



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL ÁREA RURAL

Edwin Eduardo Molina Gonón

Asesorado por el Ing. Adolfo Estuardo Rodas García

Guatemala, marzo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS
SANITARIOS ARTESANALES EN EL ÁREA RURAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDWIN EDUARDO MOLINA GONÓN

ASESORADO POR EL ING. ADOLFO ESTUARDO RODAS GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL ÁREA RURAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha junio de 2011.

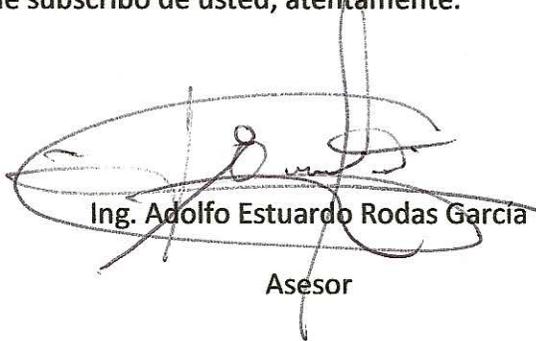

Edwin Eduardo Molina Gonón

Guatemala 30 de enero de 2012

Lic. Manuel María Guillen Salazar
Jefe del departamento de Planeamiento
Escuela de Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de tesis realizado por el estudiante **Edwin Eduardo Molina Gonón**, titulado **“MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL AREA RURAL”**, previo a optar el título de Ingeniero Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.



Ing. Adolfo Estuardo Rodas Garcia
Asesor

Adolfo Estuardo Rodas Garcia
INGENIERO CIVIL
Col 8711

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
26 de noviembre de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL AREA RURAL**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Edwin Eduardo Molina Gonón, quien contó con la asesoría del Ing. Adolfo Estuardo Rodas García.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758



/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Adolfo Estuardo Rodas García y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Edwin Eduardo Molina Gonón, titulado MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL AREA RURAL, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo de 2013.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 167 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL ÁREA RURAL**, presentado por el estudiante universitario: **Edwin Eduardo Molina Gonón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 5 de marzo de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Nuestro padre celestial por haberme dado fuerza, perseverancia y la oportunidad de haber alcanzado un logro más en esta vida.
Mis padres	Ramiro Molina y Marta Gonón de Molina. Por su gran amor, confianza, paciencia, comprensión y brindarme los recursos necesarios para poder culminar mi carrera.
Mis hermanos	Iris Lorena, María Nohemí, Ruth Yarseny y Ramiro Emmanuel Molina Gonón, por su infinito apoyo en el trayecto de mi carrera.
Mis hijos	Yarseny Nohemí, Lucía Alejandra y Eduardo Emmanuel Molina Barrios, por ser mi luz en momentos difíciles
La Facultad de Ingeniería	Por su gran fuente de conocimientos y sabiduría.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme dado la sabiduría necesaria y así aprovechar la oportunidad de graduarme.
Mis padres	Ramiro Molina y Marta Gonón de Molina.
Mis hermanos	Iris Lorena, María Nohemí, Ruth Yarseny y Ramiro Emmanuel Molina Gonón.
Mis hijos	Yarseny Nohemí, Lucía Alejandra y Eduardo Emmanuel Molina Barrios.
Mis sobrinos	Cynthia, Fernanda, Diego, María, Adriana, Manglio Aroch Molina.
Familia Rodas García	Por su amistad, apoyo y consejos en el trayecto de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. El problema de los residuos sólidos municipales	1
1.2. Características de los residuos sólidos	2
1.2.1. Producción de residuos sólidos	2
1.2.2. Producción per cápita de residuos sólidos	3
1.2.3. Producción de residuos e ingresos.	4
1.2.4. Composición de los residuos sólidos.....	4
1.3. Efectos de la inadecuada gestión de residuos sólidos	6
1.3.1. Riesgos para la salud.....	6
1.3.1.1. Riesgos directos	7
1.3.1.2. Riesgos indirectos	8
1.3.2. Efectos en el ambiente	12
1.3.2.1. Contaminación del agua	12
1.3.2.2. Contaminación del suelo	13
1.3.2.3. Contaminación del aire	14
1.3.3. Riesgos para el desarrollo social.....	14
1.3.4. Riesgos para el desarrollo urbano.....	16
1.3.5. Aprovechamiento	17

1.3.5.1.	El reúso o reutilización	18
1.3.5.2.	El reciclaje.....	18
1.3.5.3.	Uso energético y constructivo	19
1.3.5.4.	Tratamiento de los desechos orgánicos	19
1.3.5.4.1.	Compost	20
1.3.5.4.2.	Lombricultura.....	22
1.3.5.4.3.	Incineración	22
2.	EL RELLENO SANITARIO.....	25
2.1.	¿Qué es un botadero de basura a cielo abierto o basurero?	25
2.2.	¿Qué es un relleno sanitario?.....	26
2.2.1.	Tipos de relleno sanitario	27
2.2.1.1.	Relleno sanitario mecanizado	27
2.2.1.2.	Relleno sanitario semimecanizado	28
2.2.1.3.	Relleno sanitario manual.....	30
2.2.2.	Métodos de construcción de un relleno sanitario	30
2.2.2.1.	Método de trinchera o zanja.....	30
2.2.2.2.	Método de área	32
2.2.2.3.	Combinación de ambos métodos	34
2.2.3.	Ventajas y limitaciones de un relleno sanitario.....	34
2.2.4.	Uso futuro del relleno sanitario	36
2.3.	Reacciones que se generan en un relleno sanitario	36
2.3.1.	Cambios físicos, químicos y biológicos	37
2.3.2.	Generación de líquidos y gases.....	38
2.3.3.	Hundimientos y asentamientos diferenciales	40
2.4.	Principios básicos de un relleno sanitario	40
2.4.1.	Importancia de la cobertura	41

3.	RELLENO SANITARIO ARTESANAL	43
3.1.	¿Por qué un relleno sanitario artesanal?	43
3.2.	¿Se justifica que una pequeña población tenga un tractor de orugas para operar un relleno sanitario?	44
3.3.	Planificación	47
3.4.	Selección del sitio	49
3.4.1.	Participación de autoridades locales y de la población	49
3.4.2.	Aspectos técnicos	51
3.4.2.1.	Plan de Ordenamiento Territorial (POT) o plan regulador.....	51
3.4.2.2.	Localización	52
3.4.3.	Análisis preliminar	54
3.4.4.	Investigación de campo	54
3.4.4.1.	Vías de acceso.....	55
3.4.4.2.	Condiciones hidrogeológicas.....	56
3.4.4.3.	Vida útil del terreno	57
3.4.4.4.	Material de cobertura	59
3.4.4.5.	Conservación de los recursos naturales	59
3.4.4.6.	Condiciones climatológicas	59
3.4.4.7.	Propiedad del terreno.....	60
3.4.4.8.	Costo del terreno y de las obras de infraestructura	61
3.5.	Uso futuro del terreno	62
3.6.	Cronograma de actividades	63
3.7.	Proyecto básico	65
3.7.1.	Levantamiento topográfico	65
3.7.2.	Diseño del relleno sanitario	66

3.7.3.	Detalles del proyecto	66
4.	DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO ARTESANAL	71
4.1.	Información básica	71
4.1.1.	Aspectos demográficos	71
4.1.2.	Generación de residuos sólidos en las pequeñas poblaciones	72
4.1.3.	Características de los residuos sólidos en las pequeñas poblaciones.....	75
4.1.3.1.	Origen o procedencia	75
4.1.3.2.	Composición física y química.....	80
4.1.3.3.	Densidad	80
4.1.4.	Características del terreno.....	82
4.1.5.	Condiciones climatológicas	85
4.1.6.	Identificación de las normas vigentes	86
4.2.	Cálculo del volumen necesario para el relleno sanitario	87
4.2.1.	Volumen de residuos sólidos.....	88
4.2.2.	Volumen del material de cobertura	88
4.2.3.	Volumen del relleno sanitario	89
4.3.	Cálculo del área requerida	90
4.4.	Diseño de taludes	91
4.4.1.	Obras de tierra	91
4.4.2.	Definición de talud.....	92
4.4.3.	Diseño de taludes.....	93
4.4.3.1.	Taludes en corte.....	93
4.4.3.2.	Taludes en terraplén.....	94
4.5.	Selección del método de relleno.....	95
4.5.1.	Método de zanja o trinchera	99
4.5.2.	Maquinaria de área.....	104

4.6.	Cálculo de la capacidad volumétrica del sitio.....	105
4.6.1.	Volúmenes de gran longitud (alrededor de un eje).....	105
4.6.1.1.	Método 1, cálculo del volumen por la regla de Simpson	106
4.6.1.2.	Método 2, cálculo del volumen por la regla del prismoide	107
4.6.1.3.	Método 3, volumen a partir de las áreas extremas	108
4.6.2.	Volúmenes de gran extensión.....	109
4.6.2.1.	Método 1, de la retícula.....	109
4.6.2.2.	Método 2, a partir de las curvas de nivel	110
4.7.	Cálculo de la vida útil.....	113
4.8.	Diseño del canal interceptor de aguas de escorrentía	113
4.9.	Generación de lixiviado o percolado	116
4.9.1.	Cálculo de la generación de lixiviado o percolado	116
4.9.2.	Diseño del sistema de drenaje de lixiviado.....	119
4.9.2.1.	Volumen de lixiviado	119
4.10.	Monitoreo de la calidad del agua	121
4.10.1.	Localización de los pozos de monitoreo.....	121
4.10.2.	Parámetros mas representativos para el análisis de aguas y lixiviado	122
4.11.	Cálculo de la celda diaria.....	123
4.11.1.	Cantidad de residuos sólidos que se debe disponer.....	124
4.11.2.	Volumen de la celda diaria	126
4.11.3.	Dimensiones de la celda diaria.....	126

4.12.	Cálculo de la mano de obra	127
4.13.	Proyecto paisajístico	130
4.14.	Análisis de impactos socio ambientales	131
5.	ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIO ECONÓMICO AMBIENTAL.....	133
5.1.	Análisis de impacto socio económico	133
5.1.1.	Variación en las curvas de producción predial y regional.....	133
5.1.2.	Rentabilidad financiera y económica	134
5.1.3.	Impacto en indicadores regionales	134
5.2.	Análisis de impacto ambiental	135
	CONCLUSIONES	137
	RECOMENDACIONES	139
	BIBLIOGRAFÍA	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo vital de la mosca y su importancia en la transmisión de enfermedades	10
2.	Consecuencias de la descarga incontrolada de basura.....	13
3.	Procesamiento manual de la materia orgánica en pilas para la producción del compost	21
4.	Basurero	26
5.	Compactadores de residuos sólidos.....	28
6.	Tractor agrícola y botadero de basura a cielo abierto.....	29
7.	El relleno sanitario.....	31
8.	Método de área para construir un relleno sanitario.....	33
9.	Método de relleno de depresiones	33
10.	Combinación de métodos	34
11.	Vía principal	55
12.	Dirección predominante del viento	61
13.	Futuro de relleno sanitario.....	63
14.	Estudios de campo y diseño.....	67
15.	Preparación del terreno y construcción de las obras	68
16.	Operación y mantenimiento	70
17.	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).....	85
18.	Condiciones climatológicas e hidrológicas favorables	86
19.	Definición de taludes	92

20.	Taludes en corte	95
21.	Conformación del terreno original	96
22.	Configuración inicial del suelo de soporte	97
23.	Configuración final del relleno sanitario	98
24.	Localización y proceso de excavación de las zanjas en el tiempo y combinación con el método de área.....	100
25.	Distribución de zanjas en el terreno	101
26.	Volumen longitudinal alrededor de un eje	106
27.	Prismoides	107
28.	Volumen de un zanjón	109
29.	Planta y sección de un terreno.....	112
30.	Drenaje perimetral para desviar la aguas de lluvia y red para lixiviado.....	114
31.	Tipos de sección de canales de drenaje de aguas de escorrentía	116
32.	Detalle de la sección transversal del canal trapezoidal	115
33.	Localización y características de los pozos para el monitoreo de agua	122

TABLAS

I.	Actividades generadoras de residuos sólidos	3
II.	Índice de producción de residuos sólidos e ingresos	4
III.	Composición de los residuos sólidos	6
IV.	Enfermedades relacionadas con residuos sólidos transmitidas por vectores	9
V.	Ventajas y limitaciones de relleno sanitario.....	35
VI.	Características de poblaciones y su generación per cápita	45
VII.	Rendimientos para eficiencia con basura y tierra	45

VIII.	Criterios para el ejemplo de cálculo del área requerida para un relleno sanitario manual en una población pequeña	58
IX.	Población, generación de residuo sólido, área requerida y vida útil del relleno sanitario	58
X.	Cronograma de actividades proyecto de relleno sanitario manual.....	64
XI.	Volumen y área requerida para el relleno sanitario	76
XII.	Proyección de la producción y procedencia de los desechos sólidos municipales (t/año).....	78
XIII.	Densidad de diseño de la celda diaria y del relleno sanitario manual.....	81
XIV.	Taludes recomendados en corte.....	94
XV.	Parámetros para medir la calidad del agua y lixiviado.....	123
XVI.	Capacidad volumétrica del sitio para el relleno sanitario	125
XVII.	Guía de cálculo para estimar el número de trabajadores	128
XVIII.	Rendimientos reportados de otras experiencias	128
XIX.	Requerimientos probables de mano de obra	129
XX.	Aspectos socio ambientales asociados a un proyecto de relleno sanitario manual	131

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
cm	Centímetro
h	Hora
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
m	Metro
m³	Metro cúbico
U	Unidad
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aerobio	Relativo a la vida o a procesos que pueden ocurrir únicamente en presencia de oxígeno.
Ambiente	Conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.
Anaerobio	Relativo a la ausencia de oxígeno libre. Requerimiento de ausencia de aire o de oxígeno para la degradación de la materia orgánica.
Basura	Se entiende por basura todo residuo sólido o semisólido, con excepción de excretas de origen humano o animal, y que carece de valor para el que la genera o para su inmediato poseedor. Están comprendidos en la misma definición los desechos, cenizas, elementos de barrido de calles, residuos industriales, de hospitales y de mercados, entre otros.
Berma	Espacio entre el pie del talud y el declive exterior del terraplén.
Biodegradable	Dicho de la materia orgánica, cualidad de ser metabolizada por medios biológicos.

Biogás	Mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.), producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.
Celda	Conformación geométrica que se les da a los residuos sólidos y al material de cubierta debidamente compactado mediante equipo mecánico o por los trabajadores de un relleno sanitario.
Clausura de botadero de basura	Es la acción de dotar al botadero de basura, la infraestructura mínima para evitar futuros daños al entorno.
Compactación	Acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en el relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparán los residuos sólidos a fin de lograr una mayor estabilidad y vida útil.
Corte	Acción de rebajar por medios mecánicos o manuales un material; en este caso, el terreno donde se construirá el relleno sanitario.
Cota	Marca que indica la elevación de un banco de nivel del terreno.
Cubicación	Cuantificación del volumen de cualquier material o vacío tomando como unidad el metro cúbico.

Degradable	Dicho de determinadas sustancias o compuestos, cualidad de descomponerse gradualmente mediante medios físicos, químicos o biológicos.
Densidad	Masa o cantidad de materia de un determinado residuos sólidos, contenida en una unidad de volumen.
Diseño	Trazo o delineación de una obra o figura. Se aplica el término al proyecto básico de la obra.
Disposición final	Depósito definitivo de los residuos sólidos en un sitio en condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas.
Dren	Estructura que sirve para el saneamiento y la eliminación del exceso de humedad en los suelos.
Eutroficación	Disminución de concentración de oxígeno (O ₂), lo que provoca la muerte de organismos aerobios.
Impacto ambiental	Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.
Lixiviado	Líquido producido por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura y atraviesa las capas de basura transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes.

Lombricultura	Cultivo de lombrices del género eiseniafoétida, utilizado en la producción de alimento para animales y de humus, mejorador de suelos.
Migración de biogás	Movimiento de las partículas de biogás a través y fuera del relleno sanitario.
Monitoreo	Muestreo y una serie de mediciones para determinar los cambios de niveles o concentraciones de contaminantes en un período y sitio determinados.
Nivel freático	Profundidad a la que se encuentran las aguas freáticas. Este nivel baja en tiempo de estiaje y sube en etapa de lluvias.
Pendiente	Inclinación que tiene un terreno o cualquier elemento tomando como base la relación entre la longitud horizontal y la vertical.
Pozo de monitoreo	Perforación profunda que se hace en un relleno sanitario para medir la cantidad de biogás y la calidad de los lixiviados que ahí se generan.
Precipitación pluvial	Agua atmosférica que cae al suelo en estado líquido o sólido (lluvia, nieve o granizo).
Prevención	Conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro de un elemento.

Protección	Conjunto de políticas y medidas para prevenir y controlar el deterioro del ambiente así como para procurar su mejoramiento.
Reciclaje	Proceso mediante el cual ciertos materiales de la basura se separan, recogen, clasifican y almacenan a fin de reincorporarlos al ciclo productivo como materia prima.
Recuperación	Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desempaquetamiento, recolección o cualquier otra forma de selección de los residuos sólidos con el objeto de reciclarlos o volverlos a utilizar.
Reúso	Es el retorno de un bien o producto a la corriente económica para ser utilizado de la misma manera que antes, sin cambio alguno en su forma o naturaleza.
Subsidio	Diferencia entre lo que se paga por un bien o servicio y el costo de este cuando tal costo es mayor que el pago que se recibe.
Suscriptor	Persona natural o jurídica con la cual se ha celebrado un contrato para recibir un servicio público.
Talud	Inclinación de un dique, terraplén o desmonte.

Terraplén	Macizo de tierra con que se rellena un hueco o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante.
Tratamiento	Proceso de transformación físico, químico o biológico de los residuos sólidos con el fin de obtener beneficios sanitarios o económicos y de reducir o eliminar sus efectos nocivos en el hombre y el ambiente.
Usuario	Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, ya sea como propietario del inmueble en donde este se presta o como receptor directo de dicho servicio.
Vectores	Seres vivos que intervienen en la transmisión de enfermedades al llevarlas de un enfermo ó de un reservorio a una persona sana.
Vida útil	Período durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir basura de manera continua.

RESUMEN

La generación de residuos varía en función de factores culturales, y se asocian a los niveles de ingreso, hábitos en el consumo, desarrollo y estándares de vida de las poblaciones principalmente rurales.

Es cada vez más el impacto negativo de la mala disposición de los residuos sólidos en el medio ambiente y por ende repercute en la salud de las poblaciones afectadas. Estas tienen que hacer conciencia hacia las problemáticas que se presenta en sus respectivas localidades; como la ubicación de lugares apropiados para el depósito de desechos sólidos. Han demandado a lo largo de los años una solución hacia esta situación a las instituciones gubernamentales las cuales han empezado a tomar acciones, para atenuar los efectos negativos de los malos manejos de dichos residuos, orientando la dinámica sobre la implementación de rellenos sanitarios.

El problema de la disposición final de residuos adopta características particulares en localidades pequeñas y en zonas rurales, debido a varios factores: la falta de recursos, por el subsidio casi generalizado del servicio de limpieza; la ausencia de información sobre las consecuencias negativas de los botaderos; el desconocimiento de soluciones conjuntas, que reducen los costos de implementación y operación de los rellenos sanitarios artesanales gracias a la aplicación de economías de escala; la falta de conocimiento de la tecnología apropiada para disponer los residuos sin que ello signifique incurrir en costos mayores de inversión y operación; en general, la ausencia de conocimiento acerca de cómo enfrentar el problema de la disposición final inadecuada de residuos.

OBJETIVOS

General

Elaborar un manual de procedimientos con lineamientos y técnicas adecuadas para el diseño de rellenos sanitarios artesanales y fomentar el cuidado del medio ambiente en estas comunidades de la República de Guatemala.

Específicos

1. Proporcionar a los estudiantes, ingenieros, organizaciones gubernamentales y poblaciones de escasos recursos, un manual que contenga la metodología que pueda usarse para el buen manejo de desechos sólidos.
2. Elaborar un manual que contenga lineamientos para el buen manejo de dichos residuos, el cual brinde a su vez un beneficio hacia las comunidades.
3. Mejorar el nivel de vida de las comunidades rurales del país ya que dicho manual les brinda los conocimientos necesarios para poder solventar en parte el problema de los residuos sólidos y su correcta disposición.

INTRODUCCIÓN

Los desechos sólidos producidos por las comunidades, su mal manejo, la aparición de botaderos clandestinos, la contaminación de las fuentes de agua y las enfermedades que estos generan, son la razón para la elaboración del tema propuesto del Manual de procedimientos para el diseño de rellenos sanitarios artesanales en el área rural.

La República de Guatemala es uno de los pocos países en donde, no se le da el uso adecuado a dichos residuos y esto repercute de forma negativa para el medio ambiente del país; unas de las actividades económicas que se ven afectadas por el mal manejo de dichos residuos son la ganadería y la agricultura; ya que contaminan los lugares donde estas actividades se realizan y afectan los productos que se derivan de esta. Por eso es necesario la recopilación de lineamientos para el manejo de estos.

El capítulo uno, incluye aspectos teóricos sobre residuos sólidos municipales, como características, lugares de proveniencia, efectos, tipos de riesgos a causa de estos, y tratamiento de los mismos. En el capítulo dos se presentan conceptos sobre rellenos sanitarios, como definición, tipos, métodos de construcción, ventajas y limitaciones de rellenos sanitarios.

En el tercer capítulo, se describen los aspectos relevantes para comprender mejor el diseño de los rellenos sanitarios artesanales en el área rural, en el cuarto capítulo, se dan a conocer los lineamientos de diseño de dichos métodos de construcción, las actividades y las diferentes estructuras, equipo y maquinaria necesaria para este tipo de proyecto.

El capítulo cuatro, incluye información básica sobre el diseño de rellenos sanitarios artesanales, así como aspectos demográficos, cálculo de volúmenes necesarios para rellenos sanitarios y selección del método de relleno. Y en el capítulo cinco se presentan análisis de impacto socio económico ambiental

Por último se incluyen las conclusiones y recomendaciones a que se llegó; se hace mención también de la bibliografía que sirvió de base y sustento para la elaboración del trabajo de graduación.

1. GENERALIDADES

1.1. El problema de los residuos sólidos municipales

La manipulación de los desechos, especialmente lo relacionado con la disposición final, es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en el área urbana y rural de Guatemala y es un deber del Estado y de las municipalidades, así como de las propias comunidades, pues están obligados en su conjunto a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, lo cual está estipulado en el artículo 97 de nuestra carta magna.

La falta de limpieza se refleja en las áreas públicas urbanas y rurales, en el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cauces de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto siendo más frecuente en el área rural y la presencia de personas, de ambos sexos y de todas las edades, en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a enfermedades y accidentes.

El problema de los residuos sólidos está presente en la mayoría de las zonas urbanas y rurales por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado crecimiento de la población y su concentración en áreas distintas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, la falta de educación ambiental de las comunidades, el uso generalizado de envases, empaques y materiales desechables, que aumentan considerablemente la cantidad de

residuos. Este panorama se agudiza debido a la crisis económica y a la falta de difusión institucional en la educación ambiental por los medios a su alcance (prensa, radio, televisión) para minimizar o erradicar el mal.

El crecimiento de las comunidades está acompañado siempre de una mayor producción de residuos que, afectan la salud de la comunidad y degradan su entorno. En tal sentido, se hace manifiesta la necesidad de buscar soluciones adecuadas para su manejo y disposición final.

Ante esta situación, es imprescindible que las áreas rurales de los distintos municipios afronten racionalmente la gestión de los residuos sólidos, su adecuado tratamiento y disposición jugando un papel importante los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) y los Consejos Municipales de Desarrollo (COMUDES).

1.2. Características de los residuos sólidos

El conocimiento de la composición de los residuos, tiene gran importancia para tomar decisiones, en la elección del sistema de tratamiento. Las características pueden ser: sea urbana, rural o que tenga principalmente áreas residenciales, sea turística o industrial, etcétera.

1.2.1. Producción de residuos sólidos

Estos los generan en todas aquellas actividades en las que los materiales son considerados por su propietario como desechos sin ningún valor adicional y pueden ser desechados, abandonados o recogidos para su tratamiento o disposición final. La tabla I, ilustra este punto.

