderes, libros, libretas, agendas, cartulina y todo aquel papel que pueda absorber líquidos fácilmente y que esté libre de contaminantes como grasa, aceite, polvo, goma y papel carbón.
- El Plástico: el crecimiento en el uso de los plásticos se ha producido sobre todo en los productos de consumo diario, ya que los plásticos han sustituido, en gran parte, a los metales y al vidrio como materiales para recipientes. Los plásticos tienen diversas ventajas,

pues son ligeros y por lo tanto reducen los costos de transporte; son duraderos y a menudo proporcionan un recipiente más seguro, pueden presentarse en diversas formas y pueden ser fabricados para que sean flexibles o rígidos y son buenos aislantes. Por sus diversas utilidades pueden ser objeto de separación todos los tipos de recipientes plásticos desechados, entre ellos los botes, platos, tapones, material de envoltura, mangueras de jardinería, juguetes y los demás objetos termoplásticos elaborados en poliestileno y polipropileno. No debe incluirse en estos aquellos que se encuentran mezclados con concreto y/o asfalto y plásticos no procesales llamados termofraguantes como la melamina, formal de hído de urea y fenol formal de hído; en el que se incluyen, productos laminados, ruedas de esmeril, cajas moldeadas, clavijas eléctricas, tapones de botella, perillas, mangos de cuchillos, botones, cadenas, teléfonos, interruptores, fórmica, etc.

- El Vidrio: entre las ventajas de reciclar el vidrio se incluye la reutilización del material y los ahorros de energía. Se podrán separar todos los depósitos elaborados de vidrio que puedan utilizarse, como por ejemplo envases de encurtidos, salsas, jaleas, aceites, dulces, entre otros. Es importante aclarar que la separación de estos materiales debe darse solamente en aquellos que se encuentran en perfectas condiciones dado que su objetivo final es ser utilizados nuevamente como depósitos; por lo tanto no se debe de incluir aquellos materiales que están quebrados.
- Materia Orgánica: constituye un porcentaje bastante alto de los desechos sólidos generados por las comunidades de la municipalidad involucradas en el proyecto, por lo que se puede separar con el objeto de desarrollar una compostera, que consiste en convertir la materia orgánica en un componente bioquímicamente inactivo llamado compost. Se puede decir, que el compost es un material que se obtiene por la acción microbiana controlada, donde se utilizan los desechos orgánicos como

materia prima. El proceso de composteo es semejante al de la naturaleza para renovar el suelo, es por eso que en el relleno sanitario, se debe implementar una compostera en el área de reforestación del terreno, la cual servirá como fuente para el mejoramiento de los suelos de la zona y que puede ser desarrollada con la colaboración de las Instituciones Educativas.

Como técnica de procesamiento de los desechos orgánicos urbanos generados por el municipio, el compostaje ofrecerá las siguientes ventajas:

- Es la única técnica operativa actual para reutilizar de mejor manera la materia orgánica.
- Es adecuada para manejar principalmente los desechos provenientes de vegetales, madereras, cárnicos, entre otros.
- Se complementa generalmente con otros procesos como el de recuperación de materiales, entre otros.
- Mejoramiento de los suelos de la zona.
- Se puede implementar esta técnica con la ayuda de las Instituciones Educativas del municipio involucrado en el proyecto.

CAPITULO VIII

NORMATIVAS AMBIENTALES

APLICABLES AL PROYECTO

8.1 Generalidades.

La ubicación y operación de un relleno sanitario consiste también en un problema de carácter ambiental que merece ser evaluado, ya que deficiencias en la ubicación y operación del mismo, podrían ocasionar contaminación en los cuerpos de agua superficial y subterránea del lugar donde sea construido, contaminación del aire por emisión de gases con efectos sobre la salud de los habitantes de los poblados próximos y muchos otros problemas de carácter ambiental. En tal sentido, resulta necesario desarrollar Estudios de Impacto Ambiental.

Se define Impacto Ambiental a la alteración favorable o desfavorable que experimenta el ambiente como resultado de una acción de desarrollo a ejecutarse ya sea por la actividad humana o por la naturaleza y se define Estudio de Impacto Ambiental (EIA) como un procedimiento que, mediante la aplicación de un conjunto de técnicas y procedimientos preventivos, permite identificar, predecir, evaluar, interpretar, proponer correcciones y comunicar resultados, acerca de las relaciones de causa-efecto (positivas y negativas) entre un proyecto o programa de desarrollo y el ambiente físico, biológico y socioeconómico.

El objetivo del estudio se centra en la construcción de un relleno sanitario que sirva como alternativa de solución para la gestión de los residuos sólidos en el Municipio de La Libertad y realizar el tratamiento técnico-sanitario de estos a fin de evitar los efectos adversos sobre el ambiente y la salud de la población que pueden derivarse de la inadecuada disposición final de los mismos.

