

Guía práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos

Por Carlos Eduardo Meléndez
octubre 2004



Agradecimientos

Queremos brindar reconocimiento y un agradecimiento especial a las siguientes organizaciones e individuos, los cuales participaron en la revisión de esta guía:

A las Autoridades Municipales del Municipio de Pasaquina en el Departamento de La Unión en la República de El Salvador.

Carmen de Canelo, Instituto Salvadoreño de Desarrollo Municipal

Doreen Salazar, PROARCA/SIGMA

Jaime Domingo Carranza, INFOM, Instituto de Fomento Nacional de Guatemala

Mercedes Herrera de Gómez, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador

Maria del Carmen de Sermeño, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador

Leyla Zelaya, Consultora Ambiental

Y en Especial a Stewart Oakley, quien ha compartido su investigación en Honduras para enriquecer la presente.

Acerca de esta publicación

*Esta publicación y el trabajo descrito en ella fueron financiados por la **Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)**, a través de **PROARCA/SIGMA**, en apoyo a la agenda de la **Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD)**, en el contexto de **CONCAUSA**, la declaración Conjunta entre Centroamérica y Estados Unidos (Miami, octubre de 1994) sobre la conservación del ambiente en Centroamérica.*

*Las opiniones e ideas presentadas aquí no son necesariamente respaldadas por **USAID**, **PROARCA/SIGMA**, o **CCAD**, ni representan sus políticas oficiales.*

INDICE

1	Propósito de la Guía	1
2	Introducción.....	1
3	Antecedentes.....	1
4	Introducción al Concepto de Relleno Sanitario.....	3
4.1	<i>Relleno sanitario manual</i>	4
4.2	<i>Relleno sanitario semi-mecanizado</i>	4
4.3	<i>Método área y método trinchera</i>	4
4.4	<i>Normativa</i>	5
4.5	<i>Gestión Integral</i>	5
5	Operación de rellenos sanitarios.....	6
5.1	<i>Diagnóstico de la situación actual</i>	6
5.2	<i>Estudios de campo y diseño</i>	7
5.3	<i>Preparación de terreno y obras iniciales</i>	8
5.4	<i>Operación y mantenimiento</i>	9
6	Operación diaria de celdas en relleno sanitario.....	9
6.1	<i>Calculo de la Celda Diaria</i>	10
6.1.1	Residuos sólidos a recibir	10
6.1.2	Días de recolección	10
6.1.3	Selección de Equipo para la celda diaria.....	11
6.1.4	Dimensionamiento de la Celda Diaria	12
6.2	<i>Metodología para la construcción de la celda diaria, método área</i>	12
7	Desarrollo de un Plan de Manejo para el Relleno Sanitario	15
7.1	<i>Conformación de terraza</i>	15
7.2	<i>Acumulación y protección de material de cobertura</i>	15
7.3	<i>Colocación de tubería de lixiviado</i>	15
7.4	<i>Drenaje perimetral</i>	15
7.5	Registro y control de acceso.....	15
7.6	<i>Descarga, esparcimiento y compactación de los residuos sólidos</i>	15
7.7	<i>Cubierta de los residuos sólidos</i>	16
7.8	<i>Control de vectores y roedores</i>	16
7.9	<i>Construcción de chimeneas</i>	16
7.10	<i>Control de material volante</i>	16
7.11	<i>Control de niveles de lagunas de lixiviados</i>	16
7.12	<i>Control y tratamientos de lodos</i>	16
7.13	<i>Monitoreo de la calidad de los lixiviados</i>	16
7.14	<i>Monitoreo del agua subterránea</i>	16
7.15	<i>Recirculación de lixiviados</i>	16
7.16	<i>Mantenimiento de drenajes</i>	17
7.17	<i>Mantenimiento de terrazas</i>	17
7.18	<i>Mantenimiento de instalaciones auxiliares</i>	17
7.19	<i>Control de salud de los trabajadores</i>	17
7.20	<i>Acabado final y asentamiento</i>	17
7.21	<i>Esquema de gráficos del proceso de avance</i>	17
Anexos	18
Anexo A.	Caso de Estudio I: Operación de relleno sanitario de Pasaquina, El Salvador	18
Anexo B.	Caso de Estudio II: Operación de relleno sanitario de Villanueva, Honduras.....	27
Anexo C.	Formularios de Seguimientos	34
Anexo D.	Bibliografía	35

1 Propósito de la Guía

El propósito de esta guía es que los empleados municipales responsables del manejo de los desechos sólidos se capaciten y apliquen ésta en la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios medianos.

2 Introducción

La presente guía se enmarca en el proyecto Programa Ambiental Regional para Centroamérica, PROARCA, que desarrolla la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos de Norte América (USAID), Según la experiencia de PROARCA / SIGMA en Centroamérica, hay una deficiencia grande en el control técnico de las buenas prácticas de operación de rellenos sanitarios, por municipalidades medianas y pequeñas, aún cuando éstas tengan infraestructura apropiada y hayan recibido apoyo técnico para mejorar su manejo.

Se espera que la presente guía apoye a los operadores de rellenos sanitarios, de poblaciones de menos de 100.000 habitantes, y que sirva como un manual de operaciones básico que le permita al personal técnico y administrativo mejorar las actividades diarias de su relleno sanitario.

La presente guía, por estar orientada a la operación de rellenos y más específicamente a celdas diarias, no desarrolla otros temas importantes en el manejo de residuos sólidos, sin embargo se mencionan, el autor recomienda que todo operador de relleno sanitario, o responsable de gestión de residuos sólidos debe informarse técnicamente de todo el proceso.

3 Antecedentes

Las dificultades ocasionadas por la falta o inadecuado manejo de los residuos sólidos por parte de la población no son un problema nuevo. Para el siglo XV la historia nos habla de la peste bubónica transmitida por las pulgas de las ratas, enfermedad que en Europa causó la muerte de 25 millones de personas en un lapso de tres años.

Esto confirma que los problemas causados por el mal manejo de los residuos sólidos no son nuevos y a medida la población y el desarrollo local aumenta, los residuos sólidos también, y si éstos no son atendidos sanitariamente traen como consecuencia la contaminación, la proliferación de roedores e insectos nocivos para la salud; surgiendo la necesidad de controlar o atender el almacenar, recoger y disponer los residuos en una forma adecuada.

La situación en los últimos años en Centroamérica no ha sido la excepción, a través de los periódicos de mayor circulación se ha conocido sobre acontecimientos importantes ocasionados, por el mal manejo de los residuos, por ejemplo: La leptospirosis, enfermedad transmitida por las pulgas de las ratas, ha reaparecido en Nicaragua, Honduras y El Salvador. Para finales del siglo XX e inicios del siglo XXI el dengue hemorrágico, enfermedad transmitida por el mosquito (zancudo) *Aedes Egyptus* se ha incrementado en el área centroamericana, por lo que, la mortalidad por esta causa ha aumentando, situación que se relaciona a los residuos sólidos esparcidos en caminos, quebradas, basureros municipales, rellenos sanitarios mal operados, que permiten la reproducción de dicho mosquito.

Sin embargo en Centroamérica, también se han dado grandes pasos en materia técnica y de gestión de residuos sólidos, San Pedro Sula dio en concesión la prestación del servicio de recolección y disposición final, los municipios del Área Metropolitana de San Salvador, crean una empresa mixta y abren un relleno sanitario con capacidad de recibir más de 1500 toneladas diarias, Managua está en la reconversión de su vertedero a uno controlado; así mismo, San José convirtió su principal vertedero Río Azul en un relleno sanitario, y otros tantos esfuerzos que están desarrollando las municipalidades con grandes poblaciones en los países del área centroamericana.

Los municipios de menos de cien mil habitantes, en forma individual o asociada han emprendido acciones en torno a mejorar la disposición final, que continúa siendo una de las más fuertes debilidades de los sistemas de manejo, ejemplo de ello se tiene: en Honduras, el relleno de Villanueva; en El Salvador, Pasaquina, Suchitoto y Usulután; en Nicaragua, el de Mateare, y en Costa Rica no solo ha implementado rellenos sanitarios de pequeña envergadura sino que éstos son operados por Microempresas de residentes del lugar.

Sin embargo estos esfuerzos se ven limitados por la alta rotación de personal en la administración municipal, como consecuencia de los cambios de autoridades municipales en períodos de tiempo corto. Las municipalidades, con el apoyo de diferentes ONG's implementan modelos de gestión y operación de otros países, y éstos funcionan mientras la cooperación esta presente, como consecuencia no se construye la capacidad local del personal especializado, sistemas analíticos, capacitación en el sistema de procesamiento de datos, recursos financieros, etc,

Algunos países de Centroamérica, cuentan con reglamentos en materia de residuos sólidos, ver cuadro siguiente

Países de la región centroamericana que cuentan con normativas en residuos sólidos

Normativa	País	Fecha de Aprobación
Reglamento sobre el Manejo de Basuras, Decreto 19094	Costa Rica	29 de junio de 1989
Reglamento sobre Rellenos Sanitarios, Decreto 27378-S	Costa Rica	9 de Octubre de 1998
Reglamento Especial Sobre El Manejo Integral de los Desechos Sólidos, Decreto N° 42	El Salvador	1 de Junio del 2001
Solid Waste Management Authority Act. Chapter 224	Belice	31 de Diciembre del 2000
Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos Acuerdo N° 378-2001	Honduras	20 de Febrero del 2001
Norma Técnica para Rellenos Sanitarios, NTON 05013-01	Nicaragua	No disponible
Norma técnica Ambiental para el Manejo, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos no- peligrosos, NTON 05014-01	Nicaragua	24 de mayo 2002

Fuente : Propuesta de Modelo de Estrategia de Armonización de Estándares de Calidad Ambiental en la región centroamericana, Tema: Residuos Sólidos, julio 2003

En Centroamérica, la disposición final en el manejo de residuos sólidos continúa siendo un punto crítico, sanitariamente y estéticamente hablando, porque es una práctica generalizada el utilizar predios baldíos, barrancas o riberas de quebradas para la deposición. Por ejemplo en El Salvador, para el año 2003, de los 262 Municipios solo 25 poseen disposición final adecuada y se identifican 147 botaderos a cielo abierto dispersos por todo el territorio de El Salvador.