Tabla I. Actividades generadoras de residuos sólidos

Residencial y domiciliar	Desperdicios de cocina, papeles, cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles, residuos de jardín, etc.	50 a 75
Comercial almacenes, oficinas, mercados, hoteles, otros	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales y peligrosos	10 a 20
Intitucional oficinas públicas, escuelas, colegios, universidades, servicios públicos, otros	Semejante a el comercial	5 a 15
Industria (pequeña industria y artesanía)	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc.	5 a 30
Barrido de vías y áreas públicas	Residuos que arrojan las personas hojas, tierra, excrementos, etc	10 a 20

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad1.html. Consulta: 4 de diciembre de 2011.

1.2.2. Producción per cápita de residuos sólidos

La producción de estos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por vivienda por cuadra, por tonelada de cosecha o por número de animales, cada uno de estos por día.

La producción de residuos sólidos domiciliarios en la región en donde se localiza el AMG y específicamente la ciudad capital de Guatemala varía de 0,3 a 1,0 kilogramos/habitante/día; si a esto se le agrega lo producido por el comercio, la industria, residuos en vías públicas y otros, esta se incrementa entre 25 y 50 por ciento, es decir, que la producción diaria es de 0,4 a 1,4 kilogramo/habitante/día aproximadamente. En los países industrializados, se tienen indicadores de producción por habitante mayores a un kilogramo por día, como se puede ver en la tabla II.

1.2.3. Producción de residuos e ingresos

A pesar de que en países subdesarrollados como Guatemala, los índices de producción de residuos son más bajos que en los países industrializados, éstos índices no son proporcionalmente más bajos en relación con los ingresos. Sin embargo, el nivel de ingresos sí es considerablemente menor que el de los países industrializados, como se deduce la tabla II.

Tabla II. Índice de producción de residuos sólidos e ingresos

	Países		
	Bajos ingresos	Medianos Ingresos	Industrializados
Producción per cápita Kg/hab/día	0,3 a 0,6	0,5 a 1,0	0,7 a 2,2
t/hab/año	0,2	0,3	0,6
Ingresos promedio (US\$ de 1988) US\$/hab/año	350	1,950	17,500

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad1.html. Consulta: 10 de diciembre de 2011.

Interpretación: como puede observarse en la tabla II, la producción de residuos, sólidos es proporcional al ingreso promedio de los países industrializados, con la justificación que estos países si tienen políticas y estrategias adecuadas y procesos tecnológicos actualizados en materia de disposición final de desechos.

1.2.4. Composición de los residuos sólidos

Se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Son aquellos subproductos originados en las actividades que se realizan en la vivienda, la oficina, el

comercio y la industria (lo que comúnmente se conoce como basura) y están compuestos de residuos orgánicos, tales como sobras de comida, hojas y restos de jardín, papel, cartón, madera y, en general, materiales biodegradables; e inorgánicos, a saber, vidrio, plástico, metales, objetos de caucho, material inerte y otros.

En términos generales, los resultados de estudios latinoamericanos sobre composición de los residuos sólidos coinciden en destacar un alto porcentaje de materia orgánica putrescible (entre 50 y 80 por ciento), contenidos moderados de papel y cartón (entre 8 y 18 por ciento), plástico y caucho (entre 3 y 14 por ciento) y vidrio y cerámica (entre 3 y 8 por ciento). La tabla III muestra la composición de los residuos sólidos como otro de los factores importantes que deben ser tenidos en cuenta en la gestión, especialmente para decidir las posibilidades de recuperación, sistemas de tratamiento y disposición.

También se puede apreciar que la calidad de los residuos sólidos de los países en vías de desarrollo son más pobres comparadas con la de los industrializados, lo que es importante cuando se desea fomentar programas de tratamiento y reciclaje.

En el caso de Guatemala, los residuos sólidos tienen mayor contenido de materia orgánica, una humedad que varía de 35 a 55 por ciento y un mayor peso específico, que alcanza valores de 125 a 250 kilogramos por metro cúbico, cuando se miden sueltos.

Tabla III. **Composición de los residuos sólidos**

Composición (porcentaje en libras peso húmedo)	Países		
	Bajos Ingresos	Medianos Ingresos	Industrializados
Vegetales y materiales putrescibles	40 a 85	20 a 65	20 a 65
Papel y cartón	1 a 10	15 a 40	15 a 40
Plásticos	1 a 5	2 a 6	2 a 10
Metales	1 a 5	1 a 5	3 a 13
Vidrio	1 a 10	1 a 10	4 a 10
Caucho y cuero	1 a 5	1 a 5	2 a 10
Material inerte (cenizas, tierra, arena)	1 a 40	1 a 30	1 a 20
Contenido de humedad %	40 a 80	40 a 60	20 a 30
Densidad Kg/m ³	250 a 500	170 a 330	100 a 170
Poder calorífico inferior			
Kcal/kg	800 a 1,100	1,100 a 1,300	1,500 a 2,700

Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad1.html. Consulta: 10 de diciembre de 2011.

1.3. Efectos de la inadecuada gestión de residuos sólidos

Son los ocasionados por el contacto directo con la basura, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria.

1.3.1. Riesgos para la salud

El impacto sobre la salud pública que ocasionan los vertederos es cada vez más grave, pues el volumen de los residuos continúa creciendo sin que se tomen medidas para reducir su generación.

- Vectores sanitarios
- Contaminación del agua

- Contaminación atmosférica
- Contaminación del suelo (aguas de represas)
- Problemas paisajísticos
- Salud mental

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada; sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas, al lado de otros factores, principalmente por vías indirectas. Para comprender con mayor claridad sus efectos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos que provocan.

1.3.1.1. Riesgos directos

Son los ocasionados por el contacto directo con la basura, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de basura.

El servicio de recolección de basura es considerado uno de los trabajos más arduos: se realiza en movimiento, levantando objetos pesados y, a veces, por la noche o en las primeras horas de la mañana; condiciones estas que lo vuelven de alto riesgo y hacen que la morbilidad pueda llegar a ser alta. Las condiciones anteriores se tornan críticas si las jornadas son largas y si, además, no se aplican medidas preventivas o no se usan artículos de protección.

Asimismo, los vehículos de recolección no siempre ofrecen las mejores condiciones, en muchos casos, los operarios deben realizar sus actividades en presencia continua de gases y partículas emanadas por los propios equipos, lo que produce irritación en los ojos y afecciones respiratorias; por otra parte, estas personas están expuestas a mayores riesgos de accidentes de tránsito, magulladuras, etc. En peor situación se encuentran los segregadores de basura, cuya actividad de separación y selección de materiales se realiza en condiciones inhumanas y sin la más mínima protección ni seguridad social.

En general, por su bajo nivel socioeconómico, carecen de los servicios básicos de agua, alcantarillado y electricidad y se encuentran sometidos a malas condiciones alimentarias, lo que se refleja en un estado de desnutrición crónica.

Los segregadores de basura suelen tener más problemas gastrointestinales de origen parasitario, bacteriano o viral que el resto de la población. Además, sufren un mayor número de lesiones que los trabajadores de la industria; estas lesiones se presentan en las manos, pies y espalda, y pueden consistir en cortes, heridas, golpes, y hernias, además de enfermedades de la piel, dientes y ojos e infecciones respiratorias, etc. Frecuentemente, estos problemas son causantes de incapacidad. Los mismos segregadores de basura se transforman en vectores sanitarios y potenciales generadores de problemas de salud entre las personas con las cuales conviven y están en contacto.

1.3.1.2. Riesgos indirectos

El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la

población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad. Ejemplos de este tipo de vectores se presentan en la tabla IV.

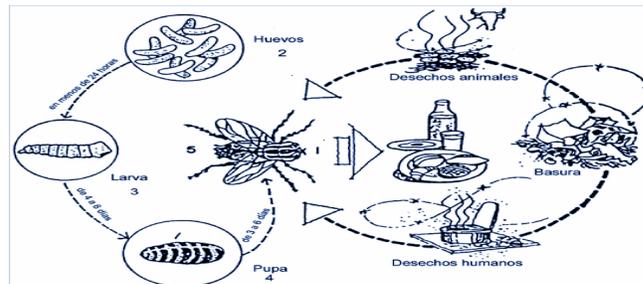
Tabla IV. Enfermedades relacionadas con residuos sólidos transmitidas por vectores

Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	Mordisco, orina, heces, pulgas	Peste bubónica, tifus murino, leptospirosis
Moscas	Vía mecánica (alas, patas y cuerpo)	Fiebre tifoidea, Salmonellosis, cólera, amibiasis, Disentería, Giardiasis
Cerdos	Ingestión de carne contaminada	Cisticercosis, toxoplasmosis, triquinosis, teniasis
Aves	Heces	Toxoplasmosis

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad1.html. Consulta: 10 de diciembre de 2011.

- Las moscas: su ciclo de reproducción depende de la temperatura ambiental. Pueden llegar a su estado adulto en un lapso de entre 8 y 20 días y su radio de acción puede ser de 10 kilómetros en 24 horas. Su medio de reproducción está en los excrementos húmedos de humanos y animales (criaderos, letrinas mal construidas, fecalismo al aire libre, lodos de tratamiento, basuras, etc.) (figura 1). Se estima que un kilogramo de materia orgánica permite la reproducción de 70 000 moscas. Las condiciones de insalubridad resultantes del manejo inadecuado de los residuos sólidos siguen en importancia a aquellas causadas por las excretas humanas y amenazan peligrosamente la salud pública.

Figura 1. **Ciclo vital de la mosca y su importancia en la transmisión de enfermedades**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad1.html. Consulta: 10 de diciembre de 2011.

La basura es la fuente principal de reproducción de la mosca doméstica, que transmite enfermedades y causa la muerte de millones de personas en todo el mundo. Por tanto, el elemento clave para el control de la mosca doméstica es un buen almacenamiento, seguido de la recolección y disposición sanitaria final de la basura en rellenos sanitarios.

- Las cucarachas: existen desde hace 350 millones de años y, dada su extraordinaria resistencia a la mayoría de los insecticidas y capacidad de adaptación a cualquier medio, sería el único ser apto para sobrevivir a una guerra nuclear. Viven alrededor de los recipientes de basura, en los mostradores de cocina, cerca de la mesa del comedor y en los baños. Se alimentan de desperdicios y caminan durante la noche sobre la comida, animales dormidos o los seres humanos, contaminándolos con sus vómitos y excrementos. Transmiten más de 70 enfermedades y cerca de 8 por ciento de la población humana es alérgica a ellas y desarrolla graves dolencias respiratorias si se exponen a lugares frecuentados por estos bichos. A pesar de tratarse de uno de los insectos más antiguos y

desagradables, los problemas de salud e higiene asociados a esta plaga persisten y nos afectan cada día más.

La presencia de agentes biológicos en los residuos sólidos puede ser importante en la transmisión directa e indirecta de enfermedades. La presencia de microorganismos patógenos se da también a través del papel higiénico, gasa, esparadrapo, pañales descartables o ropa interior, contenidos en la basura de pequeñas clínicas, farmacias y laboratorios y, en la mayoría de los casos, en los residuos hospitalarios mezclados con domiciliarios.

- Las ratas: a través de los siglos han acompañado al hombre en la tierra y siempre han sido consideradas como una de las peores plagas. Además de transmitir graves enfermedades como la leptospirosis, salmonelosis, peste y parasitismo, también atacan y muerden a los seres humanos, causan importantes daños en la infraestructura eléctrica y telefónica de las ciudades, ya que pelan y se comen los cables de las respectivas redes, lo que ocasiona incendios. También contribuyen al deterioro y a la contaminación de buena parte de los alimentos. Se reproducen de seis a doce crías por camada, una pareja llega a tener hasta 10,000 descendientes por año.

Se puede afirmar que otro factor que pone en riesgo la salud pública y que, por tanto, obliga a disponer correctamente los residuos sólidos es la alimentación de animales (vacas, cerdos, cabras, aves) sin vigilancia sanitaria. Esta práctica no es recomendable, ya que se corre el riesgo de propagar diversos tipos de enfermedades, pues no se debe olvidar que estos residuos suelen estar mezclados con desechos infecciosos provenientes de hospitales y centros de salud o de otros lugares contaminados donde la basura se descarga sin ninguna separación previa ni tratamiento.

Otros riesgos que pueden presentarse por la mala disposición de residuos en las orillas de las carreteras y aeropuertos, son los accidentes provocados por la disminución de la visibilidad a causa de humo producidos por quema de basura o por colisiones con las aves asociadas a estos sitios.

1.3.2. Efectos en el ambiente

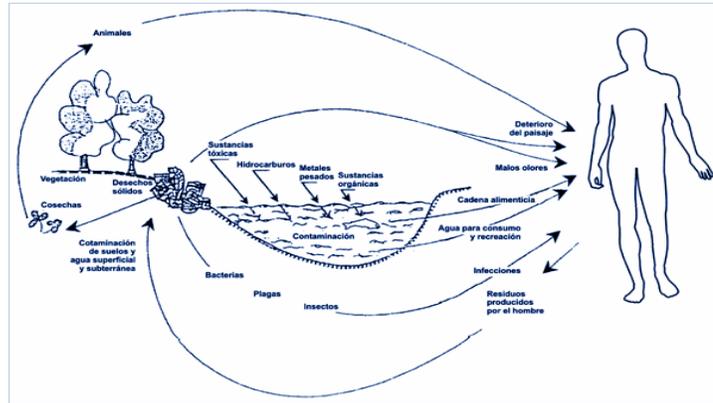
El efecto ambiental más significativo lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural, ocasionada por la basura arrojada sin ningún control.

1.3.2.1. Contaminación del agua

Otro efecto ambiental serio pero menos reconocido lo constituyen las fluentes de agua, superficiales y subterráneas, por el vertimiento de basura a ríos, arroyos, lagos, lagunas y nacimientos así como por el líquido percolado (lixiviado), producto de la descomposición de los residuos sólidos en los botaderos a cielo abierto.

La descarga de residuos sólidos a las corrientes de agua incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutroficación, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora la belleza natural de este recurso. Por tal motivo, en muchas regiones las corrientes de agua han dejado de ser fuente de abastecimiento para el consumo humano o de recreación de sus habitantes (figura 2).

Figura 2. **Consecuencias de la descarga incontrolada de basura**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad1.html. Consulta: 10 de diciembre de 2011.

La descarga de la basura en arroyos y canales o su abandono en las vías públicas, también trae consigo la disminución de los cauces y la obstrucción tanto de estos como de las redes de alcantarillado. En los períodos de lluvias, provoca inundaciones que pueden ocasionar la pérdida de cultivos, de bienes materiales y, lo que es más grave aún, de vidas humanas.

1.3.2.2. **Contaminación del suelo**

Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización de los terrenos donde se localizan los botaderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de basura. Su envenenamiento es otro de los perjuicios de dichos botaderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental.

1.3.2.3. Contaminación del aire

Los residuos sólidos abandonados en los botaderos a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de y humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los períodos secos, ya que puede transportar a otros lugares, microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes.

1.3.3. Riesgos para el desarrollo social

Las difíciles condiciones económicas, las migraciones rurales, en suma, la pobreza, han convertido los recursos contenidos en la basura en el medio de subsistencia de muchas personas y familias. Esta realidad continuará mientras no existan formas dignas de ganarse la vida.

Existen riesgos sanitarios cuando se manejan residuos domésticos mezclados con residuos peligrosos, lo que ocurre en la mayoría de regiones del país, pues no hay recolección selectiva de residuos peligrosos, salvo en pocas ciudades donde los desechos de origen hospitalario se recogen de forma separada.

Para estas personas, dedicadas a labores de segregación, la violencia con arma blanca y arma de fuego y los accidentes de tránsito, por ser los más comunes, constituyen un problema de salud importante no solo por su frecuencia sino por la gravedad que revisten y las secuelas que dejan, implican un costo social y económico importante para el segregador y su familia y para

el Estado, el cual cubre de una u otra forma la mayor parte de los gastos de atención.

El estado de salud de la familia del segregador, no difiere del sector popular ya que esta tiene riesgo elevado debido a que los focos de contaminación e infección se encuentran muchas veces más cerca de ella , donde predominan las infecciones respiratorias y la diarrea aguda, que son las principales causas de morbilidad en los niños; en las mujeres, son graves las enfermedades de transmisión sexual y las relacionadas con el embarazo, parto y puerperio (cuarentena); en adultos, se destacan las enfermedades cardiovasculares.

El grupo de población que se dedica a la recuperación de elementos en los sitios de disposición final, demanda una mayor atención y esfuerzo del Estado para el mejoramiento de sus condiciones de vida, porque, además de los riesgos sanitarios directos a los cuales está expuesto, puede incidir en las condiciones de salud de la población que se encuentra a su alrededor. En los sectores de altos ingresos, el manejo de los residuos domiciliarios no pasa de respetar los horarios de la empresa de aseo y de exigir la limpieza de las zonas aledañas a la vivienda.

Las actitudes humanas, familiares, profesionales, institucionales y las relaciones entre los diferentes actores del sector están profundamente marcadas por la cultura, los valores y las percepciones existentes entre los distintos componentes de las sociedades urbanas y semi rurales de la región. De esta manera, cualquier propuesta de orden técnico u operativo deberá incluir la dimensión social y cultural del contexto ambiental en el cual se pretenda aplicar.

1.3.4. Riesgos para el desarrollo urbano

Las autoridades se quejan habitualmente de la falta de disciplina social y cívica de la población y, por su parte, esta se queja de la incapacidad de las instituciones públicas para cumplir su papel. El primer reclamo de los sectores populares se refiere a la cobertura. Los indicadores de cobertura son engañosos porque representan el número de usuarios que contribuye con una tarifa y no se refieren a la calidad del servicio. De esta manera, muchos pagan pero no reciben el servicio, y otros sencillamente ni lo pagan ni lo reciben por encontrarse su vecindario en una situación de ilegalidad en relación con las tierras o los servicios públicos.

La inadecuada disposición de residuos sólidos también es fuente de deterioro de los ecosistemas urbanos de borde, como tierras agrícolas, zonas de recreación, sitios turísticos y arqueológicos, entre otros. Ello, a su vez, afecta a la flora y fauna de la zona. Esta situación debe apreciarse como parte de la carencia de políticas urbanas, reflejadas en el evidente agravamiento de las condiciones habitacionales durante los últimos años.

Es común que los botaderos a cielo abierto se sitúen en áreas rurales donde vive la población económicamente más pobre de Guatemala, lo que aumenta el grado de deterioro de las condiciones y en consecuencia, devalúa las propiedades, lo que constituye un obstáculo para el desarrollo urbano de la ciudad. En estos lugares se instalan segregadores e intermediarios dedicados a la compra y venta de materiales obtenidos en los basurales, quienes en forma precaria construyen sus improvisadas viviendas y expanden así el cinturón de miseria.

Uno de los criterios técnicos de selección del sitio para instalar rellenos sanitarios es ubicarlos en lugares que tengan poco valor para el sector productivo o la urbanización y que reúnan condiciones para recibir residuos sin generar impactos ambientales considerables.

Los terrenos suelen tener costo reducido y pueden ser adquiridos por personas de bajos recursos. En este sentido, se encuentra ante un círculo vicioso, dado que aun cuando el relleno sanitario se construya primero, no tardarán en aparecer en los alrededores las viviendas de las personas más pobres. Es más, algunas veces las mismas autoridades locales expiden licencias de construcción de viviendas sin respetar los retiros recomendados, provocando conflictos entre vecinos.

1.3.5. Aprovechamiento

El abastecimiento de materias primas no es ilimitado y la recuperación de lo que se considera como residuo constituye un elemento esencial para la conservación de los recursos naturales; por lo tanto, su reuso, reciclaje y empleo constructivo se constituyen en una actividad importante en la gestión integral de los residuos sólidos, cuyo objetivo último es la disminución de su volumen y, especialmente, su aprovechamiento económico.

Algunas de las ventajas que le podría reportar al municipio la recuperación de estos materiales en el origen son:

- Generar empleo organizado por medio de grupos cooperativos.
- Reducir el volumen de residuos sólidos.
- Disminuir las necesidades de equipo recolectos.

- Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios y, por lo tanto, disminuir la demanda de terrenos, que son cada día más escasos y costosos.
- Disminuir los costos por la prestación del servicio de aseo urbano.
- Conservar los recursos naturales y proteger el ambiente.

1.3.5.1. El reúso o reutilización

Un primer nivel de recuperación es el reúso, es decir, la utilización directa de un producto o material sin cambiar su forma o función básica. Un ejemplo es el reúso de envases como botellas, frascos de plástico y metal o cajas de cartón y madera. La re fabricación supone el desmonte de productos similares para su limpieza, inspección, remplazo, restauración, ensamble, prueba y distribución subsiguientes. Los productos remanufacturados típicos son: motores o transmisiones de automóviles, compresores de refrigeración o de aire acondicionado, estufas, lavavajillas, etc. Los productos desechados también pueden ser utilizados en su forma básica pero para una nueva función, como los viejos neumáticos que sirven como rompeolas o escolleras artificiales.

1.3.5.2. El reciclaje

El reciclaje es un proceso mediante el cual los residuos se incorporan al proceso industrial como materia prima para su transformación en un nuevo producto de composición semejante (vidrios rotos, papel y cartón, metales y plásticos, etc.). El reciclaje supone cambiar tanto la forma como la función del producto original. Por ejemplo, las llantas usadas se cortan para hacer suelas de zapatos; los textiles se transforman en trapos para desempolvar, en rellenos de almohadas o en retazos para cobijas y alfombras. Las ventajas ambientales que ofrece el reciclaje son indiscutibles.

Para su ejecución siempre debe tenerse en cuenta la poca calidad de los residuos de nuestra región y que los beneficios económicos que permiten realizarlo de manera sostenible están sujetos a la demanda del mercado. La tendencia mundial es incrementar al máximo el reciclaje de la basura. Se debe garantizar la existencia de un mercado consumidor para los materiales, pues ningún sistema de recuperación de residuos tendrá éxito sin una venta asegurada de sus productos.

1.3.5.3. Uso energético y constructivo

Un tercer nivel de recuperación transforma el desecho en un material o una forma de energía diferente. Puede que el nuevo material sea un elemento recuperado o una sustancia relativamente homogénea utilizables como fuentes de energía (por ejemplo, gas combustible o biogás, producido por la digestión anaerobia de los residuos orgánicos y la recuperación de calor proveniente de la incineración de la basura). Asimismo, se trata del uso constructivo y de la transformación de residuos sólidos en diferentes productos (recuperación de terrenos mediante la construcción de rellenos sanitarios, muros de contención con llantas usadas de automotores y conversión de desechos orgánicos en compost).

1.3.5.4. Tratamiento de los desechos orgánicos

El tratamiento en el manejo integral de los residuos sólidos tiene como objetivo principal disminuir los riesgos para la salud y su potencial contaminante. Por ello se deberá optar por la solución más adecuada a las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales locales. Los principales métodos de tratamiento son el compostaje, la lombricultura y la incineración, este último de gran impacto en la reducción de volumen.

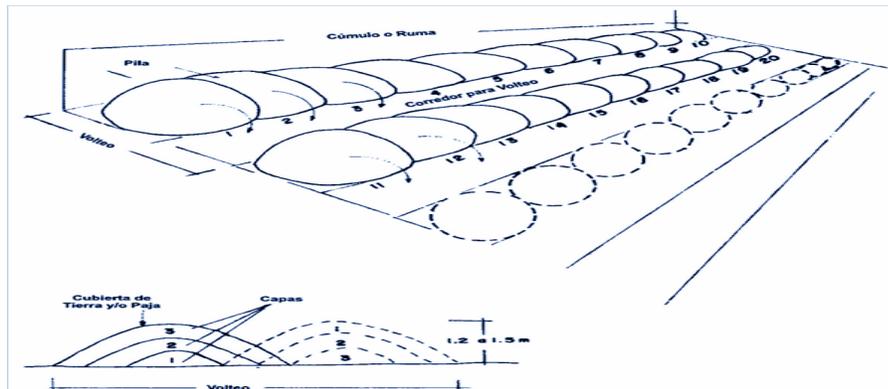
Los métodos anteriores dejan residuos que son necesarios disponer en un relleno sanitario, de ahí que no sean considerados como soluciones finales ni definitivas.