Al mismo tiempo identificar, evaluar e interpretar los impactos ambientales potenciales, cuya ocurrencia tendría lugar durante las etapas del proyecto (construcción, operación y cierre) y proponer las medidas apropiadas orientadas a evitar y/o mitigar los efectos negativos y fortalecer los positivos.

8.2 Categorización del Proyecto.

Con el propósito de agilizar el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), establecido en la Ley de Medio Ambiente, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), implementó la categorización de las actividades, obras o proyectos, a través del Acuerdo Ministerial No 39, emitido el 26 de abril de 2007, el cual fue publicado en el Diario Oficial No 83, Tomo 375 el 9 de mayo de ese mismo año, por medio del cual se establece la Categorización de Actividades, Obras o Proyectos, conforme al Art. 22 de la Ley de Medio Ambiente y sus dos reformas posteriores. Contado con esto se pueda determinar si un proyecto requiere o no de la elaboración de un estudio de impacto ambiental, que debe fundamentarse en función de la naturaleza de la actividad, su envergadura y las condiciones ambientales relevantes del medio en donde se pretende instalar.

Para los fines de la categorización de las actividades, obras o proyectos referentes a la disposición final de los desechos sólidos en un relleno sanitario se adopta como un método aceptable de disposición final, el proyecto se clasifica dentro del GRUPO B, CATEGORIA 2: ACTIVIDADES, OBRAS O PROYECTOS CON IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL MODERADO O ALTO QUE REQUIEREN ELABORAR ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.

Los criterios que categorizan las actividades, obras o proyectos para un Relleno Sanitario dentro del Grupo B, Categoría 2, se muestran en la Tabla #8.1.

Tabla #8.1
Tabla General de Categorización para Actividades, Obras o Proyectos de
Disposición Final de Desechos Sólidos Comunes: Relleno Sanitario

Criterios	Grupo B – Categoría 2
Operación	Manual, mecanizado o combinado
Disponibilidad de bancos de material de cobertura	Dentro del mismo terreno
Topografía del terreno (pendiente)	Hasta el 57.7%
Distancia a cuerpos de agua	Mayor a 300 m.
Camino de acceso	Requiere camino de acceso
Distancia a aeropuertos, helipuertos y hangares	Más de 8 kilómetros
Distancia a núcleos poblacionales	Más de 500 m.
Profundidad del nivel freático	15.0 metros como mínimo
Coeficiente de impermeabilización	10^{-7} cm/seg.
Ubicación:	Fuera de: <ul style="list-style-type: none"> - Áreas naturales protegidas y zonas de amortiguamiento - Zonas de inundación - Zonas de drenajes naturales

8.3 Identificación, Priorización, Reducción y Cuantificación de los Impactos Ambientales.

8.3.1 Impactos Ambientales Negativos.

La identificación de los aspectos que están siendo afectados por la preparación del sitio, construcción y cierre del relleno sanitario se detalla a continuación:

Factores físicos.

- Suelo.
- Aguas Superficial y Subterránea.
- Calidad del Aire.
- Calidad del Paisaje.

Factores biológicos.

- Flora.
- Fauna.

A fin de determinar cuáles componentes del ambiente pueden sufrir un impacto adverso o positivo significativo, se procede a elaborar una matriz de cribado ambiental de doble entrada y que relaciona los componentes del ambiente contra las actividades del proyecto en sus etapas de preparación del sitio y construcción, etapa de funcionamiento y cierre.

Los impactos resultantes al analizar el efecto de las acciones del proyecto sobre los componentes del ambiente fueron clasificados de la siguiente manera:

- 1- Impactos Negativos Significativos (MA)
- 2- Impactos Negativos de Regular Significancia (A)
- 3- Impactos Benéficos
- 4- Impactos Benéficos de Regular Significancia.

Utilizando la metodología de Criterios Relevantes Integrados (CRI), la cual ha sido desarrollada por Buroz, 1994, que se centra en dar valores comparativos a los impactos potenciales de un proyecto, considerando aspectos como intensidad, duración, reversibilidad

y probabilidad de ocurrencia en el desarrollo del proyecto planteado, se presentan a continuación los resultados de la valoración de los impactos ambientales negativos y los puntos de mayor relevancia:

- Suelo:

Debido a las actividades de construcción, se prevee una alteración de las geoformas y topografía del sitio donde se construirá el relleno sanitario, además habrá una intensificación de la erosión laminar en sitios donde se retirará la cobertura vegetal y una baja en la estabilidad geotécnica del suelo básicamente relacionada con la compresibilidad, capacidad portante y estabilidad del relleno y del terreno, disminución de la permeabilidad del suelo específicamente en los sitios donde se conformaran las celdas, además de una disminución o deterioro de la calidad del suelo. La construcción de la impermeabilización del suelo, para el sistema de drenaje y la laguna lixiviados, se realizará precisamente para evitar posibles daños al suelo y agua subterránea, para esto se ha previsto realizar los movimientos de suelo mínimos y la cobertura de material suelto para evitar la acumulación de partículas de polvo en el aire y el riego de agua constante para el movimiento y compactación del suelo.

