

E.A.P.

0254(35)

RELLENO SANITARIO MANUAL
ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA
EL ZAMORANO

ING. JORGE A. RODRÍGUEZ M.
CONSULTOR OPS/OMS

ABRIL DE 1996

BIBLIOTECA WILSON POPKOW
ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

Fax: 323307

INDICE

I. EMPLAZAMIENTO DE RELLENO SANITARIO

1. Selección del Sitio
2. Evaluación de Sitios para la Ubicación del Relleno Sanitario

II. OPERACIÓN DE RELLENO SANITARIO

1. Método de Operación
2. Principios Básicos del Relleno Sanitario
3. Demanda de Volumen para el Relleno Sanitario
4. Diseño de Celda Diaria
5. Construcción de Celdas

III. ASPECTOS GENERALES

IV. EJECUCIÓN DEL RELLENO SANITARIO

V. OBRAS DE PROTECCIÓN

209300

I. EMPLAZAMIENTO DEL SITIO PARA EL RELLENO SANITARIO

1. Selección del Sitio

La selección del sitio para el relleno sanitario se hizo tomando como primera alternativa el sitio actual localizado en el Carbonal sur al oeste del área de zootecnia y al sur del nuevo edificio de Recursos Naturales.

Se consideró que de acuerdo al plan de desarrollo de la Escuela según lo manifestó el Ing. Olachea y el Ing. Chahín no existía la posibilidad de destinar otro sitio para el relleno sanitario y por tal razón se debería estudiar el sitio actual, estimar su potencial para recibir desechos y adecuarlo para ser ambientalmente compatible.

En base a lo anterior se decidió adecuar el sitio donde actualmente se dispone la basura tratando de compatibilizar dentro de lo posible los aspectos técnicos de ingeniería con los aspectos económicos y planes de expansión de la Escuela.

Una serie de factores se han considerado en la evaluación del sitio a utilizarse como relleno sanitario:

- a) Localización y Condiciones Físicas
- Area disponible para las operaciones
 - Restricciones en la zona
 - Distancia a las zonas de recolección
 - Accesibilidad a la zona
 - Propiedad adyacente a la zona y su uso actual
 - Uso actual del suelo en la zona
 - Disponibilidad de servicios
 - Características geológicas del suelo
 - Disponibilidad de material de cubierta
 - Presencia de agua superficial en la zona

- Posibilidad de inundación de la zona
 - Ubicación del nivel de aguas friáticas
 - Proximidad de abastecimiento de agua potable
 - Dirección de los vientos dominantes
 - Distancia a la zona de edificios
- b) Requerimientos para el uso del sitio
- Planificación local del uso del suelo
 - Condiciones de desarrollo de la zona
 - Uso final proyectado
 - Costos de la preparación del sitio
 - Costos del relleno ya terminado
 - Requerimientos para la preparación del sitio
 - Requerimientos para el manejo dentro del sitio
 - Requerimientos para el uso final del sitio
- c) Trabajos de ingeniería civil e instalaciones
- Facilidad para realizar drenajes
 - Facilidad para realizar caminos de acceso y construcción de las vías internas
 - Facilidad para conectar los servicios públicos
 - Caseta para vigilancia y guardar herramientas
 - Letrina
 - Cerco perimetral
 - Portón de acceso
 - Instalación para almacenar agua

d) Criterios para la selección del sitio

- Área Disponible para las Operaciones

La Gerencia de Mantenimiento expresó su criterio de seguir utilizando el sitio actual puesto que hay posibilidad de operar el relleno sanitario por lo menos durante 10 años construyendo terrazas con alturas hasta de cinco metros sobre los niveles actuales combinando con el sistema de trincheras en la parte plana del terreno.

Por otra parte dado que el sitio ha sido utilizado por bastante tiempo como basurero ya ha sido aceptado como tal, está cercado, hay contaminación, bajo valor de la tierra, se puede mejorar y supervisar las operaciones con facilidad y no hay otro uso potencial para el área.

- Distancia a las Zonas de Recolección

Dado que el costo de transporte debe de ser considerado como parte de los costos de la operación del relleno, las acciones entre distancia y bajos costos de operación deben ser considerados en todas las alternativas.

- Accesibilidad a la Zona

La disponibilidad de más de un camino transitable en todo tiempo con calidad y ancho que facilita el acceso al sitio y también el tránsito en las características que llevan al sitio. Este factor en algunos casos debe ser de más importancia que la distancia de transporte, ya que el costo mayor en el transporte de desechos sólidos es el de la mano de obra y no el kilometraje del vehículo, esto se reduce especialmente en el caso de vehículos pequeños.

- Propiedad Adyacente

Todos los razonamientos anteriores pueden resultar teóricos si existe incompatibilidad con las propiedades adyacentes. Si los caminos de acceso al sitio son adyacentes o son construidos atravesando áreas residenciales o aulas de clase, la operación ocasionará una multitud de problemas en el funcionamiento de las actividades normales de la escuela.

Debe tener usos no agrícolas o para otro uso de alto valor que sería afectado negativamente por estar adyacente a un relleno sanitario.

- Disponibilidad del Material de Cubierta

Para que un relleno sea considerado sanitario, éste deberá ser cubierto al final de las operaciones del día o tan frecuentemente como sea necesario; de la anterior aseveración se desprende la importancia que reviste tener material de cubierta disponible localmente producto de la excavación de las zanjas

Los desechos de jardines y poda pueden ser utilizados para convertirlos en compost por medios naturales para que puedan ser incorporados en la capa final del relleno sanitario como abono orgánico para convertirlo en un área verde.

- Presencia de Agua Superficial en la Zona

La captación del agua es función de la topografía y el drenaje que será controlado con el diseño. Se requiere obras de captación y defensa para evitar que el agua superficial llegue al relleno y darle salida rápida cuando esto no se puede evitar. En lo referente a las aguas subterráneas y a las que se filtran en la masa de los

desechos se debe construir drenajes en el fondo de las zanjas y en el pié de los taludes para reducir la formación de lixiviados. El fondo y paredes de las zanjas deben de ser impermeabilizadas con arcilla y el nivel del fondo debe estar a un mínimo de 1.5m sobre el nivel freático.

Las estadísticas del Departamento de Recursos Naturales proporcionaron información geohidrológica general del sitio que permitió establecer la profundidad de las zanjas del relleno.

- Proximidad de Abastecimientos de Agua Potable

El relleno sanitario debe estar localizado lejos de los abastecimientos de agua potable de la comunidad y aguas abajo ya que un sitio cerca de ellos debe ser descartado. Esto se hace con el objeto de no tener ningún problema de contaminación en un momento que llegara a faltar la operación del relleno sanitario, ya sea en forma natural o sobrenatural.

- Uso Final

El uso final del sitio será convertido en un área verde para lo cual el relleno debe ser construido de acuerdo a diseño de terrazas y zanjas mostrados en el diseño siguiendo los métodos establecidos para ambos casos. El nuevo sistema de manejo de basura será mejor y más beneficioso que el actual.

Se espera que el sitio actual será mejorado con la operación del relleno sanitario. Así se logra que con inversiones razonables compartidas con el beneficio de disponer sanitariamente los desechos sólidos se logre un desarrollo total del área en cuestión.

2) Evaluación de Sitios para la Ubicación del Relleno Sanitario

Las condiciones ideales que debe reunir el sitio para que pueda ser utilizado como un relleno sanitario son las siguientes:

- a) Ser de fácil y rápido acceso para los vehículos recolectores.
- b) Permitir su utilización por largo plazo, de preferencia 10 años.
- c) Contar con una topografía que permita un mayor volumen aprovechable por hectárea.
- d) Tener condiciones naturales que protejan los recursos naturales tales como mejorar el paisaje y la estética del lugar, evitar la contaminación del agua, aire y suelo y mejorar la salud ambiental en general..
- e) Estar localizado de modo que el relleno sanitario no sea rechazado por la población, debido a molestias por la operación del mismo.
- f) Ofrecer tierra para cobertura, en cantidad y calidad adecuada, dentro de las cercanías del sitio.
- g) Estar en consonancia con los planes de desarrollo de la Escuela en lo relacionado con el uso de la tierra.

II. OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

1. Método de Operación del Relleno Sanitario

a) Método de zanja o trinchera

La técnica empleada en este sistema es el más adecuado, en las áreas del sitio que son razonablemente planas y además el suelo de tipo de arcilla arenoso facilita la excavación. Asimismo, es muy importante prevenir la contaminación del manto freático del agua por lo que se requiere que el piso de la trinchera esté cuando menos a 1.50 m. con relación al nivel freático del agua.

El método de zanja o trinchera consiste en excavar periódicamente las zanjas con una profundidad de 3.0 m a 3.5 m y un ancho de 4.0 a 6.0 m. La tierra proveniente de la excavación se deposita a lo

largo de uno de los lados de la zanja para ser utilizada posteriormente para cubrir los desechos y si aparecen roca o piedras éstas pueden ser utilizadas en las chimeneas o en los drenajes para lixiviados en el fondo de las zanjas.

Los desechos sólidos descargados en la otra orilla de la zanja por los vehículos se depositan y acomodan en el fondo de las trincheras para luego ser compactados y cubiertos con tierra diariamente.