1.3.5.4.1. Compost

El compostaje es un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción bacteriológica de microorganismos contenidos en los mismos residuos orgánicos, de lo que resulta un producto denominado compost. El compost es un material similar al humus (tierrafertil); mejora los suelos pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial; este valor suele ser menor que el costo de producción, por lo que este sistema debe ser subsidiado por el municipio.

El método de compostaje puede ser beneficioso para los países en desarrollo tal cual es el caso de Guatemala, ya que mediante este proceso es posible recuperar el gran porcentaje de materia orgánica que contienen los residuos sólidos y, dado que exige la separación del resto de residuos sólidos, se convierte en una buena oportunidad para iniciar el reciclaje de otros materiales. Pero antes de decidir la construcción de una planta de compostaje, se debe estudiar cuidadosamente si el producto cuenta con un mercado potencial, ya que muchas plantas en el mundo han fracasado por no poder comercializar el producto.

Figura 3. **Procesamiento manual de la materia orgánica en pilas para la producción de compost**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad2.html. Consulta: 4 de febrero de 2012.

El compostaje en el medio ha tenido poco éxito porque:

- Requiere la separación previa de los residuos sólidos, lo que aumenta los costos. A no ser que se recolecten selectivamente aquellos con alto contenido de materia orgánica, como, por ejemplo, residuos de restaurantes, mercados, etc.
- El tratamiento de grandes cantidades adicionales es poco flexible.
- El mercado del compost es inestable.
- La inversión de capital es elevada.
- Los costos de operación y mantenimiento de la planta de compostaje son altos.

- Requiere técnicos calificados para manejar la planta.
- Los costos de transporte hacia las zonas rurales son altos.

En el caso de poblaciones pequeñas, es recomendable apilar manualmente los residuos sólidos que provienen de los mercados, pues su composición es en gran medida orgánica, aunque debe tenerse cuidado con los costos de distribución, ya que pueden incrementar el costo total de producción.

1.3.5.4.2. Lombricultura

El cultivo de una lombriz especial llamada Eiseniafoétida con ciertos residuos orgánicos como sustrato o alimento (estiércol de ganado y residuos de cosechas), permite la conversión de este recurso en humus (mejorador de suelos) y proteína (como alimento de animales e incluso para el consumo humano), soluciona en parte el problema de la disposición de residuos sólidos y puede producir beneficios económicos. Es necesario tener cuidado especial con estas prácticas, pues solo deben ser consideradas como alternativas complementarias en la gestión integral de los residuos sólidos y de ninguna manera como la solución al problema.

1.3.5.4.3. Incineración

La incineración de los residuos sólidos permite la reducción de su volumen al dejar un material inerte (escorias y cenizas) cercano a 10 por ciento del inicial. Tal reducción es obtenida con hornos especiales en los que se puede garantizar suficiente aire de combustión, turbulencia, tiempos de retención y temperaturas adecuadas. Una combustión incompleta, como es el caso de las quemadas a cielo abierto, generará humo, cenizas y olores indeseables.

Para su uso se deben considerar los siguientes aspectos:

- Se requiere un elevado capital inicial.
- Implica altos costos operativos, la mayoría de las veces fuera del alcance de nuestras poblaciones.
- Se necesita técnicos bien calificados, que son escasos en nuestro medio.
- Su operación y mantenimiento son complejos y presentan muchos problemas.
- No es flexible cuando se requiere incinerar grandes cantidades adicionales.
- Se requiere combustible auxiliar a causa del alto contenido de humedad, lo que se traduce en un bajo poder calorífico para los residuos sólidos de la región; esto aumenta considerablemente los costos de tratamiento.
- Se requieren equipos de control para evitar la contaminación del aire, ya que ningún incinerador deja de emitir contaminantes.

En consecuencia, la incineración como sistema de tratamiento de los residuos sólidos está descartada para las pequeñas poblaciones e incluso para muchas de las ciudades de América Latina, por lo que solo es recomendada si se quiere desnaturalizar los residuos hospitalarios u otros que resulten peligrosos.

2. EL RELLENO SANITARIO

2.1. ¿Qué es un botadero de basura a cielo abierto o basurero?

Es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de deshacerse de los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. Se le llama botadero al sitio donde los residuos sólidos se abandonan sin separación ni tratamiento alguno. Este lugar suele funcionar sin criterios técnicos en una zona de recarga situada junto a un cuerpo de agua, un drenaje natural, etc.

No existe ningún tipo de control sanitario ni se impide la contaminación del ambiente, el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos. Los botaderos de basura a cielo abierto son cuna y hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades. En ellos se observa la presencia de perros, vacas, cerdos y otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de comunidades aledañas a estos, especialmente para las familias de los segregadores que sobreviven en condiciones infrahumanas.

La segregación de subproductos de la basura promueve la proliferación de negocios relacionados con la reventa de materiales y el comercio ilegal. Ello ocasiona la depreciación de las áreas y construcciones colindantes; asimismo, genera suciedad, incremento de contaminantes atmosféricos y falta de seguridad por el tipo de personas que concurren a estos sitios. En la actualidad, el hecho de que los municipios abandonen sus basuras en botaderos a cielo

abierto es considerado una práctica irresponsable para con las generaciones presentes y futuras, así como opuesta al desarrollo sostenible.

Figura 4. **Basurero**



Fuente:http://www.taringa.net/posts/ecologia/14664834/Proyecto-del-Nuevo-basural-y-reciclaje-en-Mar-del-Plata_.html. Consulta: 18 de diciembre de 2011.

2.2. **¿Qué es un relleno sanitario?**

Es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha 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 por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control.

2.2.1. Tipos de relleno sanitario

En relación con la disposición final de residuos sólidos, se podría proponer 3 tipos de rellenos sanitarios, a saber: relleno mecanizado, semimecanizado y relleno manual.

2.2.1.1. Relleno sanitario mecanizado

Este es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones, los gastos de operación y mantenimiento.

Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc. (figura 5).

Figura 5. **Compactadores de residuos sólidos**



Fuente:<http://www.directindustry.es/prod/bomag/compactadores-de-basuras-relleno-sanitario-23411-590486.html>. Consulta: 20 de diciembre de 2011.

2.2.1.2. Relleno sanitario semimecanizado

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que se podría llamar semimecanizado (figura 6).

En países desarrollados se ha establecido que: adaptando un tractor de 31 HP, en 8 horas de trabajo y con un peón de ayuda, pueden confinar sanitariamente los residuos de poblaciones de hasta 80,000 habitantes, o sea, aproximadamente 40 toneladas diarias de basura. Con base en estudios previos, se puede afirmar que es necesario el empleo de equipos de movimiento de tierras (tractores de orugas o retroexcavadoras) en forma

permanente cuando al relleno sanitario se llevan más de 40 toneladas al día de residuos sólidos. Esto equivale por lo general a poblaciones mayores de 40,000 habitantes.

Por su versatilidad, el tractor agrícola puede servir para prestar o apoyar el servicio de recolección de basura si de preferencia se le engancha un remolque con volteo hidráulico de unos 6 a 8 metros cúbicos de capacidad o bien una caja compactadora, dependiendo de las necesidades y recursos de la localidad (figura 6).

Figura 6. **Tractor agrícola y botadero de basura a cielo abierto**



Fuente:<http://medioalternativo07.blogspot.com/2010/08/por-no-cumplir-las-normas-ambientales.html>. Consulta: 22 de diciembre de 2011.

Ocasionalmente, este mismo equipo podrá emplearse en la realización de algunas obras públicas en el municipio, con lo que se aprovecharía al máximo la inversión realizada.

2.2.1.3. Relleno sanitario manual

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen menos de 15 toneladas al día—, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

2.2.2. Métodos de construcción de un relleno sanitario

El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario.

2.2.2.1. Método de trinchera o zanja

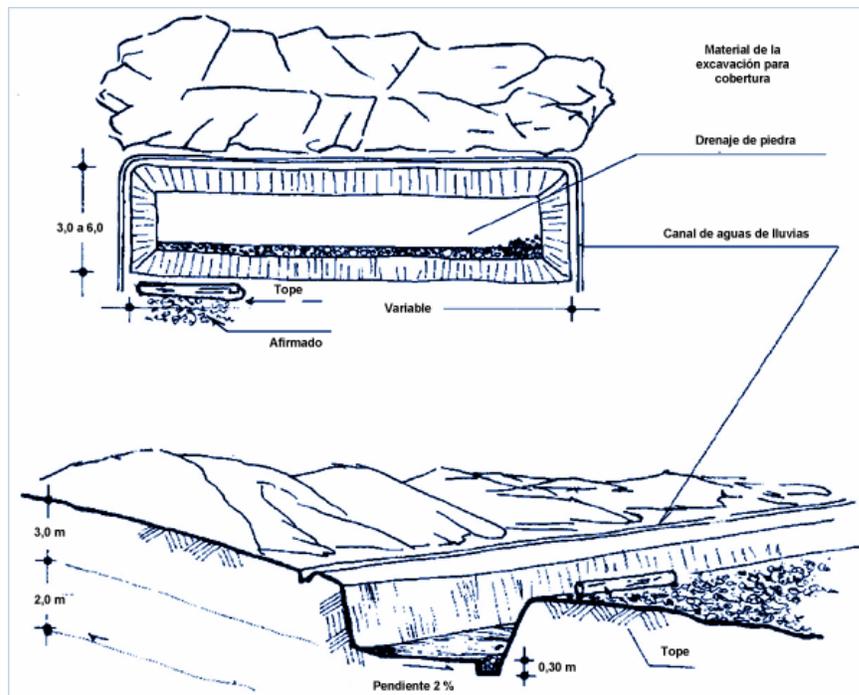
Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad.

Los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada. Se debe tener especial cuidado en períodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas,

se debe construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada, sus taludes o paredes deben estar cortados 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 no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación (figura 7).

Figura 7. **El relleno sanitario**



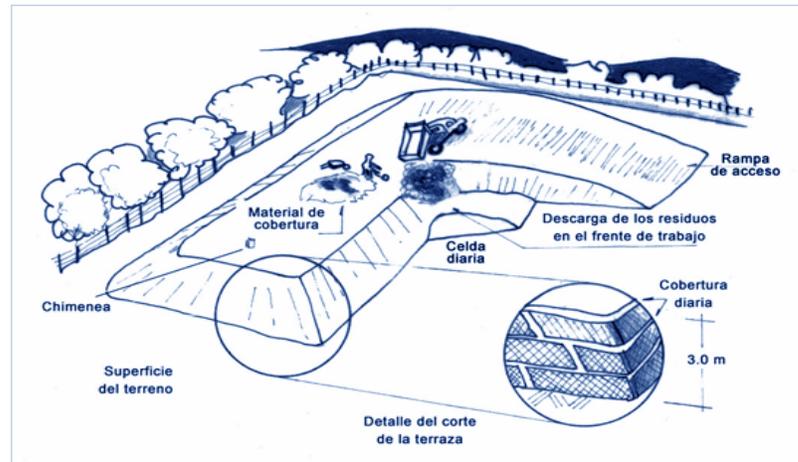
Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad3.html. Consulta: 22 de diciembre de 2012.

2.2.1.3. Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno (figura 8). Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad.

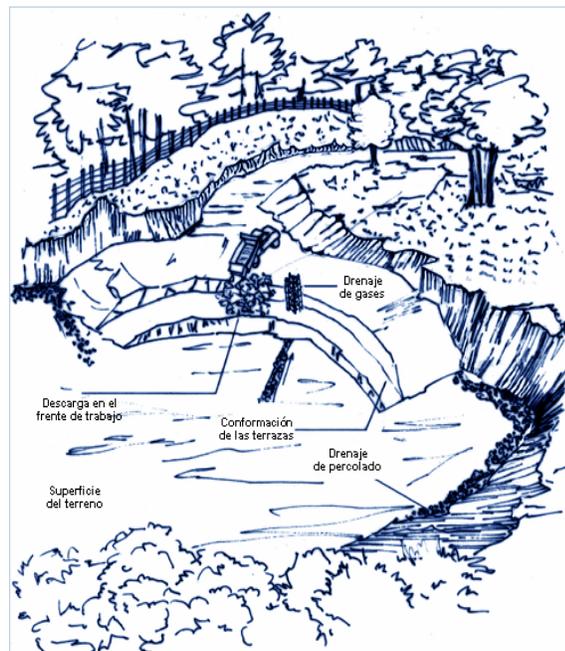
El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba (figura 9). El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno; es decir, la basura se descarga en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 18 a 26 grados en el talud; es decir, la relación vertical/horizontal de 1:3 a 1:2, respectivamente, y de 1 a 2 grados en la superficie, o sea, de 2 a 3,5 por ciento.

Figura 8. **Método de área para construir un relleno sanitario**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad3.html. Consulta: 22 de diciembre de 2012.

Figura 9. **Método de relleno de Depresiones**

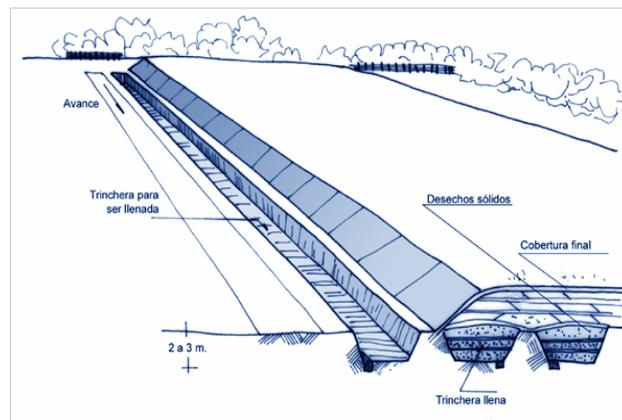


Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad3.html. Consulta: 22 diciembre de 2012.

2.2.2.3. Combinación de ambos métodos

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados (figura 10).

Figura 10. Combinación de métodos



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad3.html. Consulta: 22 de diciembre de 2011.

Toda ciudad o pequeña localidad debe contar con un relleno sanitario propio o de un municipio cercano para disponer sus residuos sólidos. De lo contrario, se seguirá favoreciendo la práctica irresponsable del botadero a cielo abierto en su territorio.

2.2.3. Ventajas y limitaciones de un relleno sanitario

La tabla V, resume las principales ventajas y desventajas del relleno sanitario. Las cuales se deben tomar en consideración a la hora de la construcción o diseño de estos rellenos.

Tabla V. **Ventajas y limitaciones de relleno sanitario**

VENTAJAS	LIMITACIONES
1. La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o de compost.	1. La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado, fenómeno conocido como NIMBY (<i>not in my back yard</i> 'no en mi patio trasero'), por diversas razones: <ul style="list-style-type: none"> • la falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario. • se asocia el término <i>relleno sanitario</i> al de botadero a cielo abierto. • la evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales que no garantizan la calidad ni sostenibilidad de la obra. • la falta de saneamiento legal del lugar.
2. Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los métodos de tratamiento.	2. El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.
3. Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de RSM.	3. La vulnerabilidad de la calidad de las operaciones del relleno y el alto riesgo de transformarlo en un botadero a cielo abierto, principalmente por la falta de voluntad política de las administraciones municipales para invertir los fondos necesarios a fin de asegurar su correcta operación y mantenimiento.
4. Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.	4. No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas, escuelas, etc.
5. Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 t/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.	5. La limitación para construir infraestructura pesada por los asentamientos y hundimientos después de clausurado el relleno.
6. Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad.	6. Se requiere un monitoreo luego de la clausura del relleno sanitario, no solo para controlar los impactos ambientales negativos, sino también para evitar que la población use el sitio indebidamente.
7. Permite recuperar terrenos que se consideraban improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc.	7. Puede ocasionar impacto ambiental de largo plazo si no se toman las previsiones necesarias en la selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos. En rellenos sanitarios de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que con-fluyen al sitio y que producen polvo, ruido y material volante. En el vecindario el impacto lo generan los líquidos, gases y malos olores que pueden emanar del relleno.
8. Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos.	8. Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.
9. Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.	9. En general, no puede recibir residuos peligrosos.

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad3.html. Consulta: 22 de diciembre de 2011.

2.2.4. Uso futuro del relleno sanitario

El uso futuro de un relleno sanitario depende del clima, de su localización respecto al área urbana, de su distancia de las zonas habitadas, de su extensión o área superficial y de las características constructivas. Estas últimas tienen que ver con la configuración final del relleno, la altura y el grado de compactación y, por supuesto, la capacidad económica de la población.

El terreno de un relleno sanitario clausurado se presta para desarrollar programas de recuperación paisajística y social como un parque, un campo deportivo o una zona verde. Por fortuna ya existen en el mundo experiencias de aprovechamiento de estos sitios transformados en parques y áreas recreativas en *Monte TrashMore*, *Virginia Beach*, *TsoSaiWan*, *Hong Kong* entre otras ciudades. No se recomienda la construcción de edificaciones, viviendas, escuelas ni infraestructura pesada sobre la superficie del relleno, debido a su poca capacidad para soportar estructuras pesadas, además de los problemas que pueden ocasionar los hundimientos y la generación de gases.

Para la recuperación del paisaje es conveniente la siembra de plantas de raíces cortas y césped o grama. En muchos casos, después de la cobertura final, el pasto crece en forma espontánea.

2.3. Reacciones que se generan en un relleno sanitario

Los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada.

2.3.1. Cambios físicos, químicos y biológicos

Estos cambios se describen a continuación a fin de dar una idea de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

- Cambios físicos: los cambios físicos más importantes están asociados con la compactación de los residuos sólidos, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada.

El movimiento de gases es de particular importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema. Por ejemplo, cuando el biogás se encuentra atrapado, la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras, lo que permite el ingreso de agua de lluvia al interior del relleno sanitario, lo que provoca mayor generación de gases y lixiviados. Lo anterior contribuye a que se produzcan hundimientos y asentamientos diferenciales en la superficie y que se desestabilicen los terraplenes por el mayor peso de la masa de desechos.

- Reacciones químicas: las reacciones químicas que ocurren dentro del relleno sanitario e incluso en los botaderos de basura abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de la masa de residuos sólidos, la evaporación de compuestos químicos y agua, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas. (La importancia de la descomposición de los productos orgánicos reside en que estos materiales pueden ser

transportados fuera del relleno sanitario o del botadero de basura con los lixiviados).

- **Reacciones biológicas:** las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios, y están asociadas con la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos. El proceso de descomposición empieza con la presencia del oxígeno (fase aerobia); una vez que los residuos son cubiertos, el oxígeno empieza a ser consumido por la actividad biológica. Durante esta fase se genera principalmente bióxido de carbono. Una vez consumido el oxígeno, la descomposición se lleva a cabo sin él (fase anaerobia): aquí la materia orgánica se transforma en bióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico.

2.3.2. Generación de líquidos y gases

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos.

- **Líquido lixiviado o percolado:** la descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para

evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos.

- Gases: un relleno sanitario se comporta como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.
- La aerobia: es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente. La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario por qué no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H₂S), amoníaco (NH₃) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15 por ciento en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir.

Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, puede generar riesgos de explosión. Por lo tanto, se recomienda una adecuada ventilación de este gas, aunque en los pequeños rellenos este no es un problema muy significativo.

2.3.3. Hundimientos y asentamientos diferenciales

En el relleno sanitario se producen también hundimientos (asentamientos uniformes o fallas) que son el problema más obvio y fácil de controlar con una buena compactación; además, asentamientos diferenciales en la superficie, que con el tiempo originan depresiones y grietas de diversos tamaños, lo que causa encharcamientos de agua y un incremento de lixiviados y gases. Estos problemas dependen de la configuración y altura del relleno, del tipo de desechos enterrados, del grado de compactación y de la precipitación pluvial en la zona.

2.4. Principios básicos de un relleno sanitario

Se considera oportuno resaltar las siguientes prácticas básicas para la construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario:

- Supervisión constante durante la construcción con la finalidad de mantener un alto nivel de calidad en la construcción de la infraestructura del relleno y en las operaciones de rutina diaria, todo esto mientras se descarga, recubre la basura y compacta la celda para conservar el relleno en óptimas condiciones. Esto implica tener una persona responsable de su operación y mantenimiento.
- Desviación de las aguas de escorrentía para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.
- Considerar la altura de la celda diaria para disminuir los problemas de hundimientos y lograr mayor estabilidad.

- El cubrimiento diario con una capa de 0,10 a 0,20 metros de tierra o material similar.
- La compactación de los residuos sólidos con capas de 0,20 a 0,30 metros de espesor y finalmente cuando se cubre con tierra toda la celda. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, pues con él se puede alcanzar, a largo plazo, una mayor densidad y vida útil del sitio.
- Lograr una mayor densidad (peso específico), pues resulta mucho más conveniente desde el punto de vista económico y ambiental.
- Control y drenaje de percolados y gases para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.
- El cubrimiento final de unos 0,40 a 0,60 metros de espesor se efectúa con la misma metodología que para la cobertura diaria; además, debe realizarse de forma tal que pueda generar y sostener la vegetación a fin de lograr una mejor integración con el paisaje natural.

2.4.1. Importancia de la cobertura

El cubrir a diario los residuos y la cobertura final del relleno sanitario con tierra es de vital importancia para el éxito de esta obra. Ello debe cumplir las siguientes funciones:

- Minimizar la presencia y proliferación de moscas y aves.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humos.
- Reducir los malos olores.

- Disminuir la entrada de agua de lluvia a la basura.
- Orientar los gases hacia los drenajes para evacuarlos del relleno sanitario.
- Darle al relleno sanitario una apariencia estética aceptable.
- Servir como base para las vías de acceso internas.
- Permitir el crecimiento de vegetación.

Una de las diferencias entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura (tierra) para confinar los residuos al final de cada jornada diaria y separar adecuadamente la basura del ambiente exterior.

3. RELLENO SANITARIO ARTESANAL

3.1. ¿Por qué un relleno sanitario artesanal?

El relleno sanitario artesanal se presenta como una alternativa técnica y económicamente factible, tanto en beneficio de las poblaciones rurales con menos de 10 000 habitantes que no tienen la forma de adquirir equipo pesado para construir y operar un relleno sanitario convencional. Las poblaciones asentadas en los alrededores de las grandes ciudades generalmente son afectadas por la presencia de botaderos de basura e incluso suelen carecer del servicio de recolección.

Esta técnica de operación artesanal solo requiere equipo pesado para la adecuación del sitio, es decir, para la construcción de la vía interna, la preparación de la base de soporte o la excavación de zanjas y la extracción de material de cobertura de acuerdo con el avance y método de relleno. Los demás trabajos pueden realizarse con los propios trabajadores, lo que permite a las pequeñas comunidades de escasos recursos incapaces de adquirir y mantener en forma permanente un tractor de orugas o una retroexcavadora, disponer adecuadamente la reducida cantidad de basura generada por ellas, empleando mano de obra poco calificada.

Un relleno sanitario puede servir a dos o más poblaciones, hasta llegar a convertirse en una solución regional; es decir, estar en condiciones de brindar el servicio de disposición final de residuos sólidos a varias poblaciones cercanas. En tal sentido, los municipios pequeños deben evaluar la conveniencia técnica,

económica, social y ambiental de llevar sus residuos a un relleno sanitario regional o al del municipio vecino o tener uno propio.

El relleno sanitario artesanal es adecuado para poblaciones que generen hasta 15 toneladas diarias. Sin embargo, se precisa de un análisis detenido de las condiciones locales en cada región, puesto que por las características del sitio, la disponibilidad de material de cobertura, el clima, el costo de la mano de obra, etc., tal vez resulte preferible que la construcción y la operación del relleno sanitario se realicen, parcial o permanentemente, con equipo pesado.

La operación de un relleno sanitario artesanal que reciba más de 15 toneladas diarias de basura puede complicarse, ya que requiere un mayor número de personas, para los procesos de esparcido y compactación y para la extracción y el acarreo del material de cobertura. Por lo tanto, en estos casos la operación deberá ser apoyada al menos con un tractor agrícola, tal como se explicó en el apartado sobre rellenos semi mecanizados.

3.2. ¿Se justifica que una pequeña población tenga un tractor de orugas para operar un relleno sanitario?