- Agua Superficial y Subterránea:

Se prevee una posible alteración de la calidad del agua superficial y subterránea ante el riesgo de su contacto con los residuos sólidos y los líquidos lixiviados, disminución de los niveles de evapotranspiración en la zona del proyecto, además de la disminución de las cantidades de recarga del acuífero. Se ha considerado realizar la impermeabilización del suelo, ya que mediante la instalación del drenaje superficial, las trincheras, las laguna de lixiviados y el sistema de recirculación de los estos, contribuirán a la protección del agua superficial y subterránea por la disminución de la contaminación a partir de los lixiviados, además se ha previsto el programa de

reforestación en la zona de la periferia del terreno, taludes y contornos de calles de acceso.

- Calidad del Aire:

La cantidad del aire será afectada principalmente por las partículas de polvo generadas en el proceso de construcción y posterior funcionamiento, afectación a nivel sonoro, por los ruidos relacionados con las actividades propias de la construcción y operación del proyecto. A la vez existe la posibilidad de la acumulación de humos y malos olores en el sitio del relleno sanitario. Para lo cual se recomienda el constante control y monitoreo de materiales inflamables como el papel, el cartón, el plástico, etc, la correcta cobertura diaria de los desechos sólidos y la correcta utilización de las chimeneas, evitando así posibles incendios.

- Calidad del Paisaje:

Se prevee una modificación en la estructura paisajística de la zona y una dispersión de materiales ligeros, por lo que se deberá mantener y cuidar del área verde prevista a realizar.

- Flora Cultivada y Fauna:

Habrà una alteración de la cobertura vegetal existente, pues esta será retirada para construir el relleno sanitario, además de la desaparición de fuentes alimenticias, sitios de refugio, sitios de reproducción de la fauna de interés e interferencia en el paso de especies terrestres. Para este componente se ha considerado la reforestación y protección de las zonas deforestadas y la periferia de la propiedad principalmente.

En la Tabla #8.2 se muestra los impactos ambientales adversos con muy alta relevancia.

Tabla #8.2

Impacto Ambiental Adverso con muy Alta Relevancia.

Etapas de Ejecución/Actividad del proyecto	Componentes del Ambiente	Caracterización del Impacto	Duración Temporal / Duradera		Relevancia del Impacto
1. Preparación del sitio y cierre del botadero Chapoda y trazo	Suelo	Acumulación general de desechos orgánicos	X		A
Mejora de drenajes y accesos internos	Aire	Aumento de partículas en el aire	X		A
Mejora de cercado perimetral, portón e infraestructura básica	Suelo	Impermeabilización del suelo		X	MA
2. Construcción de: Trincheras (impermeabilización, sistema de drenaje de lixiviados y gases)	Suelo	Impacta uso futuro del suelo		X	MA
	Aguas Subterráneas	Disminuye infiltración del agua		X	MA
	Aire	Aumento de partículas en el aire	X		A
3. Funcionamiento del Relleno Sanitario. Operación de relleno sanitario de acuerdo a celdas diarias, con un frente mínimo de trabajo.	Suelo	Acumulación de desechos sólidos		X	MA
	Agua	Posible contaminación de aguas		X	MA
	Calidad del aire	Posible aumento de olores, humos y gases	X		A
4. Cierre del Relleno Sanitario	Suelo	Acumulación de desechos sólidos no dispuestos	X		MA
	Aguas	Posible contaminación de aguas	X		MA

Identificando la relación a los impactos y las actividades previstas a desarrollar en el proyecto del relleno sanitario, se concluye que la mayor parte de dichos impactos son de carácter residual y permanente, por lo que se han previsto mejoras en la gestión de residuos sólidos, la protección y ampliación del área verde en forma masificada, así como el desarrollo de actividades de seguimiento al Programa de Manejo Ambiental previsto.

8.3.2. Impactos Ambientales Positivos.

La determinación de los componentes del ambiente que tendrán impactos ambientales positivos, se ha realizado mediante la elaboración de la matriz de cribado ambiental. Los componentes que serán impactados positivamente se describen en la Tabla #8.3.

**Tabla #8.3
Impactos Ambientales Positivos**

Componente del Medio Ambiente Afectado positivamente por el proyecto	Acciones del proyecto que lo impactan positivamente
Ambiente Salubre	Disponibilidad de un lugar específico para la disposición final de los desechos sólidos generados en el municipio.
Economía Familiar	Conformación del Equipo Municipal, que serán capacitados y dedicados a realizar la actividad de recolección domiciliar, transporte y disposición final adecuada de los desechos sólidos.