4 Introducción al Concepto de Relleno Sanitario

Los botaderos atraen animales y son centros de proliferación de ratas, moscas, cucarachas y otros insectos. Además, la lluvia que cae sobre los residuos produce lixiviados (líquidos percolados), los cuales pueden contaminar las fuentes de agua superficiales (ríos o lagunas) o subterráneas (agua de pozos).

Las definiciones de Relleno Sanitario especificadas en los reglamentos mostrados de Costa Rica, Honduras y El Salvador, (ver anexo A) se resumen muy bien en la propuesta por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE, **“Relleno Sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo, sin perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, método éste, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y para cubrir la basura, así depositada con una capa de tierra, por lo menos al fin de cada jornada ”.**

Los rellenos sanitarios pueden ser manuales, mecánicos, o semi-mecanizados (véase el cuadro 1). Las normativas en Costa Rica, El Salvador, Honduras y Nicaragua, sobre residuos sólidos definen que un relleno sanitario puede operarse manualmente si se procesan menos de 20 toneladas / día (aproximadamente hasta 30.000 habitantes), Manual o Mixto si se tiene entre 20 y 40 toneladas / día (aproximadamente hasta 100.000 habitantes), y Mecanizado si se procesan más de 40 toneladas / día.

Cuadro 1. Clasificación de la disposición final

Descripción	Botadero		Relleno Sanitario		
	No controlado	Controlado	Manual	Semi mecanizado	Mecanizado
¿Uso de cobertura diaria?	No	Si	Si	Si	Si
Impermeabilización del suelo	No	No	Normalmente con arcilla	Si	Tecnificado, normalmente con arcilla o geomembrana
Sistema de recolección y tratamiento de lixiviados	No	No	Si, pero menos tecnificado que un relleno mecanizado	Si	Si
Sistema de drenaje de aguas superficiales	No	Varia	Si	Si	Si
Sistema de control de gases	No	No	Si	Si	Si
Compactación de material	Ninguno	A Mano	A Mano	Manual y/o mecanizado	Con equipo mecanizado
Rutas de acceso pavimentado	No	No	No	Varia	SI

4.1 Relleno sanitario manual

Como su nombre lo indica, los rellenos sanitarios manuales no necesitan equipos pesados permanentes para su operación, sino herramientas sencillas como palas, azadones, piochas, rastrillos, apelmazadoras manuales, etc. Además, su implementación representa generación de empleo en la comunidad. Únicamente se requiere equipo pesado para preparar el sitio, construir las vías internas, excavar las zanjas o extraer material de cobertura.

Sin embargo, un relleno sanitario manual bien operado incluirá el uso de cobertura diaria para minimizar el acceso de vectores de enfermedades a los residuos, será ubicado en un sitio arcilloso o por lo menos donde minimiza su riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, tendrá un sistema sencilla de recolección y manejo de lixiviados, canales para evitar que las aguas superficiales pasen por los residuos, y chimeneas para que no se acumule gas metano en los residuos.

Es viable implementar un relleno manual en poblaciones que tengan menos de 40.000 habitantes o que generen menos de 20 toneladas (440 quintales) diarias de residuos sólidos. Si hubiera dos o tres comunidades muy pequeñas relativamente cerca se puede hacer un solo relleno para atender a todas.

4.2 Relleno sanitario semi-mecanizado

El relleno sanitario semi-mecanizado tiene todas las características de un relleno diseñado, construido, y operado con criterios de ingeniería civil y sanitaria, incluyendo chimeneas para ventilación de biogás y sistema de drenaje interno de lixiviados. Se llama semi-mecanizado porque requiere maquinaria pesada solamente de vez en cuando, principalmente para la excavación de zanjas o trincheras. También, dependiendo del sitio y el tamaño del relleno, puede requerir maquinaria para la construcción de vías internas, la preparación de la base de soporte impermeable y el sistema de drenaje de agua pluvial, los lixiviados, y las chimeneas para la ventilación de biogás, y la aplicación del material de cobertura.

El relleno sanitario semi-mecanizado puede utilizar maquinaria para la compactación de desechos para aumentar su densidad y reducir su volumen, se puede utilizar mano de obra para la compactación y cobertura diaria, y se puede aprovechar de la compactación "natural", aprovechando del peso del material de residuos sólidos y el material de cobertura, y de la descomposición de la materia orgánica.

4.3 Método área y método trinchera

Existen dos métodos para realizar un relleno sanitario manual o semi-mecanizado: el método de zanja o trinchera y el método de área.

- **Método de área** Con este método, el relleno sanitario se construye sobre la superficie del terreno o para llenar depresiones. En este caso, el material de cobertura se debe importar de otros sitios o, si es posible, extraerlo de la capa superficial del sitio a rellenar para ahorrar lo más posible. Es importante construir las celdas diarias con una pendiente suave para evitar deslizamientos y estabilizar el relleno a medida que éste se eleva. El ejemplo de Pasaquina, El Salvador, Anexo A, y la las ilustraciones de sección 6.2 se refieren a este método.

- **Método de trinchera** Consiste en excavar zanjas de dos o tres metros de profundidad y entre tres y seis metros de ancho con una retroexcavadora; la tierra que se extrae se deja a un lado de la zanja para usarla después como material de cobertura. Los residuos se descargan del lado opuesto a donde se acumuló el material de cobertura y se acomodan dentro de la trinchera, compactándolos y cubriéndolos con tierra; esta es la parte de la operación que puede hacerse manualmente. Se recomienda hacer cada zanja de tal forma que pueda tener una vida útil entre 30 y 90 días, considerando que hay que tener lista una nueva zanja antes de clausurar la que está en uso. De otra forma se corre el riesgo de que el lugar se convierta en un botadero abierto. La separación entre zanja y zanja debe ser por lo menos de un metro, dependiendo del tipo de suelo del lugar. El ejemplo de Villanueva, Honduras, Anexo B, se refiere a este método.

También es posible combinar los dos métodos, siempre y cuando la topografía y las condiciones físicas del terreno lo permitan.

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

4.4 Normativa

Para todos y todas las y los funcionarios Municipales, como punto de partida en el manejo de los residuos sólidos, es imperativo conocer las normativas vigentes tales como, tratados internacionales, códigos, reglamento, ordenanza, en su respectivo país sobre la temática, por dos razones importantes:

En primer lugar, porque estas normativas o reglamentos orientan las actividades específicas a desarrollar en cada una de las fases de manejo, y más específicamente los reglamentos de residuos sólidos, definen muy claramente las actividades técnicas mínimas a desarrollar en los rellenos sanitarios.

Y en segundo lugar, se debe tener muy en cuenta que estas son reglas de cumplimiento obligatorio y que por lo tanto, como funcionarios se tiene la responsabilidad de cumplirlas, de lo contrario serán sancionados o acusados conforme a las disposiciones establecidas.

4.5 Gestión Integral

Es importante como marco de referencia, el tener en cuenta las fases en el manejo de residuos sólidos: Generación, Almacenamiento, Recolección, Transporte, Procesamiento, Tratamiento, Transporte y **Disposición final**.

Cada una de estas etapas tiene sus particularidades, sin embargo, la decisión que se tome en cada una de ellas tienen consecuencia en las otras.

Por ejemplo si se define que la población deberá separar sus residuos sólidos, en orgánicos provenientes de jardín y cocina, e inorgánicos los efectos posibles en las etapas antes apuntadas serán:

En almacenamiento, se requerirá en los lugares de generación dos tipos de recipientes para su almacenamiento,

En la etapa de recolección, deberá diseñarse dos tipos de rutas y posiblemente se requerirá de dos equipos, uno para cada tipo,

Se deberá contar con una planta de procesamiento para los residuos orgánicos,

Y la etapa de disposición final, se verá muy favorecida porque se disminuirán los volúmenes de desechos a recibir, lo que ampliaría la vida útil de un relleno sanitario.

Por lo antes expresado, se puede concluir que es importante para una gestión integral de manejo de residuos sólidos analizar cada una de las etapas y la incidencia en las otras.

5 Operación de rellenos sanitarios

Siempre considerando la importancia de tomar en cuenta la normativa vigente y el rol del manejo del relleno sanitario en el contexto del manejo integral de los residuos sólidos, la presente guía profundiza en la disposición final a través de relleno sanitario y tiene su mayor énfasis en la operación de celda diaria como unidad básica de ellos.

Para contar con un relleno sanitario, se requieren las siguientes macro actividades:

- Diagnóstico de la situación actual
- Estudios de Campo y Diseño
- Preparación del terreno y obras iniciales
- Operación y mantenimiento

5.1 Diagnóstico de la situación actual

Se procede a identificar:

- Gestión Administrativa
- Participación ciudadana en la gestión
- Situación actual de recolección, equipos, recurso humano.
- Población a atender y su proyección en al menos los años indicados en el reglamento respectivo
- Actividades principales que se desarrollan, comercio, industria, agricultura, etc.
- Tipos de residuos que generan
- Cantidad de residuos diarios que se producen en volumen y peso.
- Composición de los residuos producidos,
- Producción per cápita, domiciliar y municipal.
- Etc.

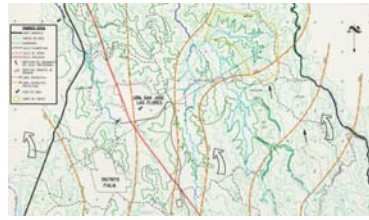
Con el conocimiento de la situación actual y las características de los residuos se procede a un pre-dimensionamiento del terreno que se requiere para la cantidad de años que fue seleccionada. Procediéndose a realizar los estudios de campo y el diseño.

El involucramiento de la población desde el inicio en el proyecto, debe considerarse como un eje transversal.

5.2 Estudios de campo y diseño:



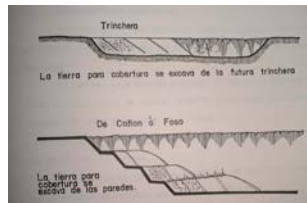
a. Identificación de Sitio



b. Análisis Hidrogeológicos



c. Topografía



d. Método Constructivo



e. Diseño



f. Análisis de costo



g. Presentación a autoridades y población

Concluida la etapa de diseño, se procede a gestionar y solicitar los permisos definitivos para el inicio de la construcción de las obras iniciales. Las legislaciones vigentes exigen un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para obras de esta naturaleza, por lo que es importante mantener una estrecha comunicación con las entidades encargadas de emitir dichos permisos, que usualmente son el ministerio de salud o el ministerio del ambiente.