Con el propósito de demostrar que no se justifica que una pequeña población tenga un tractor de orugas para operar un relleno sanitario, se presenta el siguiente ejemplo: se imagina dos poblaciones con las siguientes características:

Tabla VI. **Características de poblaciones y su generación per cápita**

Población	Número de habitantes	Generación per cápita de basura
A	250 000	0,5
B	30 000	0,4

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 3 de enero de 2012.

Con fines comparativos, se supone que en cada una de las dos poblaciones se utiliza para operar un relleno sanitario un pequeño tractor de orugas de 100 HP (D4) con las siguientes características:

- Distancia de acarreo: 30 metros
- Empujador de hoja angulable
- Velocidad de regreso: 4 kilómetros por hora
- Rendimientos corregidos para la eficiencia con basura y tierra en rellenos sanitarios:

Tabla VII. **Rendimientos para eficiencia con basura y tierra**

Material	Rendimientos del equipo (m ³ /h)
Basura	37
Tierra	14

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 3 de enero de 2012.

Con base en la anterior información, se determinará la capacidad del equipo con la cantidad de basura recibida de cada población:

Solución:

- Generación de basura

Generación de basura = Población (hab) * ppc (kg/hab/día) /1,000 = (t/día)

- Población A = 250 000 hab * 0,5 kg/hab/día = 125 t/día
- Población B = 30 000 hab * 0,4 kg/hab/día = 12 t/día
- Recolección de basura (6 días a la semana, es decir, de lunes a sábado)
 - Población A = 125 t/día * 7/6 = 145,8 t/día
 - Población B = 12 t/día * 7/6 = 14 t/día
- Volumen de basura (para una densidad de 0,6 toneladas /metros cubicos recién compactada)
 - Población A =145,8 t/día= 243,1 m³/día0,6 t/m³
 - Población B =14 t/día= 23,3 m³/día0,6 t/m³
- Material de cobertura (se estima en 20 por ciento de la basura recién compactada)
 - Población A = 243,1 m³/día * 0,2 = 48,6 m³ de tierra/día
 - Población B = 23,3 m³/día * 0,2 = 4,7 m³ de tierra/día
- Tiempo del tractor de orugas (en una jornada de 8 horas)

Población A=Basura =243,1 m³/día= 6,57 horas/día=37 m³/hora=Tierra =48,6 m³/día= 3,47 horas/día=14 m³/hora=Total 10,04 horas/día

Población B= Basura = 23,3 m³/día = 0,63 horas/día=37 m³/hora=Tierra = 4,7 m³/día = 0,33 horas/día=14 m³/hora

Total 0,96 horas/día

Los cálculos indican que una ciudad de 250 000 habitantes requiere un tractor de orugas que trabaje una jornada completa (8 horas/día), incluso trabajar horas extra. Pero de ninguna manera se justifica este equipo para poblaciones con 30 000 habitantes o menos.

Por lo tanto, no cabe duda de que el relleno sanitario manual es una solución viable para los casos anteriores. El empleo de la mano de obra puede solucionar de manera económica el problema de la disposición final de basura en estas pequeñas comunidades.

3.3. Planificación

Un relleno sanitario manual, aunque sea una obra pequeña, no deja de ser un proyecto de ingeniería, en el que gran parte de los problemas futuros se previenen con una buena planificación que va desde la concepción y diseño de la obra hasta su construcción, operación y funcionamiento durante su vida útil.

La planificación inicial sentará las bases para las diferentes actividades que se deberán cumplir. Esta fase consiste en la evaluación de criterios para la selección del sitio y de las diversas alternativas de terrenos para su localización, diseño, construcción, operación, mantenimiento y monitoreo. La planificación, además, permite contar con la información básica sobre la población

beneficiada; la procedencia, cantidad y calidad de residuos sólidos; el uso futuro del terreno una vez clausurado el relleno sanitario; los recursos para su financiamiento y la asesoría de un profesional competente.

La planificación debe incluir un programa de información al público que explique cuáles son las ventajas y desventajas de la implantación de un relleno sanitario. 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 respaldo es muy probable que ella no pueda llevarse a la práctica o que su operación y mantenimiento sean deficientes.

Tanto la administración como la comunidad en general deben tener presente que un relleno sanitario artesanal, como cualquier obra de saneamiento básico, requiere recursos para su financiación en lo que concierne a los estudios para la selección del sitio, el diseño, la construcción y la fase inicial de operación. Igualmente, durante todo el tiempo de su vida útil, la administración municipal, o quien opere el sistema, debe incluir en el presupuesto un rubro para la operación y mantenimiento del relleno.

Es fundamental que la población sea consciente de los beneficios que le reporta eliminar el botadero de basura municipal y construir un relleno sanitario, así como del costo que demanda este proyecto.

Si la comunidad está dispuesta a pagar, se garantizará la sostenibilidad de un buen servicio de limpieza pública y de la operación y el mantenimiento de la obra. Todo usuario o generador de residuos sólidos debe cumplir con pagar una tarifa, la que debe ser estimada de acuerdo con su capacidad económica si desea obtener un buen servicio de aseo urbano que, sin lugar a dudas, contribuirá a mejorar la calidad de vida de toda la población.

3.4. Selección del sitio

Para la selección del sitio se deberán preferir aquellos lugares donde las operaciones del relleno sanitario conduzcan a mejorar el terreno; de esta manera, se ahorrarán problemas operacionales futuros. En muy pocas ocasiones un terreno reunirá todas las condiciones ideales para la construcción de un relleno sanitario. Por lo tanto, se debe elegir aquellos que presenten las mejores características y analizar sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles.

Para llevar a buen término la construcción de un relleno sanitario, es necesario atender los siguientes aspectos:

3.4.1. Participación de las autoridades locales y de la población

Participación de las autoridades locales: la selección debe hacerse de común acuerdo con las autoridades del sector ambiental y de salud y, por supuesto, con los responsables de planificación de la administración local (figura 11). Para presentar el proyecto del relleno sanitario a las autoridades, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Primero: el ingeniero sanitario, ambiental o técnico en saneamiento y un delegado de la administración local (director de la oficina de planificación, obras públicas, etcétera.), determinarán cuáles son los sitios disponibles y adecuados para construir un relleno sanitario manual. Para ello es importante emplear mapas de la ciudad, planos topográficos, fotos aéreas e incluso recurrir a los nuevos Sistemas de Información Geográfica (SIG).

- Segundo: el ingeniero o técnico especialista apoyado en el análisis y el dictamen que sobre el terreno y las características del suelo presente el geólogo preparará un informe con el orden de elegibilidad de los sitios preseleccionados para la construcción del relleno sanitario. Se recomienda incluir algunos cálculos y diseños preliminares, con un estimado de su vida útil y el costo de las obras.
- Tercero: la decisión final estará supeditada a razones administrativas y políticas, teniendo en cuenta la opinión pública, por lo que se deberá presentar el proyecto ante el concejo o cabildo municipal para que se apruebe el acuerdo respectivo y, si el terreno no es propiedad del municipio, se autorice al alcalde la realización de las negociaciones y de las transferencias presupuestales para la adquisición del terreno y la construcción del relleno con todas sus obras complementarias.
- Cuarto: ordenar el levantamiento topográfico (en aquellos casos en que se lo considere necesario), elaborar cálculos y diseños definitivos del relleno sanitario, estimar costos, buscar su financiación y proceder a su ejecución.

Participación de la población: desde el inicio del proceso de selección, el público debe tener la oportunidad de participar, comentar y objetar las propuestas realizadas. En todos los casos, es esencial asegurar el apoyo de los distintos sectores de la población durante las fases de selección, diseño, construcción, operación, mantenimiento y uso futuro del relleno. Este aspecto es muy importante dada la confusión que existe en la comunidad, que puede creer que un relleno sanitario es un botadero de basura a cielo abierto. Se recomienda, entonces, efectuar un programa de educación sanitaria, con

énfasis en el saneamiento ambiental, a fin de contribuir a la protección de la salud y de evitar la contaminación.

Estos son los aspectos más críticos en las escuelas y colegios locales, asociaciones comunitarias, casas de cultura, clubes populares, organizaciones no gubernamentales, etc. También se recomienda hacer uso de los medios de comunicación y hasta de la influencia de las iglesias locales.

La propuesta de construir un relleno sanitario para darle solución al problema puede verse obstaculizada, e incluso rechazada, si la población vecina no participa en programas de educación sanitaria y negociaciones dirigidos por el gobierno local e instituciones ambientales. En consecuencia, se debe buscar que los vecinos entiendan que el problema de la basura es complejo y no se resuelve abandonándola en los alrededores de su vecindario; también, para que acepten la obra, hay que persuadirlos de que los sistemas de tratamiento son complementarios al relleno sanitario.

3.4.2. Aspectos técnicos

El ingeniero o técnico especializado deberá tener en cuenta los siguientes factores: ubicación, tipo de vertedero, maquinaria, mano de obra, tiempo de operación entre otros para el diseño, construcción y supervisión de los rellenos sanitarios.

3.4.2.1. Plan de Ordenamiento Territorial (POT) o Plan Regulador

Para la selección del sitio, es fundamental que se consulte el plan de Ordenamiento Territorial o Plan Regulador del municipio, a fin de tener en

cuenta la delimitación del perímetro urbano, la tendencia de crecimiento o las zonas de futura expansión, así como las posibles áreas permitidas para la construcción de rellenos sanitarios de acuerdo con los usos del suelo aprobados por el concejo municipal.

3.4.2.2. Localización

Se recomienda que el relleno sanitario esté ubicado en la dirección o el sentido de crecimiento de la urbanización; para evitar conflictos con los vecinos, lo mejor es que este sitio comience a poblarse cuando concluya la vida útil de la obra; de esta manera, la comunidad podrá beneficiarse con un parque o una zona verde.

Debe tenerse cuidado al seleccionar sitios en terrenos que puedan estar en zonas arqueológicas o áreas de protección especial, lo que implica elevar consultas al Instituto Nacional de Cultura o a la autoridad competente para obtener los respectivos permisos.

No se deberá construir rellenos en lotes que estén debajo de líneas de alta tensión. Desde el punto de vista del servicio de aseo urbano, la ubicación del terreno juega un papel importante en cuanto a la distancia al centro urbano (plaza principal) y el tiempo que tarda el vehículo recolector en llegar a su destino final, porque de ello depende el número de viajes diarios con cargas de basura que este pueda hacer. Esto repercute en la cobertura del servicio de recolección y el costo del transporte de los desechos. Por lo tanto, el sitio no debe estar a más de 30 minutos de ida y regreso del centro del poblado.

La cercanía del relleno permitirá, además, una mayor vigilancia y supervisión por parte de la comunidad, que de esta forma podrá evaluar la

calidad de su operación y mantenimiento. Una vez terminada su vida útil, el relleno podrá ser utilizado por los vecinos, de acuerdo con las propuestas del proyecto inicial. El relleno sanitario debe estar lo más cerca posible del área urbana, en especial si se trata de un municipio pequeño.

Es bueno recordar que no existe consenso sobre una distancia mínima entre un relleno y un centro poblado que garantice la ausencia de riesgos para la salud y el ambiente, pues mucho depende de la disponibilidad de terrenos adecuados, de la topografía del lugar, de la cantidad y calidad de residuos que se van a disponer, de la vida útil del sitio y, sobre todo, del tipo de infraestructura que tendrá el relleno para evitar o mitigar los efectos negativos. En estos casos, no se debe olvidar que si bien definir una distancia juega un papel importante en la reducción de posibles riesgos o molestias, no es algo definitivo.

El mayor obstáculo para acordar una distancia es la percepción de algunos técnicos y vecinos del sitio que piensan que este tipo de obras debe estar lo más lejos posible, ya que pueden terminar convirtiéndose en simples botaderos, debido a que las administraciones locales no siempre invierten en la infraestructura necesaria ni garantizan la calidad de la operación después de iniciada la descarga de residuos sólidos en el lugar. Una de las causas de esta desconfianza radica en los continuos cambios de estas administraciones y, con ello, de sus prioridades. El síndrome NIMBY (*not in my back yard* 'no en mi patio trasero') es una clara muestra de lo anterior.

Algunos especialistas recomiendan que los linderos del terreno de un relleno sanitario sean trazados a una distancia mínima de 200 metros del área residencial más cercana; sin embargo, para el caso de un relleno sanitario manual que es muy pequeño, la distancia puede ser mucho menor. De todas

maneras, a la hora de emitir un juicio en particular, es conveniente analizar las variables anotadas y, en especial, las condiciones del suelo y del entorno.

No hay que olvidarlo: cada caso es único y amerita su propia evaluación. También hay que señalar que incluso existen experiencias de grandes rellenos sanitarios construidos en medio de una ciudad, sin que por ello se hayan presentado problemas serios para la salud y el ambiente, dado que su construcción, operación y mantenimiento han sido manejados con la debida responsabilidad.

3.4.3. Análisis preliminar

Las visitas de campo se realizarán conjuntamente con las autoridades locales de salud y del ambiente. En estas visitas es conveniente contar con planos urbanísticos de la región, en escala 1:10.000 ó 1:25.000, con el propósito de ubicar los posibles sitios con respecto a las vías principales (salidas y entradas) hacia el área urbana, a las corrientes de agua más próximas y a la distribución de los suelos típica de la región.

Una vez en la oficina de planificación local, con ayuda del plan regulador, se consideran los usos del suelo y sus restricciones, así como las futuras zonas de expansión del área urbana, todo esto con el objeto de analizar su compatibilidad con el relleno sanitario que eventualmente se construiría en un lugar determinado.

3.4.4. Investigación de campo

Los mejores sitios visitados serán investigados con mayor detalle. Por ejemplo, se evaluará si existen pozos de abastecimiento de agua para

consumo, las características del suelo y el nivel freático; además, se tratará de identificar puntos de referencia, accidentes geográficos, nacimientos de agua en el terreno, caminos y construcciones importantes.

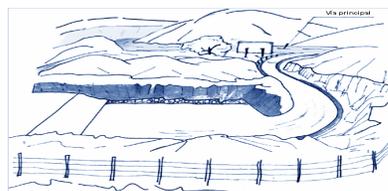
Si se cuenta con un plano urbanístico en escala 1:2,000 o 1:5,000, se podrán apreciar estos detalles, evaluar mejor las ventajas y desventajas de cada uno ellos, así como los cálculos preliminares sobre vida útil y costos. Esta información será sometida a la consideración de las autoridades locales, pues son ellas las que toman la decisión final.

Conviene recordar que una de las decisiones iniciales puede ser la integración de los sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos, lo que, por supuesto, influirá en la localización del sitio y en la extensión del terreno. Sin embargo, en este caso, los criterios de selección para la construcción del relleno serán determinantes. Estos criterios son:

3.4.4.1. Vías de acceso

El terreno deberá estar cerca de una vía principal para que sea de fácil acceso y resulten más económicos el transporte de los residuos sólidos y la construcción de la vía de vehículos recolectores en todas las épocas de año (figura 11).

Figura 11. **Vía principal**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 3 de enero de 2011.

3.4.4.2. Condiciones hidrogeológicas

Antes de negociar sobre el terreno, es importante analizar el tipo de suelo sobre el que se construirá el relleno sanitario, el cual deberá ser impermeable, es decir, arcilloso; de lo contrario, se debe impermeabilizar con una capa de arcilla compactada de 0,30 metros de espesor o, en última instancia, con una geo membrana de PVC4 o polietileno de alta densidad. En algunos casos, es conveniente probar la permeabilidad del suelo que servirá de base al futuro relleno a fin de evitar la contaminación del acuífero.

Lo anterior es posible, ya que al no existir agua en la basura, el proceso de descomposición bacteriano no se produce o es muy lento, razón por la cual se generan muy pocas cantidades de lixiviado y biogás, que quedan retenidos en el interior del relleno. Conviene recordar que la capacidad de campo de la tierra de cobertura y la basura influyen para que no se liberen líquidos, máxime cuando la compactación en estos rellenos manuales es considerada débil.

Igualmente, se requiere evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas. Se recomienda tener por lo menos una distancia de 1,0 metros entre el nivel freático y los residuos sólidos cuando se tenga material limo arcilloso.

El terreno ideal es decir, aquel que reúna todos los requisitos para la construcción de un relleno sanitario no existe; en consecuencia, se deberá elegir la mejor entre varias alternativas, teniendo en cuenta las condiciones de cada localidad.

3.4.4.3. Vida útil del terreno

Es deseable que la capacidad del sitio sea suficientemente grande para permitir su utilización por un mínimo de cinco años, a fin de que su vida útil se compatibilice con la gestión, los costos de adecuación y las obras de infraestructura. Pero esto no quiere decir que si se dispone de terrenos con una capacidad menor, estos deban ser descartados de plano. Es probable que en estos terrenos pequeños se pueda construir obras piloto que permitirán ganar la confianza de la población, con el objeto de acceder después a otros con una mayor vida útil.

La tabla IX, ilustra la extensión del terreno requerida para la construcción de un relleno sanitario manual en una población pequeña, teniendo en cuenta la generación diaria per cápita de residuos sólidos, la densidad de compactación del relleno, el volumen del material de cobertura, la profundidad o altura del relleno y las áreas adicionales para la infraestructura y retiros como zonas de amortiguamiento de impactos ambientales.

Para poblaciones de mayor tamaño, se considera que el técnico deberá realizar los cálculos con más cuidado, tal como se indica en el capítulo 4. Para el cálculo se tuvieron en cuenta los criterios que se resumen en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Criterios para el ejemplo de cálculo del área requerida para un relleno sanitario manual en una población pequeña**

ppc kg/hab/día	Densidad de compactación de los residuos kg/m ³	Material de cobertura m ³	Densidad del relleno estabilizado kg/m ³	Altura o profundidad del relleno sanitario m	Área adicional, infraestructura y amortiguamiento de impactos m ²
0,2 a 0,5	500	20% del volumen de RSM compactados	600	3 a 6	30% del área del relleno

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 4 de enero de 2012.

Tabla IX. **Población, generación de residuo sólido, área requerida y vida útil del relleno sanitario**

Población (habitantes)	Vida útil (años)								
	ppc kg/h/día	3	4	5	6	7	8	9	10
	Área del terreno (hectáreas)								
250									
500									
1 000									
2 000									
3 000									
4 000									
5 000									
7 500									
10 000									

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 4 de enero de 2012

3.4.4.4. Material de cobertura

El terreno debe tener abundante material de cobertura de fácil extracción y con buen contenido de arcilla, dada su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes. Cuando esta sea escasa en el sitio, se deberá garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, tomando en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos en donde los costos de transporte no sean muy altos. De no ser así, es preferible desechar el lugar porque corre el riesgo de convertirse en un botadero a cielo abierto.

3.4.4.5. Conservación de los recursos naturales

El terreno deberá estar ubicado aguas abajo de la captación del agua destinada para el consumo humano y, en general, de las fuentes de agua superficial. Lo ideal sería que estuviese en un área aislada, de poco valor comercial, en una zona marginal o en un erial; es decir, donde el relleno sanitario no tenga un alto potencial de contaminación.

3.4.4.6. Condiciones climatológicas

La dirección del viento predominante es importante debido a las molestias que puede ocasionar la descarga de los residuos y las labores de extracción de tierra y cobertura; a los papeles, el material liviano y el polvo que se levantan, y también al posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por ello, el relleno sanitario deberá estar ubicado de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él; en caso contrario, para contrarrestar esta molestia se deben sembrar árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno.

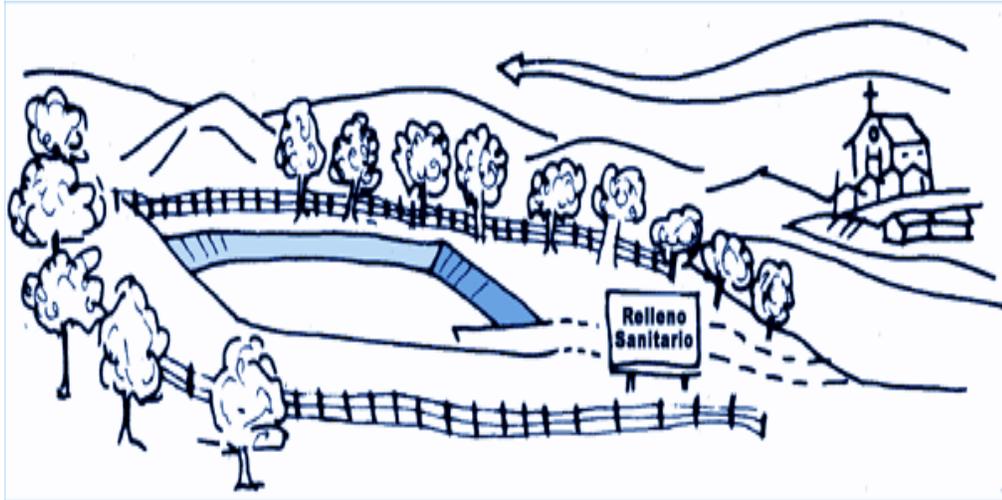
La vegetación, además, impide que los vecinos y transeúntes observen las operaciones de disposición de los residuos sólidos y le da una mejor apariencia estética a la obra.

La precipitación pluvial es otro factor de vital importancia, por lo que se recomienda contar con registros de lluvias y periodos secos, a fin de estimar la cantidad de agua que cae en la zona de estudio. Estos datos pueden ser proporcionados por las instituciones nacionales de meteorología o las empresas de servicios de agua y drenaje. Aun cuando la precipitación pluvial se expresa en milímetros por año, conviene tener los registros mensuales de varios años para el dimensionamiento de las obras de drenaje perimetral y de lixiviado.

3.4.4.7. Propiedad del terreno

Un proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solo cuando el municipio o ayuntamiento tenga en su poder el documento legal que acredite la propiedad sobre el terreno, cuando esté autorizado por las respectivas autoridades y, de otro lado, cuando sea aceptado por la mayoría de la comunidad vecina, teniendo en cuenta su utilización futura. El saneamiento fiscal del terreno es fundamental antes de iniciar la construcción de la infraestructura y la operación del relleno sanitario.

Figura 12. Dirección predominante del viento



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 4 de enero de 2012.

3.4.4.8. Costos del terreno y de las obras de infraestructura

Una vez preseleccionados los terrenos más adecuados para la construcción del relleno sanitario, es prioritario averiguar a quién pertenece la propiedad, si está en venta o es factible de negociar y especialmente cuál es su valor. Es frecuente que el propietario quiera especular con su valor cuando se entera del interés del municipio por el terreno. El alcalde podría apelar al recurso legal de declaratoria de utilidad pública, con lo que el avalúo del predio se hará de acuerdo con los registros de catastro.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el costo que requieren las obras de infraestructura a fin de ingresar y preparar el terreno y de hacerlo apto para recibir los residuos de la población. Siempre es conveniente calcular el valor de las obras y, por supuesto, compararlo con los recursos de que dispone el

municipio para que en el futuro no se abandone el proyecto por falta de presupuesto. Si estas inversiones resultan muy altas y se prevé que están fuera de las posibilidades del municipio, es mejor buscar otro terreno.

3.5. Uso futuro del terreno

En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario deberá contemplarse desde el principio el uso que se le dará al terreno una vez terminada la vida útil de la obra, a fin de integrarlo al ambiente natural transformándolo en una zona verde, área deportiva, jardín, vivero o en un bosque. Conviene recordar que la utilización final del relleno sanitario manual está limitada por la extensión del terreno que rara vez supera las dos o tres hectáreas, el bajo grado de compactación, la cercanía al centro poblado y los costos para su adecuación.

Una buena estrategia para presentar el proyecto es entregar los planos del diseño de ingeniería con el diseño artístico o paisajístico que tendría el terreno cuando concluya su vida útil y, de ser posible, acompañado de una maqueta, puesto que las formas tridimensionales podrán ser mejor entendidas, sobre todo por los vecinos.

Figura 13. **Futuro de relleno sanitario**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 4 de febrero de 2012.

La selección del sitio es tanto o más importante para las poblaciones pequeñas.

3.6. Cronograma de actividades

La tabla X, presenta un posible cronograma que puede servir como guía para orientar y programar las actividades y la ejecución de las obras conducentes a la implantación de un relleno sanitario manual.