8.4 Componentes del Programa de Manejo Ambiental.

En este apartado se incluyen el detalle de las medidas propuestas para cada uno de los impactos ambientales negativos significativos que han sido identificados. Las medidas que se plantean son las siguientes:

8.4.1 Etapa de Preparación del Terreno.

- **Impacto Ambiental:**

Una alta contaminación y pérdida de las condiciones de los recursos naturales debido al deterioro ambiental.

- **Medidas de Atenuación:**

Delimitar las áreas exclusivas del relleno sanitario y su desarrollo futuro, con las consecuentes zonas de prevención de daños al medio ambiente, logrando incrementar el área verde del terreno. Realizar la construcción de infraestructura básica para el funcionamiento del relleno sanitario de acuerdo a los detalles constructivos plasmados en los capítulos anteriores.

8.4.2 Etapa de Construcción del Relleno Sanitario.

- **Impacto Ambiental:**

Se disminuirá la capacidad de infiltración del suelo, en cuanto a recarga de los manto freáticos, causando un impacto en la calidad del suelo debido a la construcción de trincheras e impermeabilización de la base antes de depositar los desechos sólidos diarios, además el drenaje de lixiviados, chimeneas, laguna de lixiviados e infraestructura general.

- **Medida de Prevención:**

Se deberán de proteger todos los árboles existentes en la zona y periferia total de terreno, lo cual permitirá el desarrollo futuro de acciones de reforestación de dicha área que compense el cambio de uso de suelo permanente en el relleno sanitario, el cual será impermeabilizado a través de la construcción de infraestructura antes descrita, mejorando así la descontaminación visual por las actividades del relleno sanitario. Además de la construcción del sistema de drenajes (superficial y subterráneo) y recirculación de lixiviados.

- **Impacto Ambiental:**

Disminución de la calidad de aire por los residuos del movimiento del suelo.

- **Medida de Prevención:**

Movimientos de suelos húmedos o bien mediante el rociado de agua para evitar así partículas en el aire por las actividades de terracería y preparación de trincheras.

8.4.3 Funcionamiento del Relleno Sanitario.

- **Impacto Ambiental:**

Existirá un posible deterioro de la calidad del suelo, agua y aire por la dispersión de desechos sólidos en el sitio del relleno sanitario, además la generación de malos olores por la falta de disposición final adecuada.

- **Medidas de Prevención, corrección y control:**

Una operación adecuada y ordenada del relleno sanitario a través de la cobertura diaria de los desechos sólidos y una recirculación de lixiviados por medio de un sistema de captación y acumulación de lixiviados.

- **Impacto Ambiental:**

Deterioro de la calidad del paisaje y contaminación visual a causa de la disposición final de los desechos sólidos.

- **Medidas de Prevención, Corrección y Control:**

Realizar una reforestación en la periferia del terreno, a fin de crear una barrera que disminuya la visibilidad a la zona del relleno sanitario.

8.4.4 Etapa de Cierre de Relleno Sanitario.

- **Impacto Ambiental:**

Podría existir un deterioro en la calidad del lugar, por la dispersión de desechos sólidos finales en el sitio del relleno, generando malos olores por la mala disposición de los desechos a diario.

- **Medidas de Prevención, Corrección y Control:**

Realizar la cobertura final completa de todos los desechos sólidos depositados en el relleno sanitario y realizar la recirculación final de los lixiviados por medio de un sistema de captación y acumulación de lixiviados.

- **Impacto Ambiental:**

Disminución de la infiltración del agua y leve impacto en la calidad del suelo, debido a la cobertura final de los desechos sólidos dispuestos en la trinchera impermeabilizada, compuesta de sus debidos drenajes de lixiviados, chimeneas para gases y laguna de lixiviados.

- **Medidas de compensación:**

Desarrollar un plan de reforestación y conservación del suelo y del agua, que permitan desarrollar acciones de reforestación en un área de 5,000 m², compensando así el

cambio de uso del suelo permanente de una parte de suelo usado como relleno sanitario.

8.5 Descripción Detallada del Programa de Adecuación Ambiental.

8.5.1 Preparación del sitio.

Una de las medidas principales para contrarrestar la contaminación ambiental es la implementación del relleno sanitario, ya que esto representa una alternativa ambientalmente amigable, que conjuntamente con las condiciones de la zona del proyecto, deterioro ambiental del lugar y la disponibilidad de espacio para depositar basura en la zona.

8.5.2 Construcción del Relleno Sanitario.

Desarrollar un plan de reforestación de un área de 5,000 m², constituida en la zona del área conformada por el perímetro del terreno, dicha área será debidamente reforestada en la etapa de funcionamiento de relleno sanitario, además de la construcción de zonas de drenaje en la periferia del proyecto para potenciar que la escorrentía superficial descargue en la zona verde y facilitar su infiltración.

