

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**“DESARROLLO DE LAS BASES DE DISEÑO PARA UN RELLENO
SANITARIO MANUAL PARA EL MUNICIPIO DE FCO. I. MADERO.”**

POR

NOEMI PACHECO TOLENTINO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

ABRIL 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**“DESARROLLO DE LAS BASES DE DISEÑO PARA UN RELLENO SANITARIO
MANUAL PARA EL MUNICIPIO DE FCO. I. MADERO.”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

PRESENTA

NOEMI PACHECO TOLENTINO

ASESOR

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

TORREÓN, COAHUILA

ABRIL 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

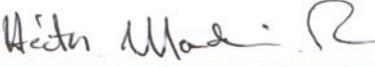
“Desarrollo de las bases de diseño para un relleno sanitario manual para
el municipio de Fco. I. Madero.”

TESIS DE LA C. NOEMI PACHECO TOLENTINO QUE SE SOMETE A
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE

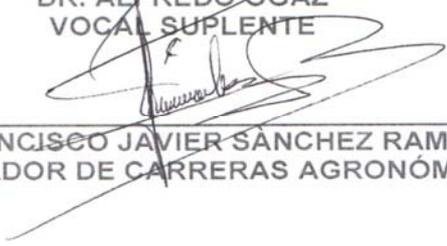
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES


DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO
PRESIDENTE


ING. JOEL LIMONES AVITIA
VOCAL


DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS
VOCAL


DR. ALFREDO OGAZ
VOCAL SUPLENTE


DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREON, COAHUILA, MEXICO

ABRIL 2011

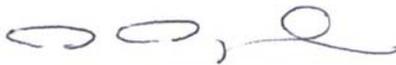
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Desarrollo de las bases de diseño para un relleno sanitario manual para el municipio de Fco. I. Madero.”

TESIS DE LA C. NOEMI PACHECO TOLENTINO QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

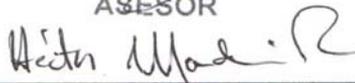
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES



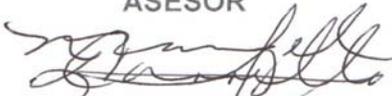
DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO
ASESOR PRINCIPAL



ING. JOEL LIMONES AVITIA
ASESOR



DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS
ASESOR



QFB. NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO
ASESOR



DR. FRANCISCO JAVIER SANCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS:

A Dios:

Por todas las bendiciones que ha dado a mi vida, por darme la oportunidad de realizar este sueño que hoy se convierte en realidad. Por poner en mi camino a personas maravillosas que hoy también forman parte de este logro. Y sobre todo por siempre darme fuerzas para seguir adelante en los momentos de flaqueza.

A MI “ALMA TERRA MATER”:

A esta Institución por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y sobre todo por el honor de pertenecer orgullosamente a la familia “Buitre”.

MIS ASESORES:

DR. José Luis Reyes Carrillo, ING. Joel Limones Avitia, DR. Héctor Madinaveitia Ríos, QFB. Norma Lydia Rangel Carrillo, por el tiempo invertido, por los consejos, por su dedicación, entereza y sabiduría para guiarme en la realización de tan importante proyecto.

AMIGOS:

Por brindarme siempre su apoyo y darme siempre un consejo cuando lo necesitaba, gracias a cada uno de ustedes que siempre me demostraron que podía confiar con ustedes en cada momento, nunca los olvidare porque compartimos tantas cosas buenas y malas sepan que siempre los llevare en mi corazón.

LAS CHICAS DEL INTER:

Gracias a las chicas que me recibieron cuando llegue por primera vez a este lugar, gracias porque ustedes fueron mi familia al llegar a este lugar, gracias por brindarme su confianza y cariño. A las chicas que posteriormente fui conociendo y que cada día fuimos formando una amistad, nunca las olvidare.

DEDICATORIA:**A MI PAPÁ ():**

Ha pasado tanto tiempo desde que te fuiste y sé que no estás presente aquí conmigo, pero sé que desde el lugar en el que te encuentres estarás muy contento y orgulloso del logro que hoy he obtenido, sabes muy bien que esto es por ti, gracias por el ejemplo que me diste porque lo que ahora soy también te lo debó a ti, te amo papá.

A MI MAMÁ Y HERMANAS:

A mi mamá por brindarme siempre su confianza, aceptar mis decisiones y brindarme su apoyo en cada momento de mi vida y por saber escucharme en los momentos que la necesite. Mis hermanas le doy gracias a Dios por ellas por que siempre han estado conmigo en cada momento y por no solo ser mis hermanas si no también mis amigas. A mi hermana Judith gracias por todo tu apoyo incondicional durante todo este tiempo de verdad muchas gracias, mi hermanita Berenice por que se que tuviste que suspender tus estudios por apoyarme te estoy profundamente agradecida. Le doy muchas gracias a Dios por tener a mi lado a tres mujeres maravillosas, las amo.

MIS PADRINOS:

Le doy gracias a Dios por haberme permitido contar con personas como ustedes, este logro también es para ustedes por que forman parte de mi vida porque siempre me han apoyado de una forma incondicional, ustedes son mis segundos padres les amo mucho.

A J.A.G.C:

Le doy gracias a Dios por la oportunidad que me dio de conocerte, porque desde el momento en que te conocí formaste parte de mi vida, este logro lo comparto contigo porque has estado conmigo en los momentos que más te he necesitado, porque cada día me demuestras el amor que me tienes te amo.

INDICE.

| | |
|--|-----|
| Agradecimientos..... | I |
| Dedicatorias..... | II |
| Índice de cuadros..... | VI |
| Índice..... | iii |
| RESUMEN..... | VII |
| I.- INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| Objetivo..... | 4 |
| II.- REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 2.1 Importancia del problema de los residuos sólidos..... | 5 |
| 2.2 Disposición final de los residuos sólidos..... | 5 |
| 2.3 El relleno sanitario..... | 7 |
| 2.4 El relleno sanitario manual..... | 7 |
| 2.5 Metas básicas del relleno sanitario | 8 |
| 2.6 Principios básicos de un relleno sanitario..... | 9 |
| 2.7 Principales métodos de construcción y operación de un relleno sanitario..... | 10 |
| 2.7.1 Método de trinchera o zanja..... | 10 |
| 2.7.2 Método de área..... | 12 |
| 2.7.3 Combinación de ambos métodos..... | 14 |
| 2.8 Ventajas y limitaciones de rellenos sanitarios..... | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 2.9 Diseños de rellenos sanitarios..... | 16 |
| 2.9.1 Relleno sanitario mecanizado..... | 16 |
| 2.9.2 Relleno sanitario semimecanizado..... | 17 |
| 2.9.3 Relleno sanitario manual..... | 17 |
| 2.10 Consideraciones preliminares para la ubicación del sitio del relleno sanitario..... | 19 |
| 2.11 Criterios de ingeniería de diseño del relleno sanitario..... | 21 |
| 2.11.1 Ingeniería básica..... | 21 |
| 2.11.2 Proyección de la generación de RSU..... | 23 |
| 2.11.3 Determinación de la celda diaria..... | 23 |
| 2.11.4 Vida útil del relleno sanitario..... | 24 |
| 2.11.5 Producción per cápita de residuos sólidos..... | 24 |
| 2.11.6 Producción total..... | 25 |
| 2.11.7 Densidad..... | 25 |
| 2.11.8 Calculo del volumen necesario..... | 28 |
| 2.11.9 Reporte de mecánica de suelos..... | 28 |
| 2.11.10 Cálculo del área requerida..... | 31 |
| 2.12 Diseño de taludes..... | 32 |
| 2.12.1 Taludes en corte..... | 32 |
| 2.13 Pozos de monitoreo..... | 32 |
| 2.14 Generación de lixiviados y percolados..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 2.14.1 Generación de lixiviados o percolados..... | 34 |
| 2.14.2 Material de cobertura..... | 35 |
| 2.14.3 Compactación..... | 36 |
| 2.15 Selección de maquinaria y equipo..... | 37 |
| 2.15.1 Herramientas de trabajo..... | 37 |
| 2.16 Estructura de un relleno sanitario y sus principales componentes...38 | |
| III.- MATERIALES Y MÉTODOS..... | 39 |
| 3.1 Localización geográfica..... | 39 |
| 3.2 Cálculo de volumen de residuos sólidos..... | 39 |
| 3.3 Método para calcular el volumen del relleno sanitario..... | 40 |
| 3.4 Método para calcular el área requerida..... | 41 |
| 3.5 Dimensiones de la celda diaria..... | 42 |
| 3.6 Método para calcular lixiviados o percolados..... | 43 |
| 3.7 La vida útil del relleno sanitario..... | 44 |
| 3.8 Determinación del Crecimiento Poblacional..... | 44 |
| 3.9 Producción per cápita | 45 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 48 |
| V. CONCLUSIONES..... | 54 |
| VI. LITERATURA CITADA..... | 56 |

INDICE DE CUADROS.

| | |
|--|-----------|
| Cuadro. 1. Ventajas y limitaciones de rellenos sanitarios..... | 14 |
| Cuadro 2.- Comparación de las características de un relleno sanitario manual y un mecanizado (Aidis, 1993)..... | 18 |
| Cuadro. 3. Datos básicos requeridos por el municipio para la ubicación del sitio del relleno sanitario (Flintoff y Foster, 1984)..... | 20 |
| Cuadro 4.- Contenido del proyecto de ingeniería para los diferentes tipos de rellenos sanitarios..... | 21 |
| Cuadro. 5. Donde se puede apreciar la ubicación del suelo en cuestión y su relación con el coeficiente de impermeabilidad (Jaramillo, 2002a)..... | 30 |
| Cuadro. 6 Maquinaria y Herramienta para la operación de un relleno sanitario tipo..... | 37 |
| Cuadro. 7 Dimensionamiento básico del relleno sanitario..... | 49 |

RESUMEN

Los desechos sólidos urbanos son una fuente de problemas para los humanos y para el medio ambiente, la falta de conocimientos para un manejo adecuado de los mismos ha dado como consecuencia la contaminación descontrolada del medio ambiente.

Para la disposición final de los desechos se debe crear un relleno sanitario adecuado a las características de la población y sobre todo al tipo de residuos que ésta produce.

El trabajo se realizará en el municipio de Fco. I Madero, con el objetivo de proponer las características específicas y de diseño que permitan la operación del relleno sanitario y el cumplimiento de las normas requeridas. Mediante el censo de INEGI 2010 se determinará la población objeto de estudio, la determinación de la cantidad de basura se utilizará "Método Suizo", también se determinara la producción percapita (Jaramillo, 2002) .Y para la formulación del proyecto de ingeniería se utilizará la Norma Oficial Mexicana 083 de SEMARNAT 2003.