Tabla X. **Cronograma de actividades proyecto de relleno sanitario manual**

ACTIVIDAD	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes
Gestiones preliminares						
<ul style="list-style-type: none"> • Toma de decisión de autoridades locales • Programa de educación sanitaria para la población • Consulta con entidades financieras 						
Identificación del sitio y sus alrededores						
<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de alternativas a autoridades locales • Selección del sitio y negociación • Legalización del terreno (saneamiento fiscal) • Levantamiento topográfico y preparación del plano 						
Estudios y diseño (incluye presupuesto)						
<ul style="list-style-type: none"> • Presentación a las autoridades y comunidad vecina • Consecución de recursos de crédito para inversión 						
Preparación del terreno						
<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza y desmonte • Preparación del suelo de soporte • Corte de taludes 						
Construcción de la infraestructura periférica						
<ul style="list-style-type: none"> • Camino de acceso al terreno • Drenaje pluvial • Desvío y aislamiento de eventuales cursos de agua 						
Construcción de la infraestructura del relleno						
<ul style="list-style-type: none"> • Drenaje pluvial perimetral e interno • Drenaje de líquido lixiviado o percolado • Drenaje de gases • Caminos internos 						
Construcciones auxiliares						
<ul style="list-style-type: none"> • Encerramiento perimetral • Arborización perimetral • Caseta de control (con instalaciones sanitarias) • Valla publicitaria o cartel de presentación • Pozos de monitoreo 						
Clausura del (de los) botadero(s) local(es)						
<ul style="list-style-type: none"> • Exterminio de roedores y artrópodos • Cubrimiento con tierra y apisonado • Encerramiento • Avisos de prensa y cartel de clausura 						
Inicio de la operación del relleno sanitario manual						

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad4.html. Consulta: 4 de enero de 2012.

3.7. Proyecto básico

Una de las herramientas básicas para el buen desarrollo de un proyecto de relleno sanitario manual o de un sistema integrado de tratamiento y disposición final de residuos sólidos es la ejecución de un levantamiento topográfico del terreno, que permita observar su extensión y diferencias de altura, resumidas estas en un plano; otra herramienta la constituyen los planos con el diseño y los detalles del proyecto.

3.7.1. Levantamiento topográfico

Una vez definido el sitio y adquirida la propiedad del terreno por la municipalidad, se contratará el levantamiento topográfico y se solicitará el plano con el terreno original a una escala de 1:250 ó 1:500, con las elevaciones representadas con curvas de nivel por cada metro y acotadas cada cinco metros. El lindero, la identificación de los terrenos vecinos, la ubicación de la vía principal, el camino de acceso, el drenaje natural, la localización del banco de material y otras características especiales pueden ser señalados en este plano.

En caso de que no se cuente con personal profesional o capacitado para esta actividad, el municipio puede contratar a un topógrafo bajo la orientación del técnico especialista o solicitar este servicio a la Secretaría de Salud u Obras Públicas de la región o del Estado.

En comunidades muy pequeñas, donde no sea posible contar con equipos de topografía o niveles de precisión para determinar el área del terreno y su capacidad volumétrica, se pueden levantar las medidas con cinta métrica y nivel de mano. En casos extremos de proyectos más sencillos, una manguera es suficiente, dado que estas obras no requerirán mayor precisión.

3.7.2. Diseño del relleno sanitario

El diseño materializa la concepción de la obra en general y tiene como objetivo orientar su desarrollo y planificar su construcción; además, permite presentarlo ante las autoridades del municipio o ayuntamiento y a la comunidad para su promoción y búsqueda de financiamiento.

El diseño básico contemplará la delimitación del área total del sitio y del terreno que deberá ser rellenado sucesivamente e indicará el método de construcción, el origen de la tierra de cobertura y la disposición de las obras de infraestructura. Además, en las memorias se presentará el cálculo de la vida útil del relleno, su uso futuro y el costo global estimado del proyecto.

3.7.3. Detalles del proyecto

El diseño se deberá presentar en un máximo de 10 a 12 planos (de conformidad con las normas técnicas de cada país), que contengan como mínimo los dibujos en planta y los diversos perfiles del proyecto, tales como:

- La configuración del terreno original y la delimitación del área total.
- La adecuación inicial del terreno y la disposición en planta de las obras de infraestructura y construcciones auxiliares.
- Detalles de las obras de acceso, drenajes principales y construcciones auxiliares.
- El orden del proceso constructivo para orientar la operación del relleno.
- Las configuraciones parciales del relleno de acuerdo con el avance al primer año, tercer año, etc.
- La configuración final del relleno, incluido su tratamiento paisajístico.

Con el deseo de hacer más comprensible este documento, todo lo concerniente a la etapa de estudio de la información básica, cálculos y diseño del relleno y su infraestructura será presentado en el capítulo 5.

A continuación, se ilustra las obras de preparación del sitio y de la infraestructura necesaria para recibir los residuos sólidos, así como la secuencia de construcción, operación y mantenimiento requeridos.

Figura 14. **Estudios de campo y diseño**



1. Identificación del sitio por rellenar y sus alrededores



2. Análisis de las condiciones hidrogeológicas



3. Levantamiento topográfico



4. Elaboración del diseño

Continuación de la figura 14.



5. Análisis de costos



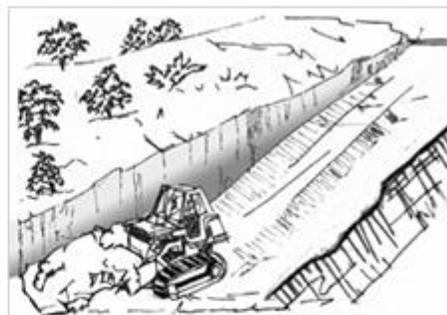
6. Presentación del proyecto a las autoridades

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad7.html. Consulta: 4 de enero de 2011.

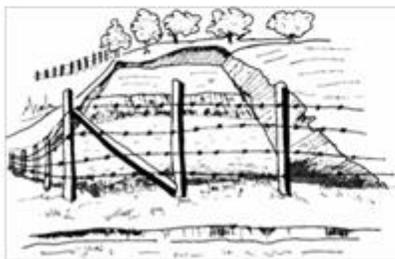
Figura 15. Preparación del terreno y construcción de las obras



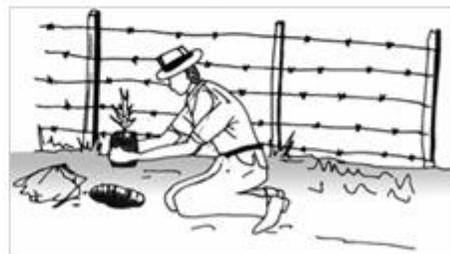
1. Limpieza y desmonte



2. Construcción de la vía de acceso directa



3. Encerramiento del terreno



4. Siembra de árboles en el perímetro

Continuación de la figura 15.



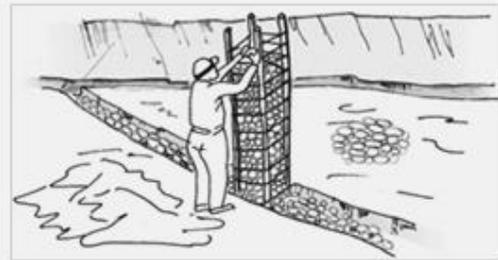
5. Construcción del drenaje perimétrico



6. Preparación del suelo de soporte



7. Construcción de drenajes internos



8. Preparación del drenaje de gases



9. Construcción de la caseta de control e instalaciones sanitarias



10. Excavación de pozos de monitoreo



11. Diseño y ubicación del cartel de identificación



12. Visitas con los líderes de comunidad vecina

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad7.html. Consulta: 4 de enero de 2012.

Figura 16. **Operación y mantenimiento**



1. Adquisición de herramientas



2. Compra de los elementos de protección de los trabajadores



3. Inicio de la operación del relleno



4. Clausura del (de los) botadero(s)



5. Mantenimiento permanente



6. Preparación del presupuesto anual

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad7.html. Consulta: 4 de enero de 2012.

4. DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO ARTESANAL

4.1. Información básica

Para el diseño de dichos rellenos se deben tener en cuenta los aspectos demográficos, cálculo de arco, cálculo de volúmenes, diseño de taludes, método de relleno entre otros aspectos.

4.1.1. Aspectos demográficos

- Población: es necesario conocer el número de habitantes meta para definir las cantidades de residuos sólidos que se han de disponer. Hay que anotar que en la producción de estos residuos se debe discriminar entre la producción rural y la urbana. La primera presentará menos exigencias por ser más bien reducida, si bien la recolección resulta más difícil.

En cambio, la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población y desarrollo tecnológico y urbanístico, de ahí que merezca especial atención.

- Proyección de la población: resulta de suma importancia estimar la población futura que tendrá la comunidad por lo menos entre los próximos 5 a 10 años, a fin de calcular la cantidad de residuos sólidos que se deberá disponer diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del relleno sanitario. En la tabla XI, se consigna la información básica a este respecto. El crecimiento de la población se podrá estimar por métodos matemáticos, o bien vaciando los datos censales en una gráfica y haciendo una

proyección de la curva dibujada. A continuación, un ejemplo de método matemático referido al crecimiento geométrico; es decir, al de las poblaciones biológicas en expansión, para el cual se asume una tasa de crecimiento constante.

La siguiente expresión nos muestra su cálculo:

$$Pf = Po (1 + r)n$$

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

Sin embargo, se recomienda comparar los resultados obtenidos con otros métodos de proyección.

4.1.2. Generación de residuos sólidos en las pequeñas poblaciones

De la generación y composición de los desechos que serán manejados en las pequeñas comunidades, se puede decir que para el cálculo de producción el sector residencial es predominante, siendo las demás actividades tan incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de residuos sólidos, salvo los provenientes de los mercados y de los visitantes, cuando existen atractivos turísticos.

Cuando se requiera llevar a cabo un sistema de recolección, tratamiento y disposición final, convendría estimar las cantidades de residuos que la población genera. Con el objetivo de ahorrar recursos, se sugiere utilizar para estos análisis métodos indirectos, como los que se presentan a continuación.

- Producción per cápita: la producción per cápita de residuos sólidos se puede estimar globalmente así:

$$ppc = \text{DSr en una semana} / \text{Pob} \times 7 \times \text{Cob}$$

Donde:

ppc = Producción por habitante por día (kg/hab/día)

DSr = Cantidad de residuos sólidos recolectados en una semana (kg/sem)

Pob = Población total (hab)

7 = Días de la semana

Cob = Cobertura del servicio de aseo urbano (%)

La cobertura del servicio es el resultado de dividir la población atendida por la población total:

$$\text{Cobertura del servicio (\%)} = \frac{\text{Población atendida (hab)}}{\text{Población total (hab)}}$$

Hay que señalar que también es posible relacionar la cantidad de residuos sólidos generados con las viviendas, o sea, kilogramo/vivienda/día, dado que la basura es entregada por vivienda.

Esto, además, tiene la ventaja de facilitar el conteo de las casas. Con base en los muestreos de residuos sólidos realizados en algunas poblaciones pequeñas, rurales y áreas marginales en la región sobre las características que se analizan en este trabajo, se ha encontrado que la ppc presenta rangos de entre 0,2 y 0,6 kilogramo/habitante/día. Tales valores son bastante representativos para la mayoría de estas poblaciones.

En los lugares turísticos, conviene recordar que la producción de residuos sólidos, sobre todo en las temporadas de vacaciones, se puede incrementar notablemente, con lo que se complica su manejo y disposición. En algunas comunidades rurales, como en la selva amazónica o en zonas agrícolas, la generación per cápita de residuos sólidos puede alcanzar valores que fluctúan entre 0,6 y 1,2 kilogramo/habitante/día.

- Producción total: el conocimiento de la producción total de residuos sólidos permite tomar decisiones sobre el equipo de recolección más adecuado, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad de área para el tratamiento y la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa de aseo.

La producción de residuos sólidos está dada por la relación:

$$DSd = Pob \times ppc$$

Donde:

DSd = Cantidad de residuos sólidos producidos por día (kg/día)

Pob = Población total (habitantes)

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

- Proyección de la producción total: la producción anual de residuos sólidos debe ser estimada con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita.

Como ya se mencionó en este capítulo, se puede calcular la proyección de la población mediante métodos matemáticos, pero en lo que se refiere al crecimiento de la producción per cápita difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente. No obstante, para obviar este punto y sabiendo que con el desarrollo y el crecimiento urbano y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular la producción per cápita total (tabla XI) para cada año, con un incremento de entre 0,5 y 1 por ciento anual.

4.1.3. Características de los residuos sólidos en las pequeñas poblaciones

Los parámetros más importantes que se deben conocer para el manejo adecuado de los residuos sólidos que se producen en una población son la producción y sus características específicas (origen, composición física y densidad).

4.1.3.1. Origen o procedencia

Los residuos sólidos en las áreas urbanas de las pequeñas poblaciones se pueden clasificar según su procedencia: residencial, comercial, industrial, barrido de vías y área pública, mercado e institucional (tabla XII).

- Sector residencial: la basura residencial (o desechos sólidos domésticos) está compuesta principalmente de papel, cartón, latas, plásticos, vidrios, trapos y materia orgánica. En los estudios realizados sobre producción de basura en pequeñas localidades (menos de 40 000 habitantes), no se han encontrado grandes diferencias entre los diferentes estratos socioeconómicos de la población.

Tabla XI. Volumen y área requerida para el relleno sanitario

Año	Población (hab)	ppc kg/hab/día	Cantidad de residuos sólidos			Volumen (m ³)							Área requerida (m ²)	
			Diaria (kg/día)	Anual t/año	Acumulada (t)	Residuos sólidos compactados		Material de cobertura m ²		Residuos sólidos estabilizados (m ³ /año)	Relleno sanitario		Relleno A _R	Total A _T
						Diaria (m ³)	Anual (m ³)	Diaria (m ²)	Anual (m ²)		m ²	Acumulada		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
0														
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Total														

<p>(3) = (1) x Población x ppc. (2) (6) = [(3) x Los residuos sólidos producidos en una semana son llevados al relleno durante los días de recolección. Normalmente entre el lunes y sábado (7 días de producción/ 6 días de recolección). (8) = (6) x Material de cobertura = entre 20 y 25% del volumen de residuos compactados. 0.2 (11) = (9) El volumen del relleno sanitario V_{R2} = material de cobertura + volumen de residuos + (10) estabilizados. (13) = (12) Área por rellenar A_R = volumen acumulado del relleno / H H = altura del relleno estimada (14) = (13) Área total A_T = área por rellenar x F x F F = Factor para estimar el área adicional (entre 20 y 30%)</p>	<p>RELLENO SANITARIO MANUAL DENSIDAD DE LA BASURA (kg/m³)</p> <p>D₁: Suelta 200 a 300</p> <p>D_C: 400 a Compactada 500</p> <p>D_E: 500 a Estabilizada 600</p>
--	---

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. 8 de enero de 2012.

- Sector comercial: con algunas excepciones (poblaciones en las zonas de frontera y sitios turísticos), el comercio no representa altos índices en la producción de residuos sólidos, dado que en estas localidades no está muy desarrollado y la actividad comercial suele combinarse con la vivienda. La composición de los desechos de la actividad comercial en estas comunidades es similar a la del tipo residencial, si bien predominan los materiales de empaque (papel, cartón, vidrio, plástico, textil y madera).
- Sector industrial: la actividad industrial suele ser baja y de tipo artesanal, compatible con el uso residencial, de manera que es de esperar que sus desechos sólidos no presenten características especiales. Por ende, salvo pocas excepciones, no es significativa para el análisis de estas pequeñas poblaciones.
- Plaza de mercado: la zona de mercado presenta un carácter más definido, dado que allí se concentran los expendios de carne, pescado, vegetales, frutas, abarrotes y otros, lo que indica que gran parte de los residuos es de materia orgánica y solo una muy pequeña es material de empaque; para estos desechos puede ser recomendable la producción de compostaje con métodos manuales.
- Barrido de vías y áreas públicas: el servicio de barrido de vías y limpieza de áreas públicas tales como el parque principal, los alrededores de la plaza de mercado, ferias y playas contribuyen a la producción de desechos. Estos están compuestos básicamente de hojas, hierba, cáscaras de frutas, además de papeles, plásticos, latas, vidrios, palos y un alto contenido de tierra.

- Sector institucional: para el caso de establecimientos especiales como escuelas y colegios, se puede considerar, sin gran margen de error, que la generación de desechos sólidos no es muy significativa con respecto al resto; su composición es similar a las anteriores.

Los hospitales o centros de salud en estas poblaciones suelen ser instituciones clasificadas como del primer nivel de atención, poco especializadas y con un mínimo número de camas, aunque en algunos casos son de mediana magnitud.

Tabla XII. **Proyección de la producción y procedencia de los desechos sólidos municipales (t/año)**

Año	Población habitantes	ppc Promedio total kg/hab/día	Residencial	Comercial	Mercado	Industrial	Barrido	Otros	Total
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
Total									

Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 8 de enero de 2012.

De ahí que no incidan de manera significativa en la generación total de residuos sólidos. Sin embargo, en cuanto al tipo de desechos que producen, es necesario distinguir entre los clasificados como de origen residencial (limpieza, cocina, basura común) y los originados por sus actividades específicas y que son potencialmente infecciosos: materiales punzocortantes y de curación, vísceras provenientes del quirófano, etc., todos estos llamados residuos biológico-infecciosos, para los cuales se sugiere un manejo, un tratamiento y una disposición final especiales.

En el centro de salud, estos residuos deben ser separados y presentados en bolsas cerradas de polietileno de color rojo; también se debe evitar el derrame de su contenido y su contacto con el personal de recolección, aun cuando esté provisto de guantes y ropa adecuada. Su tratamiento y disposición final pueden realizarse mediante la incineración o el enterramiento en una fosa especial que esté dentro del establecimiento. En este último caso, dicha fosa debe ser de suelo arcilloso, cuyo fondo se encuentre por lo menos a un metro del manto freático para evitar el contacto con el agua.

De ser recogidos por la municipalidad, deben tomarse las debidas medidas de protección y su disposición final podrá realizarse en el relleno sanitario manual, de preferencia colocándolos apenas lleguen en una celda especial, similar a la indicada en el anexo 6 o, en su defecto, al pie del talud o en la parte inferior de la celda, para de inmediato cubrirlos con tierra y el resto de los residuos sólidos.

4.1.3.2. Composición física y química

La composición física de los residuos sólidos en la región está caracterizada por su alto porcentaje de materia orgánica (entre 50 y 70 por ciento del total de residuos), lo que se traduce en un mayor contenido de humedad con valores que fluctúan entre 35 y 55 por ciento; el resto es papel, cartón, vidrio, metales, plásticos y material inerte, entre otros.

Los residuos sólidos de las comunidades pequeñas no presentan diferencias significativas en su composición física que ameriten gastos en estudios exhaustivos, de tal manera que en general bien podrán ser asimilados como desechos domésticos.

En lo que nos concierne, la composición física de los residuos sólidos de estas poblaciones tiene importancia para evaluar la factibilidad de establecer programas de reciclaje y tratamiento, dado que la composición química no reviste mayor atención y que el método de disposición final se realiza a través de la técnica del relleno sanitario, con el que se procurará minimizar la generación de lixiviado.

4.1.3.3. Densidad

La densidad o el peso volumétrico de los residuos sólidos es otro parámetro importante para el diseño del sistema de disposición final de residuos. En la región, se tienen valores de entre 200 y 300 kilogramos por metro cúbico para la basura suelta, es decir, en el recipiente; tales valores son mayores que los que presentan los países industrializados.

Para calcular las dimensiones de la celda diaria y el volumen del relleno, se pueden estimar las siguientes densidades:

Tabla XIII. **Densidad de diseño de la celda diaria y del relleno sanitario manual**

Diseño	Densidad kg/m ³
• Celda diaria (basura recién compactada manualmente)	400 – 500
• Volumen del relleno (basura estabilizada en el relleno manual)	500 – 600

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 8 de enero de 2012.

Estas densidades se alcanzan con la compactación homogénea y, a medida que se estabiliza el relleno, con todo lo que incide en la estabilidad y vida útil del sitio. El aumento de la densidad del relleno sanitario manual se logra especialmente mediante:

- El apisonado manual, con el uso diario del rodillo o los pisones de mano.
- El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas.
- La separación y recuperación de papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra, madera y otros materiales voluminosos. Con la práctica del reciclaje se disponen menos residuos sólidos en el relleno y, en consecuencia, se aumenta su vida útil.

- 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.

4.1.4. 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 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 y calidad del banco de material de cobertura.

Sin lugar a dudas, en los proyectos de relleno sanitario para las grandes ciudades estos análisis tienen una importancia capital y deben ser una exigencia básica en cualquier estudio; pero para el caso de comunidades muy pequeñas, no es necesario ser demasiado rigurosos si, como ya se dijo, se considera la reducida magnitud de las obras y el tipo de residuos que generan. En lo posible, se debe recurrir a los servicios de un geólogo o de otro profesional con conocimientos en estos temas.

Los estudios de campo para poblaciones con menos de 5 000 habitantes pueden consistir solo en simples pruebas de percolación y análisis del suelo.

A continuación, se hará una breve descripción de los principales parámetros que se deben tener en cuenta en el análisis y la evaluación cualquier terreno:

- 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 (franco arenoso) 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.

Para ilustrar mejor lo anterior, se presenta la figura 17, donde se aprecia el tipo de suelo y su relación con el coeficiente de permeabilidad.

Figura 17. **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								

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 8 de enero de 2012.

El coeficiente de permeabilidad k de los suelos puede ser determinado en el campo, si es que se desea saber con certeza si ahí se puede construir o no un relleno sanitario.

- Profundidad del nivel freático: tiene que ver con la altura de la tabla de aguas o la altura dominante del nivel freático. Se deberán preferir los terrenos bien drenados y con la tabla 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 períodos.

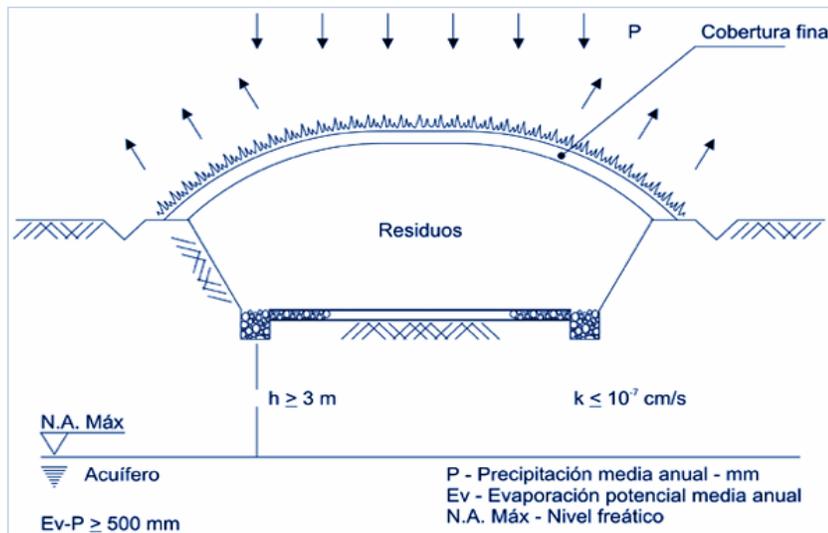
- Disponibilidad del material de cobertura: los terrenos planos, que cuentan con un suelo limo-arcilloso y el nivel freático a una profundidad tal que no haya posibilidad de contaminar las aguas subterráneas por la disposición de residuos, pueden ofrecer una buena cantidad de material de cobertura, en 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.

4.1.5. 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 (figura 18).

Figura 18. **Condiciones climatológicas e hidrológicas favorables**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad7.html. Consulta: 8 de enero de 2012.

En el capítulo 3, inciso 3.4, concerniente a la selección del sitio, se hizo referencia a la necesidad de tener presente la dirección del viento y, sobre todo, los registros de precipitación pluvial de la zona para el diseño de los diferentes sistemas de drenaje de agua y lixiviado.

4.1.6. **Identificación de las normas vigentes**

Otro aspecto que quien va a diseñar un relleno sanitario no debe pasar por alto es la consulta de las normas vigentes, tanto para el diseño y la construcción del relleno y de las obras de infraestructura como para tener en cuenta las obligaciones con la autoridad ambiental en relación con las condiciones y restricciones que debe tener el proyecto a fin de evitar o mitigar posibles efectos negativos debidos a la construcción y operación de la obra.