En estas zanjas o trincheras obviamente no existen mayores problemas en términos del material de cobertura, pero sí pueden presentarse problemas de drenaje de aguas pluviales y se requerirán obras de diversión y capacitación de estas aguas para impedir su penetración a las celdas y la necesidad de bombeo subsecuente del agua acumulada (Figura 3).

b) Método de Area

Se emplea el método de área cuando la ubicación del terreno destinado para relleno es una depresión natural o artificial del terreno o se quiere formar un terraplén con los desechos. Las técnicas de operación del método de área son las siguientes:

- Depositar la basura al fondo del declive o frente de trabajo para lograr una mejor compactación y control de los objetos que pueden ser arrastrados por el viento. La formación de las celdas o terraplenes se harán apoyadas en taludes que se formarán con tierra y basura que se encuentran diseminados en el área de trabajo.

- Esparcir y compactar la basura contra la capa anterior de la celda y formar celdas con una altura de 1.00m.
- Cubrir con tierra excavada del área adyacente o con material traído de otro lugar con un espesor de 20cm.
- Tapar la basura de la celda hasta lograr una cobertura final que tenga un espesor mínimo de 60 cm.

2. Principios básicos del relleno sanitario:

- a) Supervisión permanente durante todas las operaciones diarias, desde el momento que llegan los vehículos controlando los volúmenes que acarrearán, acomodo de los vehículos a la orilla de la zanja en un ancho definido por el avance diario necesario, acomodo y compactación de la celda diaria. Esto implica tener en el sitio de manera permanente una persona capacitada para supervisar y responsabilizarse de la operación y mantenimiento además de trabajar en la construcción de las celdas, acomodo y compactación de la basura y cubrirla con tierra.
- b) Con el relleno sanitario manual se recomienda una altura de la celda diaria compactada de 1.0m (0.80m de desechos y 0.20m de tierra) para obtener mayor compactación, aprovechar mejor el volumen de la zanja dándole mayor estabilidad al relleno y disminuir la posibilidad de hundimientos.

La compactación de los desechos es preferible hacerla en capas de 20 ó 30 centímetros de espesor hasta llegar al nivel de 80cm y luego tapar con tierra. Con esto se obtiene mayor densidad, se alarga la vida útil del sitio y se obtienen mayores beneficios desde el punto de vista económico y ambiental.

- c) Drenajes; un principio fundamental en el drenaje del relleno es proporcionar las obras necesarias de captación y defensa, es decir, que se evite al máximo que las aguas lleguen al relleno y darle salida lo más rápido posible a las que ingresan a la masa de desechos.

Para reducir la contaminación por contacto y dilución se debe efectuar lo siguiente:

- No permitir la entrada al sitio de escorrentia superficial.
- Prevenir para que la escorrentia superficial que se genera internamente no cause daños a la superficie de los taludes o se refiltre en la masa de los desechos.
- Prevenir la acumulación de agua superficial y evitar condiciones pantanosas.
- Asegurar que el agua superficial no se contamine por el contacto con los desechos y conducirla en forma controlada fuera del sitio hacia la quebrada o canales de desague.

Por tal razón se deben proyectar cunetas y canales para desviar las aguas de escorrentilla, zanjas y drenes para desalojar las aguas que se infiltran y que producen lixiviados.

Asimismo, se deben colocar chimeneas para control de gases y mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.

- d) La cobertura final con tierra es de vital importancia para el éxito del relleno sanitario. Esta cubierta final con tierra debe tener un espesor de 40 a 60 centímetros sobre la cual se puede colocar

una capa de abono orgánico producido dentro del relleno para poder sembrar plantas y tiene por objeto cumplir las funciones siguientes:

- Dar una apariencia estética aceptable al relleno sanitario
- Servir como soporte a las vías de circulación internas
- Permitir el crecimiento de vegetación
- Reducir los malos olores
- Evitar la reproducción de moscas y presencia de zopilotes
- Evitar incendios y presencia de humo
- Disminuir la entrada de agua lluvia al relleno
- Encausar los gases a las chimeneas para su evacuación

3. Demanda de Volumen para el Relleno Sanitario

Para el año de 1995 la cantidad de desechos producidos en la Escuela se estimó en función del volumen de los desechos recolectados diariamente que es de aproximadamente 12 m³, obteniéndose un total semanal de 72.0 m³ (para 6 días). Considerando que los días domingos no hay recolección, los lunes habrá mayor volumen de desechos que se estiman en un máximo de 20% adicional.

Otro tipo de desechos de carácter estacional se han estimado en 36 m³ semanales (6 días) y este volumen se espera confirmar o modificar al tener los resultados de una encuesta que ha sido enviada a los diferentes departamentos.

En base a lo anterior, tenemos los siguientes datos:

a)	Generación diaria de desechos	10.3 m ³
b)	20% ajuste días domingos	2.1 m ³
c)	50% generación estacional	<u>5.15</u> m ³
	Total Diario	17.55 m ³

Si consideramos un peso volumétrico para los desechos en el carro recolector de 250 kg/m³ tendremos la cantidad de 4,387.5 kg. de basura que se recogen diariamente y que son transportados al sitio de disposición final.

Si comparamos la producción diaria con la población en 1995 tendremos un promedio de 2.53 kg por persona al día.

Con la tasa de crecimiento poblacional anual de entre 2.82% y 4.67% y un crecimiento en la generación de desechos de 1.5% anual se ha preparado la siguiente tabla de demanda de volumen para el relleno sanitario:

AÑO	POBLACIÓN	P.P.C KG/HAB/DÍA	DESECHOS SÓLIDOS PRODUCIDOS AL DÍA	VOLUMEN DESECHOS EN RELLENO SANITARIO M ³ /DÍA	VOLUMEN DESECHOS EN RELLENO SANITARIO M ³ /AÑO	VOLUMEN TOTAL M ³ /AÑO
1995	1,736	2.53	4,388	8.8	3,212	3,854
1996	1,817	2.57	4,670	9.3	3,393	4,074
1997	1,898	2.61	4,954	9.9	3,614	4,337
1998	1,979	2.65	5,244	10.5	3,833	4,600
1999	2,060	2.69	5,541	11.1	4,052	4,862
2000	2,141	2.73	5,845	11.7	4,271	5,125
2001	2,222	2.77	6,155	12.3	4,490	5,388
2002	2,303	2.81	6,471	12.9	4,709	5,651
2003	2,384	2.85	6,794	13.6	4,964	5,957
2004	2,465	2.89	7,124	14.2	5,183	6,220
2005	2,546	2.94	7,485	15.0	5,475	6,570
2006	2,627	2.98	7,828	15.7	5,731	6,877
2007	2,708	3.02	8,178	16.4	5,986	7,183
2008	2,789	3.07	8,562	17.1	6,242	7,490
2009	2,870	3.12	8,954	17.9	6,534	7,841
2010	2,951	3.16	9,325	18.7	6,826	8,191

En la elaboración de la tabla se ha considerado una densidad de 500 kg/m³ para los desechos compactados manualmente en el relleno sanitario.

La tasa de crecimiento anual entre 2.82% y 4.67% según el Plan Estratégico EAP, Departamento de Planificación y Desarrollo y Oficina de Personal, noviembre 1994.

La tasa de crecimiento en generación de desechos de 1.5% anual según investigaciones del Ing. Jorge A. Rodríguez M.

El material de cobertura se ha considerado un 20% del total de los desechos (1m³ de desechos + 0.20 m³ de tierra).

4 Diseño de la Celda Diaria

Elementos de Una Celda

Se llama celda a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados.

Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegan al sitio del relleno sanitario seleccionado.

Los elementos de una celda son: su altura, avance o largo y ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario del último nivel de celdas (Figura No.6).

La altura de la celda depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor de material de cubierta (tierra), la estabilidad de los taludes y la compactación. Mientras más altas sean las celdas, menor será la cantidad de tierra necesaria para cubrir a los residuos y mientras menor sea la altura de las celdas, el relleno requerirá de mayor cantidad de material de cubierta.

El ancho de la celda o frente de trabajo depende del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico, es decir, la hora del día en que arriba al relleno el máximo número de residuos para su disposición final. El máximo número de trailers será de tres diarios pero en ninguna circunstancia habrá más de una descargadora por tal motivo el ancho de la celda puede ser un poco mayor que el ancho del trailer.

El talud de la celda es el plano inclinado en donde se apoyan los residuos y los equipos y/o herramientas utilizados en la compactación. Su inclinación se especifica mediante un ángulo o una relación que indica el número de unidades que se avanza en dirección vertical por cada unidad que se avanza horizontalmente. Se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 1 a 3, es decir, que por cada metro de altura se avancen 3 metros horizontalmente.

El material de cubierta es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado; este material, evita la proliferación de animales como ratas; insectos, moscas y mosquitos; malos olores al descomponerse los residuos y la dispersión de los residuos fuera del relleno por el viento.

Se recomienda un espesor de 15 a 20 cm. compactados de tierra entre los niveles de celdas y de 60 cm. compactados en la capa final.

5. Construcción de Celdas (Figura Construcción de Celdas)

Para la construcción de celdas se siguen los pasos detallados a continuación:

Paso No.1

Descargar la basura al pié del frente de trabajo a fin de realizar una mejor compactación y de evitar el problema de papeles arrastrados por el viento.

Paso No.2

Colocar las basuras en camadas delgadas - 30 cm. aproximadamente en el frente de trabajo.

Paso No.3

Compactar con herramientas manuales pasando o golpeando repetidamente sobre las capas de basura ya colocadas en el Paso No.2 hasta eliminar los huecos, quedando la basura acomodada de tal manera que su superficie ya no se deforme (abulte) una vez ya compactado. Ver Método Pendiente No.6.