Con los resultados obtenidos se hace una propuesta para el diseño de un relleno sanitario que cumpla con todos los requisitos de funcionalidad adecuada para el tipo de población y los desechos que se producen en el municipio.

Palabras clave: Residuos sólidos urbanos, relleno sanitario, relleno sanitario manual, producción per cápita, habitantes.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las naciones produce el fenómeno del urbanismo, trayendo consigo problemas tan grandes como la generación continua y progresiva de todo tipo de residuos sólidos, líquidos y gaseosos (Vélez, 2007).

Los residuos sólidos producidos en los diferentes núcleos urbanos deben ser almacenados, recolectados y transportados, para ser sometidos a algún procedimiento de tratamiento final (Fiore *et al.*, 2009).

La gestión de los residuos sólidos ha alcanzado en muchos países un alto rango de importancia, respondiendo a los llamados internacionales por alcanzar la sustentabilidad del medio ambiente y proteger la salud pública, desde un enfoque de la economía de los recursos naturales. Los residuos sólidos, al ser acumulados o abandonados de una forma incontrolada, crean una evidente problemática ambiental, ya que al no tomar las medidas preventivas oportunas contaminan los medios receptores (aire, suelos y aguas), afectando de una forma importante al paisaje, con la consiguiente depreciación del terreno y deterioro del entorno. Una característica común del manejo tradicional de los residuos sólidos urbanos es el orden indisposición final, con respecto a su gestión integral, de la prioridad otorgada a las distintas etapas y alternativas posibles de valorización de los materiales potencialmente recuperables o aprovechables. La disposición final, en basureros o rellenos sanitarios, resulta ser la primera de las alternativas previstas para la destrucción o desaparición de los residuos generados. La valorización de

los residuos se vuelve una alternativa catalogada como costosa y altamente tecnificada (Barradas-Rebolledo, 2009).

Entre los métodos más conocidos para disponer los residuos sólidos, se considera a los rellenos sanitarios como la mejor solución técnica, económica y sanitaria. De hecho es la solución mayoritaria en los países desarrollados, a pesar de los esfuerzos por generar sistemas alternativos. Se estima que actualmente los países desarrollados disponen en estos rellenos cerca del 80% de los residuos recolectados, mientras que en América, aun cuando estas cifras son menores, también es el método más empleado (Espinace *et al.*, 1997).

El relleno sanitario es la tecnología más utilizada para la disposición final en México y en el mundo, lo anterior debido a que ha demostrado ser un método relativamente económico, de fácil ejecución y eficaz en la prevención y protección de riesgos sanitarios, por esa razón es aceptado y utilizado por diversas empresas y municipios, quienes han logrado la experiencia necesaria en su utilización (Zacatecas, 2003).

El relleno sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo que pretende, eliminar las molestias y el peligro para la salud y seguridad pública que representan los actuales vertederos, minimizando el impacto sobre el ambiente durante su operación y después de clausurado el mismo. Utiliza

principios de ingeniería para confinar los desechos y residuos en un área lo más pequeño posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Araujo *et al.*, 2001).

Para crear formas y planes de saneamiento ambiental en el municipio de Francisco I. Madero, se realizaron estudios de caracterización de los desechos sólidos para implementar un sistema de recolección de residuos sólidos y un diseño de relleno sanitario adecuado, con el fin de mejorar al nivel y calidad de vida de los habitantes del municipio.

Objetivo

Diseñar la obra de ingeniería, las características específicas y de diseño que permita la operación del relleno sanitario y el cumplimiento de las normas requeridas.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del problema de los residuos sólidos.

El problema de los residuos sólidos, en la gran mayoría de los países, y particularmente en determinadas regiones, se viene agravando como consecuencia del acelerado crecimiento de la población y concentración en las áreas urbanas, del desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y mejor nivel de vida, así como también debido a otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales (Zepeda y Jaramillo, 1991) .

La disposición final de los residuos sólidos aún sigue constituyendo un problema para las pequeñas comunidades, debido a que en los municipios no se logra satisfacer la demanda de equipos. Por este motivo, resulta exitosa la utilización intensiva de mano de obra en los rellenos sanitarios manuales, ya que así se evita la utilización de equipos mecánicos costosos (Amaral-Filho, 1989) .

2.2 Disposición final de los residuos sólidos.

La disposición final de los residuos sólidos, es la última etapa del proceso que siguen éstos a partir de su generación (Seoáñez, 1993).

Se define como el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y

diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente (Marín -Aguilar y Arboleda-Lopez, 2008).

Desde el punto de vista técnico-económico, el método que mejor se adapta a la región, para disponer de manera sanitaria estos residuos es el relleno sanitario, independientemente de que exista un tratamiento previo (compactación, mecánico-biológico, incineración, etc.) o no. en su operación se utilizan principios de ingeniería para confinar los residuos en un área lo más pequeña posible, se compactan para reducir su volumen, se cubren con materiales impermeables o con capas de tierra y se vuelve a compactar. Además se prevén sistemas de captación y control para líquidos lixiviados y gases generados en el relleno por la descomposición orgánica de los residuos depositados (Villarreal, 2005) .

El establecimiento de rellenos sanitarios, como obras de ingeniería para la disposición final adecuada de los residuos sólidos, debe ir a la par de la promoción de acciones preventivas que minimicen las afectaciones al medio ambiente. El conocimiento de las características de los residuos, geología de los terrenos, la reglamentación existente, así como la realización de estudios previos, de diseño en ingeniería sanitaria, de métodos operativos y el seguimiento a las recomendaciones que emanan del estudio de impacto ambiental, permiten que los objetivos de estos proyectos ejecutivos redunden en un mejoramiento del servicio de limpia (Sánchez-Alciturri *et al.*, 1991b).

2.3 El relleno sanitario.

El relleno sanitario se refiere a una instalación de ingeniería para la disposición de los residuos sólidos municipales, diseñada y operada para minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente (Vazquez-Mota *et al.*, 2003).

Es la técnica mediante la cual diariamente los desechos sólidos se depositan, esparcen, acomodan, compactan y cubren empleando maquinaria. Su fin es prevenir y evitar daños a la salud y al ambiente, especialmente por la contaminación de los cuerpos de agua, de los suelos, de la atmósfera y a la población al impedir la propagación de artrópodos y roedores (Rodríguez-Echeverría, 1998).

2.4 Relleno sanitario manual.

El relleno sanitario manual es un método de disposición final de residuo sólidos que se diseña para la recepción de cantidades menores a las 30 toneladas/día y para ciudades con poblaciones menores a los 500 000 habitantes, que permiten la operación del mismo mediante técnicas y equipos manuales, con la finalidad de minimizar los costos económicos, sociales, sanitarios y ambientales, cumpliendo a su vez con las normas establecidas en el país (Duarte-Díaz y Edmundo-Rodríguez, 2008).

La tecnología de rellenos sanitarios es costosa y necesita de un amplio respaldo tecnológico, el cual en comunidades rurales es escaso o en ocasiones nulo. Los costos de capital y operación de un tractor para tan poca basura hacen que la economía de escala actúe desfavorablemente. Un relleno sanitario manual puede ser una solución a este tipo de problemas. Existen experiencias en muchos países, pero casi todos a nivel piloto (Acurio *et al.*, 1997) .

2.5. Metas básicas del relleno sanitario.

El diseño del sistema de disposición final debe mantener muy presente las metas primordiales para cumplir con la filosofía propia del relleno sanitario, estas metas son las siguientes (Alvarado, 2003):

- Cumplir con toda las regulaciones aplicables.
- Proteger el ambiente físico (agua subterránea, agua superficial, suelo y aire)
- Minimizar las molestias de la operación (ligeros, polvo, fuego).
- Minimizar los costos (inicial, operación y total).
- Minimizar el impacto a cuerpos de agua, controlando e impidiendo escurrimientos superficiales.
- Minimizar el tiempo de descarga a los usuarios.
- Proteger a los trabajadores y usuarios.
- Optimizar el espacio del relleno sanitario y prolongar al máximo la vida útil.
- Mantener la estética del lugar

2.6 Principios básicos de un relleno sanitario.

Para el buen funcionamiento de un relleno sanitario es necesario tomar en cuenta algunos principios básicos; entre los cuales se pueden resaltar (Acuario *et al.*, 1997):

- Supervisión constante, mientras se vacía, recubren los desechos y se compacta la celda, para conservar el relleno en óptimas condiciones. Esto implica tener una persona responsable de su operación y mantenimiento.
- La altura de la celda es otro factor importante a tener en cuenta, que va a depender del grado de compactación logrado, el tipo de desechos dispuestos, la maquinaria disponible y el material de cobertura.
- Es fundamental el cubrimiento diario, con una capa de 0.10 a 0.30 m de material de cobertura.
- La compactación de los desechos sólidos. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, alcanzando a largo plazo una mayor densidad y vida útil del sitio. Una regla sencilla indica que, alcanzar una mayor densidad, resulta mucho mejor desde el punto de vista económico y ambiental.
- El cubrimiento final de unos 0.40 a 0.60 m de espesor, se efectúa siguiendo

la misma metodología que para la cobertura diaria; además, debe realizarse de forma tal que sostenga vegetación, para lograr una mejor integración al paisaje natural (Patiño, 1998) .

2.7 Principales métodos de construcción y operación de un relleno Sanitario.

Los terrenos que se seleccionen para la construcción y operación del relleno sanitario pueden ser planos, ondulados, escarpados, bancos de material de préstamo abandonados o terrenos que presenten una combinación de estas características, siempre y cuando el sitio cumpla con la Norma Mexicana NOM – 083-SEMARNAT- 2003, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.

2.7.1 Método de trinchera o zanja.

Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado en la trinchera, donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia mínima de una vez al día, esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo (Chaves-Araya, 2001).

Este método es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipos normales para movimientos de tierra (Lagreda-Michael, 1996).

Es recomendable para regiones planas y con suelos que tengan buenas características cohesivas, dado que se podrá incrementar la inclinación de los taludes (sin peligro de desmoronamientos), reduciendo el espacio para su realización e incrementando el tiempo de vida útil del sitio de emplazamiento. La trinchera o zanja generalmente puede tener de 2 o 3 metros de profundidad (Bolivia, 2001a) .

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo, que el espesor del suelo entre el nivel de desplante del suelo y el nivel máximo de subida de aguas freáticas sea como mínimo 2 m y la impermeabilidad del suelo de 10^{-6} cm/seg deberá garantizarse, que el tiempo de llegada de cualquier contaminante a un cuerpo de agua superficial o subterránea sea mayor a 150 años (Bolivia, 2001a) .