8.5.3 Funcionamiento del Relleno Sanitario.

Esta etapa se incluye desde la recepción hasta la disposición final de los residuos sólidos como un proceso integrado que mediante la utilización de la infraestructura edificada pueda ejercer una gestión ambientalmente menos contaminante del relleno sanitario, de tal manera que se debe realizar una óptima utilización de los recursos humanos, materiales y financieros disponibles. La cobertura de diaria de los desechos sólidos dentro de la zona impermeabilizada y las celdas diarias en el frente de trabajo, con el objeto de evitar la dispersión de los residuos por todo el terreno. De esta etapa la actividad relevante de

mitigación del impacto consiste en la reforestación de zona verde del relleno y la periferia del relleno sanitario.

8.5.4 Cierre del Relleno.

Deberá orientar sobre la utilización futura de la zona donde se construirá el Relleno Sanitario, así como la cobertura final, monitoreo e inspecciones periódicas del sitio, además de los servicios de mantenimiento a los equipos y accesorios instalados. El costeo de estas acciones de adecuación dependerá del diseño mismo y de las singularidades de las acciones previstas a desarrollar.

8.5.5 Plan de Arborización y mejora de la belleza escénica en contornos de los límites de la propiedad donde se construirá el Relleno Sanitario.

Esta actividad comprende la compra, transporte y siembra de árboles adaptados a la zona, dentro de las especies recomendadas a sembrar se pueden mencionar, aceitunos, madre cacaos y quebrachos, con el consiguiente control de malezas y la fertilización periódicamente.

8.6 Formulario Ambiental.

Los presentes lineamientos tienen por objeto proporcionar los elementos básicos necesarios para el adecuado llenado del formulario ambiental y que la información proporcionada por el titular (propietario) de la actividad, obra o proyecto, permita al equipo técnico profesional designado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), conjuntamente con los resultados de la inspección al sitio propuesto para el desarrollo del proyecto, determinar la adecuada elaboración del estudio de Impacto Ambiental. El formulario ambiental se presenta en el Anexo #3.

8.6.1 De la Presentación del Formulario Ambiental.

El Formulario Ambiental, deberá ser presentado por el titular o el representante legal debidamente acreditado, de toda nueva actividad, obra o proyecto o que pretenda realizar ampliación, rehabilitación o conversión del desarrollo que requiera Permiso Ambiental. El Formulario Ambiental, será presentado al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con una nota de remisión.

8.6.2 Del Contenido del Formulario Ambiental.

El Formulario Ambiental contiene como mínimo, de acuerdo al artículo 21 del Reglamento de la Ley de Medio Ambiente, lo siguiente:

- Información del titular, que propone la actividad, obra o proyecto.
- Identificación, ubicación y descripción de la actividad, obra o proyecto.
- Aspectos de los medios físico, biológico, socioeconómico y cultural, que podrían ser afectados por la ejecución del proyecto.
- Identificación y priorización preliminar de impactos potenciales, posibles riesgos y contingencias y estimación de las medidas ambientales correspondientes.
- Declaración jurada sobre la responsabilidad del titular en la veracidad de la información proporcionada.
- Marco Legal aplicable (nivel nacional, regional y/o local).

8.6.3 De la Responsabilidad del contenido de la información proporcionada y remisión del formulario ambiental.

El titular de la actividad, obra o proyecto, será responsable de la veracidad de la información proporcionada en el formulario ambiental. La información requerida, deberá ser respondida en los diferentes aspectos de la actividad, obra o proyecto.

8.6.4. De la Reserva de la Información.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), mantendrá en reserva la información que pudiera afectar derechos de propiedad industrial, intelectual o intereses lícitos mercantiles del titular.

8.6.5 De la Tramitación del Formulario Ambiental.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), de acuerdo a lo establecido en la normativa legal vigente y una vez efectuada la recepción del Formulario Ambiental, dará curso a la tramitación del mismo, siguiendo el procedimiento técnico administrativo que a continuación se describe.

- **De la Evaluación de la Información contenido en el Formulario Ambiental.**

El equipo técnico profesional designado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en cumplimiento a lo establecido en el artículo 22 del Reglamento General de Medio Ambiente, procederá al análisis de la información contenida en el Formulario Ambiental correspondiente (instrumento específico) para la actividad, obra o proyecto. La información proporcionada, será calificada con base a la cantidad y calidad de la información, que aplica a la actividad, obra o proyecto, que el titular (propietario), propone desarrollar. El resultado de la evaluación de la información contenida en el Formulario Ambiental, se reflejará en la planilla de análisis ambiental, la cual forma parte de los instrumentos que integran el procedimiento técnico administrativo interno de tramitación del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

- **De la Inspección al Sitio de Ubicación de la Actividad, Obra o Proyecto.**

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), designará un equipo técnico profesional de acuerdo a la tipología y naturaleza del proyecto, el cual realizará la inspección

al sitio de la actividad, obra o proyecto y determinará la sensibilidad del área donde se pretende implantar la actividad, obra o proyecto, el resultado de la inspección al sitio por parte del equipo profesional, se reflejará en el instrumento interno de tramitación del MARN (formulario ambiental inspección de campo).