5.3 Preparación de terreno y obras iniciales



a. Limpieza y desmonte



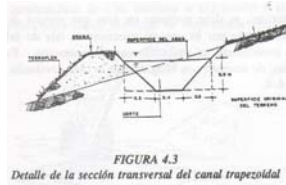
b. Construcción de acceso



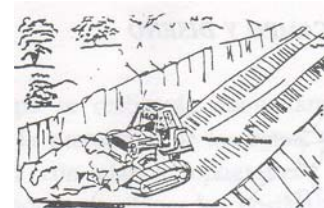
c. Cercado de Terreno



d. Siembra de Árboles



e. Drenaje Aguas Lluvia



f. Preparación del suelo de soporte



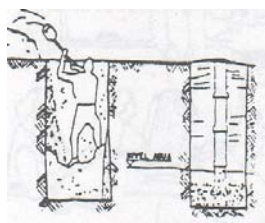
g. Drenaje de Lixiviados y tratamiento de estos



h. Chimeneas para Gas



i. Caseta y Servicio Sanitario



j. Monitoreo



k. Señalización

Concluida la etapa de implementación de obras iniciales, la operación, se convierte en la acción más importante que se desarrolla durante toda la vida útil del sitio, y con una buena operación, los riesgos inherentes a la disposición final de los residuos sólidos municipales, serán totalmente disminuidos.

5.4 Operación y mantenimiento



a. Terreno preparado



b. Descarga de Residuos



c. Esparcimiento en capas de los residuos



d. Compactación de los residuos



e. Extracción de material de cobertura



f. Cobertura con tierra al final de la jornada



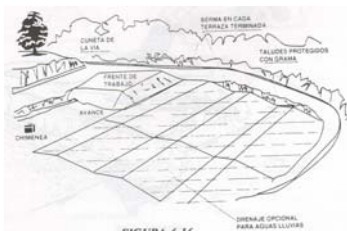
g. Compactación de material de cobertura



h. Drenajes de gases



i. Terminación de primera terraza o plataforma



j. Última terraza

k. El Monitoreo dependerá de la normativa de cada país

l. Cierre técnico, las normativas centroamericanas contemplan la necesidad de dejar plasmado el plan de cierre

Es importante destacar, la necesidad de contar y aplicar un sistema de control en la operación, con la finalidad de contar con un excelente relleno sanitario.

6 Operación diaria de celdas en relleno sanitario

Se debe reconocer que las 2 responsabilidades más importantes que tienen los operadores del relleno sanitario son: primero, proporcionar la facilidad para que los vehículos transportadores de residuos sólidos municipales lleven a cabo la descarga de manera rápida y segura, y la segunda confinarlos de manera tal que se disminuyan los riesgos al ambiente y a la salud pública.

Lo anterior, tiene una estrecha relación con la recolección, dado que la productividad en la recolección es directamente proporcional al tiempo que les tome a los vehículos recolectores la descarga en el relleno sanitario.

Las celdas diarias son las unidades básicas que sustentan, los rellenos sanitarios sin esta estructura los rellenos se vuelven inestables estructuralmente.

Las celdas diarias, son calculadas por los diseñadores sin embargo la realidad del comportamiento de los residuos en el transcurso de la operación, va instruyendo a los operadores.

6.1 *Calculo de la Celda Diaria*

6.1.1 Residuos sólidos a recibir

Para el cálculo de la celda diaria esperada se requiere conocer la producción de residuos generada. A continuación se presenta una tabla que indica la cantidad de toneladas esperadas para diferentes poblaciones y diferentes producciones per cápita para la misma población, los colores de la primera tabla indican de conformidad a la legislación de cada país el tipo de operación permitida

Tabla de toneladas esperadas por día en relación a la población atendida

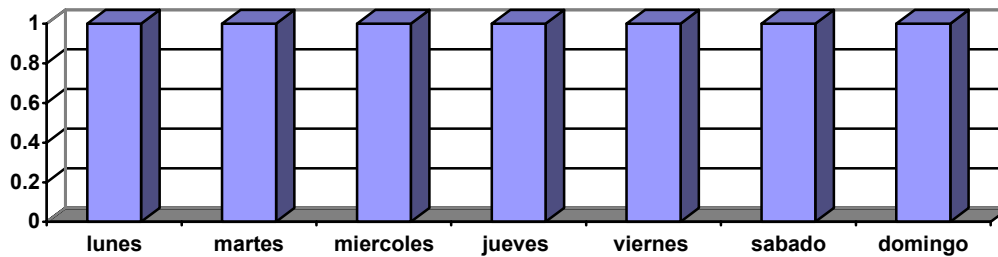
Población Atendida habitantes	Producción per cápita Kg / hab. / día					
	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
	Toneladas x día					
3000	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
5000	1.5	2	2.5	3	3.5	4
10000	3.0	4	5	6	7	8
25000	7.5	10	12.5	15	17.5	20
50000	15	20	25	30	35	40
75000	22.5	30	37.5	45	52.5	60
100000	30	40	50	60	70	80

	Manual
	Manual o mecanizado
	Mecanizado

6.1.2 Días de recolección

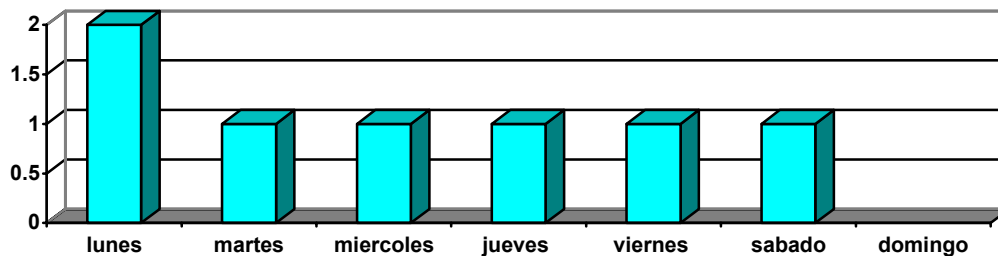
El siguiente dato importante es conocer cuántos días se presta el servicio y cuántas toneladas y metros cúbicos se espera recibir por día de trabajo, en los gráficos siguientes se muestra lo que se espera suceda dependiendo los días de recolección, si se tiene una recolección diaria incluyendo el domingo se espera que todos los días ingreso el mismo peso y volumen gráfico a)

a) Recepción diaria por siete días



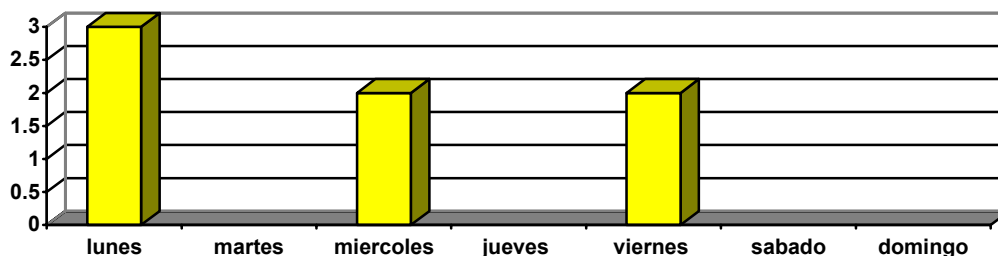
Cuando la recolección se realiza durante seis días, el primer día se duplica el peso y el volumen y los cinco restantes se mantendrá en relación a una unidad en peso y volumen, gráfico b)

b) Recepción diaria por seis días



Al realizar la recolección tres días por semana, para el primero se recibirá 3 veces la generación de un día y en los otros días dos veces la producción diaria, gráfico c)

c) Recepción diaria por tres días



Como puede observarse en los casos b) y c) hay un día que se recibe más desechos.

6.1.3 Selección de Equipo para la celda diaria

Para el dimensionamiento de la celda deberá tenerse en cuenta los rendimientos de los equipos o herramientas que se están utilizando o utilizarán para el proceso diario, en el proceso de operación del relleno sanitario caso de operación manual, la guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales de la Organización Panamericana de la Salud OPS,

muestra los siguientes valores de rendimiento y en resumen plantea que un hombre es capaz de procesar 2.5 toneladas diaria en una jornada de 6 horas

Rendimientos en Rellenos Manuales

Operación	/hr-hombre
Movimiento de desechos	0.95 ton
Compactación de desechos	20 m ²
Movimiento de tierra	0.37 m ³
Compactación de celda	20 m ²

Caso operación mecánica, deberá consultarse con el fabricante del equipo a continuación se muestra como ejemplo los equipos recomendados por Caterpillar

Selección de Equipo basada en población y tonelaje diario

Población	Ton métricas / día	Maquina(s) Requerida(s)
0- 20000	0-45	D3 ó 933
20000- 60000	45-136	D4 ó 939 y un 816
60000- 100000	136-226	D5 ó D6 ó 953 y 816

Fuente: Manual de rendimiento edición 29 Caterpillar

D3, D4, D5, D6: Tractores de cadenas
 816: Compactador de relleno sanitario
 933, 953. Cargador de cadena

6.1.4 Dimensionamiento de la Celda Diaria

Con el volumen de operación conocido, el diseño geométrico del relleno definido por el especialista, y el equipo de operación seleccionado, se definirá las dimensiones,

La altura se limitara conforme al método de operación, para rellenos manuales se recomienda un metro de altura, para rellenos con equipo semi pesado como minicargador deberá mantenerse un metro con equipos pesados entre un metro y tres de altura.

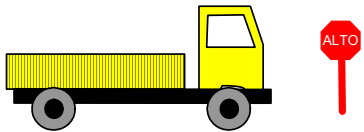
Área de celda = Volumen de residuos a procesar / Altura de celda

El largo de la celda estará sujeto a las variaciones normales del ingreso de residuos como ya se vio en las gráficas b) y c), mientras que el ancho se puede mantener constante, y dependerá del diseño geométrico. Refiérase a Anexos A y B para ejemplos de cálculos de dimensiones de celdas diarias y de zanjas.

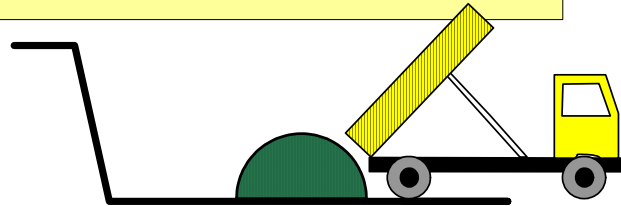
6.2 Metodología para la construcción de la celda diaria, método área

Dado que la guía pretende ser práctica y de fácil uso, el autor presenta a continuación en forma gráfica la elaboración de la celda diaria, **caso método área y uso de minicargador**, esto como consecuencia de lo encontrado en la investigación que da origen a esta metodología, y es el hecho de que los operadores del relleno tienen limitaciones de educación formal.