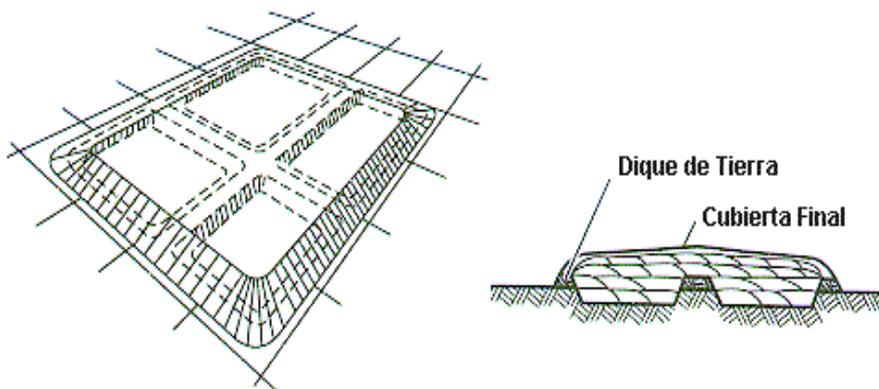


Imagen.1 Método de trinchera (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

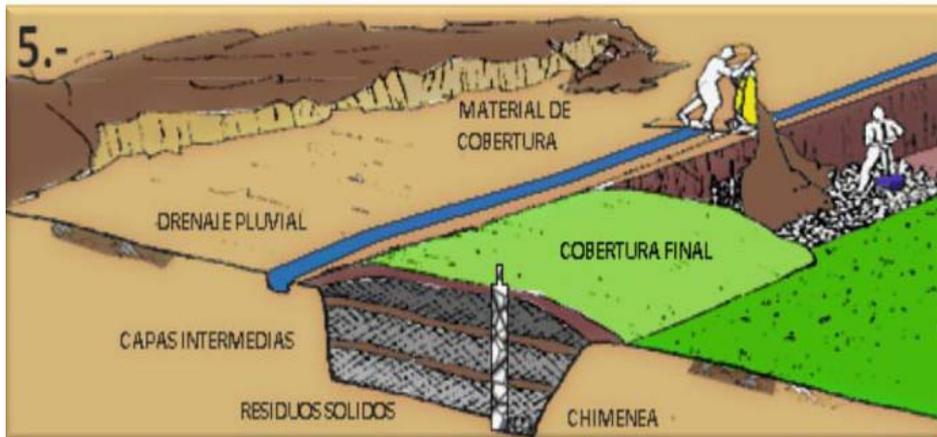


Imagen. 2 Método de trinchera para relleno manual (Penido, 1982).

2.7.2 Método de área.

Este método se puede usar en cualquier tipo de terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas; un punto importante en este método para que el relleno sea económico, es que el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos a éste. El método es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo (Collazos y Hernández., 1979).

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, los desechos se vacían en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0.10 a 0.20 m de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente

suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie (Doreen-Brown, 2004).

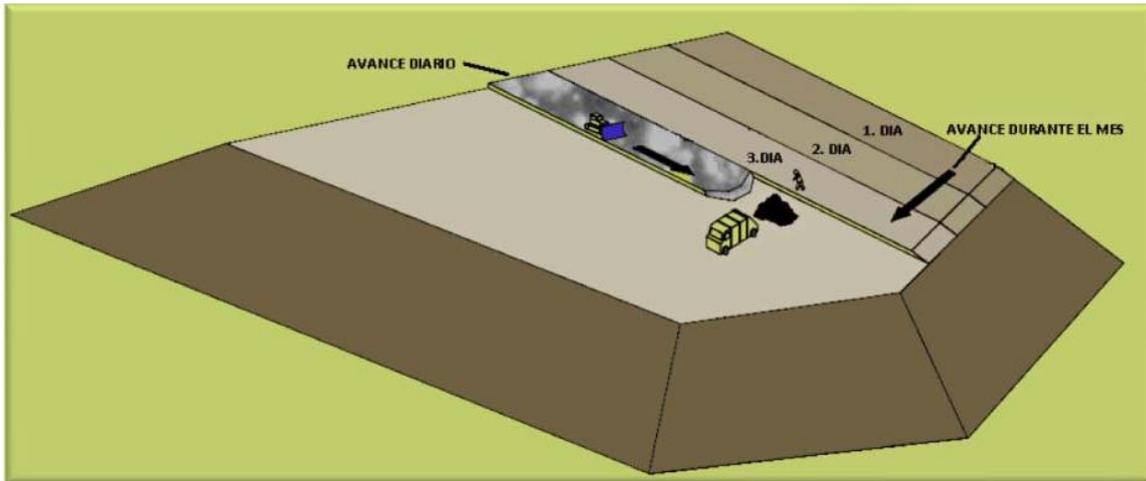


Imagen 3. Método de área relleno mecanizado (Sakurai, 1980).

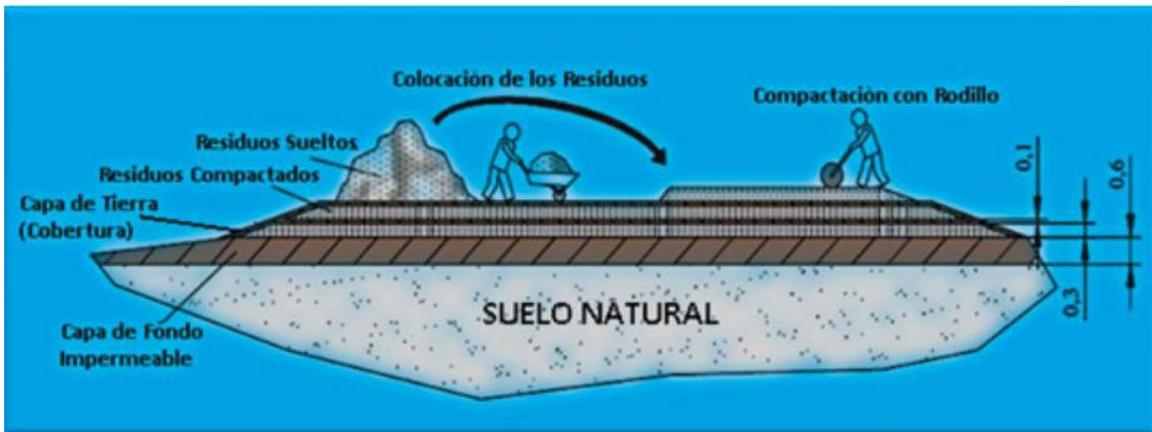


Imagen 4. Método de área relleno manual (Sánchez-Alciturri *et al.*, 1991b).

2.7.3 Combinación de ambos métodos.

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior. Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con un método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una, la cual servirá también para ser rellenada (Epulef *et al.*, 2005).

Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio (Giraldo, 1997).

2.8 Ventajas y limitaciones de rellenos sanitarios.

Cuadro. 1. Ventajas y limitaciones de rellenos sanitarios.

| Ventajas | Limitaciones |
|---|---|
| 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. | La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado, por diversas razones: <ul style="list-style-type: none">• la falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.• se asocia el término relleno sanitario al de botadero a cielo abierto.• la evidente desconfianza mostrada hacia las |

| | |
|---|---|
| | <p>administraciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • locales que no garantizan la calidad ni • sostenibilidad de la obra. • la falta de saneamiento legal del lugar. |
| Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los métodos de tratamiento. | 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. |
| Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo. | No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas, escuelas, etc. |
| 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. | La limitación para construir infraestructura pesada por los asentamientos y hundimientos después de clausurado el relleno. |
| 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. | 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. |
| Permite recuperar terrenos que se consideraban improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc. | 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. |
| Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos. | Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse. |
| Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal. | En general, no puede recibir residuos peligrosos. |

2.9 Diseños de rellenos sanitarios.

El procedimiento de construcción y diseño de relleno sanitario se seleccionará una vez conocido el perfil del terreno disponible, que podrá ser mecanizado, semimecanizado o manual (Alfaro-Monge, 1997).

2.9.1 Relleno sanitario mecanizado.

El relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado (Hernández y Collazos, 1992).

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 y los gastos de operación y mantenimiento (López-Sardi *et al.*, 2009).

En el relleno sanitario mecanizado trabajan generalmente maquinaria que realiza los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar material de cobertura (Bolivia, 2001b).

2.9.2 Relleno sanitario semimecanizado.

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSM 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 podríamos llamar semimecanizado (Guntermann, 1995).

2.9.3 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 30 t/día–, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento (Lanegra *et al.*, 2002).

El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas (Hans- Jurgen, 1992).

Cuadro 2.- Comparación de las características de un relleno sanitario manual y un mecanizado (Aidis, 1993).

| Características | Relleno Manual | Relleno con compactación mecánica. |
|--|---|---|
| Poblaciones < 5000 habitantes | Si | No |
| Poblaciones < 50000 habitantes | Se recomienda su uso, con herramientas y maquinaria adaptada. | No |
| 50000 < Poblaciones < 200000 | No | Si |
| Poblaciones > 200000 habitantes | No | Si |
| Utilización de Herramientas menores (pala, carretilla, pico, trinche, rastrillo) | Si | Si |
| Utilización de Maquinaria Adaptada (tractor agrícola, rodillos, saltarín) | Si | Si |
| Utilización de Maquinaria Pesada (Tractores, orugas, retro excavadoras) | No | Si |
| Personal calificado | No | Si |
| Cerco perimetral | Si | Si |
| Caseta de Control | No | Si |
| Bascula de pesaje | No | Si |
| Sistemas de Tratamiento de lixiviado | Si | Si |

| | | |
|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Metodología para el frente de trabajo | Excavación de celdas en terrenos planos | Colina artificial sobre terreno plano |
| | Construcción de celdas terrazadas sobre un talud | Relleno en una quebrada seca |
| | | Relleno de un hueco o fosa |
| Sistema de Tratamiento de gases | Si | Si |

2.10 Consideraciones preliminares para la ubicación del sitio del relleno sanitario.

El procedimiento para seleccionar el sitio consiste en utilizar una metodología donde se aplican una serie de criterios ponderados y calificados de acuerdo a su importancia, que se convierten en la base para la selección (Martínez-Zuleta *et al.*, 2002b).

Los datos básicos con los que tiene que contar un Gobierno Municipal para iniciar el proceso de selección y ubicación del relleno sanitario son: Población servida, producción per cápita de residuos, caracterización o composición de los residuos, Vida útil planificada del relleno, aspectos ambientales del municipio (precipitaciones pluviales, temperaturas, dirección predominante del viento), plano de la mancha urbana del municipio (Flintoff, 1984).