8.6.6 De la Categorización de la Actividad, obra o proyecto.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales (MARN), conforme al resultado del análisis de información del formulario ambiental y determinación de la sensibilidad del medio ambiente, que a continuación se detalla:

- **Del Análisis de la Información contenida en el Formulario Ambiental.**

El análisis de la información contenida en el Formulario Ambiental, proporcionará los elementos para determinar la envergadura de la actividad, obra o proyecto.

- **Sensibilidad del área de posible implantación de la actividad, obra o proyecto y naturaleza del impacto potencial.**

La sensibilidad del área de ubicación de la actividad, obra o proyecto, se determinará como resultado de la inspección al sitio y se utilizarán indicadores ambientales predefinidos, proporcionándose así, los elementos para determinar la naturaleza del impacto potencial.

8.6.7. De los criterios para establecer la envergadura de la actividad, obra o proyecto y la calificación de la sensibilidad del medio ambiente.

- **Envergadura de la Actividad, Obra o Proyecto.**

La envergadura se refiere al tamaño (magnitud) de la instalación, el criterio al ser integrado con la tipología de la actividad, obra o proyecto, permite definir la categoría para exigir la presentación o no, de un estudio de impacto ambiental. Para establecer la envergadura de la

actividad, obra o proyecto y la sensibilidad del medio, el Ministerio se basará en los criterios siguientes:

- Tipología de la actividad, obra o proyecto y localización.
- Superficie total y ocupada por el proyecto.
- Longitud del proyecto o densidad de población.
- Cantidad de materias primas, insumes, combustibles, recurso agua a utilizar y volumen de producción.
- Cantidad estimada y calidad de efluentes, emisiones y residuos o desechos que puedan generar la actividad, obra o proyecto.

- **Calificación de la Sensibilidad del Medio Ambiente.**

La calificación de la sensibilidad del medio ambiente, se hará con base a los indicadores ambientales predeterminados y que contemplan los recursos: suelos, vegetación, fauna, zonas frágiles, agua, aire, calidad de vida u otro de particular importancia identificado en la inspección al sitio del proyecto.

En función directa de la sensibilidad del medio ambiente, se definirá la naturaleza del impacto potencial, la calificación que se asignará será la siguiente:

- Calificación No. 1: No afectable por la actividad, obra o proyecto.
- Calificación No. 2: Sensible, los recursos del medio físico, biológico, social y económico, serán afectados de forma parcial y/o temporal, no se coloca en peligro la integridad del sitio.
- Calificación No. 3: Muy sensible, los recursos naturales del medio físico, biológico "y socioeconómico son afectados de forma total y/o permanente, se incluirán los elementos del patrimonio histórico y cultural.

8.6.8 De las Categorías de la Actividad, Obra o Proyecto.

La categoría de la actividad, obra o proyecto determinará el nivel del Estudio de Impacto Ambiental, de acuerdo a lo siguiente:

- Categoría 1: No requiere de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EslA), debido a la tipología de la actividad, obra o proyecto, la envergadura y la naturaleza de las acciones a ejecutar.
- Categoría 2: Requiere de la presentación de un EslA, debido a que la tipología de la actividad, obra o proyecto, causa efectos sobre el medio ambiente bien definidos, pero que dependiendo de la envergadura de las acciones que pretenden ser realizadas, éstas deberán ser cuantificadas en su real magnitud, por lo cual el estudio ambiental, deberá enfatizar en la satisfacción de los requerimientos específicos de información.
- Categoría 3: Siempre se requerirá de la presentación del EslA, por la tipología y la envergadura, magnitud de demanda de recursos y los potenciales efectos sobre el medio ambiente que pueden generar impactos negativos e irreversibles para el medio ambiente, la salud y calidad de vida de la población.

8.6.9 De la Resolución de Categorización y de los lineamientos de términos de referencia.

Mediante la aplicación de los criterios antes indicados se categorizará la actividad, obra o proyecto y se determinará la procedencia de exigir o no la presentación de estudio de impacto ambiental y el nivel de detalle de dicho estudio. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), emitirá en un plazo máximo de veinte (20) días hábiles a partir de la recepción del formulario

ambiental, dará la resolución sobre la procedencia de presentación de un estudio de impacto ambiental de la actividad, obra o proyecto, la cual será acompañada de los lineamientos de términos de referencia para elaborar el Estudio de Impacto Ambiental.

8.6.10 De la Vigencia de la Resolución de Categorización de la Actividad, Obra o Proyecto.

La vigencia de la resolución de categorización será por un año, a partir de la fecha de notificación de la misma, transcurrido el lapso indicado se deberá actualizar la información suministrada.