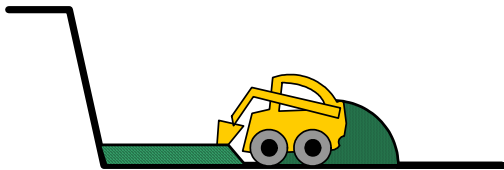
CONSTRUCCIÓN DE CELDA DIARIA



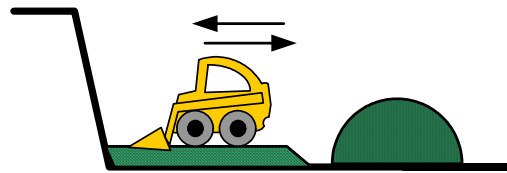
1. Anotación de datos de vehículo y procedencia en formulario e indicación donde deberá descargar



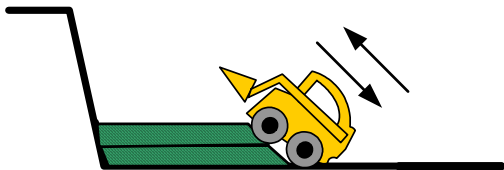
2. Descarga de residuos en el lugar indicado



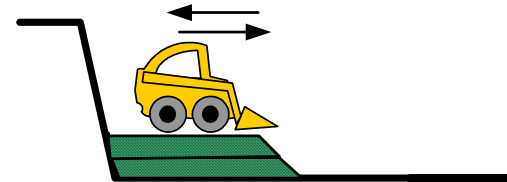
3. Esparcimiento de Residuos en capas



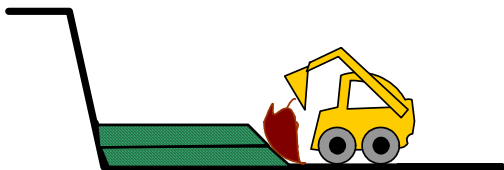
4. Compactación de primera capa de residuos



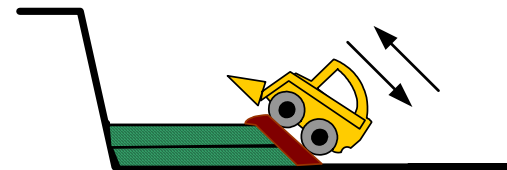
5. Conformación de bordes de la Celda y Compactación de éstos



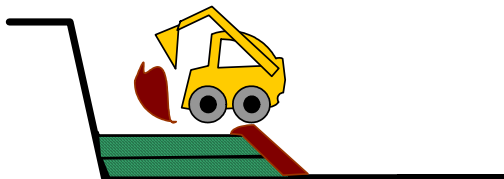
6. Compactación de residuos con al menos 4 pasadas de llantas en toda la superficie después de haber alcanzado 1 metro de altura.



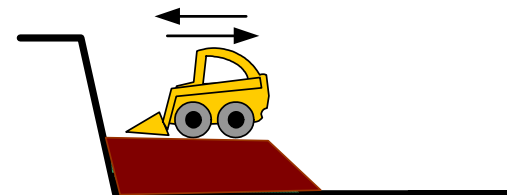
7. Excavación y acarreo de material de cobertura, descargado en los bordes de la celda



8. Compactación tierra de los bordes con al menos 4 pasadas de llantas



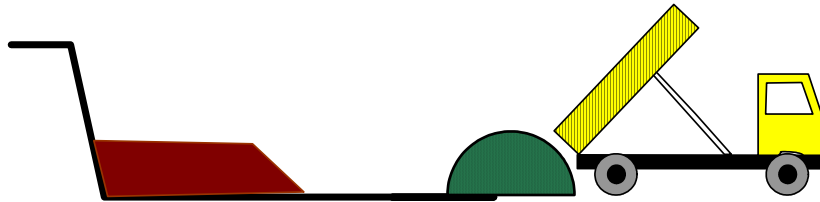
9. Material de cobertura, descargado en la parte superior de la celda



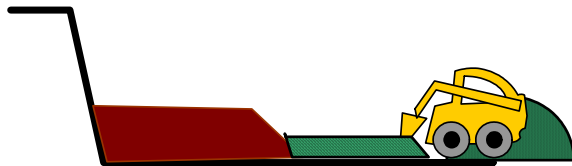
10. Compactación tierra de la parte superior de la celda con al menos 4 pasadas de llantas

PROARCA/SIGMA
Elaborado por: Carlos Eduardo Meléndez, Hoja 1/2

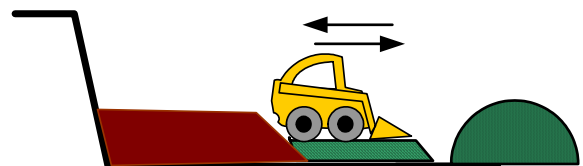
CONSTRUCCIÓN DE CELDA DIARIA



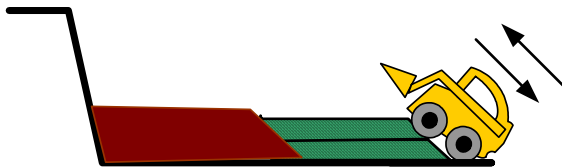
11. Inicio de siguiente celda con descarga de residuos, después de tomar los datos respectivos en el formulario



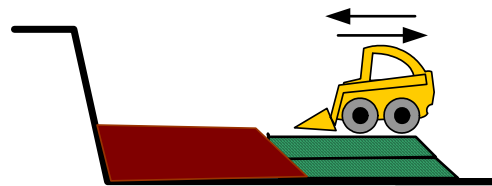
12. Esparcimiento de residuos en capas hasta alcanzar 1 metro de altura



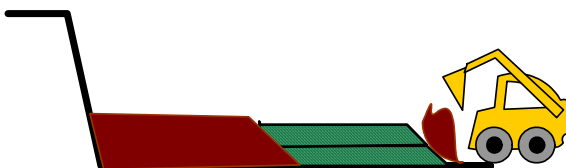
13. Compactación de cada una de las capas hasta alcanzar 1 metro de altura



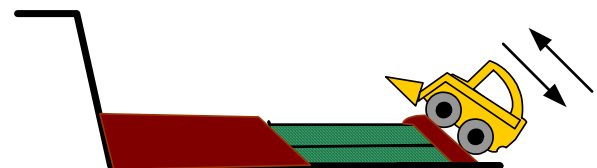
14. Conformación de bordes de la Celda y Compactación de residuos



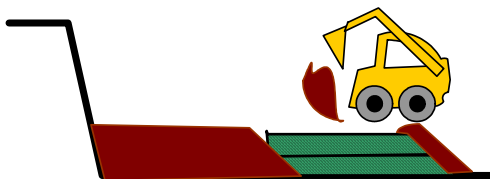
15. Compactación de residuos con al menos 4 pasadas de llantas en toda la superficie



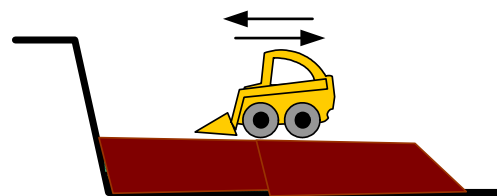
16. Excavación y acarreo de material de cobertura, descargado en los bordes de la celda



17. Compactación tierra de los bordes con al menos 4 pasadas de llantas



18. Material de cobertura, descargado en la parte superior de la celda



19. Compactación tierra de la parte superior de la celda con al menos 4 pasadas de llantas

PROARCA/SIGMA

Elaborado por: Carlos Eduardo Meléndez, Hoja 2/2

7 Desarrollo de un Plan de Manejo para el Relleno Sanitario

El plan de manejo para el relleno sanitario es parte integral del mismo y puede expresarse como la carta de navegación que permitirá a los operadores alcanzar la forma de diseño prevista para el uso futuro.

A continuación se describen los aspectos que un Plan de Manejo del Relleno Sanitario debe contener para realizar una buena operación del mismo. Lo cual debe de repetirse de forma periódica para realizar una revisión y ajustes constante al sistema.

7.1 **Conformación de terraza**

Debe de asegurarse que el suelo quede con una pendiente del 2% , inclinada hacia adentro del corte, la función es garantizar que los lixiviados drenen por gravedad hacia los drenajes.

7.2 **Acumulación y protección de material de cobertura**

Todo el material resultante del corte de terraza será acumulado en los extremos de las terrazas (en caso método área) o trincheras y tendrán que ser cubiertos con una lona o plástico para evitar que se erosione y que el polvo contamine el ambiente.

7.3 **Colocación de tubería de lixiviado**

La tubería deberá ser colocada con una capa superior de 50 cm de grava #1 y será cubierta con una tela de costal de mezcal que tendrá la función de filtro evitando que los orificios de la tubería se obstruyan, también se verificará que tengan una pendiente entre 0.5 y 1% (dependiendo del diseño);

7.4 **Drenaje perimetral**

Deberá desviarse la escorrentía superficial para evitar que llegue a la zona de trabajo de la terraza, por lo que se deberá construir una canaleta forjada en el suelo de sección trapezoidal que tendrá carácter provisional, llegando a quedar permanente las construidas al final de la última terraza. La pendiente será entre 0.5 a 1 % ;

7.5 **Registro y control de acceso**

El operador del relleno anotará los datos de cada vehículo que ingresa al relleno, en un formulario de control y le indicará donde deberá descargar,

7.6 **Descarga, esparcimiento y compactación de los residuos sólidos**

Método área:

El orden de desarrollo de las celdas diarias y el acomodamiento de la basura debe de realizarse en capas de 20 a 40 cm, de espesor, éste puede variar dependiendo con que equipo se ejecute, para el caso específico del mini cargador se sugiere el valor señalado, hasta alcanzar una altura aproximada de 1 metro. Se nivela la superficie superior y se compacta pasando las llantas en toda la superficie, al menos 4 veces. Ver Anexo A.