Hay que advertir, no obstante, que en estos casos las autoridades locales, ambientales y de salud deben tener presente que se trata de un pequeño proyecto de saneamiento y no de una obra de gran envergadura destinada a una ciudad. En la región viene ocurriendo que los funcionarios de estas dependencias de vigilancia y control los cuales ignoran o no tienen en cuenta las enormes diferencias entre ambos tipos de proyectos se limitan a entregar al consultor o al técnico encargado de los estudios y diseños los mismos términos de referencia que ya tienen preparados para los rellenos sanitarios de los grandes conglomerados urbanos. Con esto, simplemente se paraliza la ejecución del relleno sanitario manual debido a la falta de recursos e incluso de información.

La adopción de las normas de los países industrializados puede constituir un obstáculo para dinamizar los procesos en los países en vías de desarrollo, o bien impedir el avance de la gestión de residuos sólidos, si dichas normas no se adaptan a las condiciones locales.

4.2. Cálculo del volumen necesario para el relleno sanitario

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

- La producción total de residuos sólidos.
- La cobertura de recolección (la condición crítica de diseño es recibir el 100 por ciento de los residuos generados).
- La densidad de los residuos sólidos estabilizados en el relleno sanitario manual.
- La cantidad del material de cobertura (20-25%) del volumen compactado de residuos sólidos.

4.2.1. Volumen de residuos sólidos

Con los dos primeros parámetros se tiene el volumen diario y anual de residuos sólidos compactados y estabilizados que se requiere disponer (tabla XI, columnas 6, 8 y 10, respectivamente), es decir:

$$V_{\text{diario}} = DCp \text{ [4-5]}$$

$$D_{\text{rsm}} = V_{\text{anual compactado}} = V_{\text{diario}} \times 365 \text{ [4-6]}$$

Donde:

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

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

DSp = Cantidad de residuos sólidos producidos ($\text{kg}/\text{día}$)

365 = Equivalente a un año (días)

D_{rsm} = Densidad de los residuos sólidos recién compactados (400-500 kg/m^3) y del relleno estabilizado (500-600 kg/m^3)

4.2.2. Volumen del material de cobertura

Con este parámetro podemos calcular el material de cobertura, el cual equivale a un cierto porcentaje de volumen de desechos compactados.

$$m. c. = V_{\text{anual compactado}} \times (0,20 \text{ ó } 0,25) \text{ [4-7]}$$

Donde:

m. c. = material de cobertura equivale al 20 a 25 por ciento del volumen de los desechos recién compactados.

4.2.3. Volumen del relleno sanitario

Con los resultados obtenidos de las fórmulas [4-6] y [4-7] se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, así:

$$\text{VRS} = V \text{ anual estabilizado} + \text{m. c. [4-8]}$$

Donde:

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

m. c. = material de cobertura (20 a 25 por ciento del volumen recién compactado de residuos sólidos)

Los datos obtenidos se vacían en la tabla XI, columna 11. Para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil, se tiene la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^n \text{VRS}_i = ?$$

[5-9]

Donde:

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

n = número de años que serían los datos que aparecen en la tabla XI, columna 12; es decir, los valores acumulados anualmente.

4.3. Cálculo del área requerida

Con el volumen se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría el relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea general de la topografía. El relleno sanitario manual debe proyectarse para un mínimo de cinco años y un máximo de diez. Sin embargo, algunas veces es necesario diseñarlo para menos de cinco años si se considera la dificultad de encontrar terrenos disponibles. Este tiempo se llama vida útil o período de diseño.

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- Cantidad de residuos sólidos que se deberá disponer.
- Cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los residuos sólidos.
- Profundidad o altura del relleno sanitario.
- Áreas adicionales para obras complementarias.

A partir de la ecuación 4-8 se puede estimar las necesidades de área así (tabla XI, columna 13):

$$ARS = VRS \cdot h_{[5-10]} \cdot RS$$

Donde:

VRS = volumen de relleno sanitario ($m^3/año$)

ARS = área por rellenar sucesivamente (m^2)

h_{RS} = altura o profundidad media del relleno sanitario (m) y el área total requerida (Tabla XI, columna 14) será:

$$AT = F \times ARS[4-11]$$

Donde:

AT = área total requerida (m²)

F = factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre 20-40 por ciento del área que se deberá rellenar.

En la tabla XI se incorporan los parámetros mencionados para el cálculo del volumen del relleno sanitario. Se estimará el área para cada sitio alternativo cuando se conozca la profundidad promedio del relleno.

4.4. Diseño de taludes

El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas. Para el diseño de taludes es necesario contar con la modelización geológica del yacimiento, la cual se obtiene a partir de los trabajos previos de investigación.

4.4.1. Obras de tierra

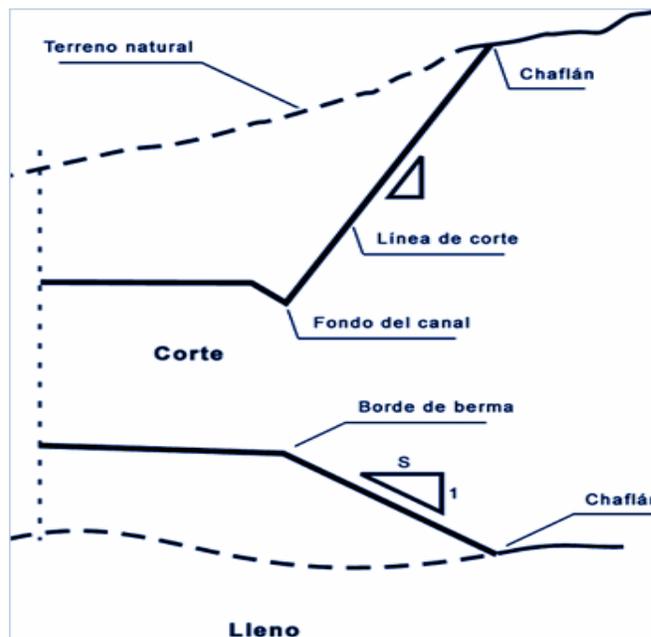
Los rellenos sanitarios para residuos urbanos, son obras de ingeniería, construidas en el suelo y muchas de sus estructuras o partes son ejecutadas con tierra. Entre las principales obras de un relleno figuran: construcción de terraplenes o diques de contención, construcción de bermas de equilibrio, excavación de trincheras, excavación de canales de drenaje, construcción de

accesos en tierra y de capas de tierra compactada para impermeabilización o protección. En las etapas de construcción y operación, uno de los principales aspectos que se debe tener en cuenta para los rellenos sanitarios manuales es la estabilidad de los taludes de tierra y de los terraplenes de basura.

4.4.2. Definición de talud

Se denomina talud a la superficie que delimita la explanación lateralmente. En cortes, el talud está comprendido entre el punto de chaflán y el fondo del canal. En terraplenes, el talud está comprendido entre el chaflán (pata del terraplén) y el borde de la berma (figura 19). La convención usada para definir el talud es en la forma de S unidades en sentido horizontal por una unidad en sentido vertical.

Figura 19. Definición de taludes



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 8 de enero de 2012.

4.4.3. Diseño de taludes

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas, es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

4.4.3.1. Taludes en corte

Teniendo en cuenta que para la construcción de un relleno sanitario manual se recomienda que el terreno sea de un material relativamente impermeable (arena fina mezclada con limo, arcilla) y que las alturas del corte (H) sean menores de 5 metros se puede establecer como norma que no se requieran estudios de estabilidad para definir el talud más apropiado.

Para un corte de baja altura se puede recomendar un talud único; para alturas mayores podrán requerirse dos taludes diversos; en algunos casos, se sugerirá la construcción de bermas o banquetas intermedias (figura 20).

A continuación se presenta una guía que puede ser utilizada sobre la base de la experiencia de varios países con respecto a la definición de los taludes de corte (tabla XIV).

Tabla XIV. **Taludes recomendados en corte**

<i>TIPO DE MATERIAL</i>	<i>TALUD RECOMENDABLE S ALTURA DEL CORTE H (M) HASTA 5 M</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
1. Arenas limosas y limos compactos	½	k = 10-7 cm/s. Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada. Si son materiales fácilmente erosionables, deberá proyectarse talud 1:1
2. Arenas limosas, limo poco compacto	¼	k = 10-7 cm/s contracuneta impermeable. Descopetar 1,5:1 la parte más intemperizada
3. Arenas limosas y limos muy compactos	¼	k = 10-7 cm/s. Descopetar la parte superior suelta
4. Arcillas poco arenosas, firmes y homogéneas	½	k = 10-8 cm/s. Descopetar 1:1 la parte intemperizada. Si existe flujo de agua, construir subdrenaje
5. Arcillas blandas expansivas	1	k = 10-8 cm/s

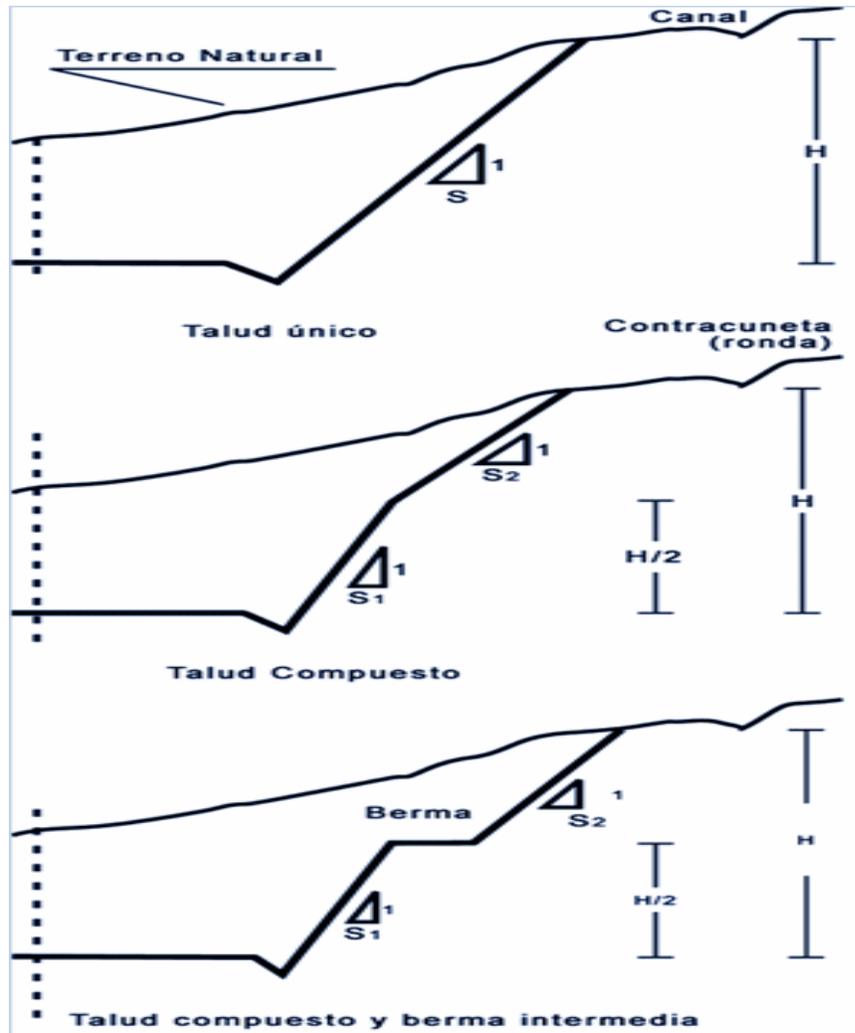
Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 4 de febrero de 2012.

4.4.3.2. Taludes en terraplén

En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción, selección y colocación del material que forma el relleno (lleno en tierra), el valor que comúnmente se usa en taludes es el 1.5:1.

En relación con los taludes de basura para la conformación de los terraplenes en el relleno sanitario manual, se recomienda 2:1 o 3:1. Se garantizará su estabilidad con una buena compactación manual de las basuras y la construcción de taludes compuestos con berma intermedia.

Figura 20. Taludes en corte

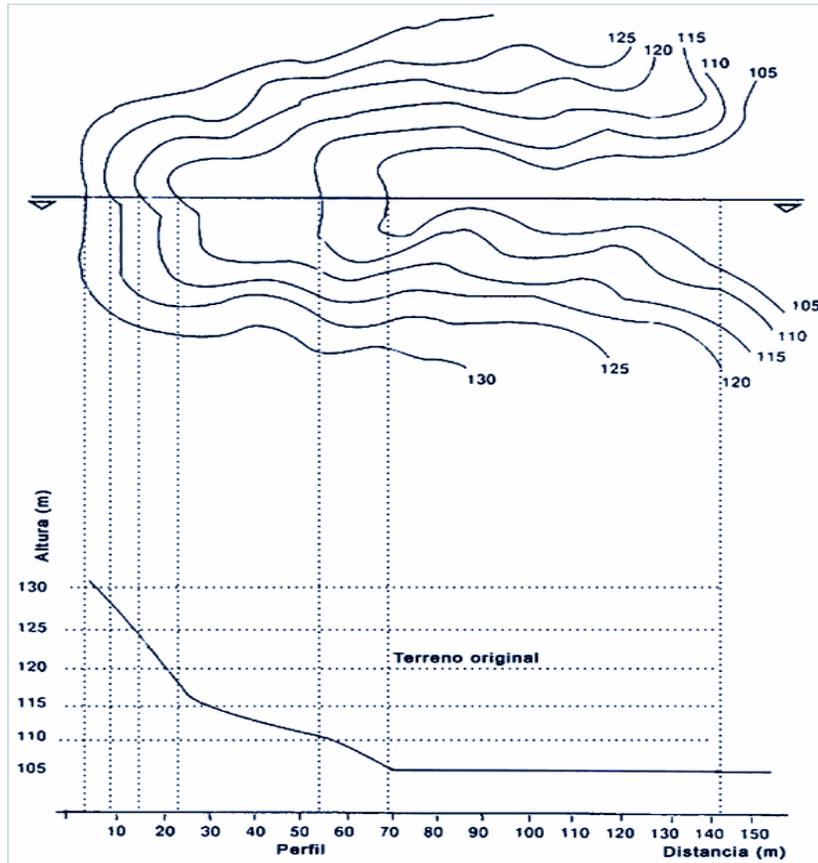


Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 10 de enero de 2012.

4.5. Selección del método de relleno

Como ya se mencionó, 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.

Figura 21. **Conformación del terreno original**

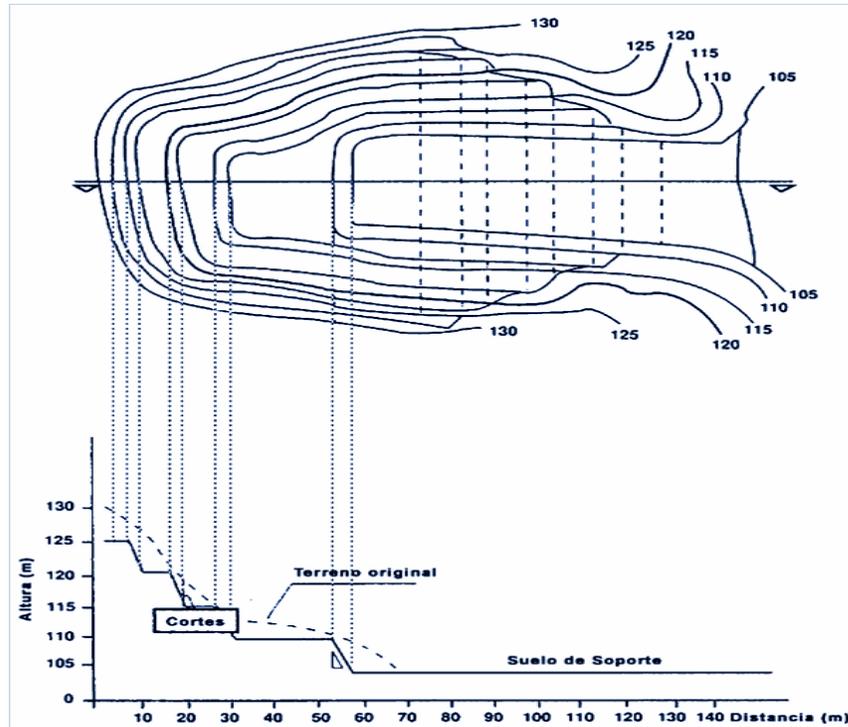


Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 10 de enero de 2012.

El diseño debe presentar de la siguiente manera los planos que orienten la construcción del relleno sanitario:

- **Conformación del terreno original:** la conformación del terreno original es obtenida a partir del levantamiento topográfico del sitio donde se construirá el relleno sanitario, y es necesaria para elaborar los cálculos y el diseño de la obra (figura 22).

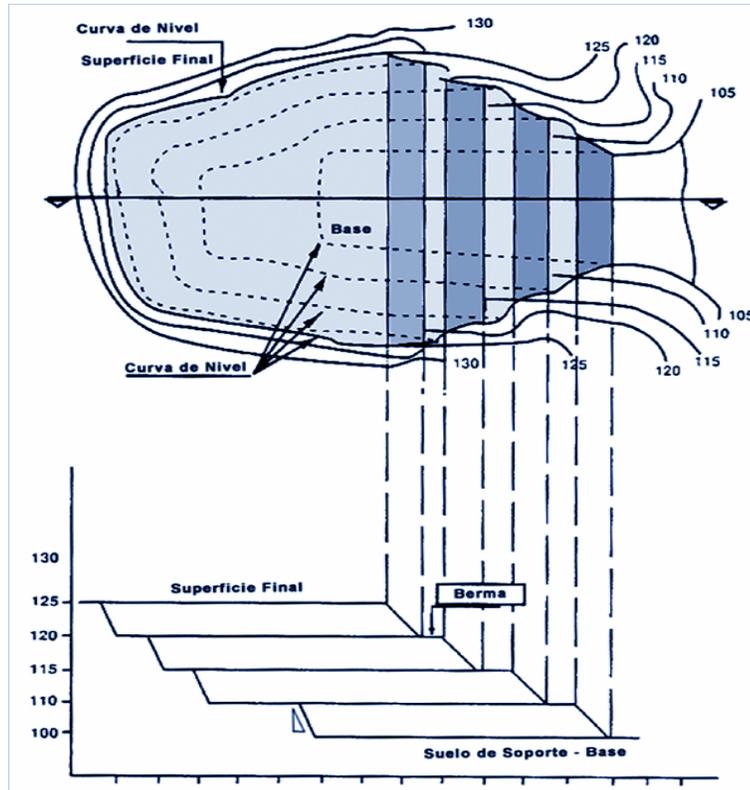
Figura 22. Configuración inicial del suelo de soporte



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 10 de enero de 2012.

- Configuración inicial del desplante o suelo de soporte: generalmente, el sitio seleccionado debe ser preparado, tanto para construir las obras de infraestructura necesarias como para brindar una adecuada base de soporte al relleno sanitario y obtener el material de cobertura del propio terreno. Estos cambios se presentan en un plano topográfico a fin de orientar al constructor en el movimiento de tierras (figura 23).

Figura 23. Configuración final del relleno sanitario



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 10 de enero de 2012.

- Configuración final del relleno: es la conformación del terreno una vez que se termine su vida útil. Es importante representarla en un plano topográfico para presentar los niveles máximos que alcanzará la obra de acuerdo con la visión del proyectista (figura 27).
- Configuraciones parciales del relleno: la(s) configuración(es) parcial(es) del relleno representa(n) el avance de la construcción y sirve(n) de guía al constructor para los controles correspondientes.

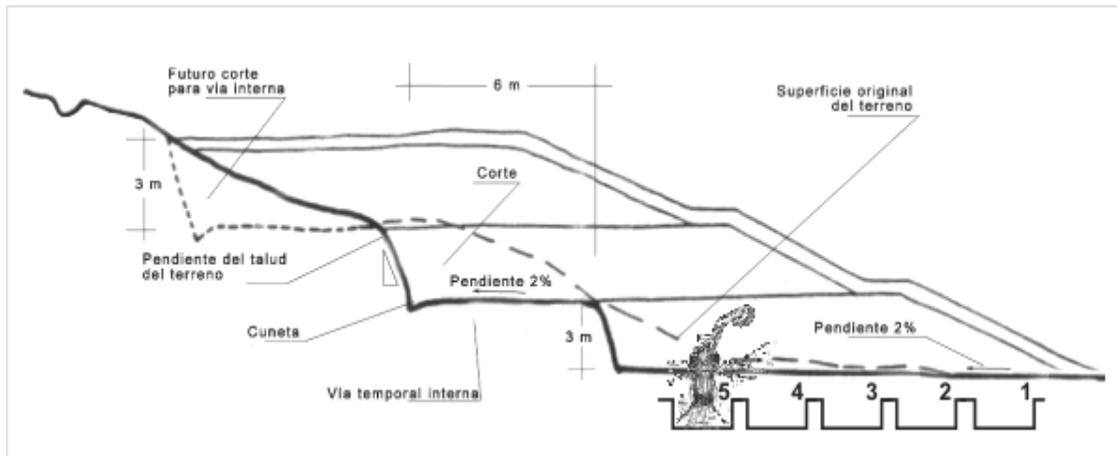
4.5.1. Método de zanja o trinchera

Dado que con frecuencia estas pequeñas poblaciones no cuentan con un tractor de oruga o una retroexcavadora, se recomienda su arriendo o préstamo para la excavación periódica de las zanjas, que deberán tener una vida útil de 60 a 90 días. De esta forma, se evitará el empleo constante de la maquinaria. Por ello se deberá planificar la excavación de las zanjas para todo el año, dependiendo de la disponibilidad del equipo, cuyos costos de renta deben ser incluidos en el presupuesto general.

Antes de que se complete el período de vida útil de la zanja, se debe contar con el equipo para proceder a la excavación de una nueva zanja, con el objeto de poder realizar la disposición sanitaria final de los residuos sólidos y proteger el ambiente. De lo contrario, el servicio se vería interrumpido y el lugar podría convertirse en un botadero a cielo abierto.

- Orientación para la localización de las zanjas: cuando se trata de terrenos que no son parejos —por ejemplo, con pendientes de 5 por ciento y en varias direcciones y si se busca optimizar el uso del terreno y facilitar las excavaciones, se debe tratar que las zanjas sigan las curvas de nivel. De esta manera, se logra un mejor manejo de la tierra excavada, tanto para su almacenamiento a un lado de la zanja como para su utilización posterior como material de cobertura.

Figura 24. **Localización y proceso de excavación de las zanjas en el tiempo y combinación con el método de área**

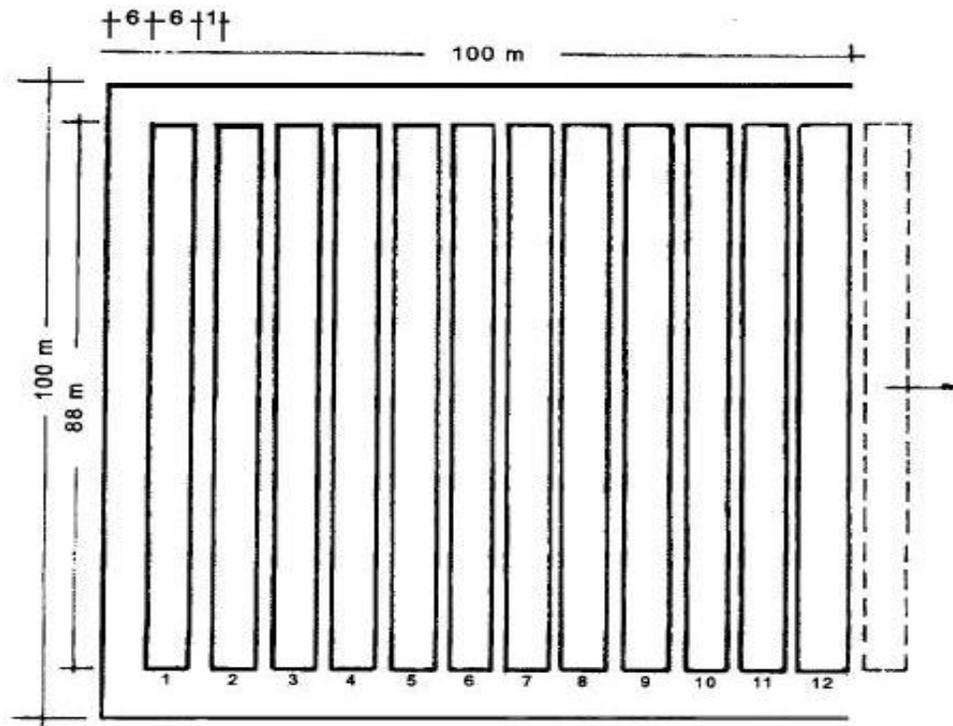


Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 10 de enero de 2012.