Paso No.4

El ciclo (Paso No.1, No.2 y No.3) comienza nuevamente.

Paso No.5

Recubrir las basuras compactadas con la tierra cuando menos una vez al día o al final de una jornada teniendo el espesor suficiente para cubrir completamente los desechos y rellenar las irregularidades de la superficie.

Para contar con un frente de trabajo eficiente es necesario que éste tenga un ancho lo más estrecho posible para reducir la cantidad de material de cobertura y una pendiente de 3.1. Se opera trabajando de abajo hacia arriba rompiendo, acomodando y compactando las basuras (Figura Celda Típica Diaria).

La profundidad total de una celda entre capas intermedias, deberá tener cuando menos 1.00 m. para evitar el uso excesivo de material intermedio de cobertura y obtener buena compactación.

III. ASPECTOS GENERALES DEL RELLENO SANITARIO

1. Política General en el Manejo de los Desechos

El relleno sanitario del Zamorano está preparado para que reciba gran variedad de desechos que son los provenientes de las actividades en cocinas, dormitorios, aulas de clase y otros desechos que provienen de los edificios de la E.A.P. y que no sean fácilmente separados para reciclar o para descomponer en un sistema de compostaje.

Algunos de estos materiales pueden ser manejados sin problema alguno y en conjunto, pero otros por ejemplo los desechos de la clínica, algunos laboratorios y taller de mecánica requieren manejo especializado o cuidadoso y no deben ser aceptados por su disposición en el relleno debido a su potencial para contaminar, combustión peligro a los trabajadores (transmisión de enfermedades, causar heridas, etc.) o porque no se puedan degradar como materia orgánica para su reuso y no necesitan ocupar espacio en el relleno sanitario.

En el relleno sanitario de la Escuela se espera que los desechos considerados domésticos sean dispuestos normalmente en el relleno. Eventualmente los desechos de tipo orgánico como los restos de comida se pueden separar para utilizarlos en alimentación de cerdos o a la producción de materia orgánica en zona aparte. De igual forma, con el programa de separación en la fuente principalmente de papeles, estos no llegarán al relleno ya que el proyecto de reciclaje tiene un mercado adecuado disponible en Tegucigalpa para su venta. en la localidad.

Los desechos de poda de árboles y jardines pueden ser trasladados para su conversión por métodos naturales en abono orgánico.

Los materiales voluminosos difíciles de manejar a causa de su tamaño y algunas veces su densidad y dureza tienen que ser manejados separadamente especialmente en nuestro caso que tendremos un relleno de poca capacidad que cuenta únicamente con equipo manual.

Otros materiales (originalmente voluminosos) como pedazos de concreto, bloques, ladrillos y desperdicios de construcción en general deben también ser tratados separadamente; en algunos casos pueden servir ya triturados para mejorar caminos interiores o la construcción de drenes y obras de mampostería en muros y protección de las orillas de la quebrada.

En caso de necesidad ocasional (cuando el incinerador está sobrecargado o en reparación) los animales muertos pueden llegar al relleno. Los animales pequeños (pájaros, gatos, perros) pueden ser incorporados con las basuras fácilmente, siempre y cuando la mezcla sea cubierta rápidamente. Los animales mayores (caballos y ganado) en general deben ser destazados para facilitar su transporte al relleno. En caso de que se decida tratar estos restos de animales en el relleno sanitario se recomienda que estos sean colocados al pie (fondo) de la celda de basura donde son incorporados y no acumularlos en un área muy reducida o en celdas poco profundas. Los animales mayores pueden ser enterrados en fosas construidas especialmente para este propósito en un lugar conveniente cerca de zootecnia o en módulo de vertidos orgánicos.

Los desechos provenientes de procesos industriales debido a su gran variedad y sus diferentes características físicas, químicas y biológicas hacen difícil generalizar los métodos y requisitos de manejo. La mejor fuente de información acerca de las características de estos materiales son los diferentes departamentos de la Escuela relacionados con ellos, a quienes se le debe pedir su descripción y cantidades para elaborar un instructivo de manejo y disposición especial.

Se debe organizar un Comité para el manejo del relleno sanitario estableciendo trámites sencillos pero claros para la autorización de enterrar los desechos no domésticos. La Secretaría del Comité debe ser la Superintendencia de Mantenimiento y por su medio se deberá establecer un reglamento de uso y mantenimiento de las instalaciones del relleno sanitario para asegurar su vida y su compatibilidad con los planes de desarrollo de la Escuela y su ambiente. Asimismo se deben definir las responsabilidades de los diferentes departamentos.

2. Uso Posible para el Relleno Sanitario Terminado

La recuperación y uso del sitio utilizado para la disposición de la basura no es únicamente recomendable, sino debe ser mandatorio, como resultado de ciertas condiciones existentes y otras previstas para el futuro. La escasez de la tierra en el área de la Escuela, su alto valor y la posibilidad de que los costos puedan ser reducidos si se considera el valor añadido al terreno recuperado, han definido el tipo de construcción del relleno y su uso futuro como un área de recreación formando una pequeña colina de aproximadamente cinco metros de altura con taludes que aseguren su estabilidad y con siembra de plantas y arbustos como complemento. La capa vegetal para la siembra será proporcionada por el compost lento que se obtendrá en el sitio por la descomposición de la materia orgánica vegetal proveniente de podas y jardines.

3. Preparación del Sitio

a) Clausura del botadero actual

Dado que el relleno sanitario será emplazado en el actual sitio donde funciona el botadero, la clausura de éste se debe hacer coordinadamente con la nueva operación para no atrasar la disposición diaria de los desechos.

Se propone entonces concentrar las operaciones de disposición en dos zanjas actualmente en operación ampliando su profundidad por medio de excavación colocando los desechos provenientes de ellas en los taludes de las partes altas del terreno para ser compactadas y cubiertas con tierra al inicio de la operación del relleno sanitario.

b) Camino de acceso y calles internas

El actual camino de ingreso al sitio debe ser conformado y ampliado si es necesario, utilizando el tractor o solamente reparar algunas zonas a mano recubriendo su superficie de rodadura con material granular compactado que asegure un tráfico seguro e ininterrumpido durante todas las épocas del año.

c) Protección e identificación del proyecto

El sitio debe estar bien delimitado y debe contar con un cerco perimetral. El actual cerco de piedra cumple su función delimitando el terreno y protegiendo contra el ingreso de personas no autorizadas y debe ser arreglado especialmente en el área de acceso donde debe construirse un portón y una caseta para la vigilancia, controlar el acceso al relleno sanitario y mantenerlo

cerrado en la noche y fines de semana. Un rótulo debe identificar el sitio y al proyecto.

4. Obras de Control y Protección

Se tendrá que construir diversas obras para asegurar el progreso ininterrumpido del relleno. Estas obras y trabajos serán hechos durante la preparación del sitio; durante la operación del relleno (como parte integral de la operación) e inclusive se tendrán que hacer preparativos para los mismos días, semanas o meses antes de su construcción o uso.

La clausura del botadero actual y el inicio de la operación del relleno sanitario manual deben de coordinarse e iniciar al mismo tiempo. Se debe hacer una limpieza general del terreno y extender todos los desechos sueltos y diferentes materiales existentes en el sitio para que sirvan de base para formar taludes hacia la parte más alta del terreno en la colindancia con la quebrada; esta operación se debe ejecutar con el tractor.

Las obras o trabajos preliminares comunes serán principalmente las relativas al acceso y tráfico de vehículos (caminos permanentes, provisionales y de trabajo), limpieza del sitio (poda de árboles, corte de maleza y limpieza en general), control de ingreso (bardas y cercados), construcción de una caseta para el trabajador y su equipo, una letrina tipo pozo seco con retención mejorada (VIP), control de aguas subterráneas y superficiales (intercepción, conducción y adsorción), y obras para el control de calidad y avance de la obra (monumentos o bancos de nivel, bases para plataformas de control de asentamientos, etc.).

Las obras y trabajos requeridos durante la operación son las siguientes:

- Construcción de drenes para el control de aguas superficiales para el drenaje interno dentro de los límites del relleno sanitario, maximizar la adsorción de la capa de suelo, evaporación del agua y prevenir la escorrentía superficial y/o daño a los taludes.
- Control de líquidos percolados mediante la construcción de canales rellenos con piedras construidos en el fondo de las zanjas y pié de los taludes.
- Construcción de caminos internos temporales que permitan el acceso a los diferentes frentes de trabajo.
- Colocar guías de tráfico y para la descarga principalmente para la operación del relleno con el método de trincheras para evitar accidentes cuando los vehículos se acerquen a descargar en las zanjas.
- Construcción de drenajes o chimeneas para desalojar los gases.
- Control de materiales sueltos (papeles, polvo, etc.) por medio de cercas móviles.
- Mantener una reserva de agua para el uso de los trabajadores (barriles, containers, etc.).
- Control de la producción de abono orgánico (drenaje, temperatura, volteo, etc.) y almacenar el producto en áreas predeterminadas para su uso en la capa final del relleno.

Al término de la obra, se tendrán que remover muchas de las obras de control y operación construidas y se tendrá que dar acabado final (o reparar) a los caminos permanentes y en algunos casos se tendrán que mantener en operación algunas de las obras y equipo de control, además de tener que reparar las áreas construidas que al final de la obra que no se encuentren estabilizadas - (relleno y reparación de áreas asentadas).

a) Protección de Aguas Subterráneas y Superficiales

El relleno sanitario apropiadamente diseñado y operado minimiza la contaminación del ambiente. Aunque la naturaleza del desecho sólido es tal que puede ocasionar ciertos problemas, éstos pueden anticiparse y resolverse. Los problemas que se pueden presentar en los terrenos del sitio de disposición incluyen los relacionados con:

- Daño a la ecología
- Contaminación del aire (metano, humo, olores y polvo)
- Decadencia del paisaje
- Contaminación del agua superficial y subterránea

El más importante de ellos es, generalmente, el problema de la contaminación del agua particularmente en los países tropicales.