Método trinchera:

Se puede utilizar capas mas espesas y aprovechar la compactación parcial “natural” del peso de los residuos y del material de cobertura, siempre tomando en cuenta que habrá que

monitorear y tomar acciones para llenar fracturas que pueden formarse para evitar la entrada de agua pluvial y vectores. Ver Anexo B.

7.7 *Cubierta de los residuos sólidos*

La cobertura se realiza con una capa de tierra de 20 a 30 cm. En caso de uso de minicargador, se esparce con su pala frontal. Debe aplicarse como mínimo una vez por cada día de recolección;

7.8 *Control de vectores y roedores*

En momentos es necesario ejecutar medidas de saneamiento más drásticas que un Plan de recubrimiento con capas mayores a los 30 cm, es decir, en casos extremos en los que la presencia de los vectores es notoria, acudir a la fumigación para la erradicación de vectores y roedores,

7.9 *Construcción de chimeneas*

Se puede utilizar un barril de 200 litros, enterrado 30 cm y fijado con concreto, lo cual luego se llena de piedra cuarta para conservar su verticalidad y permitir el paso del biogás. Estos barriles deberían ser perforados con orificios de 4 a 6 cm de diámetros, distribuido uniformemente. Es importante garantizar la verticalidad de la chimenea durante toda la operación del relleno.

7.10 *Control de material volante*

Se aconseja que uno de los trabajadores, utilizando un saco o un costal, que recojan todos los materiales volantes dispersos al finalizar la jornada diaria y los deposite en el sitio donde se construye la celda.

7.11 *Control de niveles de lagunas de lixiviados*

Los niveles de las lagunas estarán sujetas a control de entrada y salida y se deberá evitar que ocurra un rebalse por lo que su monitoreo será de tres veces por semana.

7.12 *Control y tratamientos de lodos*

La acumulación de lodos en las lagunas disminuirá su capacidad de almacenamiento, principalmente en la primera laguna. Estos lodos serán extraídos y se dejarán secar para luego ser enterrados y sellados con arcilla para evitar lixiviación.

7.13 *Monitoreo de la calidad de los lixiviados*

Los lixiviados serán muestreados a la entrada y en la última laguna para determinar la eficiencia del tratamiento y poder realizar la programación de la recirculación de los mismos.

7.14 *Monitoreo del agua subterránea*

La toma de muestra del pozo de monitoreo y la evaluación de los parámetros de calidad estarán basados en la medición semanal del pH del agua y un chequeo semestralmente con los siguientes parámetros: pH, DBO5, OD, hierro, arsénico, plomo y Zinc.

7.15 *Recirculación de lixiviados*

El efluente de la última laguna podrá ser utilizada para regar la calle de acceso, los lixiviados de la segunda laguna serán los utilizados para regarlos sobre las celdas de trabajo. Se deberá tener cuidado de no crear charcos o saturación de zonas que ponen en peligro la estabilidad del relleno

7.16 Mantenimiento de drenajes

Las canaletas perimetrales que se construirán para evitar la escorrentía superficial en la zona de terraza conformada serán provisionales y servirán durante un período o dos de lluvias, por lo que necesitarán poco mantenimiento; sin embargo, éstas no tendrán recubrimiento y en algunas zonas podrían ser dañadas, por lo que acciones preventivas de mantenimiento contribuirán a evitar mayores problemas que podrían dejar aislada o fuera de operación la zona de trabajo, en condiciones de fenómeno de lluvias de larga duración.

7.17 Mantenimiento de terrazas

Las terrazas durante los primeros 5 años sufrirán asentamiento y esto provocará hundimientos o agrietamiento que se convertirán en charcos que afectarán la estabilidad de los mismos, contribuyendo a la producción mayor de lixiviados, por lo que se deberán de reparar tal y como señala el manual de operación y mantenimiento.

7.18 Mantenimiento de instalaciones auxiliares

Limpia y repara las instalaciones auxiliares como: caseta, pila, pozo, así como cerca de malla ciclón en la zona frontal y cerca perimetral de alambre de púas; todas estas instalaciones necesitan además pintura, reparaciones menores, etc.

7.19 Control de salud de los trabajadores

Los empleados municipales del relleno deberán tener seguro médico hospitalario y se llevará un registro de control de enfermedades y tratamientos.

7.20 Acabado final y asentamiento

La colocación de la cobertura final y el engramado requiere gran atención, pues no solo incide en el funcionamiento, sino también en la imagen final del relleno terminado.

7.21 Esquema de gráficos del proceso de avance

Es conveniente contarse con esquema gráficos del proceso de avance en que se desarrollaran las etapas del relleno. En el Anexo A se presenta el ejemplo de las esquemas propuestas al Municipio de Pasaquina.

Anexos

Anexo A. Caso de Estudio I: Operación de relleno sanitario de Pasaquina, El Salvador

Para la elaboración de la presente guía se contó con el apoyo del municipio de Pasaquina de El Salvador, quienes permitieron que el investigador observara el método de disposición de los residuos en el relleno sanitario.

La observación se realizó en un ciclo de una semana, es decir durante un periodo completo de operación del relleno. Sin embargo, como resultado de la visita previa de reconocimiento inicial, se pudo observar algunas dificultades en la operación, y como parte de la investigación consistía en proponer e implementar actividades que hicieran eficiente la operación, se optó por dividir la estadía en dos momentos; el primero de lunes, martes y miércoles y el segundo quince días después, de jueves a viernes para permitir en ese lapso que las instrucciones emanadas del consultor se pusieran en práctica por parte de los operadores. El día sábado y domingo no se observó la operación del relleno porque no prestan servicio.

Antecedentes:

Ubicación,

El municipio de Pasaquina se encuentra ubicado el Departamento de La Unión al Oriente de la capital San Salvador de El Salvador, Está limitado de la siguiente forma: al Norte, por los municipios de Santa Rosa de Lima y El Sauce ; al Este por la República de Honduras; al Sur, por la República de Honduras, el golfo de Fonseca y el municipio de San Alejo; al Oeste por los municipios de San José La Fuente y San Alejo. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas siguientes: 13° 37' 28" LN(extremo septentrional) y 13° 24' 32" LN (extremo Meridional), 87° 43' 03" LWG (extremo oriental) y 87° 53' 07" LWG (extremo occidental).

Clima.

El clima es cálido, pertenece al tipo de tierra caliente. El monto pluvial anual oscila entre 1400 y 2000 mm.

Dimensiones

Área rural: 294.91 km². aproximadamente

Área urbana: 0.37 km². aproximadamente.

Población,

Estimada para el 2000 23,814hab.¹

Población estimada para la atención del servicio de aseo: 9,000 habitantes

Densidad: 81 habitantes por kilómetro cuadrado

Situación Gestión de Residuos

Recolección:

Cuentan con sistema de recolección, brindando servicio al área urbana tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes) y parcialmente en el área rural, dos veces por semana (martes y

¹ Dirección General de Estadística y Censos, Monografía del Departamento de la Unión y sus municipios

jueves); para ello utilizan un camión de volteo, con capacidad de carga de 8 toneladas y 8 metros cúbicos de capacidad volumétrica.

Cobertura de recolección: 85%

Producción per cápita²: 0.32 kg-hab-día

Producción diaria total estimada: 2.0 toneladas.



Disposición final,

Poseen un relleno sanitario³, inició operaciones en febrero del año 2001, cuya área es de dos manzanas, que de acuerdo con el diseño original y usando el método de área, debería de ser capaz de recibir residuos por un periodo de 9 años. Posee obras complementarias tales como: caseta de control, servicio sanitario, cercado, drenajes de lixiviados, tres chimeneas de gases, tres lagunas para tratamiento de lixiviados, drenaje de aguas superficiales.

El diseño original contempló dos etapas, de las cuales se preparó la primera con las facilidades antes mencionadas, estando pendiente las de la segunda etapa.

Recepción de desechos durante siete meses del año 2001,

Toneladas recibidas en los meses del año 2001	
Marzo	44.2
Abril	46.8
Mayo	57.2
Junio	72.5
Julio	73.9
Agosto	89
Promedio	2.13 diarias

El cálculo de las toneladas se hizo a través de la densidad de los residuos. En el estudio de caracterización que realizaron, definieron que la densidad en el camión era de 0.251 kg/m³

El diseño original, se formuló para operación manual y ésta se realizó por un período de dos años con dos empleados.

Actualmente el municipio ha adquirido un minicargador para su operación, pasando de operación manual a mecanizada. Por tal razón, la investigación tuvo como objetivos desarrollar una guía de operación de celda diaria y el mejoramiento de la operación del relleno; el trabajo de campo se limitó exclusivamente a la operación en el relleno con los resultados siguientes:



² Calculada en el año de 1999.

³ Financiado por la Agencia del Gran Ducado de Luxemburgo para la cooperación al desarrollo. Lux-Development S. A.

Operación encontrada (en Noviembre de 2003):

La operación se realizaba mecánicamente para lo cual se ocupa un mini cargador.

El concepto de celda diaria no lo conocían los operadores, por lo que no lo practican.

El método empleado era muy similar a los de desechos de construcción, no tenían ninguna orientación técnica por lo que los residuos eran depositados en lo alto del área ya compactada lo más cerca posible del borde.

El día lunes ingresaron dos viajes de 8 metros cúbicos cada uno, haciendo un total estimado de 4.02 toneladas de desechos. Un viaje ingresó a las 10 de la mañana y el otro a la 1 de la tarde. Después del segundo viaje, los residuos fueron empujados con el mini cargador hacia el borde dejándoles caer libremente sobre la pendiente, una vez realizada esta acción se procedió con el mini cargador a cortar tierra y acarrearla hasta el borde, dejándole caer con el fin de ir cubriéndolos. Toda la operación se efectuaba desde arriba.



Para esta cobertura se realizaron 72 viajes con un promedio de 0.55 metros cúbicos por viaje, acarrearon 39.6 metros cúbicos de tierra y les tomó aproximadamente 2.5 horas a una distancia de 70 metros.

Desventajas de Método:

- Los residuos no se compactaban bien, por el contrario se disminuye su densidad al esparcirlos por una superficie bien amplia.
- El consumo de material de cobertura era alto: 39.6 metros cúbicos, esto como consecuencia del área a cubrir.
- La terraza que se iba conformando era altamente inestable, con muchas posibilidades de deslizamiento, esto se comprueba con el apareamiento inmediato de grietas.