Cuadro. 3. Datos básicos requeridos por el municipio para la ubicación del sitio del relleno sanitario (Flintoff y Foster, 1984).

| INFORMACIÓN REQUERIDA | UNIDAD | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|---|------------------------------------|--|
| Población del Municipio | Habitantes | Dato del INE proyectados del último censo poblacional |
| Producción Per Cápita | Kg/día habitante | Determinación de parámetros de diseño; Así mismo se puede recurrir a fuentes secundarias como Estudios Realizados |
| Cantidad de Residuos Recolectados | Ton/día o m3/día | Registro de la Empresa de Aseo Municipal |
| Caracterización o Composición de los residuos | % de componentes en los residuos | Determinación de parámetros de diseño; Así mismo se puede recurrir a fuentes secundarias como Estudios Realizados. |
| Precipitación Pluvial | mm/año | Dato de la estación meteorológica más próxima. |
| Temperatura | °C | Dato de la estación meteorológica más próxima. |
| Dirección Predominante del Viento | Dirección, frecuencia y velocidad. | Dato de la estación meteorológica más próxima. |
| Plano de crecimiento urbano | plano | Urbanismo del Municipio |

2.11 Criterios de Ingeniería de diseño del relleno sanitario

Un relleno sanitario se puede realizar en diversos tipos de terrenos; sin embargo, para su selección se deben considerar ciertas características topográficas y geológicas, y la posibilidad de contar con alguna modalidad para la cobertura de estos residuos (material sintético o tierra), de acuerdo con el programa de operación presentado (Haddad, 1991).

Las propiedades físicas aceptables para el material de cubierta, deberán cumplir con los criterios de: aislar los residuos cercanos a la superficie, Impedir la infiltración de líquidos en el interior de las celdas, controlar y dirigir el venteo del biogás generado, reducir la erosión, brindar un drenaje adecuado y proporcionar el soporte para una cubierta vegetal (Irvine, 1975).

2.11.1 Ingeniería básica.

Junto con los parámetros básicos, el desarrollo de la ingeniería básica permite conceptualizar las bases de lo que será la construcción, operación y cierre del relleno sanitario (Penido, 1982).

Cuadro 4.- Contenido del proyecto de ingeniería para los diferentes tipos de rellenos sanitarios.

| Concepto. | Tipo de relleno sanitario | | | |
|--|---------------------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| Proyecto de ingeniería del relleno sanitario | | | | |

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| Diseño del relleno sanitario. | | | | |
| Método de operación | X | X | X | X |
| Requerimientos volumétricos del sitio | X | X | X | X |
| Cálculo de la capacidad volumétrica del sitio | X | X | X | X |
| Dimensionamiento de la celda diaria | X | X | X | X |
| Cálculo de la vida útil del sitio | X | X | X | X |
| Características del material de cobertura | X | X | X | X |
| Diseños específicos | | | | |
| Estabilización de los residuos | X | X | X | |
| Producción de lixiviados | X | X | X | |
| Producción de biogás | X | X | X | |
| Análisis de estabilidad de taludes | X | X | X | |
| Sistema de impermeabilización | X | X | X | X |
| Sistema de control de escurrimientos pluviales | X | X | X | D |
| Sistema de extracción y control de biogás | X | X | X | |
| Sistema de extracción y control de lixiviados | X | X | X | |
| Sistema de monitoreo del relleno sanitario | X | X | X | |
| Caminos de acceso e interiores | X | X | X | X |
| Diseño de obras complementarias | X | X | X | X |
| Señalamientos. | X | X | X | X |
| Selección del equipo | X | X | X | X |
| Personal | X | X | X | X |
| Operación del relleno sanitario. | | | | |
| Controles de entrada | X | X | D | D |
| Bancos de materiales. | X | X | D | D |
| Determinación de parámetros de operación | X | X | D | D |

| | | | | |
|---------------------|---|---|---|--|
| Manual de operación | X | X | X | |
|---------------------|---|---|---|--|

Claves:

| | |
|---|---------------|
| X | Indispensable |
| D | Deseable |

2.11.2 Proyección de la generación de RSU

La producción futura anual de RSU se debe estimar con base en la proyección demográfica y en la generación per cápita (Sakurai, 1980).

En cuanto al incremento de ésta difícilmente se encuentran cifras representativas de variación anual. Se recomienda calcular según, 1% de incremento anual. La generación per cápita, peso volumétrico y composición se obtienen de los estudios previos solicitados para los rellenos sanitarios. Se requiere para calcular y dimensionar la celda diaria y el volumen del relleno (Aguirre-Piedra, 2009).

2.11.3 Determinación de la celda diaria

De acuerdo con el método de operación elegido, se requiere que el proyecto de ingeniería, presente el nivel de desplante requerido para el sitio de disposición final. Para esto se debe considerar criterios constructivos (volumen de material de corte igual al de cubierta) y de protección ambiental. Esta parte está fundamentada en los resultados de la topografía del sitio (Santiago-Reyes y Hernandez, 2004).

Como parte del diseño de ingeniería se tiene que desarrollar las dimensiones de la celda diaria, de acuerdo con el ingreso de los RSU diario, el trabajo que se dé a

éstos con la compactación y la calidad de material de cobertura necesario. Parea esto, se deberá presentar los cálculos y análisis realizados en la memoria de cálculo del proyecto (Hernández-Martínez *et al.*, 2006).

En el caso de la operación mecánica, se especifican (Palma *et al.*, 1999):

- Altura de la celda, que puede variar entre 3 y 5 metros.
- Ancho de la celda, que está en función del número de vehículos recolectores y los espacios que requiere la maquinaria que opera en el sitio.
- Largo en función de la altura proyectada y el ancho.
- Talud del frente de trabajo, conservadoramente se recomienda un talud de 2:1 cuando se emplea tractor de orugas y de 3:1 o 4:1 cuando se hace uso de compactadores especiales.

2.11.4 Vida útil del relleno sanitario

Se calcula comparando el volumen total disponible del terreno con los valores acumulados de residuos sólidos más el material de cobertura, hasta obtener un valor similar o ligeramente mayor, corresponde a la cantidad de años de funcionalidad del relleno (Oeltzchner *et al.*, 1993).

2.11.5 Producción per cápita de residuos sólidos.

La PPC es un parámetro que evoluciona en la medida en que los elementos que la definen varían. En términos gruesos, la PPC varía de una población a otra, de

acuerdo principalmente a; el grado de urbanización, la densidad poblacional y el nivel de consumo o nivel socioeconómico. Otros elementos, como los periodos estacionales y las actividades predominantes también afectan la PPC (Vazquez-Mota *et al.*, 2001).

La producción de residuos sólidos se puede medir en valores unitarios como kilogramos por habitante por día, kilogramos por vivienda por día, kilogramos por cuadra por día, kilogramos por tonelada de cosecha o kilogramos por número de animales por día (Sowers, 1968).

2.11.6 Producción total.

El conocimiento de la producción de desechos sólidos, nos permite establecer entre otros factores, cuáles deben ser los equipos de recolección más adecuados, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad del área para la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa o tasa de aseo (Fajardo, 1989).

2.11.7 Densidad.

Para calcular y dimensionar de la celda diaria y el volumen de relleno de está, se debe considerar la densidad de la basura, la cual se puede estimar bajo las siguientes consideraciones (Martínez-Zuleta *et al.*, 2002a):

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

Estas densidades se alcanzan mediante la compactación homogénea y a medida que se estabiliza el relleno, lo cual, como es obvio, incide en la estabilidad y vida útil del sitio. El aumento de la densidad de los desechos sólidos en el relleno sanitario se logra, entre otras cosas por (SEDESOL, 2003):

- El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas.
- El apisonado mecánico, mediante el uso periódico de equipos mecánicos como el equipo compactador.
- La separación y recuperación de materiales tales como: papel, cartón, plásticos, vidrio, chatarra y otros, dado que estos materiales difícilmente se compactan

Otros mecanismos que aumentan la densidad de los desechos sólidos son (Martínez-Zuleta *et al.*, 2002a):

- 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.

La densidad de los sólidos depende de su constitución y humedad, este valor se debe medir con la finalidad de contar con un valor más real, para el diseño del relleno sanitario. Para la densidad se pueden distinguir diferentes valores, en las distintas etapas del manejo de los residuos, a saber se tiene tres tipos de densidades (Gómez-Méndez, 2009):

- Densidad Suelta.- Esta densidad generalmente se asocia con la densidad en el origen. Dependen de la composición de los residuos, este valor de la densidad varía entre 0.2 a 0.4 kg/lto. o ton/m^3 .
- Densidad de transporte.- Esta densidad dependen de si el camión es compactador o no y del tipo de residuos transportados, el valor típico de esta densidad es del orden de 0.6 kg/lto.
- Densidad del residuo dispuesto en el relleno.- Se debe distinguir entre la densidad del residuo recién dispuesto en el relleno y la densidad después de asentado y estabilizado en el sitio. La densidad del residuo recién

dispuesto fluctúa entre 0.5 y 0.7 kg/l., y la densidad de la basura estabilizada fluctúa entre 0.7 y 0.9 kg/l.

2.11.8 Cálculo del volumen necesario.

Los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de las siguientes variables (NMX-AA-061, 1985):

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

2.11.9 Reporte de mecánica de suelos.

Se recomienda la realización de un análisis de mecánica de suelos, con la finalidad de conocer las características del material que comprende el área donde se pretenden la operación del relleno sanitario, además se requiere, saber si este suelo es de alta permeabilidad o no, lo anterior con la finalidad de mejorar el rendimiento de la tierra que será empleada como material de cobertura. En caso de ser necesario el mejoramiento del suelo, esto podrá realizarse mediante el

agregado de hasta el 50% de arcilla, lo anterior para el material de cobertura, no sin antes de realizar trabajos de impermeabilización con material arcilloso o en su caso con geomembranas (Díaz *et al.*, 1990).

Lo anterior es con la finalidad de evitar que los líquidos lixiviados que se pudieran generar se pudieran trasminarse a los mantos freáticos y, además servirá para contar con un mejor control de dichos líquidos hacia estos mantos (Díaz *et al.*, 1990).

Cuadro. 5. Donde se puede apreciar la ubicación del suelo en cuestión y su relación con el coeficiente de impermeabilidad (Jaramillo, 2002a)

| 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 de bajo de la zona de intemperización. | | | | | | | | |

2.11.10 Cálculo del área requerida.

Con el volumen calculado, se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, solamente si se puede estimar en forma aproximada la profundidad o altura del relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea de la topografía de los alrededores (Palma, 1995).