8.6.11 Documentación Complementaria Anexada al Formulario Ambiental.

- **Si es persona Natural.**
 - Declaración jurada (última Pag. del Formulario) deberá ser firmada por el titular (propietario) o el Representante Legal.
 - Fotocopia del DUI del Titular o Representante Legal.
 - Copia de Escritura de Propiedad del Inmueble (copia de contrato arrendamiento en caso de no ser el propietario).

- **Si es persona jurídica.**
 - Declaración jurada (última pág. del Formulario) deberá ser firmada por el titular (propietario) o el Representante Legal.
 - Copia de acta de la Constitución de la empresa.
 - Copia de escritura de propiedad del inmueble (o copia del contrato de arrendamiento en caso de no ser el propietario).

En ambos casos es necesario:

- Mapa de ubicación del proyecto o empresa.

- Plano de la construcción del proyecto.
- Plano de curvas de nivel y accidentes naturales.

Teniendo como requerimiento que sólo se recibirán los formularios ambientales que estén completos y entendiéndose por completos:

- a) Aquellos que incluyan la información solicitada en los mismos.
- b) Estar suscrito y firmados en original por el titular (propietario), y sellados cuando se trate de personas jurídicas (empresas).
- c) Se acompañen los atestados

CAPITULO IX

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones.

- Antes del 9 de septiembre del año 2007, el municipio de La Libertad, realizaba la disposición final de sus desechos sólidos a través de un botadero a cielo abierto, luego se realiza su clausura y cierre acatando el cumplimiento del decreto legislativo # 237, el cual estipula que en nuestro país queda prohibido el depósito de los desechos sólidos en botaderos a cielo abierto u cualquier otro lugar que no estuviere legalmente autorizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Al mismo tiempo la municipalidad se ve obligada a contratar los servicios de disposición final de sus residuos sólidos hacia el Relleno Sanitario ubicado en Sonsonate, el cual es administrado actualmente por la empresa “Coordinadora y Asesora de Proyectos S.A. de C.V. (CAPSA), representando un costo económico muy significativo para dicha la municipalidad, es por ello que la construcción de su propio Relleno Sanitario es una solución que debe realizarse a corto plazo.
- La población urbana del municipio de La Libertad corresponde al 64.20% de la población total, mientras que la población rural alcanza el 35.80%, es decir que en el área urbana es donde mas se registran habitantes. Sin embargo la generación de los desechos sólidos para el área urbana es del 28.85% mucho menor que para el área rural que genera un 71.15%, es decir que el área rural es donde mas se registra la generación de los desechos sólidos. Esta incongruencia puede aclararse contando con el hecho que el Municipio de La Libertad se encuentra dentro de una zona turística muy activa, recibiendo muchos visitantes por año, lo que se denomina “Población Flotante” y que lastimosamente el dato de esta población no se tiene contabilizado, ni registrado en la municipalidad, ni en ningún otra institución. Este

tipo de población se aloja principalmente en el área rural, contribuyendo en gran medida a que la producción de los desechos sólidos de esta área aumente significativamente. Es por tal razón que la generación de los desechos sólidos del municipio de La Libertad puede llegar a ser incongruente con el registro del número de habitantes para la zona rural y urbana.

- De acuerdo a los estudios realizados según los requerimientos establecidos en el “Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de Los Desechos Sólidos” descritos en el Decreto Legislativo No. 42 y que funciona como requerimiento principal establecido por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), para la construcción de rellenos sanitarios, el sitio escogido en su mayor parte se adapta a la construcción del Relleno Sanitario para el Municipio de La Libertad, ya que cumple con las características y requisitos establecidos, pues no se encuentran zonas de recarga de acuíferos cerca del área destinada para la construcción del relleno sanitario, no se encuentra ubicado cerca de zonas de inundación, ni de ningún cuerpo de agua, en el sitio es bastante factible la extracción del material de cobertura, el coeficiente de permeabilidad del suelo se clasifica como moderadamente permeable con tendencia a poco permeable entre los rangos $1.0 \times 10^{-3} > k > 1.0 \times 10^{-7}$ cm/seg, no se observa ninguna falla geológica reciente cerca del sitio, se encuentra fuera de áreas naturales protegidas y no hay líneas de conducción de energía eléctrica y de ningún otro servicio, además la población más cercana se encuentra a más de 500 metros del sitio escogido y presenta fácil acceso hacia él en cualquier época del año.
- Para el Relleno Sanitario de La Libertad se utilizará el método de trinchera o zanja, pues es el método que mejor se adapta a las condiciones topográficas del terreno, el

material de cobertura que se encuentra disponible en el sitio se obtendrá de la excavación de las mismas celdas, la vida útil se estima en nueve años, la cual puede alargarse aplicando métodos y programas de reciclajes, así como la fabricación de composteras, reduciendo de esta manera la cantidad de residuos sólidos que se recibirán en el relleno.