Dentro de un relleno sanitario hay un proceso de producción de líquido percolado o lixiviados que constituye una fuente para el deterioro potencial del agua freática.

El proceso se define como la disolución de unos componentes procedentes de la basura en el agua que pueden infiltrarse en el relleno sanitario de las siguientes maneras:

- Percolándose verticalmente hacia abajo.
- Moviéndose horizontalmente a través de los lados del relleno sanitario.
- Estando presente en el sitio del relleno antes de o durante la colocación de la basura.
- De la propia humedad de la basura.

El procesamiento que se sigue generalmente, para evitar la contaminación del agua es controlar la infiltración de estos componentes tomando medidas preventivas.

b) Ciclo Hidrológico

Sin duda los procesos que componen el ciclo hidrológico juegan un papel muy importante en el diseño y operación de un relleno sanitario; a continuación se describen estos procesos y su influencia en el diseño y operación de un relleno sanitario:

- Precipitación Pluvial

La precipitación pluvial tiene influencia en el diseño del relleno, ya que el conocimiento de ésta, en el sitio seleccionado, será importante para el diseño de los drenajes, el cálculo de volumen de lixiviados que se generará potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento superficial y finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo en la operación del relleno sanitario. En lo que respecta a la operación del relleno en tiempo de lluvias, puede hacer que el material de cubierta sea más difícil de esparcir y de compactar. Otro problema es la dificultad en un momento dado que pueda ocasionar el tránsito de vehículos en los caminos de terracería dentro del sitio.

- Evapotranspiración

Del agua que es precipitada sobre la tierra, una gran cantidad es regresada a la atmósfera, como vapor, a través de la acción combinada de la evaporación y la transpiración.

- Evaporación
La evaporación es el proceso por el cual las moléculas de agua en la superficie de ésta o humedad del suelo adquieren suficiente energía a través de la radiación del sol para escapar del estado líquido al estado gaseoso.

- Transpiración
La transpiración es el proceso por el cual las plantas pierden agua hacia la atmósfera. En muchas regiones es imposible medir separadamente la evaporación de la transpiración, por lo que en la actualidad se le ha dado por llamarlos evapotranspiración.

El proceso de la evapotranspiración interviene también en el cálculo de lixiviados y en los cálculos de evaporación de los mismos.

c) Lixiviados y su Tratamiento

Factores que afectan el lixiviado en un relleno sanitario:

- Condiciones climáticas
- Métodos de disposición
- Tipo de residuos
- Edad del sitio

La estimación de la velocidad de infiltración de los lixiviados se hace por medio de la Ley de Darcy:

$$Q = KA (dh/dl)$$

donde

Q = cantidad de líquido descargado por la unidad de tiempo

K = coeficiente de permeabilidad

$A =$ área a través de la cual percola el líquido

$dh/dl =$ gradiente hidráulico

En la estimación de la cantidad de lixiviados producidos en un área de operación se puede usar la siguiente ecuación de balance hídrico:

$$L_o = L - E - aW$$

Donde

$L_o =$ producción de lixiviados retenidos en el sitio ($m^3/año$)

$L =$ cantidad total de líquido que entra (precipitación + líquidos en los residuos + infiltración de agua superficial y subterránea) en $m^3/año$

$E =$ pérdidas por evotranspiración en $m^3/año$

$a =$ capacidad de absorción de los residuos en $m^3/tonelada$

$W =$ peso de los residuos sólidos depositados en toneladas/año

El líquido de un relleno sanitario es un líquido altamente contaminado que no puede ser descargado directamente en los cuerpos de agua superficiales.

Considerando que la cantidad de desechos y el área donde serán enterrados no es muy grande, los volúmenes de lixiviados que se esperan son pequeños. Por tal razón, se considera como una opción la de encauzarlos hacia una cuneta en el fondo de las zanjas o pié de los taludes que permita el paso de los lixiviados y su infiltración eventual en el terreno actuando éste como un filtro natural. Con el paso del tiempo, la carga contaminante de los lixiviados disminuye a medida de que el relleno va siendo terminado.

Este sistema de atenuación natural consiste en permitir al lixiviado precolarse a través de la base del relleno con la expectativa que el percolado será atenuado (purificado) por la capa de suelo no saturado bajo el relleno y por el acuífero subterráneo. La atenuación natural se puede definir como un proceso por medio del cual la concentración de los parámetros del lixiviado se reduce a niveles aceptables por medio de un proceso natural.

Los efectos netos de los mecanismos de atenuación son la inmovilización del lixiviado, cambio en el ph, reducción de concentración, etc.

Forrando las paredes y fondo de la zanja con material arcilloso evitará problemas de infiltración de lixiviados en los mantos freáticos. Como una referencia, los valores de permeabilidad de las arcillas son del orden de 1×10^{-7} cm/seg. lo que es equivalente a un movimiento del líquido y sus contaminantes asociados del orden de 0.03 metros/año.

Para proteger las aguas superficiales y subterráneas se deben tomar adicionalmente las medidas siguientes:

- ⇒ Establecer una altura mínima de 1.5m entre el fondo de las zanjas y el nivel de las aguas subterráneas, condición mínima existente en el sitio.

- ⇒ Cubrir los desechos con capas de tierra compactada para eliminar los espacios vacíos impedir la infiltración del agua superficial y de lluvia. La capa de la tierra debe ser de 15

cm para la operación diaria y de 40 a 60 cm. de acabado final.

⇒ Interceptar, canalizar y encauzar el escurrimiento superficial para reducir la infiltración de la masa de desechos y mantener el relleno en buenas condiciones de operación.

d) Control de Gases

Como resultado de la descomposición de las basuras se producen gases. Los gases principales producidos son metano y dióxido de carbono, otros gases de menor importancia (productos en menores cantidades) son hidrógeno, H_2S y otros compuestos orgánicos, todos en cantidades reducidas pero algunos de éstos molestos por su olor desagradable.

Los gases, igual que los líquidos tienden a moverse a través de zonas, áreas y formaciones que ofrezcan la menor resistencia a su paso. Consecuentemente, el movimiento de los gases dentro del relleno está relacionado con el movimiento de líquidos o agua dentro del mismo. Los gases asimismo pueden entrar en solución o suspensión en los líquidos presentes, en estos casos se trasladarán junto con los líquidos. Como la densidad de los gases es menor que la densidad de los líquidos, los primeros tenderán a moverse hacia la superficie en cuanto esto sea posible a través de orificios vacíos, material poroso y por lo tanto encontrarán escapes en tuberías o drenes interiores, entrando, saliendo o acumulándose en las tuberías o material poroso y oquedades.

Debido a las propiedades de los gases el metano es explosivo, el dióxido de carbono reacciona con el agua y forma ácido carbónico y los compuestos sulfurados dan mal olor a las aguas y en sí tienen un olor ofensivo y pueden representar peligros tanto durante la operación del relleno como una vez que éste ha sido terminado. Es necesario establecer criterios y construir las instalaciones requeridas para mantener dentro de los controles necesarios el movimiento y la disposición eventual de estos gases.

5) Impacto Ambiental

Condiciones Existentes

El sitio destinado para el Relleno Sanitario Manual es una zona sin uso definido, con escasa vegetación, caracterizada por matorrales.

Condiciones durante el Desarrollo y Operación

En términos generales se puede decir que el posible efecto ambiental negativo durante la ejecución del Relleno Sanitario Manual será mínimo, si se ejecutan los adecuados controles previstos en el diseño, tales como:

Olores: La cobertura de las basuras, los filtros de líquidos percolados y los filtros para gases, garantizan la ausencia de olores molestos en el relleno.

Presencia de Zopilotes, Roedores e Insectos: La compactación de los desechos sólidos y la cobertura diaria con tierra, minimizará la presencia de estos animales molestos.

Contaminación del Agua: Con los canales perimetrales de drenaje de las aguas lluvias, y los filtros para los líquidos percolados, no habrá vertimientos de aguas de lixiviados a ninguna corriente.

Migración de Gases: Para evitar la concentración de gas metano, se instalarán los filtros de gases, que se construyen a medida que avanza el relleno.

Incendios: La cobertura diaria de tierra y la compactación, servirá como control de incendios, sirviendo de aislante en caso de que en alguna celda se presente fuego, y a la vez de extintor. De esta forma también se controla la presencia de humos en el ambiente.

Dispersión de Desechos: Las molestias ocasionadas por la elevación de papeles y polvo por la acción del viento, será mínima, si se arboriza intensivamente todo el contorno del relleno.

Ruido: El ruido no será molestia alguna, pues la operación será manual, por lo tanto no habrá equipo pesado trabajando excepto en los períodos cortos durante la excavación de las zanjas.

IV. EJECUCIÓN DEL RELLENO SANITARIO

1. Plan de Desarrollo

Con el objeto de aprovechar al máximo el terreno existente, el relleno sanitario se ejecutará en un principio por el método de zanja o trinchera para aprovechar en una etapa inicial la parte plana que no ha sido trabajada, y en una segunda etapa construir terrazas hasta alcanzar el nivel máximo de 815 aprovechando la tierra sobrante de las excavaciones.

a) Método de zanja o trinchera

Este método se aplicará en las colindancias Este y Norte del terreno construyendo zanjas de 6.0m de ancho y 3.0m de profundidad. La longitud de las zanjas será de 15.0m para las ubicadas al Este y 29.0m las ubicadas al Norte.