El relleno sanitario puede proyectarse para un mínimo de cinco años, aunque preferiblemente debe ser suficiente para 10 años. Sin embargo, algunas veces es necesario proyectarlo incluso para menos de cinco años, ante la dificultad de encontrar terrenos disponibles. Este tiempo se llama vida útil o periodo de diseño (Sánchez-Alciturri *et al.*, 1991a).

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario depende principalmente de algunos factores como, entre los que se pueden mencionar los siguientes (Arias, 1994):

- Cantidad de desechos sólidos a disponer.
- Cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los desechos sólidos.
- Profundidad o altura del relleno sanitario.
- Capacidad volumétrica del terreno.

- Áreas adicionales para obras complementarias.

2.12. Diseño de taludes.

2.12.1 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 sean menores de 5 metros se puede establecer como norma que no se requieren 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 (Cuevas *et al.*, 2006).

2.13. Pozos de monitoreo.

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 mediana, un relleno sanitario debería de cumplir con 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 (Ortega *et al.*, 2002).

Los pozos de monitoreo deberán estar situados como mínimo a unos 10, 20 y/o 50 metros del área del relleno y del drenaje exterior del líquido percolado; con unos 8 o 10 pozos será suficiente. Para la toma de muestras del agua subterránea, si los mantos freáticos son superficiales (menores a unos 4 m) estos pozos podrán ser excavados manualmente (Estrada-Núñez, 2001).

Como resultado de los mecanismos de descomposición de los RSM que ocurre en el relleno, se generaran líquidos, gases y productos intermedios. Algunos son retenidos en los poros del terreno, mientras que otros pueden ser arrastrados y/o solubilizados por los líquidos que atraviesan las capas de tierra y basura hasta alcanzar las fuentes de agua. Por lo tanto, aunque no es necesario en todos estos pequeños proyectos, se recomienda instalar una serie de pozos de monitoreo con la finalidad de detectar la probable contaminación del agua subterránea que resulta de la construcción del relleno sanitario (Quintero-Rodríguez *et al.*, 2008).

Estos pozos podrán ser cavados manual y/o mecánicamente y, dependiendo del tipo de suelo, se tomarán medidas para evitar derrumbes durante su excavación. Una vez hallado el nivel freático, se coloca en el fondo el material granular y se instala una tubería de 8" de diámetro que permita el ingreso de una botella plástica o garrafón para la toma de la muestra del agua. Después de instalar la tubería, se llena el resto del pozo con la misma tierra excavada (Seoánes, 1993).

Proceso constructivo de un pozo de monitoreo de aguas

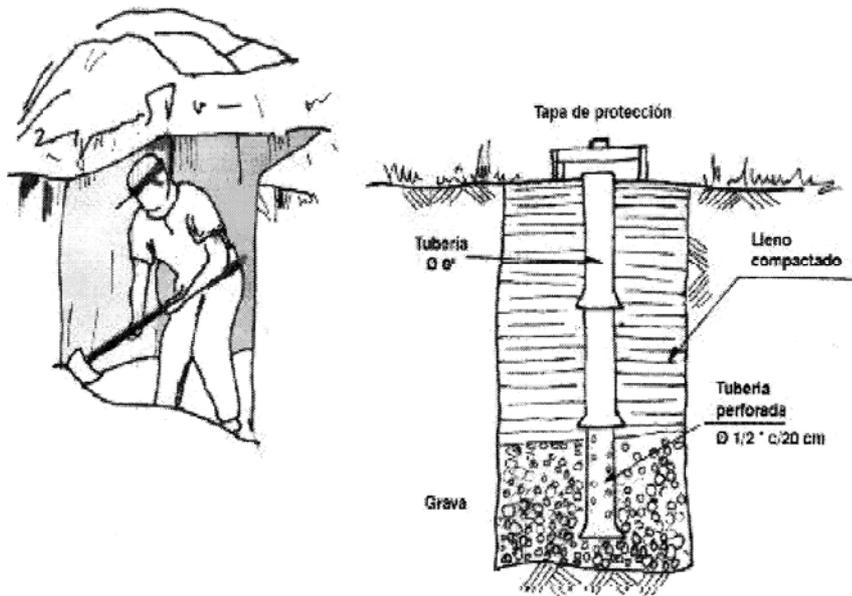


Imagen 5. Proceso constructivo de un pozo de monitoreo de aguas (Palma *et al.*, 1999).

2.14 Generación de lixiviado o percolado.

2.14.1 Generación de lixiviados o percolados.

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de

los siguientes factores (Jaramillo, 2002c)

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSM.

- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

El volumen de lixiviados está fundamentalmente en relación 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 (Acurio *et al.*, 1998).

2.14.2 Material de cobertura

El material de cobertura es aquel que se explota en el mismo sitio del Relleno Sanitario o en sitios aledaños o es importado de otros lugares y sirve para el cubrimiento de los residuos una vez compactados. La utilización de material de cobertura tiene como finalidad aislar los residuos de su entorno, ya sea impidiendo la salida indiscriminada de flujos gaseosos no controlados hacia el exterior, o cortando la infiltración de agua de escorrentía hacia el cuerpo de residuo, o actuando como barrera ante la posible acción de animales como insectos, roedores y aves (Martínez-Zuleta *et al.*, 2002b).

Una de las principales funciones del material de cobertura es la de evitar la infiltración del agua de escorrentía; por lo tanto, deberá impedir la formación de encharcamientos y retenciones de agua al tener pendientes suaves o que, contrariamente, presente erosión por pendientes elevadas (Martínez-Zuleta *et al.*, 2002a).

2.14.3 Compactación.

La presente obra de saneamiento básico, ha sido concebida para emplear recursos propios de la región y mano de obra poco calificada. Por consiguiente, la conformación de las celdas y la compactación de la basura se harán con maquinaria o compactador de residuos sólidos. Las densidades alcanzadas en el relleno sanitario serán relativamente bajas (400 -500 kg/m³), pero lo suficiente para los fines propuestos. Entre los mecanismos más importantes que inciden en la compactación de los RSM en un relleno sanitario, están los siguientes aspectos (Canter- Ñanay, 1999);

- El tránsito de los vehículos sobre las celdas terminadas; por lo tanto, debe realizarse con mayor frecuencia en los periodos secos.
- El proceso de descomposición de los RSM debido a su alto contenido de materia orgánica.

- El peso propio de las celdas superiores sobre las inferiores.
- El almacenamiento de material de cobertura sobre las celdas ya terminadas.

2.15.- Selección de maquinaria y equipo

2.15.1 Herramientas de trabajo.

La operación de un relleno sanitario está en función de la cantidad de RSU ingresados, pudiendo ser mecánica, manual o combinada, en la tabla siguiente, se presentan los requerimientos por tipo de relleno sanitario:

Cuadro. 6 Maquinaria y Herramienta para la operación de un relleno sanitario tipo.

| Concepto | Tipo de relleno sanitario | | | |
|---|---------------------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| Selección de maquinaria y equipo | | | | |
| Compactador de residuos sólidos. | X | X | | |
| Equipos adaptados | X | X | D | |
| Equipo de apoyo | X | D | D | D |
| Herramienta para operación manual | | | X | X |

Simbología:

Indispensable

Deseable

2.16 Estructura de un relleno sanitario y sus principales componentes

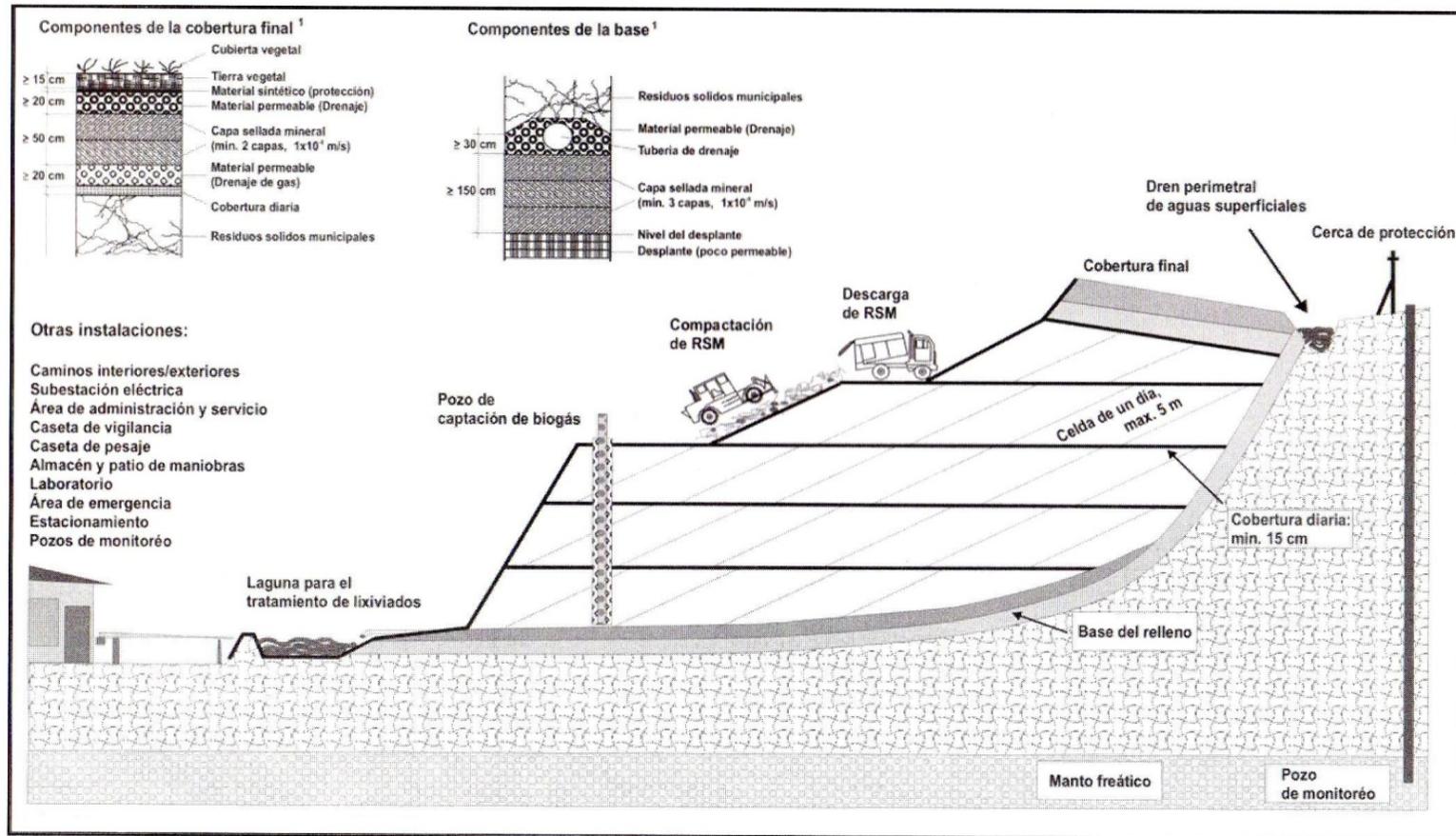


Imagen 6. Que muestra la estructura de un relleno sanitario(Quintero-Rodríguez *et al.*, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica.