Método Propuesto:

El día martes se procedió a instruirles sobre el **Método de Celda Diaria**, por lo que se preparó en la base de la terraza el área donde se le solicitó al camión que descargara. Ese día, solo ingresó un viaje de 8 metros cúbicos equivalente a 2 Toneladas. Y se preparó una celda de 4 x 2 x 0.75 metros, se acarrearón 17 tolvas de 0.55 metros cúbicos de tierra, haciendo un total de 9.35 metros cúbicos de material de cobertura, toda la operación tomó 1 hora 15 minutos, la distancia de acarreo fue de 120 metros.

Para el día miércoles se recibieron 21.6 metros cúbicos en dos viajes, y se requirieron 20 tolvas de tierra (11 metros cúbicos), la distancia de acarreo fue de 120 metros y se requirió un tiempo de 1 hora 20 minutos. Con esta actividad se cumplió la primera parte de la cooperación y capacitación.

Se les encargó, al operador y ayudante que durante los próximos quince días continuaran el proceso, y que tomaran datos de cuanto material ingresaba (Anexo D).

Pasados quince días, el investigador regresó y pudo confirmar que la técnica fue aprendida y puesta en práctica.

Al preguntarles a los operadores que dificultades encontraban con la implementación de la nueva técnica, expresaron que ninguna, que por el contrario el tiempo de operación se había disminuido, el material de cobertura que se ocupó fue menos, y la estabilidad del relleno, así como su capacidad de carga aumentaron porque soportaba el peso del camión circulando sobre ella.

La experiencia en el relleno sanitario de Pasaquina ha mostrado que con orientación adecuada los procesos técnicos mejoran considerablemente.

Dimensionamiento de la celda diaria:

Se calculó para el promedio, las siguientes dimensiones de las celdas:

Producción diaria: 2 toneladas
Densidad: 0.251 ton/m³
Recolección 3 días por semana
Operación: Manual

Día 1:

Peso: 2 toneladas x 3 días = 6 toneladas
Volumen: 6 toneladas / 0.251 ton / m³ = 24 m³

Dimensión de celda día uno:

Área = 24 / 1 = 24 m²
Ancho de diseño = 3 m.
Longitud = 24 m² / 3 m. = 8 m.

Día 2 y 3

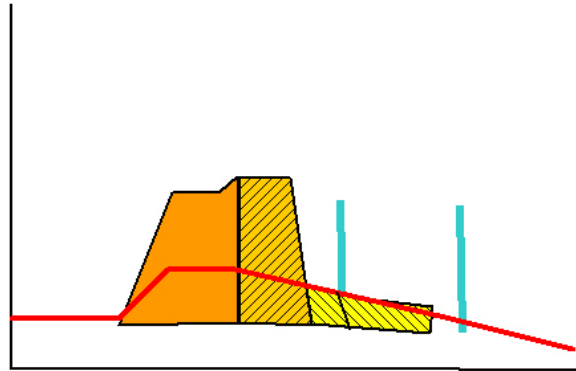
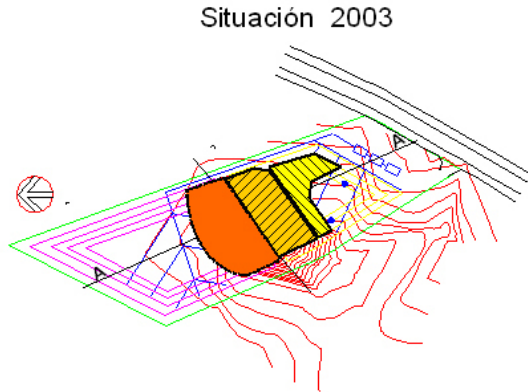
Peso: 2 toneladas x 2 días = 4 toneladas
Volumen: 4 toneladas / 0.251 ton / m³ = 16 m³

Dimensión celda día 2 y 3:

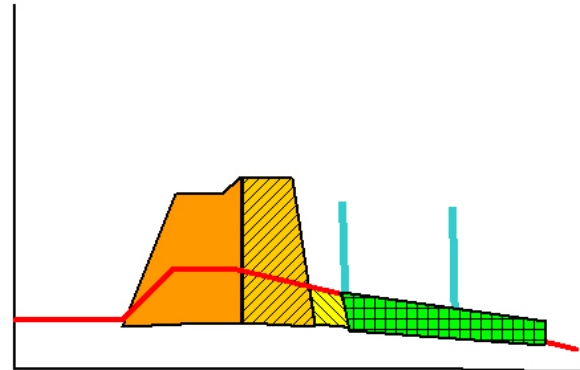
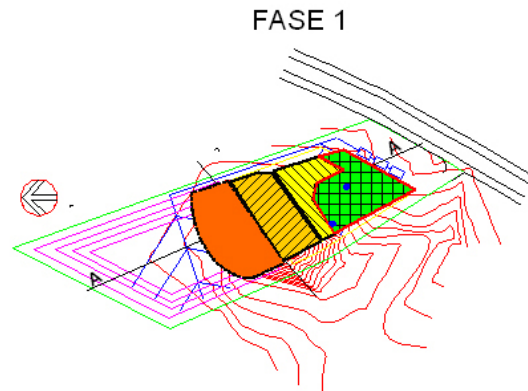
Área = 16 / 1 = 16 m²
Ancho de diseño = 3 m.
Longitud = 16 m² / 3 m. = 5.3 m

Los esquemas siguientes son los gráficos del proceso de avance propuestas al Municipio de Pasaquina para su Plan de Manejo del Relleno Sanitario.

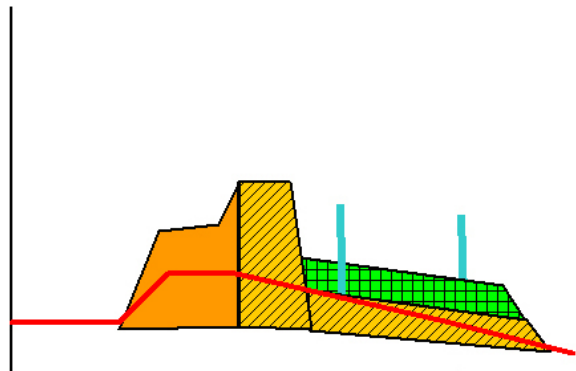
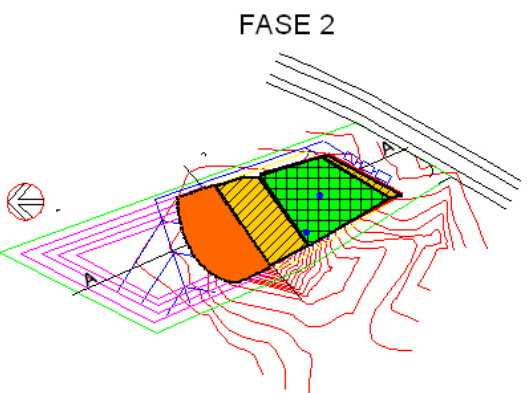
PLAN DE MANEJO RELLENO SANITARIO DE PASAQUINA









SECCION A-A



SECCION A-A



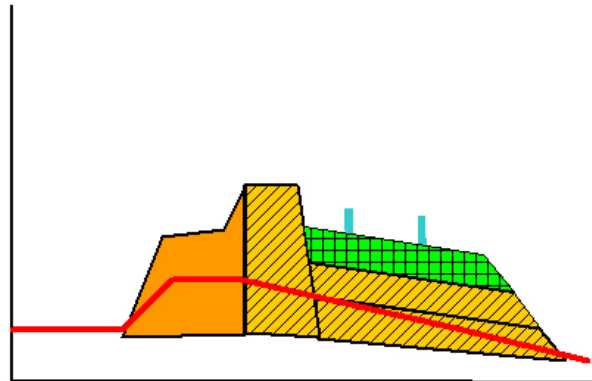
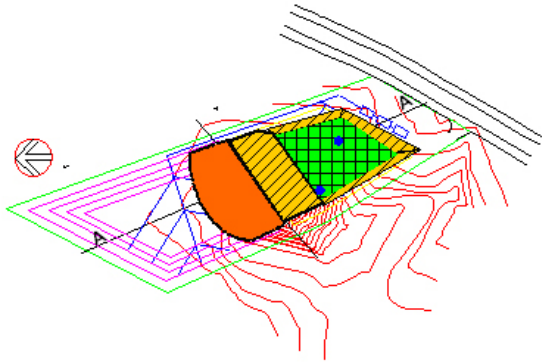
SECCION A-A

NOMENCLATURA	
	Material de cobertura
	Etapa concluida
	Etapa en proceso
	Chimenea existente
	Terminacion de Etapa
	Acceso

PROARCA/SIGMA
 Elaborado por:
 Carlos Eduardo Meléndez
 hoja 1/2

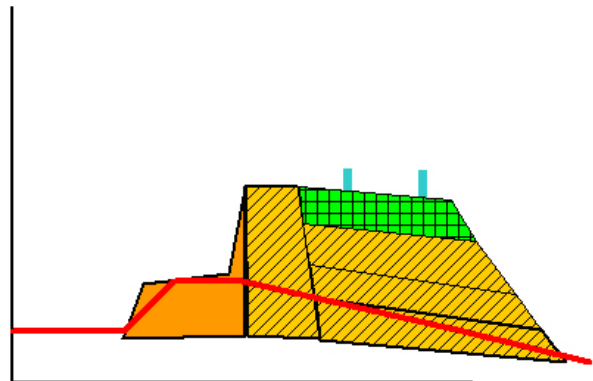
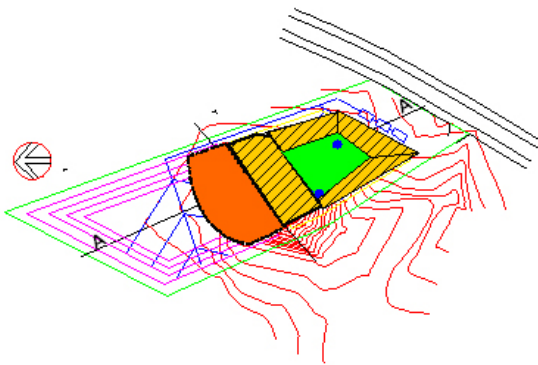
PLAN DE MANEJO RELLENO SANITARIO DE PASAQUINA