De igual forma se pueden construir 9 zanjas adicionales en el extremo Sudeste del terreno con las mismas dimensiones de las anteriores.

El volumen total de las zanjas es de 12,744m³ con capacidad de recibir los desechos que se produzcan en los primeros tres años de uso del relleno. Considerando que la tierra del terreno que colinda al Norte y Este del basurero no es de buena calidad para la siembra, se podría utilizar una franja de 20m de ancho a todo lo largo del cerco para construir un número igual al de las trincheras que estarán dentro del predio y obtener una capacidad adicional de 12,744m³. Con esta opción el volumen total de las zanjas será de 25,488m³.

b) Método de área

Este método se aplicará a partir del cuarto año de iniciada la operación del relleno sanitario, construyendo terrazas o terraplenes hasta alcanzar el nivel 815.

El volumen aproximado de desechos con los cuales se formarán los terraplenes del relleno sanitario es de 23,925m³. Estos datos deben ser confirmados por medio de secciones transversales tomadas directamente en el campo, ya que la topografía del terreno ha sido alterada a partir de enero de 1996 con la

disposición de grandes cantidades de desechos de construcción que aparentemente pueden aportar una capa de 50cm de espesor sobre el terreno natural.

La opción considerada para la formación de las terrazas para facilidad de construcción y entender fácilmente el procedimiento es la de amontonar todos los desechos sueltos que se encuentran en el terreno en la colindancia Oeste, a todo lo largo del cerco que limita la quebrada y formar un camellón de 3m de altura hasta definir el nivel 815, y a partir de esta barrera iniciar la formación de terrazas de acuerdo a los niveles de diseño. Con esta alternativa se protegerá la colindancia con la quebrada y se podrá obtener un volumen de 25,500m³.

En resumen, los volúmenes que se pueden disponer en el sitio actual operado como relleno sanitario, son los siguientes:

- Método de área formando terraplenes 25,500m³
- Treinta y Seis zanjas dentro del predio
ubicadas en la colindancia Norte y Este 12,744m³
- Treinta y Seis zanjas ubicadas en el
terreno colindante 12,744m³

Con estos volúmenes se espera que la vida útil del relleno sanitario será de 10 años como mínimo.

2. Volumen y Dimensiones de la Zanja

2.1 Cantidad de desechos producidos

$$D_{sp} = \text{población} \times \text{p.p.c.}$$

$$= 1,817 \times 2.57 = 4,670 \text{ Kg/día}$$

2.2 Volumen de la Zanja

Se estima en un 20% el material de cobertura y una densidad de los desechos de 500 kg/m³

$$V_z = \frac{4,670 \text{ kg/día} \times 1.2}{500 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_z = 11.21 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (9.3m}^3 \text{ de Desechos+1.91m}^3 \text{ de Tierra)}$$

Para depositar los desechos sólidos de un día se necesitan un volumen de zanja de 11.21 m³

2.3 Dimensiones de la zanja para un mes de operación

Profundidad: 3.0m a 3.5m

Ancho: 6.0m

Largo: 18.5m a 15.9m

3 Celda Diaria en la Zanja

Ancho de la zanja: 6.0m

Altura de la Celda: 1.0m

Volumen Diario de Desechos: 11.21 m³

Días Laborables a la Semana: 6

Volumen Diario por Día Laborable: 13.1 m³

$$\text{Avance de la Celda} = \frac{13.1 \text{ m}^3}{6.0\text{m} \times 1.0\text{m}} = 2.18\text{m}$$

Área de la Celda: 13.1 m²

Peso de los Desechos: 4.67 Toneladas

Volumen de Tierra: 1.91 m³

Horas Efectivas de Trabajo: 6

4. Mano de Obra para la Operación del Relleno

En el país no hay estadísticas de rendimiento de mano de obra en este tipo de trabajo, por consiguiente, a reserva de que en el futuro se verifiquen para la zona del Zamorano, se proponen los siguientes rendimientos utilizados en otros países de Latinoamérica:

Movimiento de Desechos:	0.95 tonelada/hora-hombre
Compactación de Desechos:	20m ² /hora-hombre
Movimiento de Tierra:	0.35 a 0.70m ³ /hora-hombre
Compactación de la Celda:	20m ² /hora-hombre

En base a los rendimientos antes mencionados tenemos lo siguiente:

Movimiento de Desechos:	0.81 hombre-día
Compactación de Desechos:	0.11 hombre-día
Movimiento de Tierra:	0.86 hombre-día
Compactación de la Celda:	0.11 hombre-día
Total Hombre-Día	2

Utilizar entonces 2 peones en la operación del relleno con un rendimiento de 2.33 toneladas/día.

5. Herramientas

Las herramientas que se utilizarán en el relleno para cada operación específica son las siguientes:

- a) Movimiento de Desechos: 2 rastrillos, 2 palas
- b) Compactación: 2 pisones, 1 carretilla de mano
- c) Movimiento de Tierra: 1 carretilla de mano
2 piochas, 1 barra

6. Equipo de Seguridad
 - 2 Cascos
 - 2 Pares de Guantes
 - 2 Mascarillas
 - 2 Pares de Botas
 - 4 Uniformes
 - 1 Botiquín

V. **FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA**

1. Costos de Inversión

Estos costos están asociados con la vida útil del relleno puesto que todas las obras de infraestructura serán construidas para el período de diseño.

- a) Estudios y Diseño
- b) Adquisición de Terreno
- c) Preparación del Terreno y Obras Complementarias
 - Limpieza y Desmonte
 - Construcción de vías de acceso internas y externas
 - Drenaje Superficial
 - Drenaje de Percolado
 - Cerco Perimetral
 - Portón de Acceso
 - Rótulo de Identificación
 - Arborización Perimetral
 - Edificios
 - Instalaciones Sanitarias
 - Otros

- d) Clausura del Botadero Antiguo
 - Estudio y Diseño
 - Alquiler de Maquinaria
 - Siembra de Vegetación

- 2. Costos de Operación
 - Mano de Obra
 - Herramientas
 - Elementos de Protección
 - Drenaje de Gases y Drenajes Secundarios
 - Mantenimiento y Adecuación Periódica de Calles, Drenajes, Excavaciones

- 3. Costos Finales de Clausura
 - Cobertura Final
 - Drenajes
 - Engramado o Cubierta Vegetal

- 4. Cantidades de Obra para la Instalación del Nuevo Relleno Sanitario:

1.	Clausura del Botadero Actual	Global
2.	Obras en el Nuevo Relleno Sanitario	
a)	Portón de Acceso	1 c/u
b)	Alcantarilla en Calle de Acceso	1 c/u
c)	Rótulo y Señalización	1 c/u
d)	Cerco de Malla Ciclón	
e)	Cerco Alambre de Púas (3 hilos)	
f)	Conformación Calles Internas	
g)	Apertura y Conformación Acceso al Terreno	
h)	Sub Base Granular (e=20cm)	
i)	Drenaje Lixiviados	

ANEXOS

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Salud

- Evita la proliferación de insectos y roedores que son transmisores de enfermedades. Al reducirse la contaminación de los ríos y quebradas, la comunidad dispone de aguas de mejor calidad.

Medio ambiente

- Evita la contaminación del agua, del suelo y del aire.

Economía

- Evita la desvalorización de los sitios donde habitualmente se arrojan basuras. Reduce los costos de potabilización de las aguas al mejorar el estado sanitario de los ríos y las ciénagas.

Estética

- Evita el deterioro del paisaje.

Turismo

- Favorece la buena presentación del municipio permitiendo la promoción turística de la región.

PASOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO MANUAL



Figura 2.1 Identificación del sitio a rellenar y sus alrededores.

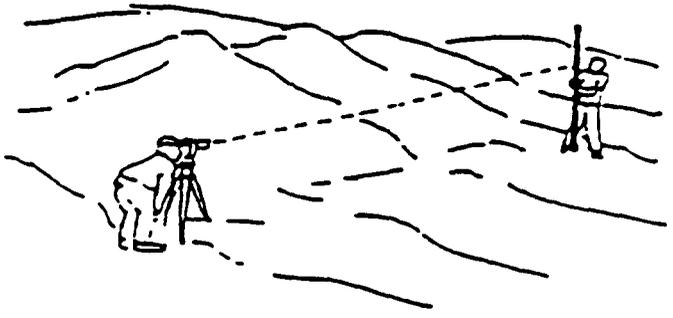


Figura 2.2 Levantamiento topográfico.



Figura 2.3 Limpieza y desmonte.



Figura 2.4 Construcción de vías de acceso.