El presente trabajo se llevó a cabo en el municipio de Francisco I. Madero el cual se encuentra ubicado entre los meridianos 103°16' longitud oeste y los paralelos 25° 46' de latitud norte. La altitud de esta región sobre el nivel del mar es de 1,100 m (INEGI, 2010). Durante el periodo Marzo-Diciembre del 2010 con el objetivo de proponer las características específicas y de diseño que permitan la operación del relleno sanitario y el cumplimiento de las normas requeridas. La metodología para determinar los datos de diseño del relleno sanitario es el cálculo del volumen de residuos, volumen del relleno sanitario, área requerida, dimensiones de la celda del relleno, vida útil, crecimiento poblacional y producción percapita.

3.2 Cálculo de volumen de residuos sólidos.

El volumen diario y anual de desechos sólidos que se requieren disponer en el relleno sanitario (tabla No.7, columnas 6, 7 y 8), es decir V_{diario} y V_{anual} , se calculan de la siguiente manera (Villafuerte *et al.*, 2004):

$$V_{\text{diario}} = DSp/Drsm$$

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

Donde:

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

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

365 = días contenidos en un año.

DSp = cantidad de desecho sólidos producidos (kg/día).

Drsm = Densidad de los desechos sólidos recién compactados (400 a 500 kg/m³) y estabilizados (500 a 600 kg/m³)

3.3 Método para calcular el volumen del relleno sanitario.

De esta manera, se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, afectando el valor anterior por el material de cobertura, así (Souza y Rodríguez, 1980) :

$$VRS = V_{\text{anual}} \times MC$$

Donde:

VRS = Volumen del relleno sanitario (m³/año)

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

Los datos obtenidos se vacían en la tabla No. 7, columna 9 y, para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil se tiene:

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

Donde:

VRS_{vu} = volumen del relleno sanitario manual durante la vida útil (m³)

n = número de años.

i = 1

Los datos anteriormente descritos aparecen en la tabla No. 7, columna 10, es decir, los valores acumulados anualmente.

3.4 Método para calcular el área requerida

Para calcular el área requerida se tomara en cuenta la tabla No.7, a partir de la columna 11, se puede obtener el siguiente dato con la siguiente fórmula (Médez-Arocha, 1998):

$$ARS = VRS/HRS.$$

Donde:

ARS = área a rellenar sucesivamente (m²)

VRS = volumen necesario del relleno sanitario (m³/año)

HRS = altura o profundidad media del relleno sanitario (m).

Por lo tanto el área total requerida, tabla No. 7, columna 12, será:

$$AT = F \times ARS$$

Dónde:

AT = Área total requerida (m²)

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

En el Cuadro No. 7, se incorporan los parámetros mencionados para el cálculo del volumen del relleno sanitario. El área se estimará para cada sitio alternativo cuando se conozca la profundidad promedio del relleno sanitario manual.

3.5 Dimensiones de la celda diaria.

Esta se calculara mediante la siguiente fórmula (Buenrostro *et al.*, 2003):

Área de la celda: $Ac = Vc \times hc$

Dónde:

Ac = Área de la celda (m^2 /día)

Vc = Volumen de la celda (m^3)

hc = Altura de la celda (m) limite 1.0 a 1.5 metros.

Sustituyendo los valores en la formula tenemos que;

$$Ac = 89.7 \text{ m}^3 \times 1.0 \text{ m.} = 89.7 \text{ m}^3$$

Por lo que sería suficiente contar con celdas de las siguientes medidas 89.7 m x 10.0 m

Por lo tanto la celda diaria recomendad para el presente proyecto será de 89.7 m x 10.0 m x 1.0 m = 89.7 m³

Para el caso de la producción máxima (20 años)

El área de la celda será la siguiente (Jaramillo, 2002b):

$$Ac = Vc \times hc$$

Dónde:

Ac = Área de la celda (m²/día) a 20 años

Vc = Volumen de la celda (m³) a 20 años

hc = Altura de la celda (m) limite 1.0 a 1.5 metros.

Ac = 2.8 m X 117 m³= 327.6 m³

Observación.- El ancho de la celda estará en función de la población, ya que la descarga será en este caso, de varios vehículos, los cuales pueden ser entre 10 y 12 vehículos de transportación de basura, por lo que el frente requerido puede ser de entre 9 a 10.85 metros, por lo tanto el frente obtenido de 9.0 m cumple con los requisitos anteriormente descritos.

3.6 Método para calcular lixiviados o percolados.

Para calcular el caudal de lixiviado o líquidos percolados, se puede realizar mediante la aplicación del método denominado “Método Suizo”, el cual establece la siguiente ecuación(Jaramillo, 2002a) :

$$Q = \frac{1 \times P \times A \times K}{t}$$

Donde:

Q = caudal medio de lixiviado o líquido percolado (Lto/seg.)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = número de segundos en un año (31'536,000 seg/año)

K = coeficiente que dependen del grado de compactación de la basura.

3.7 La vida útil del relleno sanitario

La vida útil del relleno sanitario se calcula comparando el volumen total disponible del terreno con los valores acumulados de residuos sólidos más el material de cobertura, hasta obtener un valor similar o ligeramente mayor, corresponde a la cantidad de años de funcionalidad del relleno. En la tabla No. 7, correspondiente al “Dimensionamiento Básico del Relleno Sanitario”, se establece la vida útil del relleno sanitario para el municipio de Fco. I. Madero.

3.8 Determinación del Crecimiento Poblacional.

El crecimiento poblacional se podrá estimar por métodos matemáticos, o vaciando los datos censales en una gráfica y haciendo un “proyección” de la curva dibujada (Chile, 2001).

De los métodos matemáticos se presenta como guía el crecimiento geométrico, es decir el de las poblaciones biológicas en expansión, el cual asume una tasa de crecimiento constante. La siguiente expresión nos muestra su cálculo (Díaz *et al.*, 1990):

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

Donde:

Pf = población futura.

Po = población actual

r = Tasa de crecimiento

n = número de años a proyectar.

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

3.9 Producción per cápita (PPC).

La producción de residuos sólidos domésticos es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas. Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es la llamada Producción Per Cápita (PPC). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo: siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (kg/hab/día) (Ostera *et al.*, 2004).

Es posible efectuar una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección y utilizando la siguiente expresión (Martínez-Zuleta *et al.*, 2002b):

$$PR = \frac{N \cdot V \cdot NJ \cdot CP \cdot Dn}{Población.}$$

Población.

Dónde:

PR = Producción total de residuos sólidos por día.

NV = Número de vehículos en operación.

NJ = Número de viajes por vehículo

CP = Capacidad útil estimada por vehículo en m³

Dn = Densidad de los residuos en el vehículo

La producción per cápita de desechos sólidos, también se puede estimar globalmente mediante la siguiente ecuación (Jaramillo, 2002b)

$$PPC = DSr \text{ en una semana} / (\text{población} \times 7 \times Cob).$$

Dónde:

PPC = Producción por habitante por día (Kg/hab/día)

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

Pob = Población área urbana (hab)

7 = Días de la semana.

Cob = Cobertura del servicios de aseo (%)

Con base en los muestreos de desechos sólidos realizados en algunas de las poblaciones pequeñas, rurales y áreas marginales realizado para la presentación de la política para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios, se ha encontrado que la PPC, para este tipo de poblaciones, pequeñas o en áreas

rurales, se encuentra dentro de los siguientes rangos: 0.845-1.09 kg/hab/día (Jaramillo, 2002a).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron comparados con las normas oficiales Mexicanas, así como las de otros países, ejemplo Norma Oficial Mexicana **NOM-083-SEMARNAT-2003**, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente de Colombia.

En el Cuadro número 7 se dan a conocer los dimensionamientos básicos del relleno sanitario.- Se da la proyección de la población a servir durante la vida útil del relleno sanitario.

Cuadro. 7 DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DEL RELLENO SANITARIO