Por lo tanto, se recomienda realizar la apertura de las zanjas con excavaciones en la parte inferior del terreno para luego ir ascendiendo a medida que se van llenando (figura 24).

Ante la dificultad de adquirir nuevos terrenos, se recomienda combinar este método de relleno en zanja con el de área; es decir, levantando el terreno unos metros por encima del nivel original para aprovechar así los excedentes de tierra como cobertura diaria y final de la nueva etapa del relleno. A veces pueden servir como una especie de cerco alrededor del terreno, que impida la visibilidad desde el exterior.

Figura 25. Distribución de zanjas en el terreno



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 12 de enero de 2012.

Un programa de uso del suelo para la apertura de trincheras en el tiempo y el manejo de excedentes de la excavación, que puede ser hasta de 50 por ciento, son fundamentales para que la gestión de la obra sea un éxito.

- Volumen de la zanja: a partir de la vida útil de la zanja, se calcula el volumen de excavación y el tiempo requerido de la maquinaria con la siguiente fórmula:

$$V_z = \frac{t \times D\dot{S}r \times m. c.}{D_{rsm}} \quad [5-12]$$

Donde:

Vz = volumen de la zanja (m^3)

t = tiempo de vida útil (días)

DSr = cantidad de residuos sólidos recolectados (kg/día)

m. c. = material de cobertura (20-25% del volumen compactado)

Drsm = densidad de los residuos sólidos en el relleno (kg/m^3)

- Dimensiones de la zanja: para efectos de la operación manual, las dimensiones de la zanja estarán limitadas por:
 - La profundidad de la zanja, que debe ser de 2 a 4 metros de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo y de equipo y costos de excavación.
 - El ancho de la zanja, que debe medir entre 3 y 6 metros (ancho del equipo).

Esto es conveniente para evitar el acarreo de larga distancia de la basura y el material de cobertura, lo cual implica mejores rendimientos de trabajo. Así, la operación puede ser planeada dejando un lado para acumular la tierra y el otro para la descarga de los residuos sólidos. Dependiendo del grado de compactación y del clima, se puede usar la superficie de una zanja terminada para la descarga de los residuos.

- El largo está condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja. Entonces se tiene que :

$$l = \frac{V_z}{a \times h_z} \quad [5-13]$$

Donde:

l = largo o longitud de la zanja (m)

V_z = volumen de la zanja (m^3)

a = ancho (m)

h_z = profundidad (m)

- Tiempo de la maquinaria: el tiempo requerido para la excavación de la zanja y el movimiento de tierra en general dependerá mucho del material del suelo, del tipo y la potencia de la máquina, de su sistema de tracción (ya sea de ruedas o de orugas) y de la pericia del conductor.

$$t_{exc} = \frac{V_z}{R \times J} \quad [5-14]$$

Donde:

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

V_z = volumen de la zanja (m^3)

R = rendimiento de excavación del equipo pesado (m^3 /hora)

J = jornada de trabajo diario (horas/día)

- Vida útil del terreno: de la tabla XI, columna 13, se puede conocer el área requerida solo si se conoce la profundidad promedio del relleno sanitario. Sin embargo, en la práctica nos encontramos con un terreno al que hay que calcularle la vida útil.

En lo que respecta al método de zanja, una vez calculado su volumen, se supone un factor para las áreas adicionales (separación entre zanjas, vías de circulación, aislamiento, etc.) y luego se estima el número de zanjas que se podrían excavar en el terreno. Así:

$$n = \frac{A_t}{F \times A_z} \quad [5-15]$$

Donde:

n = número de zanjas

A_t = área total del terreno (m^2)

F = factor para áreas adicionales de 1,2 a 1,4 (20-40%)

A_z = área de la zanja (m^2)

Entonces la vida útil estará dada por:

$$V_u = (t_z \times n) / 365 \quad [5-16]$$

Donde:

V_u = vida útil del terreno (años)

t_z = tiempo de servicio de la zanja (días)

4.5.2. Método de área

Como ya se mencionó, el método de área se emplea para construir el relleno sanitario sobre la superficie del terreno o para llenar depresiones. En el

numeral 4.6 se presentan varias metodologías para evaluar la capacidad volumétrica del sitio.

4.6. Cálculo de la capacidad volumétrica del sitio

La capacidad volumétrica del sitio es el volumen total disponible del terreno para recibir y almacenar la basura y el material de cobertura que conforman el relleno sanitario. En otras palabras, es el volumen comprendido entre la superficie de desplante y la superficie final del relleno, para lo cual es indispensable determinar la capacidad volumétrica del terreno.

En general, existen dos métodos para realizar este tipo de cálculo:

- Volúmenes de gran longitud y poca anchura
- Volúmenes de gran extensión (extensos en ambas direcciones)

4.6.1. Volúmenes de gran longitud (alrededor de un eje)

Por lo general, el trabajo de campo en esta categoría de determinación de volúmenes comprende la obtención de secciones transversales a intervalos regulares a lo largo de un eje del proyecto (poligonal). Primero se calculan las áreas de estas secciones y luego, usando la regla de Simpson para volúmenes o la del prismoide, puede calcularse el volumen del material que se deberá retirar o colocar.

4.6.1.1. Método 1. Cálculo del volumen por la regla de Simpson

Una vez calculada el área de las distintas secciones, puede hallarse el volumen del material contenido en el corte o relleno por medio de la regla de Simpson, que es la misma que se emplea para las áreas, aunque las áreas de las secciones reemplazan a las ordenadas en la fórmula (figura 22).

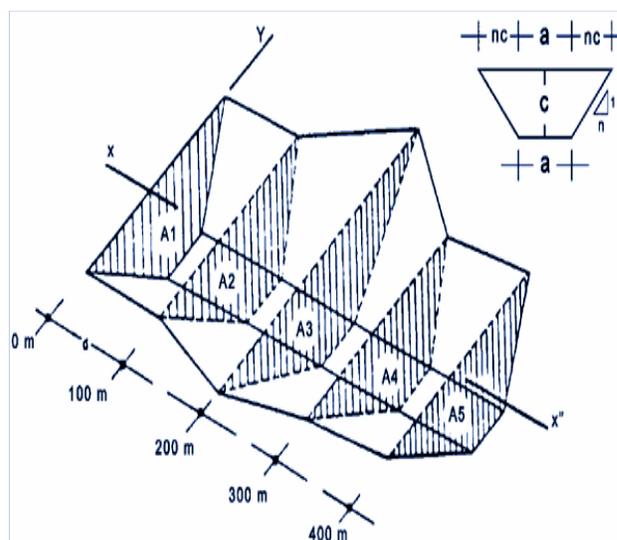
$$\text{Volumen} = d [A1 + A5 + 2 \times A3 + 4(A2 + A4)] \text{ m}^3 [5-17] \quad 3$$

Si llamamos M a la sección media, el volumen por la regla de Simpson será:

$$\text{Volumen} = 1 (d / 2)[A1 + A2' + 2(\text{cero}) + 4 M] [5-18] \quad 3$$

$$\text{Volumen} = d \cdot 6 [A1 + A2 + 4M] [5-19]$$

Figura 26. Volumen longitudinal alrededor de un eje



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. 12 de enero de 2012.

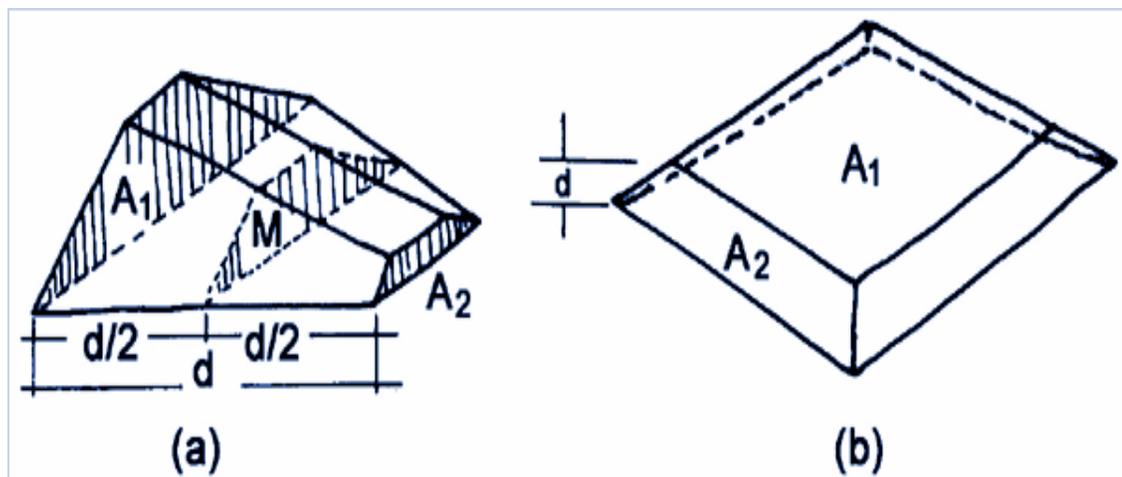
La ecuación [5-19] representa la regla del prismoide, que puede usarse para hallar el volumen de cualquier prismoide, siempre que se pueda conocer el área de la sección media.

Nota: el área M no es el promedio de las áreas A_1 y A_2 .

4.6.1.2. Método 2. Cálculo del volumen por la regla del prismoide

El prismoide se define como un sólido que tiene dos caras planas y paralelas de forma regular o irregular, unidas por superficies planas o alabeadas, en las que se puedan trazar rectas desde una hasta la otra cara paralela. Algunos ejemplos de prismoides se presentan en la figura 27, cuya fórmula equivale a la [5-19].

Figura 27. Prismoides



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 12 de enero de 2012.

Para determinar su volumen por la regla de Simpson, es necesario dividir la figura de forma que resulte un número de secciones equidistantes; tres es el número menor que cumple esta condición.

4.6.1.3. Método 3. Volumen a partir de las áreas extremas

A partir del eje del proyecto y de la nivelación por franjas de un terreno, se puede calcular el volumen entre dos secciones transversales consecutivas, multiplicando el promedio de las áreas de las secciones por la distancia que las separa (para estar más cerca de la realidad, se recomienda tramos de 20 metros) (figura 28).

El volumen entre las secciones A1 y A2 está dado por:

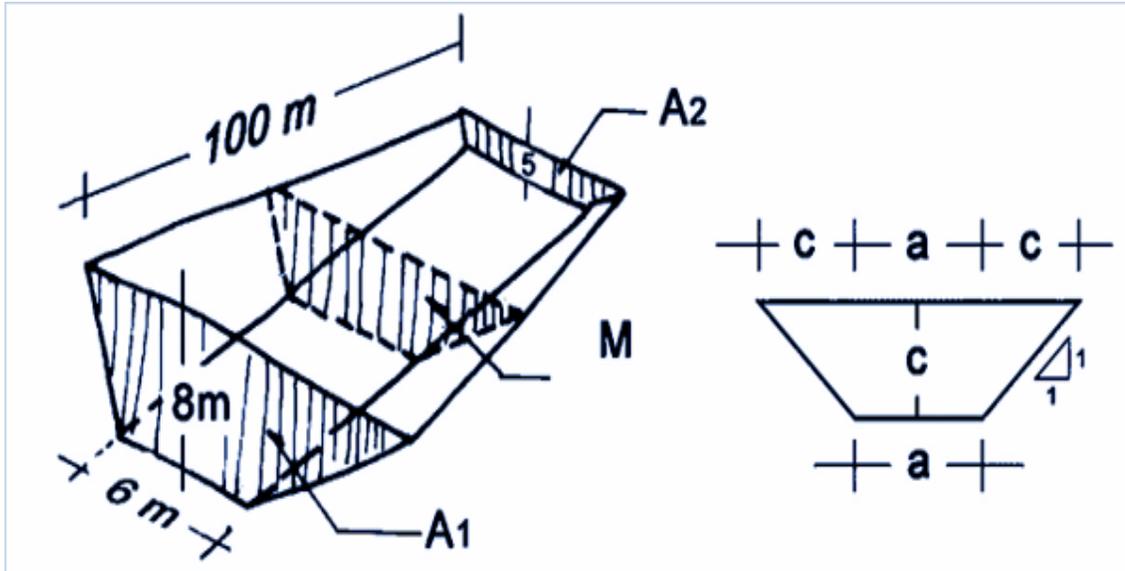
$$Volumen = \frac{(A_1 + A_2) \times d}{2} \quad [5-20]$$

donde :

$$\begin{aligned} A_1 \text{ y } A_2 &= \text{Áreas de las secciones transversales (m}_2\text{)} \\ d &= \text{Distancia entre las secciones } A_1 \text{ y } A_2 \end{aligned}$$

Esta fórmula será más precisa a medida que A1 y A2 tiendan a ser iguales. En general, la precisión de este método es más que suficiente, puesto que se supone que el terreno será nivelado uniformemente entre las dos secciones, aunque se sabe que el volumen real es un tanto.

Figura 28. Volumen de un zanjón



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 12 de enero de 2012.

4.6.2. Volúmenes de gran extensión

En este apartado se comentará sobre los movimientos de tierras más importantes que se realiza en los varios proyectos, que serán los referentes al método de la retícula y curvas de nivel.

4.6.2.1. Método 1. De la retícula

Cuando se trata de hallar el volumen de un terreno de gran extensión y poca profundidad, el trabajo de campo consiste en cubrir el área de la superficie de desplante con una retícula de cuadros y obtener los niveles de sus vértices.

El volumen total se puede calcular como la suma de volúmenes de todos los prismoides que tienen como área transversal un cuadro de la retícula y

como altura la distancia a la superficie final del relleno. Esta altura estará dada por el promedio de las distancias entre la superficie de la configuración final del relleno y los vértices del cuadrado.

Es decir, que si las elevaciones de los vértices de un cuadro son e_1 , e_2 , e_3 y e_4 , la elevación de superficie final en este punto es e_f , y el área de cada cuadrado de la retícula es A .

Así, el volumen sería:

$$V_i = A(e_f - (e_1 + e_2 + e_3 + e_4) / 4) \quad [5-21]$$

El grado de precisión que se obtenga será mayor mientras más pequeños sean los cuadrados de la retícula.

4.6.2.2. Método 2. A partir de las curvas de nivel

Consiste en determinar el volumen existente entre los planos horizontales del terreno, para lo cual es necesario calcular las áreas, luego promediarlas y multiplicarlas por la diferencia de altura que las separa. Se parte de la ecuación [5-20].

$$V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \cdot h \quad [5-22]$$

Mientras más pequeño es el incremento h , mayor será la precisión del método. Además, será más fácil de usar si se tiene el levantamiento topográfico con curvas de nivel cada metro y si se utiliza un planímetro para el cálculo de

las áreas. Este es el método más común en el caso de grandes rellenos sanitarios.

Donde:

$V =$ volumen entre dos curvas de nivel (m^3)

A_1 y $A_2 =$ áreas de los planos horizontales (m^2)

$h =$ diferencia de altura entre los planos (m)

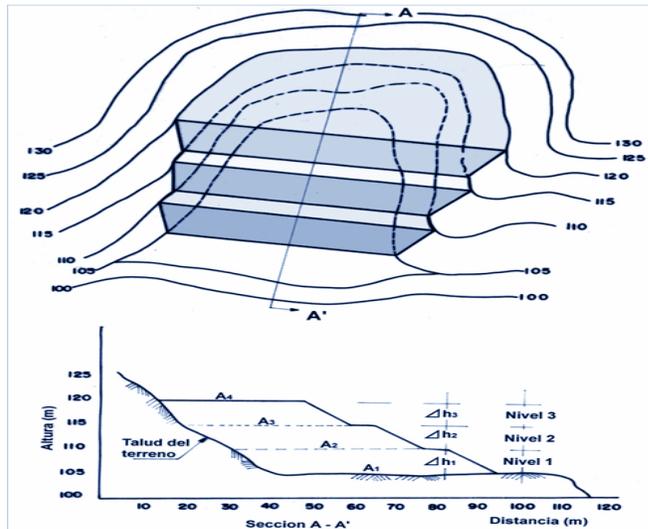
Por tanto, la capacidad volumétrica del sitio está dada generalmente por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} h_1 + \frac{(A_2 + A_3)}{2} h_2 + \frac{(A_4 + A_5)}{2} h_3 + \dots [5-23]$$

Cuando las áreas tomadas son equidistantes entre sí:

$$V = \frac{h}{2} A_1 + 2 \frac{h}{2} A_1 + A_n \quad [5-24]$$

Figura 29. **Planta y sección de un terreno**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Calculo: 12 de enero de 2012.

Cuando las curvas de nivel están muy separadas, si se desea obtener cierta precisión al calcular el volumen se puede emplear la fórmula del prismoide. Al aplicar esta fórmula se debe considerar que los planos de las curvas de nivel dividen la depresión en una serie de prismoides.

El volumen de cada uno de ellos puede hallarse mediante aplicaciones sucesivas de la regla del Prismoide o, en casos favorables, empleando directamente la regla de Simpson.

Al utilizar la fórmula del prismoide se toman las áreas de tres curvas a la vez y la del centro se usa como sección media. La precisión del resultado depende sobre todo de la diferencia de nivel entre las curvas. En general, a menor intervalo, mayor exactitud en el volumen.

4.7. Cálculo de la vida útil

El volumen del relleno o sea, el volumen comprendido entre la configuración inicial y final del terreno, calculadas mediante cualquiera de los métodos descritos anteriormente nos dará el volumen total disponible. La tabla XII facilita la recolección de esta información. El cálculo de la vida útil se puede estimar así:

El volumen total disponible del terreno se compara con los valores de la tabla XI, columna 12 (donde aparecen los volúmenes acumulados del relleno) hasta encontrar un valor similar o ligeramente mayor.

En la columna 0 de la misma línea se verá el número de años que equivalen a la vida útil del relleno.

4.8. Diseño del canal interceptor de aguas de escorrentía

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 aguas de lluvia 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 mejorar las condiciones de operación.

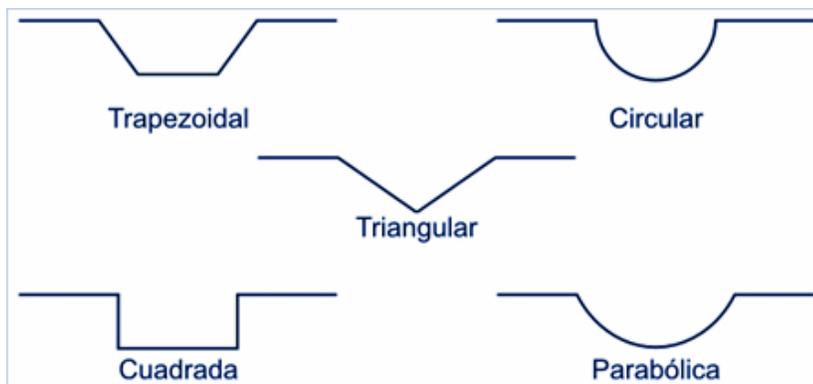
Es necesario construir un canal en tierra o suelo-cemento de forma trapezoidal y dimensionarlo teniendo en cuenta las condiciones de precipitación local, el área tributaria, las características del suelo, la vegetación y la pendiente del terreno (figuras 30 y 31).

Figura 30. **Drenaje perimetral para desviar las aguas de lluvia y red para lixiviado**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 12 de enero de 2012.

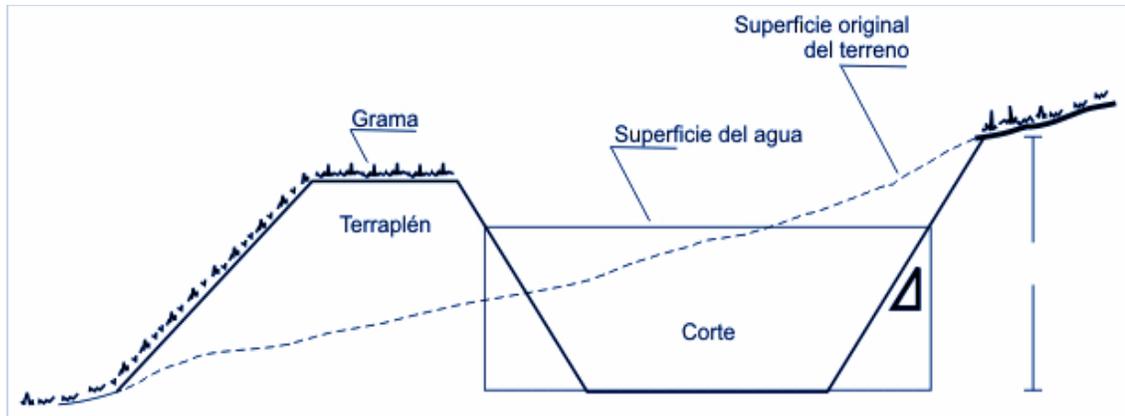
Figura 31. **Tipos de sección de canales de drenaje de aguas de escorrentía**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 12 enero 2012.

Para una pequeña cuenca se recomienda un canal con las dimensiones de la figura 32.

Figura 32. **Detalle de la sección transversal del canal trapezoidal**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 12 de enero de 2012.

Si por las características del lugar se requiere mayor precisión, se puede calcular el caudal que aporta la cuenca mediante el método racional y las dimensiones del canal según la siguiente fórmula.

$$Q_p = \frac{K_i \times A_d}{3,6 \times 10^6} \quad [5-25]$$

Donde:

Q_p = caudal que ingresa o máximo escurrimiento [m^3/seg]

K = coeficiente de escurrimiento

i = intensidad de la lluvia para una duración igual [$mm/hora$]

A_d = área de la cuenca [m^2]

t_c = tiempo de concentración [min]

El canal debe ser trazado por la curva de nivel más alta a la que llegará el borde del relleno sanitario y deberá garantizar una velocidad máxima promedio de 0,5 metros por segundo, que no provoque erosión excesiva; el tamaño de la sección del canal se podrá calcular usando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q_p}{v} \quad [5-26]$$

Donde:

A = área de la sección de la zanja [m²]

v = velocidad máxima promedio [m/seg]

Una vez hallada el área de la sección, se deciden las dimensiones, sobre la base de las recomendaciones anteriores.

4.9. Generación de lixiviado o percolado

El lixiviado o percolado es un líquido de color oscuro, maloliente, que se genera en la descomposición de la materia orgánica y la infiltración de agua lluvia.

4.9.1. Cálculo de la generación de lixiviado o percolado

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.

- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los residuos sólidos.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los residuos sólidos para retener humedad).

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno. Debido a las diferentes condiciones de operación y localización de cada relleno, las tasas esperadas pueden variar; de ahí que deban ser calculadas para cada caso en particular. Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido.

El método suizo, por ejemplo, permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

$$Q = 1 P \times A \times K [4-27] t$$

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (l/s)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31 536 000 segundos/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

- Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 toneladas/metros cúbicos, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50 por ciento ($k = 0,25$ a $0,50$) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.
- Para rellenos fuertemente compactados con peso específico $> 0,7$ toneladas/metros cúbicos, se estima un lixiviado entre 15 y 25 por ciento ($k = 0,15$ a $0,25$) de la precipitación media anual. Sobre la base de las observaciones realizadas en varios rellenos pequeños, se puede afirmar que la generación de lixiviado se presenta fundamentalmente durante los períodos de lluvias y unos cuantos días después, y se interrumpe durante los períodos secos. Por tal razón, sería conveniente una adaptación de este método de cálculo para calcular la generación del lixiviado en función de la precipitación de los meses de lluvias y no de todo el año. Este criterio es importante para estimar la red de drenaje o almacenamiento de lixiviado para los rellenos sanitarios manuales. Por lo tanto, se sugiere que partiendo de la ecuación [4-27], los registros de precipitación sean los del mes de máxima lluvia, expresados en milímetros/mes, con lo cual se consigue una buena aproximación al caudal generado:

$$Q_{lm} = P \times A \times K \text{ [4-28]}$$

Donde:

Q_{lm} = caudal medio de lixiviado generado (m^3/mes)

P_m = precipitación máxima mensual (mm/mes)

A = área superficial del relleno(m^2)

K = coeficiente que depende del grado de compactación de la basura

1 m = 103 mm

4.9.2. Diseño del sistema de drenaje de lixiviado

Dada la poca extensión superficial de los rellenos sanitarios manuales, en primer lugar se recomienda minimizar el ingreso de las aguas de lluvia no solo controlando las aguas de escorrentía por medio de canales interceptores a nivel perimetral. También se puede impedir que las lluvias caigan directamente sobre los terraplenes o zanjas con residuos si se construye un techo que funcione a manera de paraguas. De esta manera, la cantidad de lixiviado tiende a ser nula, con lo que se evita uno de los mayores problemas de este tipo de obras, sobre todo en las zonas lluviosas.