- Identificando la relación de los impactos positivos y negativos y las actividades a desarrollar en el proyecto del relleno sanitario, se puede concluir que la mayor parte de dichos impactos son de carácter residual y permanente, por lo que se prevén mejoras en la gestión de residuos sólidos, la futura protección y ampliación del área verde en forma masificada, además una de las medidas principales para contrarrestar la contaminación ambiental es en si, la implementación del relleno sanitario, pues se tiene la disponibilidad de espacio para depositar basura de toda la zona, representando una alternativa ambientalmente amigable.

- El presupuesto del proyecto comprende dos grandes componentes, el primero denominado "Costo de Inversión" con un monto aproximado de US \$718,338.82, en donde se desarrollaran las actividades de adecuación y construcción del Relleno Sanitario y el segundo componente denominado "Costos de Operación y Mantenimiento" con un monto aproximado de US \$1,081,416.70, en donde se desarrollaran las actividades de puesta en marcha, operación, control, monitoreo y mantenimiento de todas las actividades que se desarrollan durante los nueve años que durará el proyecto.

9.2 Recomendaciones.

- Para que un relleno sanitario cumpla con sus objetivos como obra de saneamiento ambiental durante su vida útil, todas las actividades relativas a su operación y mantenimiento deben realizarse bajo un marco de alta disciplina y estricto apego a las normas de Ingeniería Sanitaria, ya que un descuido de pocos días pueden transformar al mejor de los rellenos en un botadero a cielo abierto, por lo tanto se considera indispensable desarrollar el plan de operaciones y el programa de manejo ambiental propuesto.
- Un requisito indispensable en la construcción, operación y funcionamiento de los Rellenos Sanitarios es sanitario es una constante supervisión y control de todas las áreas y actividades que se realizaran, así como en el frente de trabajo, es por ello que se hace necesario una persona que dirija y oriente las operaciones en calidad de supervisor, el cual podrá ser una persona profesional capacitada en el manejo de desechos sólidos, un tecnólogo en saneamiento o un promotor de saneamiento.
- Se recomienda incluir un programa de información pública que explique cuáles son los pro y los contra de la implantación del Relleno Sanitario, además se debe informar sobre los requisitos de los recursos para su financiación, tanto para los estudios y diseños, como para su construcción, operación y mantenimiento, pues el apoyo del público juega un papel definitivo para la promoción y divulgación de esta obra de saneamiento básico y es una de las metas que debe procurar cualquier administración local que esté interesada en su construcción, ya que, sin este apoyo, es muy probable que la misma no pueda llevarse a la práctica.

- Para la realización de las actividades del programa de reciclajes y la fabricación de las composteras, se recomienda disponer de un sitio adecuado, en el mismo lugar donde se construirá el relleno sanitario, para poder realizar adecuadamente la separación y el almacenaje de los desechos sólidos.
- El gas metano producido en el relleno sanitario por efecto de la descomposición anaerobia de los residuos sólidos, puede servir para la producción de energía, aunque es de tomar en cuenta que la recuperación y el aprovechamiento de este con propósitos comerciales, sólo se recomienda para rellenos sanitarios que reciban más de 200 ton/día y siempre que las condiciones locales así lo ameriten.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales
Autor: Jorge A. Jaramillo.
Adaptación y Edición: Francisco Zepeda.
Washington, D.C. Septiembre de 1991.
- Guía Técnica para la Clausura y Conversión de Botaderos de Residuos Sólidos.
CONAM / CEPIS / OPS.
Lima, Perú, 2004.
- Guía Práctica N°4 para la Construcción de Rellenos Sanitarios Manuales.
IPES Promoción del Desarrollo Sostenible / Programa de Gestión Urbana.
Coordinación para América Latina y El Caribe.
Quito, Ecuador, 2003.
- Reglamento Especial sobre el Manejo Integral de los Desechos Sólidos.
Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales,
San Salvador, El Salvador, 30 de mayo del 2000.
- Categorización de Actividades, Obras o Proyectos.
Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales,
San Salvador, El Salvador, 9 de mayo de 2007.

- Manual para Formulación, Evaluación y Ejecución de Proyectos.
Balbino Sebastián Cañas Martínez
Ediciones GRAFITEX.
El Salvador, 2da Edición, 1995.

- Programa DEMUCA.
Recolección y Disposición Final de la Basura: Un Servicio Publico Municipal.
Septiembre de 1995.

- Relleno Sanitario Manual, un Estudio de Factibilidad para el Municipio de San Francisco Gotera, Departamento de Morazán.
Bonilla Chicas, Hugo Leonel.
Tesis – UES.

- Estudio de Factibilidad y Propuesta de Diseño para la Construcción de un Relleno Sanitario No Mecánico en el Municipio de Tejutla, Departamento de Chalatenango.
Hernández Moz, Gabriela Eugenia.
Tesis – UES, abril de 2005.

ANEXOS