| Año | Población (hab.) | Generación PPC (kg/Hab-día) | CANTIDAD DE DESCHOS SÓLIDOS | | | VOLUMEN DESECHOS SÓLIDOS | | | | | ÁREA REQUERIDA | |
|-----|------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|--|---------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| | | | Diaria (kg) | Anual (Ton) | Acumulado (ton) | Compactados | | Estabilizados Anual (m ³) | Rellenos | | Relleno ARs (m ²) | Total AT (m ²) |
| | | | | | | Diario (m ³) | Anual (m ³) | | (DS*MC) Anual | Acum (m ³) | | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | |
| 1 | 38000 | 1.18 | 44840 | 16366.6 | 16366.6 | 89.7 | 32733.2 | 74.7 | 39279.8 | 39279.8 | 14028.5 | 16834.2 |
| 2 | 38536 | 1.18 | 45472 | 16597.4 | 32964.0 | 90.9 | 33194.7 | 75.8 | 39833.7 | 79113.5 | 28254.8 | 31060.5 |
| 3 | 39079 | 1.18 | 46113 | 16831.4 | 49795.4 | 92.2 | 33662.8 | 76.9 | 40395.3 | 119508.9 | 42681.7 | 45487.4 |
| 4 | 39630 | 1.18 | 46764 | 17068.7 | 66864.1 | 93.5 | 34137.4 | 77.9 | 40964.9 | 160473.8 | 57312.1 | 60117.8 |
| 5 | 40189 | 1.18 | 47423 | 17309.4 | 84173.5 | 94.8 | 34618.8 | 79.0 | 41542.5 | 202016.3 | 72148.7 | 74954.4 |
| 6 | 40756 | 1.18 | 48092 | 17553.4 | 101726.9 | 96.2 | 35106.9 | 80.2 | 42128.3 | 244144.6 | 87194.5 | 90000.2 |
| 7 | 41330 | 1.18 | 48770 | 17800.9 | 119527.9 | 97.5 | 35601.9 | 81.3 | 42722.3 | 286866.9 | 102452.4 | 105258.1 |
| 8 | 41913 | 1.18 | 49457 | 18051.9 | 137579.8 | 98.9 | 36103.9 | 82.4 | 43324.7 | 330191.5 | 117925.5 | 120731.2 |
| 9 | 42504 | 1.18 | 50155 | 18306.5 | 155886.3 | 100.3 | 36613.0 | 83.6 | 43935.5 | 374127.1 | 133616.8 | 136422.5 |
| 10 | 43103 | 1.18 | 50862 | 18564.6 | 174450.9 | 101.7 | 37129.2 | 84.8 | 44555.0 | 418682.1 | 149529.3 | 152335.0 |
| 11 | 43711 | 1.18 | 51579 | 18826.4 | 193277.2 | 103.2 | 37652.7 | 86.0 | 45183.3 | 463865.3 | 165666.2 | 168471.9 |
| 12 | 44327 | 1.18 | 52306 | 19091.8 | 212369.0 | 104.6 | 38183.6 | 87.2 | 45820.3 | 509685.7 | 182030.6 | 184836.3 |
| 13 | 44952 | 1.18 | 53044 | 19361.0 | 231730.0 | 106.1 | 38722.0 | 88.4 | 46466.4 | 556152.1 | 198625.7 | 201431.4 |
| 14 | 45586 | 1.18 | 53792 | 19634.0 | 251364.0 | 107.6 | 39268.0 | 89.7 | 47121.6 | 603273.7 | 215454.9 | 218260.6 |
| 15 | 46229 | 1.18 | 54550 | 19910.8 | 271274.9 | 109.1 | 39821.7 | 90.9 | 47786.0 | 651059.7 | 232521.3 | 235327.0 |
| 16 | 46881 | 1.18 | 55319 | 20191.6 | 291466.4 | 110.6 | 40383.2 | 92.2 | 48459.8 | 699519.5 | 249828.4 | 252634.1 |
| 17 | 47542 | 1.18 | 56099 | 20476.3 | 311942.7 | 112.2 | 40952.6 | 93.5 | 49143.1 | 748662.5 | 267379.5 | 270185.2 |
| 18 | 48212 | 1.18 | 56890 | 20765.0 | 332707.7 | 113.8 | 41530.0 | 94.8 | 49836.0 | 798498.5 | 285178.0 | 287983.7 |
| 19 | 48892 | 1.18 | 57693 | 21057.8 | 353765.5 | 115.4 | 42115.6 | 96.2 | 50538.7 | 849037.2 | 303227.6 | 306033.3 |
| 20 | 49581 | 1.18 | 58506 | 21354.7 | 375120.2 | 117.0 | 42709.4 | 97.5 | 51251.3 | 900288.4 | 321531.6 | 324337.3 |

Hoja de cálculo para el volumen y el área requerida para el relleno sanitario de: Fco. I. Madero, Coah.

Operación prevista: 6 días a la semana = 313 días al año.

Sitio propuesto = 20 Ha.

Tasa de incremento de generación de RSM: 1% anual.

Tasa de crecimiento poblacional anual: 1% anual

A los 7 años, se llena el primer nivel del relleno sanitario.

A los 14 años, se completa el segundo nivel de celdas.

A los 20 años, se cubre el tercer nivel y finaliza la vida útil del sitio.

En la columna 2 refiere al cálculo de la proyección de producción per cápita, colocando el primer año la PPC. Ponderada de 0.18 kg. /hab./ día. y supondremos un incremento anual del 1% por el inminente desarrollo lo que a la vez produciría mayor cantidad de desechos sólidos.

La columna 3: Se refiere al cálculo de la cantidad de desechos sólidos. De la tabla No. 7, se tiene que de los 0 a los 5 primeros años, la producción diaria de residuos compactados en el relleno, será de 94.8m^3 promedio, de los 6 a los 10 años, será de 101.7m^3 . De los 11 los 20 años el promedio será de 117m^3 .

El volumen del relleno será en cada caso de un promedio del 22.4% del volumen de los residuos sólidos, es decir para los primeros cinco años se requerirá un máximo de $72,148.7\text{ m}^2$, de área para disponer de los residuos.

Las dimensiones de la celda diaria, de acuerdo al resultado obtenido para la producción máxima a los 20 años, las celdas podrán tener un área máxima de $10.85\text{ m} \times 10.85\text{ m} \times 1.0\text{ m}$, lo anterior da como resultado una área de 117.7 m^3 , lo

cual concuerda con el volumen indicado al final de la columna 6 de el Cuadro No. 7, por lo que la celda máxima, deberá de ser de la medidas arriba descritas. Las dimensiones resultantes de estas medidas varían entre 1.85 metros y 0.85 metros, de las medidas descritas para la celda diaria.

Los datos obtenidos de acuerdo a la fórmula para calcular los lixiviados es la siguiente:

Descrito y sustituyendo los valores en la formula, se tiene los siguientes

$$\text{resultados: } Q = \frac{1 \times 464.4 \times 324337.3 \times 0.3}{31'536,000} = 1.433 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Área requerida de las canaletas para una velocidad de 1.5 m/seg.

$$A = Q/V$$

$$A = 1.433/1.5 = 0.9556 \text{ m}^2$$

De acuerdo al resultado obtenido anteriormente, se puede determinar que el área de las canaletas o zanjas para drenar los lixiviados, para el presente proyecto debe de tener las siguientes dimensiones: $0.95 \times 1.0 = 0.95 \text{ m}^2$ por lo tanto a continuación se describe el diagrama de las canaletas más un factor de 3% como factor de seguridad en lo referente a la cubierta de la canaleta.

Longitud total de la zanja de almacenamiento y conducción de lixiviados será de; 175,000 m. Dicha zanja tendrá una capacidad de almacenamiento y conducción de las siguientes dimensiones = $175,000 \text{ m.} \times 0.9556 \text{ mts.}^2 = 167,230 \text{ m}^3$

En el Cuadro No. 7, se ha determinado el área necesaria para dar el servicio de disposición final de residuos sólidos urbanos por parte del municipio de Fco. I. Madero. Al momento de realizar el presente estudio, el municipio pretende la adquisición de un terreno de aproximadamente 20 hectáreas ($200,000 \text{ m}^2$), para una vida útil de 20 años, lo anterior de acuerdo a lo mencionado por el personal del mismo municipio.

Pero de acuerdo a los resultados indicados en la misma tabla 7, (columna 12), para un periodo de vida útil de 20 años, el municipio, en realidad se debe de adquirir un terreno de 32.5 hectáreas ($324,337.3 \text{ m}^2$), esta área incluye las obras para caseta de vigilancia, instalaciones sanitarias, vestidores y comedor, para los trabajadores del relleno sanitario.

De acuerdo con lo previsto en la nueva Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, referente a sitios de disposición final, se considera que los municipios podrían contar con rellenos sanitarios mayores de 50 toneladas, que operarían mecánicamente y con posibilidades de contar con una selección de sitio

adecuada, a través del desarrollo de estudios y proyectos, una construcción y equipamiento tradicional.

En el caso que nos ocupa, se hacen las recomendaciones de aplicar una membrada de polietileno de la menos 7 micras, con una plantilla de 20 centímetros de espesor con material producto de la excavación mejorando está con arcilla del la zona al 50% de humedad y bandeando para conformar la base semi-impermeable sobre la que se colocaran los residuos sólidos y, compactada al 95%, los canales perimetrales, las zanjas de confinamiento y las lagunas de desecación, serán revestidas con una mezcla de suelo-cemento de 3-5 centímetros de espesor con graduación de 1:6

La corona de la rampa de acceso se realizara con material producto de la excavación mejorado con arcilla de la zona y será compactada también al 95%, en capas no mayores a 30 centímetros.

V.- CONCLUSIONES

El relleno sanitario no requiere de técnicas muy sofisticadas, ni inversiones muy elevadas y es posible conjugarlo con métodos de reciclaje y de composteo para que resulte adecuado.

De acuerdo a la metodología empleada y a los resultados obtenidos se puede concluir que:

La construcción del relleno sanitario en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, es factible desde el punto de vista técnico.

1. Las características específicas deben ser:

- Contar con una selección apropiada del terreno donde se ubicara el relleno sanitario,
- Contar con un diseño técnico,
- Mantener las condiciones de operación acordes con su diseño,
- Contar con la maquinaria e infraestructura adecuadas, para el manejo de los residuos.

El cumplimiento de estos requisitos, requiere de una buena administración y la sensibilización y cooperación de la comunidad.

2.-Las características de diseño deben ser:

- Estabilización de los residuos
- Producción de lixiviados

- Producción de biogás
- Análisis de estabilidad de taludes
- Sistema de impermeabilización
- Sistema de control de escurrimientos pluviales
- Sistema de extracción y control de biogás
- Sistema de extracción y control de lixiviados
- Sistema de monitoreo de relleno sanitario
- Caminos de acceso e interiores
- Diseño de obras complementarias

3.-Este diseño cumple las normas requeridas:

- NOM-083-SEMARNAT-2003
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

VI.-LITERATURA CITADA.

- Acuario, G., A. Rossin, P. Teixeira y F. Zepeda 1997. "Diagnóstico de la situación del mercado de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe." Organización Panamericana de la salud 23: 58-59.
- Acurio, G., A. Rossin y F. Zepeda 1997. "Diagnóstico de la situación del mercado de residuos sólidos municipales en América Latina." Disponible: http://cebem.org/fau/boletin/2004/bol_3/res_solidos_al.pdf: (Consultado 28 de Marzo 2011).
- Acurio, G., A. Rossin, P. Teixeira y F. Zepeda 1998. "Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe." Organización Panamericana de la salud, serie ambiental 18: 61.
- Aguirre-Piedra, M. 2009. "Estudio del impacto ambiental del sistema del relleno." Gobierno municipal autónomo del Cantón Huaquillas 1: 19.
- Aidis 1993. "Vigilancia de rellenos sanitarios, gestión ambiental en el caso del relleno." Congreso chileno de ingeniería sanitaria y ambiental 4: 20.
- Alfaro-Monge, C. 1997. "Sistema de manejo de desechos sólidos." InterSedes 2: 89.
- Alvarado, S. R. 2003. "Desechos sólidos." Instituto de fomento y asesoría municipal 2: 34.
- Amaral-Filho, G. 1989. "Relleno sanitario manual método de trincheras o zanjas " Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.: 3.
- Araujo, A., R. Andrades y M. Mendoza 2001. "Proyecto de construcción del relleno sanitario del área metropolitana del la ciudad de Guanare, estado portuguesa." Ministerio del ambiente: 20.
- Arias, A. 1994. "Modelo de asentamiento de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos." Tesina de magister en ingeniería sanitaria y ambiental: 45.
- Barradas-Rebolledo, A. 2009. "Gestión integral de los residuos sólidos municipales.": 10-11.
- Bolivia, E. T. 2001a. "Guía para la implementación, operación y cierre de rellenos sanitarios " 1: 16.
- Bolivia, E. T. 2001b. "Guía para la implementación, Operación y cierre de rellenos sanitarios." 1: 14.