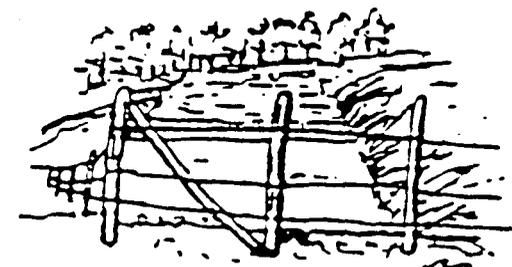


Figura 2.5 Encerramiento del terreno - Cerca-

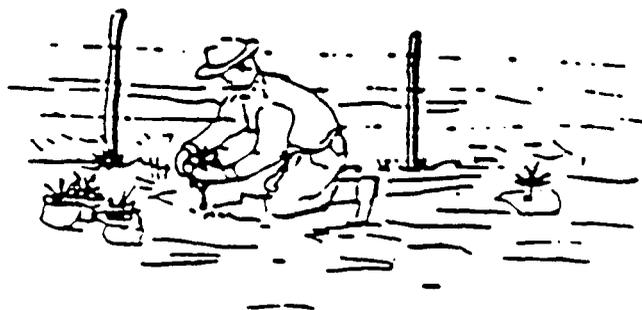


Figura 2.6 Construcción del relleno sanitario.

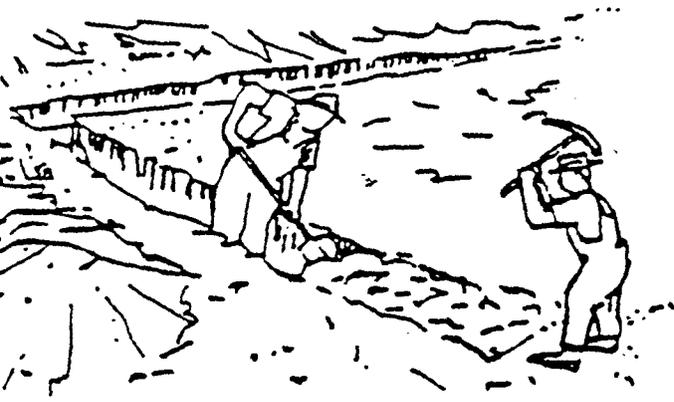


Figura 2.7 Construcción de drenaje periférico.

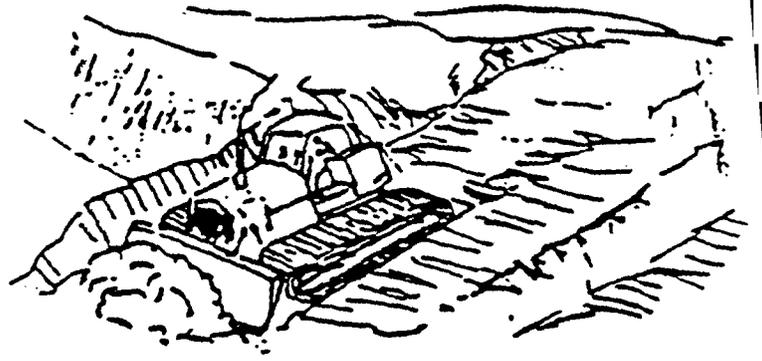


Figura 2.8 Preparación del suelo de soporte.

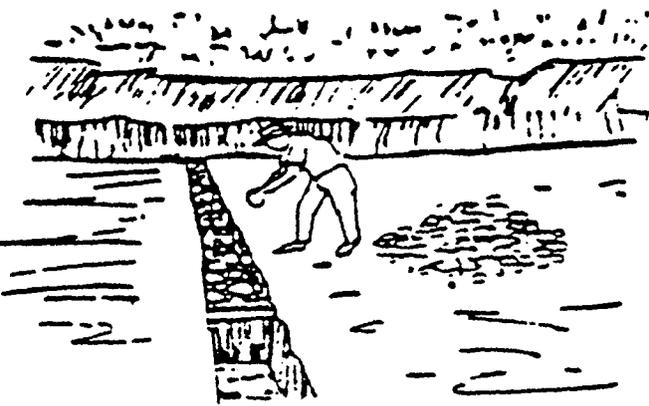


Figura 2.9 Construcción de drenajes internos.

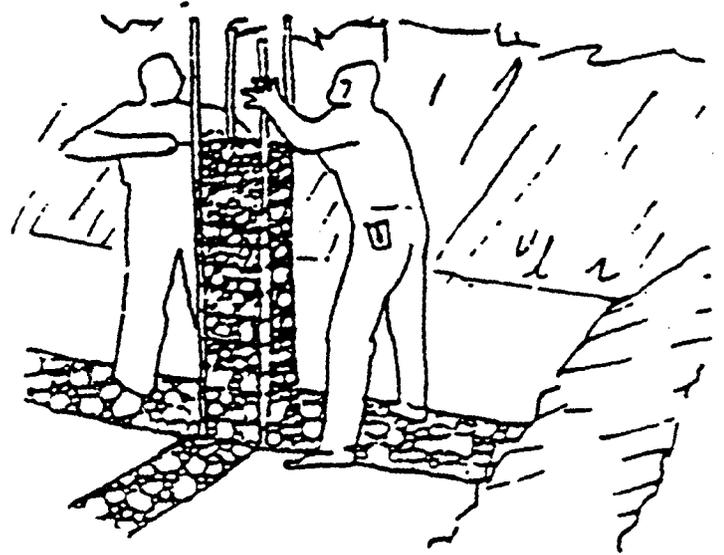


Figura 2.10 Construcción del filtro de gases.

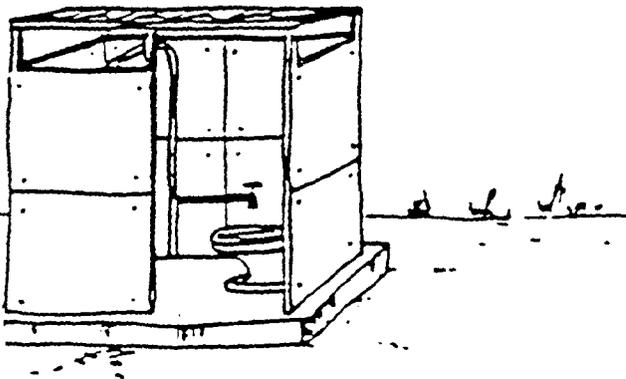


Figura 2.11 Construcción de las instalaciones sanitarias.

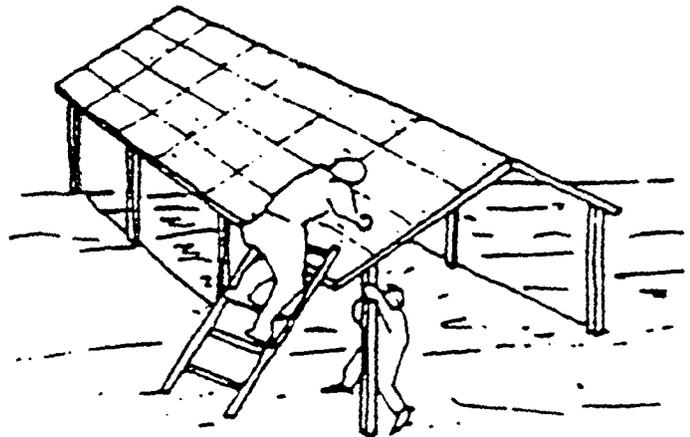
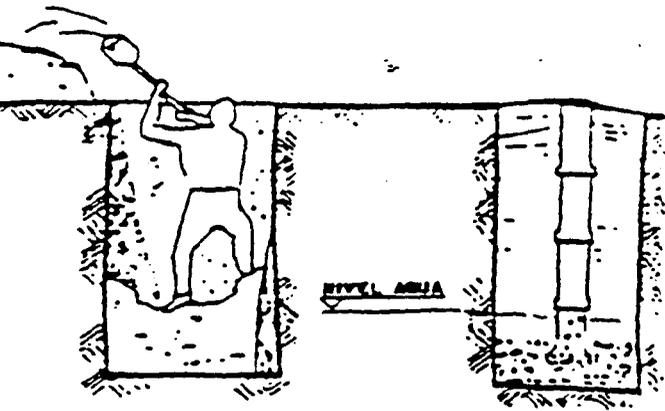


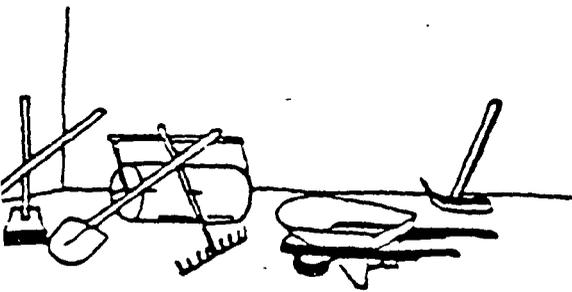
Figura 2.12 Construcción de la caseta o porteria.



2.13 Excavación de pozos de monitoreo.



Figura 2.14 Construcción y pintura de una valla.



2.15 Adquisición de herramientas.

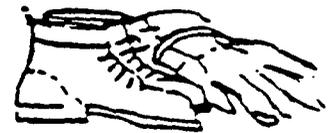


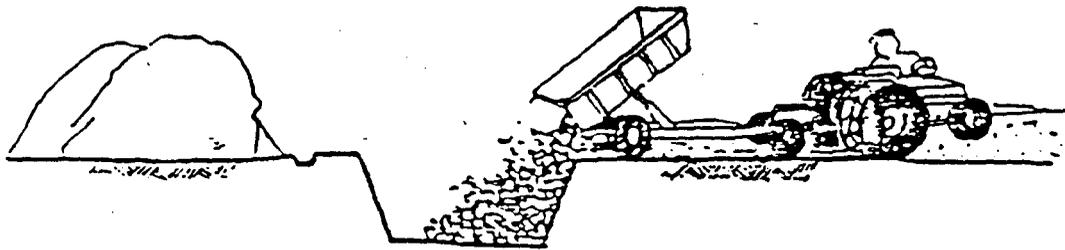
Figura 2.16 Adquisición de elementos de protección de los trabajadores.