FASE 3



SECCION A-A

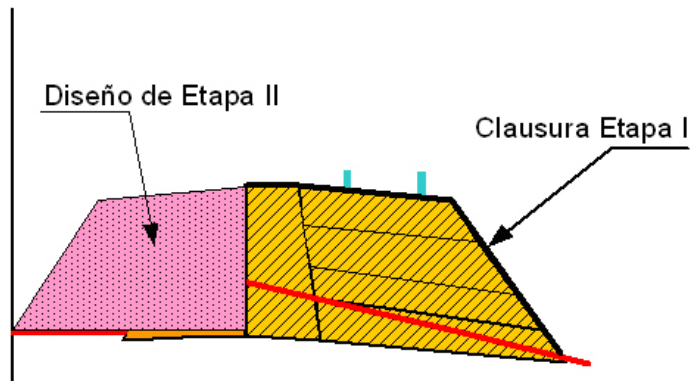
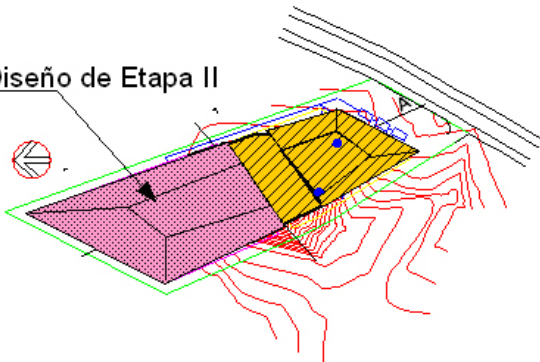
FASE 4



SECCION A-A

FASE 5

Diseño de Etapa II



SECCION A-A

NOMENCLATURA	
	Material de cobertura
	Etapa concluida
	Etapa en proceso
	Chimenea existente
	Terminacion de Etapa
	Acceso

PROARCA/SIGMA
 Elaborado por:
 Carlos Eduardo Meléndez
 hoja 2/2

El proceso del Método de Celdas Diarias, se muestra en la serie de fotografías que se presentan a continuación:



**Grietas producto de la inestabilidad del método empleado
lunes 20 de octubre 2003**



**Esparcimiento de los residuos en capas, martes
21 de octubre del 2003**



Compactación y conformación de celda



Compactación y conformación de celda



Acopio de material de cobertura



Cobertura de celda



Cobertura de celda



Compactación de celda



Celda concluida



Avance de celdas en la conformación de la terraza, jueves 6 de noviembre



Avance de celdas, Jueves 6 de Noviembre del 2003



Capacitación de operarios en nivelación con método convencional, viernes 6 de Noviembre del 2003

Conclusiones

Aspecto Técnico:

- La Alcaldía de Pasaquina tiene un relleno sanitario mecanizado operando que cumple con la legislación ambiental vigente,
- El responsable de la operación del relleno sanitario no tiene la formación técnica para realizar su función,
- Se tiene dificultad en el relleno sanitario para eliminar los promontorios de llantas y chatarra que están dispuestas en un área separada de la de trabajo, debido a que no encuentran una empresa que se responsabilice de recogerlos en este lugar,
- Indistintamente que se utilice cualquier sistema de procesamiento previo a la disposición final, siempre se necesita un relleno sanitario, para eliminar finalmente los residuos sólidos,

Aspecto Institucional:

- En El Salvador, existe la legislación ambiental en el tema de los residuos sólidos vigente, con responsabilidades para los gobiernos locales y el gobierno central,
- La municipalidad tiene dentro de la estructura administrativa actual una unidad responsable del servicio de aseo, que supervisa la operación del relleno sanitario,
- La Alcaldía recoge los desechos sólidos del área urbana y rural del municipio de Pasaquina,
- Se han implementado campañas de concientización a la población sobre el buen manejo de los desechos sólidos en el municipio,

Aspecto Financiero:

- La municipalidad no recupera los costos por disposición final, debido a que no tienen un sistema efectivo de cobranza,
- La operación del relleno sanitario mecanizado es subsidiada por otros ingresos municipales,
- No se tienen recursos económicos asignados dentro del presupuesto municipal para invertir en la disposición final de los residuos sólidos.

Recomendaciones**Aspecto Técnico:**

- Establecer un Plan Anual de Mantenimiento de la calle de acceso al relleno sanitario, con énfasis en la época de lluvia,
- Elaborar un Plan de eliminación de llantas y chatarra, considerando el lugar adecuado para ello y con la supervisión idónea al mismo,
- Capacitar constantemente al operador del relleno y monitorear la operación del mismo por parte de la entidad correspondiente,
- Dar seguimiento a la Guía Práctica y al Plan de Manejo para el relleno sanitario, y actualizarlo eventualmente.
- Para efectos de seguimiento técnico se hace indispensable el que un especialista en residuos sólidos periódicamente visite el relleno, con el fin de orientar y supervisar adecuadamente los procesos.
- Utilizar formularios para la recopilación de información referente a residuos procesados y el mantenimiento de la maquinaria.

Aspecto Institucional:

- Considerar la posibilidad de asociarse con los municipios aledaños, a fin de aprovechar la economía de escala, lo que disminuirá los costos de la disposición final,
- Realizar una gestión participativa en el manejo de los residuos sólidos,

Aspecto Financiero:

- Reconsiderar la posibilidad de cobrar los servicios de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos a través del recibo de energía eléctrica a fin de eliminar la mora por este servicio,
- Establecer un control de costos de operación del relleno sanitario, a efecto de controlar la eficiencia y eficacia del servicio,

Anexo B. Caso de Estudio II: Operación de relleno sanitario de Villanueva, Honduras

Antecedentes

Población: Estimada para el 2004: 35.781 hab.

Ubicación: El Municipio de Villanueva se localiza en el centro del Departamento de Cortés, lo cual se encuentra al norte de Honduras, con costa en el Atlántico.

Precipitación: Promedio de 1100 mm / año

Producción Per cápita: 0.60 kg/persona-día⁴

Producción diaria estimada de residuos sólidos:
21.5 ton / día = 107.3 m³ / día

Fuente de Información:

Este estudio de caso es una versión reducida de un manual desarrollado por Stewart Oakley para USAID Honduras: "Manual de Diseño de Rellenos en Honduras". Para mas información, solicite una copia de ese documento a USAID Honduras.

Tipo de Operación: Relleno Sanitario Semi-Mecanizado

El relleno semi-mecanizado de Villanueva, Honduras utiliza periódicamente una excavadora para la excavación de las trincheras, y una retroexcavadora de vez en cuando para la cobertura de tierra. La compactación ocurre a través del asentamiento de la trinchera con tiempo, por el peso del material excavado de una trinchera nueva que se pone encima de la trinchera llena con los RSM, y por la descomposición biológica. El drenaje para lixiviados consiste de una red horizontal de zanjas de piedra, en el fondo de la trinchera (foto izquierda, abajo).



1. Izquierda:
Trinchera, con drenaje y chimenea para gas

2. Derecha:
Colocación de residuos



3. derecha:
Trinchera terminada



⁴ Valor sugerido por Stewart Oakley de no tenerse datos confiables en los municipios con menos de 100.000 habitantes.

Diseño del Sistema de Trincheras para Villanueva, Cortés

1. Para empezar se asume que la profundidad es 4m y el ancho 4m. Se utiliza los siguientes valores para estimar la generación de residuos inicial y en el futuro.

Año:	<u>2004</u>	<u>2014</u>
V_d , m ³ /día	107	155

El largo mensual, l_{mes} , sería:

$$l_{mes} = \frac{V_m}{p \cdot a} = \frac{3,220 \text{ m}^3/\text{mes}}{(4\text{m})(4\text{m})} = 201 \text{ m/mes}$$

2. Se calcula el área superficial de trincheras por mes y por año:

$$A_{ST-m} = a \cdot l_{mes} = (4\text{m})(201\text{m/mes}) = 805 \text{ m}^2$$

$$A_{ST-a} = 12 \cdot A_{ST-m} = 12 \cdot (805\text{m}) = 9,660 \text{ m}^2$$

3. Se determina el volumen de cobertura requerida por mes y por año asumiendo un espesor de 0.3m:

$$V_{c-m} = A_{ST-m}(E) = 805 \text{ m}^2(0.3\text{m}) = 193 \text{ m}^3$$

$$V_{c-a} = A_{ST-a}(E) = (9,660 \text{ m}^2)(0.3\text{m}) = 2,318 \text{ m}^3$$

4. Se calcula la relación de volumen de cobertura al volumen de desechos:

$$\frac{\text{Cobertura}}{\text{Desechos}} = \frac{V_{c-m}}{V_m} = \frac{242 \text{ m}^3}{3,220 \text{ m}^3} = 0.075$$

5. Se calcula el volumen de suelo excedente producido por año:

$$V_{SE-a} = V_a - V_{c-a} = \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} \left(\frac{3,220 \text{ m}^3}{\text{mes}} \right) - 2,898 \text{ m}^3/\text{año} = 35,742 \text{ m}^3/\text{año}$$

6. Se repiten los cálculos variando los valores de p y a .

Se determina los resultados de estos cálculos para diferentes combinaciones de profundidades de 3 a 5 metros y anchos de 2 a 5 metros para el año 2004 y 2014, el último año del diseño. Se concluye que las diferencias en anchos para una profundidad específica no tienen ningún efecto en los resultados finales del área superficial total y el volumen de cobertura.

Se nota también que el volumen de cobertura calculado que es necesario es poco relacionado al volumen de desechos, de 6.0 a 10.0%, un rango de relación mucho menor del que se reportan en

los estudios técnicos para rellenos sanitarios. También, la relación baja con profundidad de trinchera, lo que produce más excedente de suelo.

Se concluye que se debe diseñar un sistema de trincheras con la profundidad máxima posible, tomando en cuenta las restricciones del sitio y la disponibilidad de una excavadora, para minimizar el área superficial del sistema. Se puede ajustar las dimensiones de ancho y largo, con las restricciones de los criterios de la celda diaria, para que sean apropiadas para el sitio específico del diseño.