- Buenrostro, O., G. Bocco y S. Cram 2003. "La Gestión de los Residuos Sólidos Municipales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, México." Revista Internacional de la Contaminación Ambiental. 19: 162.
- Canter-Ñanay, W. 1999. "Manual de evaluación de impacto ambiental." Mc Graw Hill: 166.
- Collazos, H. y L. Hernández. 1979. "Relleno sanitario manual." Revista Acodonat 87: 87.
- Cuevas, J. B., O. Seguel y F. Dorner 2006. "Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos." Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal 6: 8.
- Chaves-Araya, M. 2001. "Sistema de manejo de desechos sólidos en el Cantón de San Ramón." Revista de las sedes regionales 2: 176.
- Chile 2001. "Reglamento para el diseño, operación y mantenimiento de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos del ámbito municipal." Disponible <http://www.redrrss.pe/material/20090128193553.pdf>: (consultado 12 de febrero de 2011).
- Díaz, I., R. Espinace y J. Palma 1990. "Propiedades mecánicas del relleno sanitario de Limache." Congreso panamericano de mecánica de suelo 9: 26.
- Doreen-Brown, S. 2004. "Guía para le gestión integral de los residuos sólidos municipales." PROARCA/SIGMA Argentina: 45.
- Duarte-Díaz, F. A. y J. Edmundo-Rodríguez 2008. "Caracterización de los desechos sólidos del municipio de san Antonio La Paz, propuesta del relleno sanitario." Tesis universidad de san Carlos: 61.
- Epulef, R., M. Gonzáles y L. Gutiérrez 2005. "Rellenos sanitario en ciudades pequeñas." Congreso Argentino de saneamiento y medio ambiente 13: 15.
- Espinace, R. A., J. G. Palma y M. N. Szanto 1997. "Evolución de la Enotecnia Ambiental Aplicada a los Rellenos Sanitarios." Escuela de Ingeniería en Construcción 2: 1.
- Estrada-Núñez, R. 2001. "Curso internacional sobre diseño y disposición final de residuos sólidos." Disponible <http://www.resol.com.br/textos/curso-02%20.htm>> 48.
- Fajardo, M. 1989. "Edificación en rellenos artificiales formados por basuras." Congreso chileno de ingeniería sanitaria y ambiental 8: 25.

- Fiore, J. M., M. Turcumán y G. Vázquez 2009. "Estudio de un vertedero controlado. Análisis de su estabilidad a través de la estimación de la comprensibilidad." Simposio iberoamericano de ingeniería de residuos 2: 1.
- Flintoff, F. 1984. "Management of solid wastes in developing countries." Regional publicación 3: 34.
- Flintoff, F. y S. Foster 1984. "Management of solid wastes in developig countries." Regional publicatións 3: 35.
- Giraldo, G. E. 1997. "Manejo integral de residuos sólidos municipales: Programa saberlo hacer." Centro de investigaciones de ingeniería ambiental: 122.
- Gómez-Méndez, M. G. 2009. "Aplicación de técnicas de ciclo de vida al diseño de un sistema de gestión de residuos urbanos." Tesis doctoral.: 52.
- Guntermann, K., L. 1995. "Sanitary Landfills, Stigma, and Industrial Land Values." Real Estate Research: 537.
- Haddad, J. 1991. "Módulo de disposición final de residuos sólidos." CEPIS/OPS/OMS 4: 15.
- Hans- Jurgen, E. 1992. "Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos domésticos." CAPRE/ANDESAPA 1: 76.
- Hernández-Martínez, F., C. Lezema-Natalino y F. Gonzáles-Paez 2006. "Manejo integrado de la cuenca del río grande de Oaxaca." Estudios rurales y asesoría campesina 1: 27.
- Hernández, L. y H. Collazos 1992. "Relleno sanitario manual." Revista Acodal 87: 94.
- INEGI 2010. Disponible <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=05>.
- Irvine, W. 1975. "Topografía, áreas y volúmenes." Mc Graw Hill 62.
- Jaramillo, J. 2002a. "Unan solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones." Disponible <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/rellenos/rellenos.pdf>
- 117(consultado 15 de Diciembre 2010).
- Jaramillo, J. 2002b. "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales." Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2: 3-7.

- Jaramillo, J. 2002c. "Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones." Disponible <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/rellenos/rellenos.pdf>
115(consultado 15 de Diciembre 2010).
- Lagreda-Michael, D. 1996. "Gestión de residuos tóxicos, tratamiento eliminación y recuperación de suelos." Mc Graw Hill Interamericana de España 2: 42.
- Lanegra, I., M. Miranda y M. Ponce de Leon 2002. "Hacia una política nacional de clausura de botaderos." APGEP-SENREM: 75.
- López-Sardi, E. M., P. Estrella-Ramos y A. Suarez-Toro 2009. "Aspecto legales y técnicos de un relleno sanitario." Disponible: http://www.6iberoea.ambiente.gov.ar/files/Talleres2/ambitos_universitarios/LopezSardi_y_otros2.pdf: (Consultado 15 de Febrero 2011).
- Marín -Aguilar, D. H. y N. A. Arboleda-Lopez 2008. "Gestión de residuos peligrosos industriales en el valle de Aburrá en los últimos diez años (1997-2007)." Monografía 27.
- Martínez-Zuleta, C., C. Jairo-Ramírez y G. Viña-Vizcaino 2002a. "Rellenos sanitarios." Ministerio del medio ambiente. FIGAU 1: 89.
- Martínez-Zuleta, C., S. Villegas-Yepes y G. Viña-Vizcaino 2002b. "Rellenos sanitarios." Ministerio del ambiente 2: 76.
- Médez-Arocha, J. L. 1998. "Reglamento sobre rellenos sanitarios." 27378-S: 3.
- NMX-AA-061 1985. "Norma Mexicana. Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales, determinación de la generación, México." 9.
- Oeltzchner, A., D. Hansjorg y M. Dieter 1993. "Guía para un manejo adecuado de los rellenos sanitarios domésticos." Rellenos sanitarios, serie gestión urbana 13: 49.
- Ortega, J. E., R. D. Sbarato y V. M. Sbarato 2002. "Alternativas técnicas para el manejo de los residuos sólidos urbanos." centro de investigación y formación en salud ambiental 6: 6.
- Ostera, H., C. A. Vázquez y M. J. Orgueira 2004. "Relevamiento magnetométrico terrestre de rellenos sanitarios." Revista de la asociación geológica de Argentina 3: 504.
- Palma, J., J. Caffarena y R. Espinace 1999. "Patologías en construcciones sobre áreas impactadas por el vertido de residuos sólidos." Congreso Iberoamericano de patología de las construcciones 5: 16.

- Palma, J. H. 1995. "Comportamiento geotécnico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos." Tesis doctoral.: 45.
- Patiño, J. L. 1998. "Proyecto de relleno sanitario de la ciudad de San Francisco." Disponible:http://www.customw.com/ecoweb/notas/notas/980105_2.htm
(consultado 12 Enero 2011).
- Penido, J. 1982. "Recuperación semi-mecanizada de materiales. Aspectos técnicos del servicio de aseo." mejoramiento de los servicios de aseo urbano: 51.
- Quintero-Rodríguez, R., A. Balcazar-Vázquez y M. E. Serrano-Flores 2008. "Criterios ambientales y geológicos básicos para la propuesta de un relleno sanitario en Zinapécuaro, Michoacán, México." Boletín de la sociedad geológica mexicana 61: 308.
- Rodríguez-Echeverría, M. A. 1998. "Decreto No.27378-S." 206: 3.
- Sakurai, K. 1980. "Cálculo del volumen del relleno." Disponible <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc11117/doc11117-5.pdf>: 22(Consultado 11 de enero 2011).
- Sánchez-Alciturri, J. M., J. H. Palma y C. Sagaseta 1991a. "Aspectos geotécnicos del vertedero sanitario controlado de Meruelo." Revista técnica del medio ambiente 25: 110.
- Sánchez-Alciturri, J. M., J. H. Palma y C. Sagaseta 1991b. "Aspectos geotécnicos del vertedero sanitario controlado de Meruelo." Revista técnica del medio ambiente: 107.
- Santiago-Reyes, M. y M. Hernandez 2004. "Manual para el manejo de residuos sólidos." GEM 1: 29.
- SEDESOL 2003. "Indicadores básicos y manual de evaluación para rellenos sanitarios." Disponible http://www.semanay.nayarit.gob.mx/archivos_pdf/RSU/libdocman/sedesol/indicadores_basicos/SEDESOL04.PDF: 28(consultado 12 de diciembre 2010).
- Seoánes, M. 1993. "Residuos, problemática, descripción manejo, aprovechamiento y destrucción." Ediciones, mundi prensa España 2: 485.
- Seoánez, M. 1993. "Residuos, problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción. ." Ediciones, mundi prensa España 2: 486.
- Souza, O. y M. Rodríguez 1980. "Aterro sanitario aspectos estruturais e ambientais." Boletín de la asociación Brasileña de limpieza pública: 74.

- Sowers, G., F 1968. "Fundation problems in sanitary landfills." of the sanitary division, ASCE 94: 119.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen y S. Vigil 1993. "Integrated Solid Waste Management, Enginnering Principlless and Management." McGRAW-HILL INTERNATIONAL 1: 98.
- Vazquez-Mota, J., A. Múlas-Alonso y J. Sancho-y Cervera 2001. "Manual técnico-administrativo, para el servicio de limpia municipal." SEDESOL 3: 47.
- Vazquez-Mota, J., A. Mulás-Alonso y O. Aguilar-Valenzuela 2003. "Manual para operación de rellenos sanitarios.": 29.
- Vélez, Z. J. A. 2007. "Los biosólidos: ¿una solución o un problema?" Producción mas limpia 2: 57-71.
- Villafuerte, I. S., O. Dante-Flores, G. Enrique-Guadalupe y M.-Z. A 2004. "Evaluación ambiental del relleno sanitario para el santuario histórico de Machu Picchu y pueblos aledaños." Revista del instituto de investigación FIGMMG 7: 55.
- Villarroel, T. 2005. "Desarrollo de un sistema de gestión integral de residuos sólidos." Tesis de ingeniería ambiental: 24.
- Zacatecas, S. d. o. p. g. d. e. d. 2003. "Proyecto integral para la construcción del relleno sanitario intermunicipal, Zacatecas primera etapa." 1: 7.
- Zepeda, F. y J. Jaramillo 1991. "Guía para el diseño, construcción, operación de rellenos sanitarios manuales." Programa de salud ambiental: 7.