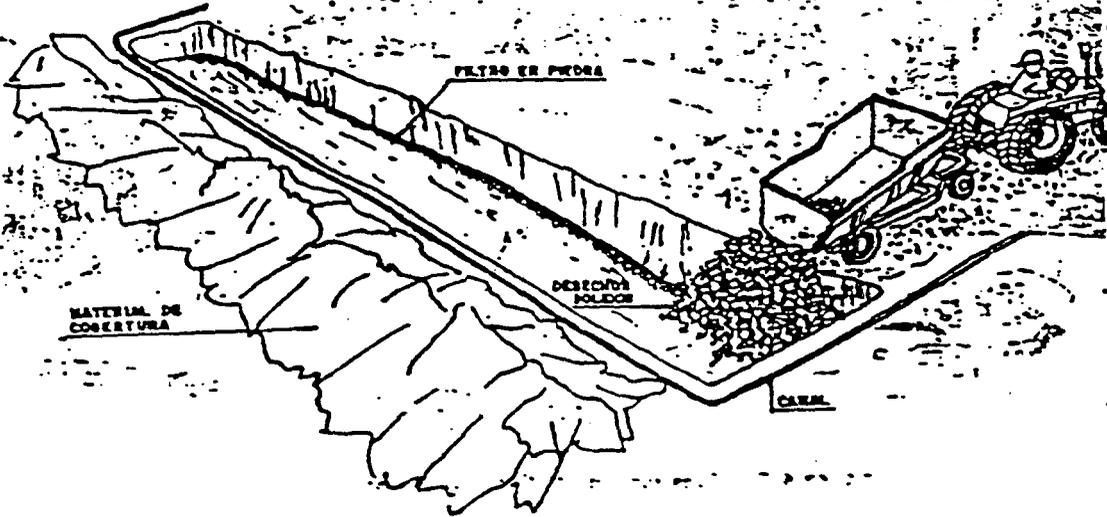
2.17 Inicio de la operación del relleno.



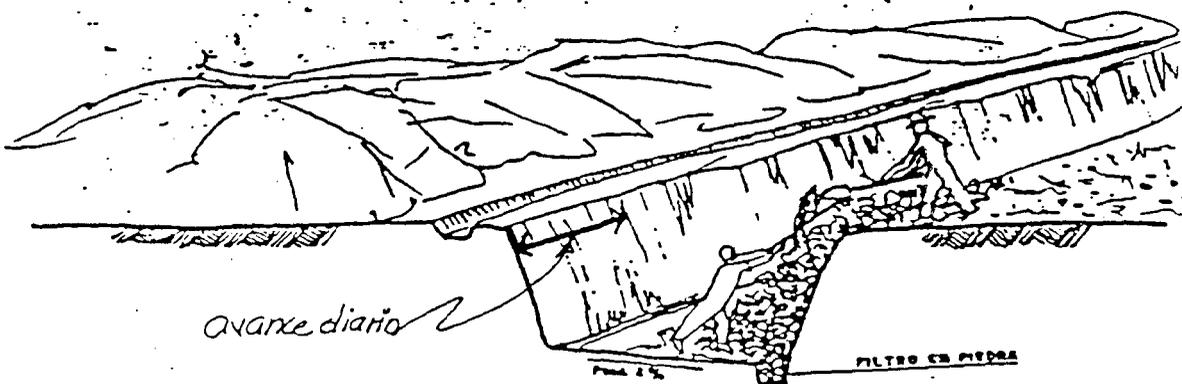
Figura 2.18 Clausura del botadero municipal.



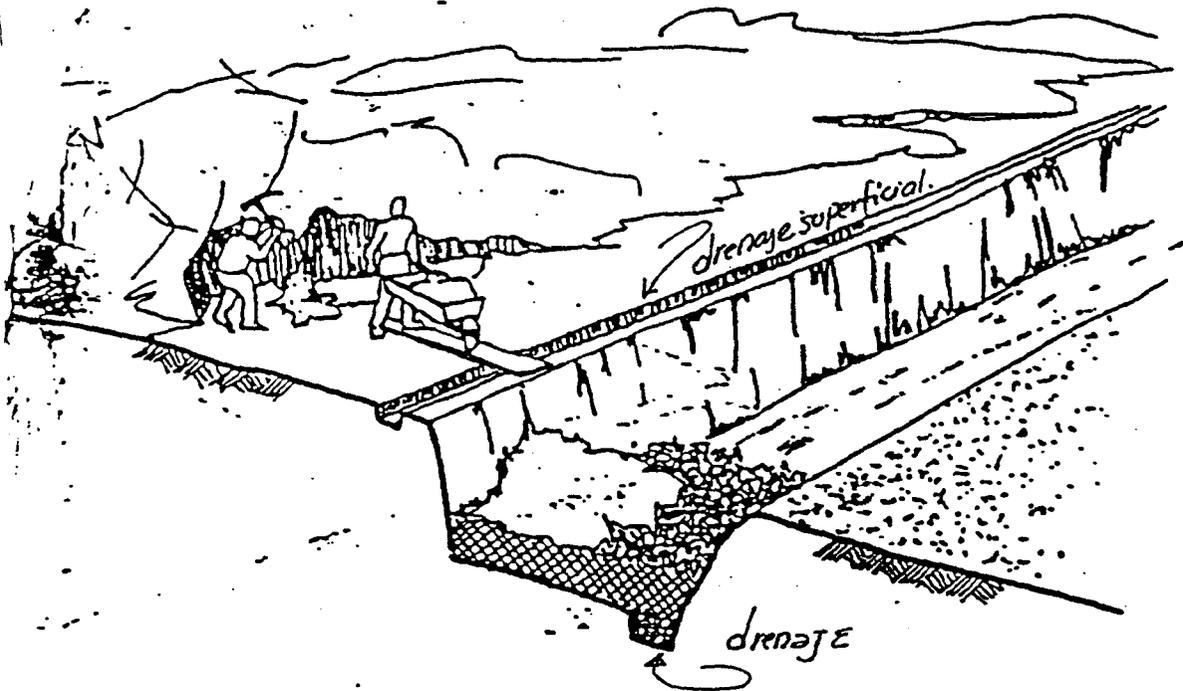
Descarga de los desechos en la primera zanja.



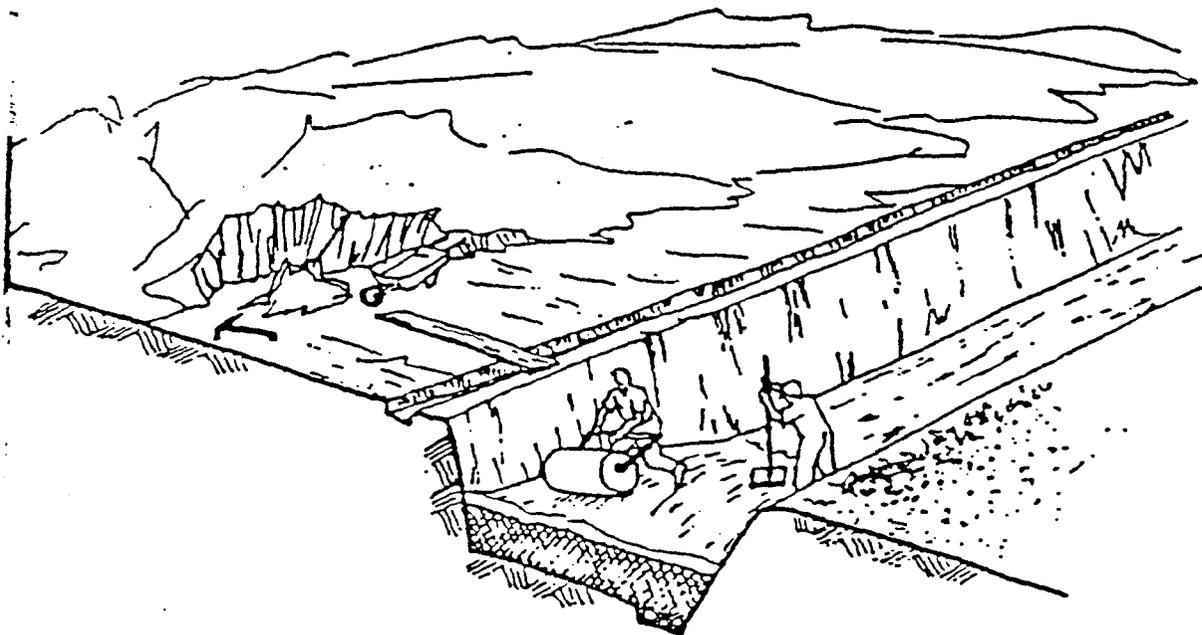
Descarga de los desechos sólidos.