En segundo lugar, es conveniente construir un sistema de almacenamiento del lixiviado en forma de espina de pescado al interior del relleno, en concreto en la base que servirá de soporte de cada plataforma. El sistema puede estar conectado.

Evitar o minimizar el incremento de lixiviados, e impedir de paso la contaminación de las aguas de lluvia, es técnica y ambientalmente mejor y mucho más económico que diseñar e instalar sistemas de impermeabilización artificial, que construir sistemas de drenaje y, por supuesto, que llevar a cabo los tratamientos convencionales para estas aguas altamente contaminadas, en especial en los pequeños municipios.

4.9.2.1. Volumen de lixiviado

Si lo anterior no es suficiente, la mayor cantidad posible del lixiviado generado se almacenará en zanjas en el interior del relleno sanitario, a manera de falso fondo, y el resto se guardará en otras fuera del relleno para que se

evapore. Progresivamente se construirán más zanjas según las necesidades locales.

El volumen de lixiviado se estima con la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t \quad [4-29]$$

Donde:

V = Volumen de lixiviado que será almacenado (m^3)

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (m^3/mes)

t = Número máximo de meses con lluvias consecutivas (mes)

? = Longitud del sistema de zanjas para el lixiviado

Con el caudal obtenido se pueden calcular las dimensiones del sistema de zanjas para el almacenamiento de lixiviado, tal como se indica en la siguiente ecuación. Las zanjas deberán tener por lo menos un ancho de 0,6 metros por un metro de profundidad, siempre que el nivel freático esté un metro más abajo y el suelo tenga las condiciones de impermeabilidad recomendadas anteriormente.

$$l = V/a \quad [4-30]$$

Donde:

l = Longitud de las zanjas de almacenamiento (m)

V = Volumen de lixiviado que será almacenado durante los períodos de lluvia (m^3)

a = Área superficial de la zanja (m^2).

4.10. Monitoreo de la calidad del agua

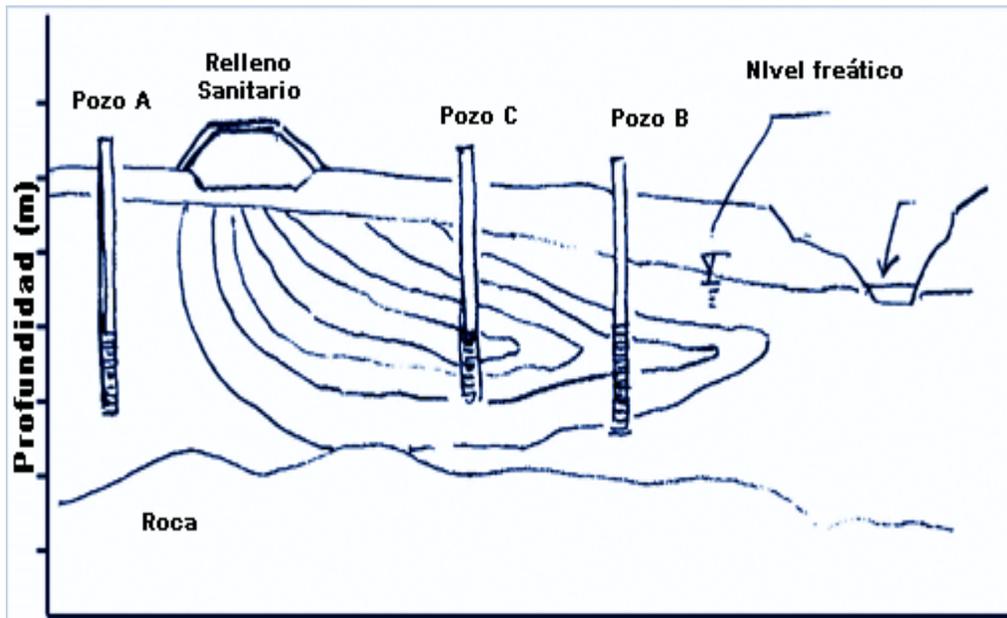
Es importante que antes, durante y después de construir un relleno sanitario se tome una serie de medidas relacionadas con la prevención de riesgos potenciales para la calidad del ambiente. Si bien es una obra pequeña, un relleno sanitario manual debería cumplir algunas normas ambientales y de seguridad, sobre todo en lo que se refiere a las aguas superficiales y subterráneas. En este caso, convendría contar con pozos de monitoreo para prevenir cualquier riesgo de inundación.

No se puede olvidar que gran parte de los residuos sólidos de las pequeñas poblaciones son de origen doméstico, de ahí que las exigencias y controles ambientales también deben estar acordes con la magnitud del problema y los recursos disponibles. Además, si se cuenta con un suelo limo-arcilloso, con un coeficiente de permeabilidad, $k < 10^{-7}$ centímetros/segundo, y si el espesor del suelo por encima del nivel freático es mayor de un metro, las probabilidades de contaminación de las aguas subterráneas disminuyen considerablemente.

4.10.1. Localización de los pozos de monitoreo

Los pozos de monitoreo deberán estar situados como mínimo a unos 10, 20 y 50 metros del área del relleno y del drenaje exterior del líquido percolado; con unos 3 ó 4 pozos será suficiente. Para la toma de muestras del agua subterránea, si los mantos freáticos son superficiales (a unos 4 m), estos pozos podrán ser excavados manualmente (figura 33).

Figura 33. **Localización y características de los pozos para el monitoreo de agua**



Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. 15 de enero de 2012.

4.10.2. Parámetros más representativos para el análisis de aguas y lixiviado

En la tabla XV se presentan, a manera de guía, los parámetros más representativos para el análisis de la calidad del agua subterránea y superficial, así como del lixiviado de un relleno sanitario. Los análisis de laboratorio de las muestras de aguas subterráneas y superficiales cercanas se pueden hacer intensivos durante los primeros meses y menos frecuentes una vez que se registren valores constantes en los resultados.

Tabla XV. **Parámetros para medir la calidad del agua y lixiviado**

PARÁMETRO	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUBTERRÁNEA	LIXIVIADO
pH	X	X	X
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (mg/L)	X	X	X
Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L)	X	X	X
Temperatura (°C)	X	X	X
Hierro total (mg/L)	X	X	
Carbono orgánico total (COT) (mg/L)			
Nitratos (mg/L)	X		X
Cloruros (mg/L)	X	X	X
Sulfatos (mg/L)		X	X
Recuento total de colonias (colonias/mL)	X	X	X
Conductividad (umhos/cm)			X
Sólidos suspendidos totales	X		X
Metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn, Cu, Ni)			X

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 4 de febrero de 2012.

4.11. Cálculo de la celda diaria

La celda diaria está conformada básicamente por los residuos sólidos y material de cobertura, será dimensionada con el objeto de economizar tierra y con el fin de proporcionar un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores.

Las dimensiones de la celda diaria dependen de:

- La cantidad diaria de residuos sólidos que se debe 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.

Para la celda diaria se recomienda una altura que fluctúe entre 1 y 1,5 metros, esto debido a la baja compactación alcanzada por la operación manual y a fin de brindar una mayor estabilidad mecánica a la construcción de los terraplenes del relleno sanitario. A partir del volumen diario de desechos compactados y teniendo en cuenta las limitaciones de altura, se calculará el avance y el ancho de la celda.

4.11.1. Cantidad de residuos sólidos que se debe disponer

La cantidad de basura para diseñar la celda diaria se puede obtener de dos maneras:

A partir de la cantidad de basura producida diariamente, es decir:

$$DSrs = DSp \times (7/dhab)$$

Donde:

DSrs = cantidad media diaria de residuos sólidos en el relleno sanitario (kg/día)

DSp = cantidad de residuos sólidos producidos por día (kg/día) 10

dhab = días hábiles o laborables en una semana (normalmente d hab = 5 ó 6 días, y aún menos en los municipios más pequeños).

4.11.2. Volumen de la celda diaria

Se necesita conocer la cantidad de basura producida, el volumen del relleno y el área requerida para iniciar la selección del sitio. Para tal efecto, se dispone de la siguiente ecuación:

$$Vc = \frac{DSrs \times m.c.}{Drsm}$$

Donde:

$V_c =$ volumen de la celda diaria (m^3)

$D_{rsm} =$ densidad de los residuos sólidos recién compactados en el relleno sanitario manual, 400-500 kg/m^3

m. c. = material de cobertura (20-25%)

Debe notarse que la densidad usada para la basura recién compactada es menor que la de la basura estabilizada que se emplea para el cálculo del volumen.

Tabla XVI. **Capacidad volumétrica del sitio para el relleno sanitario**

Terraplén o plataforma	Elevación cota (m)	Area (m^2)		H(m)	Capacidad volumétrica (m^3)				Volumen de terraplén (m^3)	Vida útil de cada terraplén (meses)
		Para cada curva de nivel	Promedio entre curvas de nivel		Entre curvas de nivel	Volúmen acumulado	Corte de tierra (material de cobertura)	Material de cobertura acumulado		
1										
2										
3										
4										
5										
Total relleno sanitario										

Capacidad total del terreno _____ m^3

Volumen relleno sanitario = Capacidad total del terreno x 0,8 _____ m^3

Material de cobertura = 20-25% del volumen de residuos compactados _____ m^3

Cantidad de RSM = Volumen RSM (m^3) x densidad estabilizada (t/m^3) _____ t

Vida útil total _____ meses

Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 15 de enero de 2012.

4.11.3. Dimensiones de la celda diaria

La celda diaria se define como la unidad básica de construcción del relleno sanitario y está constituida por la cantidad de basura que se entierra en un día y por la tierra necesaria para cubrirla.

- Área de la celda

$$Ac = Vc / hc$$

Donde:

Ac = Área de la celda (m²/día)

hc = Altura de la celda (m) - límite 1,0 m a 1,5 m

Flintoff reporta alturas entre 1,5 y 2,0 metros para rellenos sanitarios con operación manual, con lo que disminuye el material de cobertura.

- Largo o avance de la celda (m)

$$l = \frac{Ac}{a}$$

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

Debe tenerse en cuenta que en pequeñas comunidades serán uno o dos vehículos como máximo los que descarguen a la vez, lo que determina el ancho entre 3 y 6 metros.

Como los taludes (perímetro) también deben ser cubiertos tierra, la relación del ancho con el largo de la celda que menos material de cobertura requerirá sería la de un cuadrado. Se trata, entonces, de la raíz cuadrada del área de la celda:

$$a = l = \sqrt{Ac}$$

Cuando esto no se cumple por ser el ancho resultante demasiado estrecho para la descarga de los vehículos, entonces se fija primero el ancho y luego se calcula el avance, tal como se explicó con la fórmula.

4.12. Cálculo de la mano de obra

Este cálculo sirve para hacer una estimación del personal necesario para el correcto desempeño del vertedero. La mano de obra necesaria para conformar la celda diaria depende de:

- La cantidad de residuos sólidos que se debe disponer
- La disponibilidad y el 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 residuos en el frente de trabajo según la distancia
- El rendimiento de los trabajadores

La siguiente es una guía para calcular el número de trabajadores necesarios en el relleno sanitario manual. En ella se considera una jornada de ocho horas diarias, con un tiempo efectivo de seis horas.

Estos rendimientos son bajo condiciones normales de trabajo y pueden variar en cada lugar según los factores descritos anteriormente (tabla XVII).

Tabla XVII. **Guía de cálculo para estimar el número de trabajadores**

OPERACIÓN	RENDIMIENTOS		hombre/día
Movimiento de desechos	<u>Desechos sólidos (t/día)</u> (0,95 ^a t/hora – hombre	x $\frac{1}{6}$ horas	
Compactación de desechos	<u>Área superficial (m²)</u> (20 ^a m ² /hora – hombre	x $\frac{1}{6}$ horas	
Movimiento de tierra	<u>Tierra m³</u> (0,35 a 0,70) ^a m ³ /hora – hom.	x $\frac{1}{6}$ horas	
Compactación de la celda	<u>Área superficial (m²)</u> (20) ^a m ² /hora – hombre	x $\frac{1}{6}$ horas	
	(Total hombres)		

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 15 de enero de 2012.

Flintoff reporta los siguientes requerimientos de mano de obra de tres sitios, en los cuales se operaron rellenos sanitarios manualmente (tabla XVIII).

Tabla XVIII. **Rendimientos reportados de otras experiencias**

Sitio	t/día	Rendimiento
1	30	2 hombres /15 t/hombre-día
2	50	6 hombres /8 t/hombre-día
3	100	10 hombres /10 t/hombre-día

Fuente: http://bvs.per.paho.org/curso_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 15 de enero de 2012.

Las densidades de los desechos distribuidos en estos lugares fluctuaron entre 250 y 400 kilogramos por metros cúbicos; así, para un tonelaje dado, el volumen que se debe manejar podría ser similar o mayor que en los países en desarrollo.

La tabla XIX indica la escala probable de los requerimientos de mano de obra y material de cobertura con una tasa de generación y densidad típicas en América Latina.

Tabla XIX. **Requerimientos probables de mano de obra**

Población Habitantes	Volumen (m ³ /día)				
	t/día (ppc=0,5 kg/hab/día)	Bas. Suelta (330 kg/m ³)	Bas. Comp. (500 kg/m ³)	Material de cobertura m ³	Hombres
20 000	10	30	20	4	4
50 000	25	75	50	10	10
100 000	50	150	100	20	19

Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: 15 de enero de 2012.

Además del número de hombres que ejecutarán las labores propias de la construcción del relleno, es necesaria otra persona que dirija y oriente las operaciones en el relleno sanitario manual en calidad de supervisor.

Teniendo en cuenta que contar con un profesional capacitado en el manejo de residuos sólidos sería costoso en algunos municipios, se recomienda contratar un individuo que sea técnico, con secundaria completa y que sepa realizar operaciones matemáticas, o promotor de salud, que sepa realizar operaciones matemáticas y que tenga cierta experiencia en el ramo.

Cabe anotar que la presencia del supervisor en el relleno sanitario es importante durante casi toda la jornada laboral en los primeros meses. Conforme adquiera mayor experiencia, es posible reducir a dos horas diarias su tiempo de permanencia en el lugar: una hora en la mañana y otra en la tarde. El resto del día lo podría dedicar a la supervisión del aseo urbano en general. En última instancia, esta labor de supervisión puede ser llevada a cabo por el jefe de Obras Públicas del municipio.

4.13. Proyecto paisajístico

El relleno sanitario manual también debe tener consideraciones estéticas y paisajísticas, para que, una vez concluida su vida útil, pueda integrarse al ambiente natural y se armonice con el entorno. La cobertura final compactada de 0,4 a 0,6 metros, como mínimo, y los drenajes de aguas de escorrentía y gases son esenciales para la vida vegetal sobre el relleno, la que se restringe a especies de raíces cortas mientras el relleno se estabiliza.

Se recomienda sembrar en toda el área arbustos de raíces cortas que no traspasen la cobertura. Se admite también el plantío en hoyos rellenados con tierra abonada más pasto o grama, a fin de evitar la erosión y el aumento del lixiviado. A medida que se terminen algunas áreas del relleno, conviene sembrar el pasto sin esperar a que se acabe toda la superficie de las plataformas o terraplenes.

4.14. Análisis de impactos socio ambientales

Los análisis de impactos ambientales buscan identificar anticipadamente los efectos positivos y negativos que tiene todo proyecto de relleno sanitario en sus distintas fases: selección del sitio, construcción, operación y clausura. La medición de los impactos debe ser interdisciplinaria y realizarse en los componentes naturales tanto del sitio como del entorno (agua, suelo y aire), al igual que en las variables de tipo económico y social.

En la tabla XX se presentan los principales aspectos socio ambientales asociados con las etapas del proyecto de un relleno sanitario.

Tabla XX. **Aspectos socio ambientales asociados a un proyecto de relleno sanitario manual**

Etapa del proceso	Fuente / Actividad										
	Suelo		Agua		Aire					Salud	Social
	Desvalorización del terreno y los predios vecinos	Contaminación visual	Superficial	Subterránea	Ruido	Olores	Humo	Polvo	Material disperso	Vectores	Vecinos
Selección del sitio											
Usos del suelo											
Opinión pública											
Vía de acceso y tráfico vehicular											
Dirección del viento											
Costos del terreno											

Continuación de la tabla XX.

Relleno sanitario manual											
Generación de empleo											
Turismo											
Preparación del terreno											
Camino de acceso											
Desvío de aguas											
Canal perimetral											
Construcción											
Camino internos											
Adecuación de la plataforma											
Excavación de zanjas											
Caseta (portería e instalaciones sanitarias)											
Operación											
Tipo de residuos											
Recepción de residuos											
Compactación de residuos											
Recepción de residuos											
Cobertura diaria											
Drenajes (gases y lixiviado)											
Manejo de lixiviado											
Clausura del relleno											
Cobertura final											
Uso futuro											

Fuente: http://bvs.per.paho.org/cursos_rsm/e/unidad5.html. Consulta: Consulta: 15 de enero de 2012.

5. ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIO ECONÓMICO AMBIENTAL

5.1. Análisis de impacto económico

En este sentido, el impacto económico de un proyecto social se entiende como el nivel de eficiencia económica del mismo; es decir, corresponde a una comparación de la totalidad de los costos y beneficios sociales resultantes del proyecto, independiente de la forma en que ellos se distribuyen entre los diferentes actores sociales. Por otro lado, el impacto social de un proyecto generalmente se diferencia del impacto económico por medio de incorporar los aspectos distributivos del mismo, así como los potenciales impactos sobre el empleo.

Para reflejar el impacto económico y financiero de las acciones del plan en la región se utilizarán indicadores como la variación en las curvas de producción, los conflictos con los sectores económicos activos, los índices de rentabilidad financiera, el análisis de sensibilidad y los cambios previstos en los indicadores económicos y productivos.

5.1.1. Variación en las curvas de producción predial y regional

En los modelos actuales de producción a nivel predial, se utiliza en general una secuencia deforestación-agricultura-pastos-barbecho, manteniendo las superficies agrícolas relativamente constantes, incrementando los pastos y áreas improductivas, y con una constante reducción de los bosques prediales. Aunque existen variaciones, especialmente cuando se han introducido cultivos

permanentes, este modelo conduce a un deterioro progresivo de la productividad familiar, con ingresos constantes o decrecientes utilizando cada vez mayor superficie en explotación.

5.1.2. Rentabilidad financiera y económica

La mayor parte de las acciones del plan se orientan a la conservación y uso racional de los recursos de la región. Desafortunadamente no siempre se puede asignar un valor financiero a los beneficios que esas actividades generan.

La protección de los cauces de los ríos, la disminución de la erosión, la protección del bosque nativo, las especies endémicas y la biodiversidad que alberga, la educación e investigación ambientales, el mejoramiento de las condiciones de salud y salubridad, la consolidación de las organizaciones campesinas, etc., son beneficios claros en la ejecución del Plan, pero a los cuales no se los puede valorar en los términos usuales.

5.1.3. Impacto en indicadores regionales

Con la utilización de tecnologías mejoradas se conseguirá que se incrementen los rendimientos de los cultivos que actualmente se utilizan en la zona, a corto y mediano plazo. Con la introducción de nuevas alternativas, de alto rendimiento, se mejorarán los ingresos y la eficiencia de las unidades productivas en forma general, lo cual se reflejará en los ingresos y la rentabilidad.

5.2. Análisis de impacto Ambiental

Es uno de los instrumentos de la política ambiental con aplicación específica e incidencia directa en las actividades productivas, que permite plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. A lo largo de las dos últimas décadas ha logrado constituirse en una de las herramientas esenciales para prevenir, mitigar y restaurar los daños al medio ambiente y a los recursos renovables del país y ha evolucionado con el propósito de garantizar un enfoque preventivo que ofrezca certeza pública acerca de la viabilidad ambiental de diversos proyectos de desarrollo.

Está dirigida a efectuar análisis detallados de diversos proyectos de desarrollo y del sitio donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos ambientales que puede ocasionar su ejecución.

De esta manera es posible establecer la factibilidad ambiental del proyecto (análisis costo beneficio ambiental) y, en su caso, determinar las condiciones para su ejecución y las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales que será necesario tomar para evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

Entre las principales características de la evaluación del impacto ambiental, están las siguientes:

- Es un instrumento que tiene un carácter preventivo.
- Se aplica en obras o actividades humanas.

- Su objetivo es prevenir los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente que pudieran derivarse del desarrollo de una obra o actividad.
- Basa su efectividad en un análisis prospectivo-predictivo.
- Establece regulaciones a las obras o actividades sujetas a evaluación.
- Es un procedimiento integrador de diversas disciplinas científicas.

CONCLUSIONES

1. El conocimiento de las características de la maquinaria y el rendimiento de los trabajos que puede realizar cada una, son imprescindibles para el cálculo de cantidades de trabajo y precios unitarios. Además, permite relacionar en qué actividad del proceso constructivo se utilizan, para optimizar su rendimiento.
2. Debido a que los proyectos viales conllevan grandes beneficios sociales y desarrollo a las poblaciones, estos se deben de ejecutar con la mejor calidad posible, cumpliendo con normas nacionales e internacionales.
3. El impacto que este tipo de proyectos da a las comunidades rurales de Guatemala es significativo ya que estas se verán beneficiadas con la adecuada técnica de manejo, recolección y disposición de los desechos.
4. El buen manejo de los desechos sólidos en el área rural deberá estar a cargo de personal debidamente preparado y capacitado, con la supervisión constante de las autoridades municipales, específicamente por la Dirección de Planificación Municipal (DPM).

RECOMENDACIONES

1. Debido al constante crecimiento poblacional se debe velar por educar a las comunidades y capacitarlas para la buena disposición y tratamiento de los desechos, para que no contamine el medio ambiente.
2. Se deben actualizar constantemente los precios de la maquinaria, mano de obra y materiales, ya que pueden surgir variaciones, según las fechas y lugares en que se presenten las ofertas. Una fuente fidedigna de crédito es el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Cámara Guatemalteca de la Construcción.
3. La elaboración de dichos rellénenos debe de ser con materiales económicos, locales y con personal de la comunidad para que mejoren sus ingresos y se sientan identificados con la problemática.
4. Realizar un proyecto sobre disposición de desechos sólidos, debe difundirse por los medios (radio, televisión, periódicos) para conocimiento de los vecinos.

BIBLIOGRAFÍA

1. DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA. *Reglamento sobre el derecho de vía de los caminos públicos y su relación con los predios que atraviesan*. Guatemala: DGC, 1942. 16 p.
2. GUATEMALA CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE. *Ley de Contrataciones del Estado: Decreto Número 57-92*. Guatemala: Congreso de la República, 1992. 28p.
3. _____. *Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado: Decreto Número 1056*. Guatemala: Congreso de la República, 1992 25 p.
4. GUERRERO ESPÍNOLA DE LÓPEZ, Alba Maritza. *Formulación y evaluación de proyectos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 116 p.
5. Instituto Nacional de Estadística. *Proyección de población 2011*. [en línea] <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/index.htm> [Consulta: septiembre 2011].
6. JORGE JARAMILO. *Guía para el diseño construcción y operación de rellenos sanitarios manuales* 2da. ed. Colombia: Universidad de Antioquia Colombia, 2002. 303 p.

7. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda; Dirección General de Caminos, *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MCIV, 2001. 456 p.
8. _____. *Especificaciones técnicas para la construcción de caminos rurales en Guatemala caminos ambientalmente compatibles*. Guatemala: MCIV, 2002. 89 p.
9. PÉREZ, Augusto René. *Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989.122 p.