Diseño de la Celda Diaria para el Relleno Sanitario Semi-Mecanizado de Villanueva

1. Se asume, para empezar, que la profundidad es de 4m y el ancho es de 2m. El largo diario, $l_{día}$, entonces es:

$$l_{día} = \frac{V_d}{p \cdot a} = \frac{107m^3/día}{(4m)(2m)} = 13.4m/día \text{ (Deja suficiente espacio para la descarga de desechos.)}$$

2. Se calcula el área superior, del frente, y superficial total:

Área Superior: $A_{s-d} = a \cdot l_{día} = (2m)(13.4m) = 26.8m^2$

Área del Frente: $A_f = a \cdot p = (2m)(4m) = 8m^2$

Área Superficial Total: $A_{ST-d} = A_{s-d} + A_f = a(l_{día} + p) = 26.8m^2 + 8.0m^2 = 34.8m^2$

3. Se repiten los cálculos variando los valores de p y a .

El resumen de los cálculos se presenta en el Cuadro 1 y. En términos del área superficial total, A_{ST-d} , existe una disminución significativa con profundidad de las celdas de hasta 4 metros, y un ancho de 2 a 4 metros es mejor que uno más amplio. También, se puede concluir que hay un límite después de 4 metros de profundidad en lo cual el área de frente, A_f , domina más el área superficial total, A_{ST-d} , que el área superior, A_{s-d} .

Se concluye que una celda, y por ende una trinchera, con una profundidad de 4 a 5 metros y un ancho de 2 a 4 metros, será el mejor diseño para minimizar el área superficial total y particularmente el área superior y, por lo tanto, el volumen de materia de cobertura. Como se ve en el Cuadro 1, esos rangos dejarían un largo diario suficiente para dos camiones en paralelo podrían descargar los desechos.

Cuadro 1: Área Superior, Área de Frente, y Área Superficial Total para Varios Profundidades y Anchos de Celdas Diarias. $V_d = 107 \text{ m}^3/\text{día}$

V_d m ³ /día	p m	a m	$l_{día}$ m	A_{s-d} m ²	A_f m ²	A_{ST-d} m ²
107	5	2	10.7	21.4	10.0	31.4
107	5	3	7.1	21.4	15.0	36.4
107	5	4	5.4	21.4	20.0	41.4
107	5	5	4.3	21.4	25.0	46.4
107	5	6	3.6	21.4	30.0	51.4
107	4	2	13.4	26.8	8.0	34.8
107	4	3	8.9	26.8	12.0	38.8
107	4	4	6.7	26.8	16.0	42.8
107	4	5	5.4	26.8	20.0	46.8
107	4	6	4.5	26.8	24.0	50.8
107	3	2	17.8	35.7	6.0	41.7
107	3	3	11.9	35.7	9.0	44.7
107	3	4	8.9	35.7	12.0	47.7
107	3	5	7.1	35.7	15.0	50.7
107	3	6	5.9	35.7	18.0	53.7
107	2	2	26.8	53.5	4.0	57.5
107	2	3	17.8	53.5	6.0	59.5
107	2	4	13.4	53.5	8.0	61.5
107	2	5	10.7	53.5	10.0	63.5
107	2	6	8.9	53.5	12.0	65.5

Selección de Maquinaria para la Excavación de Trincheras

La ventaja fundamental de un relleno sanitario semi-mecanizado para una municipalidad es el ahorro que se obtiene al no tener que usar maquinaria a tiempo completo en el sitio. Porque una excavadora, o tal vez una retroexcavadora para poblaciones pequeñas, es el equipo más eficiente para excavar trincheras, se recomienda que se utiliza una de suficiente tamaño para que pueda excavar una trinchera mensual en uno o dos días como una regla práctica.

El Cuadro 3 muestra las horas requeridas de una retroexcavadora de 80 hp, y tres excavadoras de 84, 150, y 285 hp, para excavar una trinchera que dura un mes, para poblaciones de 1,000 a 75,000 personas. (Se asumió que la producción de los RSM per cápita es 0.60 kg/persona-día con una densidad de 200 kg/m³.) En los cálculos se asumió que el tiempo de ciclo de la excavadora (tiempo para excavar y llenar el cucharón, descargarlo, y volver otra vez al fondo de la trinchera) es aproximadamente de 30 segundos, lo que está más de los tiempos de ciclo para operación normal de todas las excavadoras (Caterpillar, 1998).

Cuadro 2: Horas Requeridas de Varias Excavadoras y Retroexcavadoras para Excavar Trincheras Mensuales. Tiempo de Ciclo = 30 segundos

Población	V_m m ³ /mes	Retroexcavadoras	Excavadoras		
		Horas/mes	Horas/mes	Horas/mes	Horas/mes
		80 hp ¹	84 hp ²	150 hp ³	285 hp ⁴
1,000	90	4	2	1	0.4
2,000	180	7	3	2	0.7
3,000	270	11	5	3	1.1
4,000	360	14	6	4	1.4
5,000	450	18	8	5	2
10,000	900	36	15	9	4
20,000	1,800	72	30	18	7
30,000	2,700	108	45	27	11
40,000	3,600	144	60	36	14
50,000	4,500	180	75	45	18
75,000	6,750	270	113	68	27

1. Potencia = 80 hp; Capacidad del Cucharón = 0.2m³; Producción =25m³/hora
 2. Potencia = 84 hp; Capacidad del Cucharón = 0.5 m³; Producción = 60 m³/hora
 3. Potencia = 150 hp; Capacidad del Cucharón = 1.0 m³; Producción = 100 m³/hora
 4. Potencia = 285 hp; Capacidad del Cucharón = 2.0 m³; Producción = 250 m³/hora

Adaptado de datos de Caterpillar, 1998.

Operación de Celda Diaria en el relleno Semi-Mecanizados de Villanueva



Primero, se excava la trinchera con una excavadora, poniendo el material excavado encima de la trinchera llena previamente con desechos. En esta manera se obtiene no solamente la compactación de los desechos depositados, sino la capa final de la trinchera. La capa debe tener suficiente altura y pendiente para minimizar la entrada de agua pluvial o escurrimiento y, entonces, la producción de lixiviados. En la nueva trinchera excavada se construyen la zanja para drenaje de lixiviados y la chimenea para la ventilación de biogás. Esta zanja de drenaje debe ser conectado a una laguna de evaporación, si el sitio permite, o el agua puede infiltrar en el suelo, si no hay riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Cuando se llena la trinchera con desechos, se extiende la chimenea con una sección de tubo no perforado para que extienda arriba de la cobertura final.

Se llenan las trincheras con celdas diarias que fueron optimizadas en el diseño original para minimizar el área superficial expuesta. La celda diaria necesita suficiente largo y ancho para la descarga adecuada del número máximo de camiones que llegarían al mismo tiempo. Por el diseño el área superior de la celda debe ser al mínimo, y como resultado requiere un volumen mínimo de cobertura.



Se puede obtener compactación significativa solamente por el peso de los desechos depositados verticalmente, encima de ellos mismos si la celda diaria está bien diseñada y operada. Este fenómeno se puede llamar auto-compactación. El punto de operación más importante es depositar los desechos verticalmente en las celdas hasta que se llegan a la superficie de la trinchera, y no esparcirlos por el fondo. Las trincheras más profundas darán la mejor auto-compactación y el mínimo área superior.

Se puede aplicar la cobertura diaria sobre las celdas con una retroexcavadora si la municipalidad tiene una disponible; el tiempo requerido de uso de una retroexcavadora sería al mínimo al fin de cada día. Sí no hay problemas con vectores o lluvia, se puede dejar las celdas sin cobertura hasta que se llena la trinchera y se excava la próxima.



Cuando la trinchera está llena con desechos y cubierta con cobertura diaria, se puede tener asentamiento significativo con la formación de fracturas. Se debe llenar la fractura con más cobertura para evitar los problemas de entrada de escurrimiento, agua pluvial, y vectores. Se resuelve el problema de asentamiento tan pronto como se excava la próxima trinchera y se pone el material de excavación encima de la trinchera llena para tener la capa final. Se coloca la sección final de chimenea para la ventilación de biogás sin perforaciones para que la cobertura no entre en la chimenea, lo que también se permite la quema del metano.

Anexo D. Bibliografía

Gestión Integral de Residuos Sólidos, George Tchobanoglous. Hilary Theisen. Samuel A. Vigil, Mc Graw Hill. Traducción de la primera edición en Ingles, Integrated solid waste management.1994.

The Handbook of Landfill Operations, Neal Bolton, P.E., edición 1995.

Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, Programa de salud ambiental Serie Técnica N° 28. Organización Panamericana de la Salud, Jorge Jaramillo, 1991.

Guía para la Gestión del Manejo de Residuos Sólidos Municipales. Doreen Salazar PROARCA / SIGMA, 2003.

Sistemas de control en la operación del relleno sanitario, Ing. Arturo Dávila Villareal, Curso Internacional sobre disposición final de residuos sólidos. (Rellenos Sanitarios), 1993.

Plan de Gestión Integrado de Desechos Sólidos Pasaquina, Agencia del Gran Ducado de Luxemburgo para la Cooperación al Desarrollo, 2001.

Manual de Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios en Honduras, Stewart M. Oakley, 2004.

¿Qué es PROARCA/SIGMA?

Administrado por **ARD**, **PROARCA/SIGMA** (Sistemas de Gestión para el Medio Ambiente) es uno de los cuatro componentes que integran el **Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA)**, programa financiado por la **Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)**. Como un apoyo a la agenda de la **Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD)**, uno de los objetivos de **PROARCA** consiste en realizar acciones para mejorar el manejo ambiental en el **Corredor Biológico Mesoamericano (CBM)**.

Sabemos que la deforestación, el manejo inadecuado de desechos sólidos, el uso inapropiado de agroquímicos y el desecho de aguas residuales municipales e industriales río arriba, afectan los ecosistemas, la biodiversidad y la salud humana río abajo. Ante esa realidad, la meta de **PROARCA/SIGMA** es que municipalidades y el sector privado de la región incrementen el uso de prácticas y tecnologías menos contaminantes. Asimismo, busca reducir los efectos negativos, directos o indirectos, sobre el **Corredor Biológico Mesoamericano (CBM)**, específicamente en aquellos territorios cuyas cuencas finalmente desembocan en cuatro áreas transfronterizas claves para la región: Golfo de Honduras, Costa Mosquitia (Honduras y Nicaragua), Golfo de Fonseca y La Amistad-Cahuita-Río Cañas (Costa Rica y Panamá).



PROARCA/SIGMA

**Sistemas de Gestión para el Medio Ambiente (SIGMA),
proyecto CCAD-USAID, administrado por ARD**

4 Avenida 17-09 zona 14. Guatemala, Guatemala.

Tel: (502) 2337-2906. Fax: (502) 2368-3423.

E-mail: sigma@proarca.org

www.proarca.org