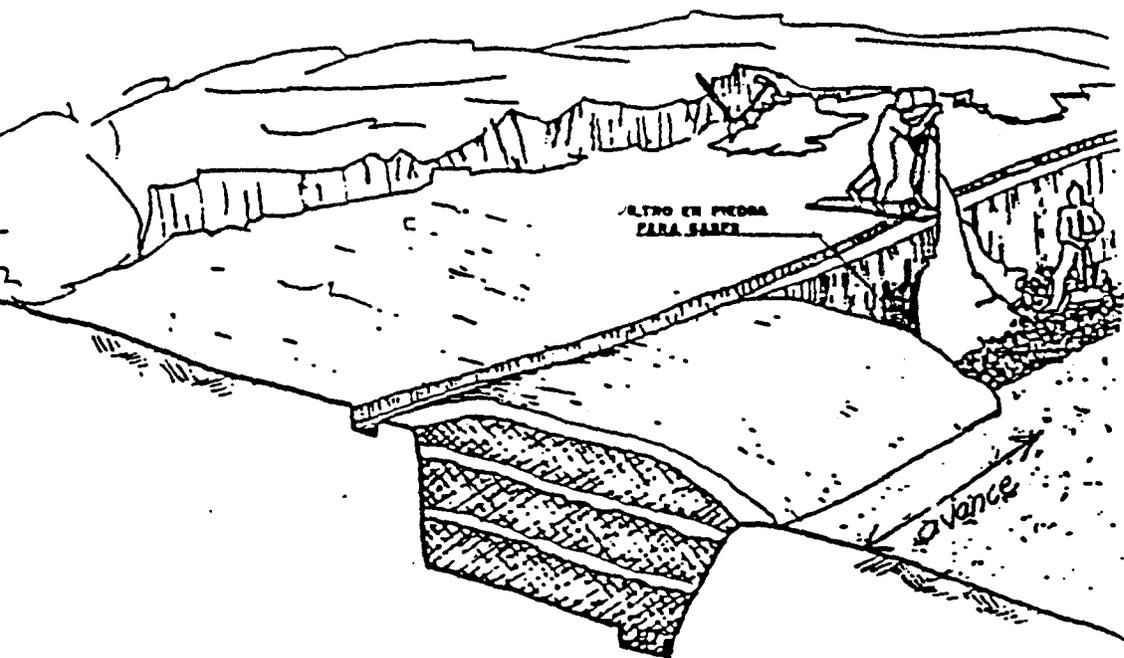
Descenso y nivelación de los desechos.



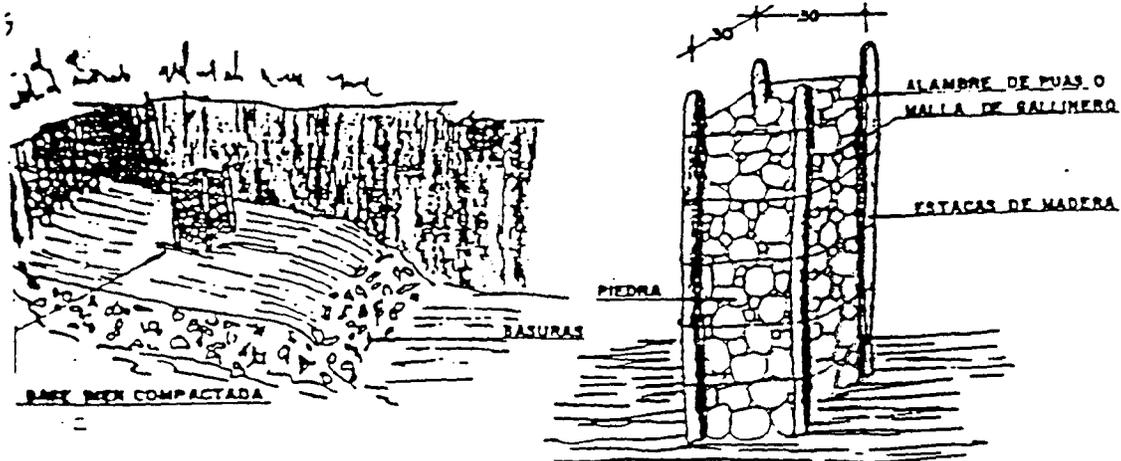
Conformación de la celda y cubrimiento diario de los desechos.



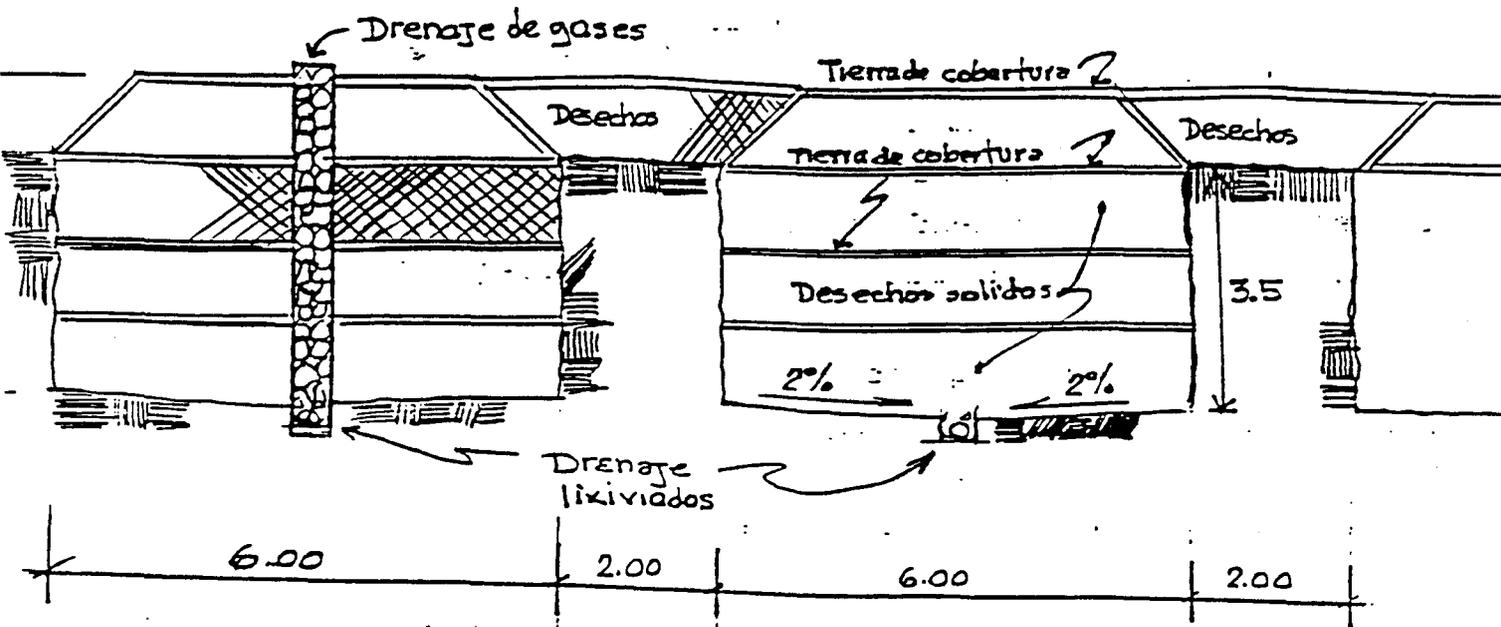
Compactación manual de la celda.



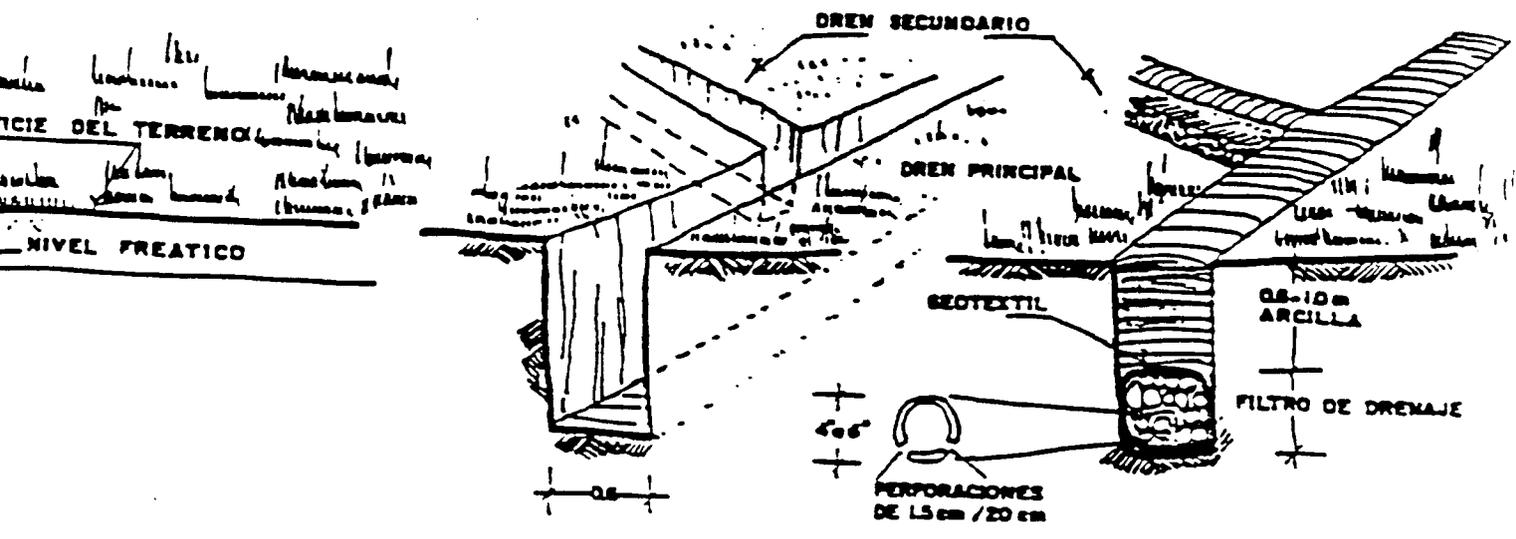
Configuración del relleno sanitario en trinchera.



Detalle Constructivo del Filtro para drenaje de Gases c/20m.

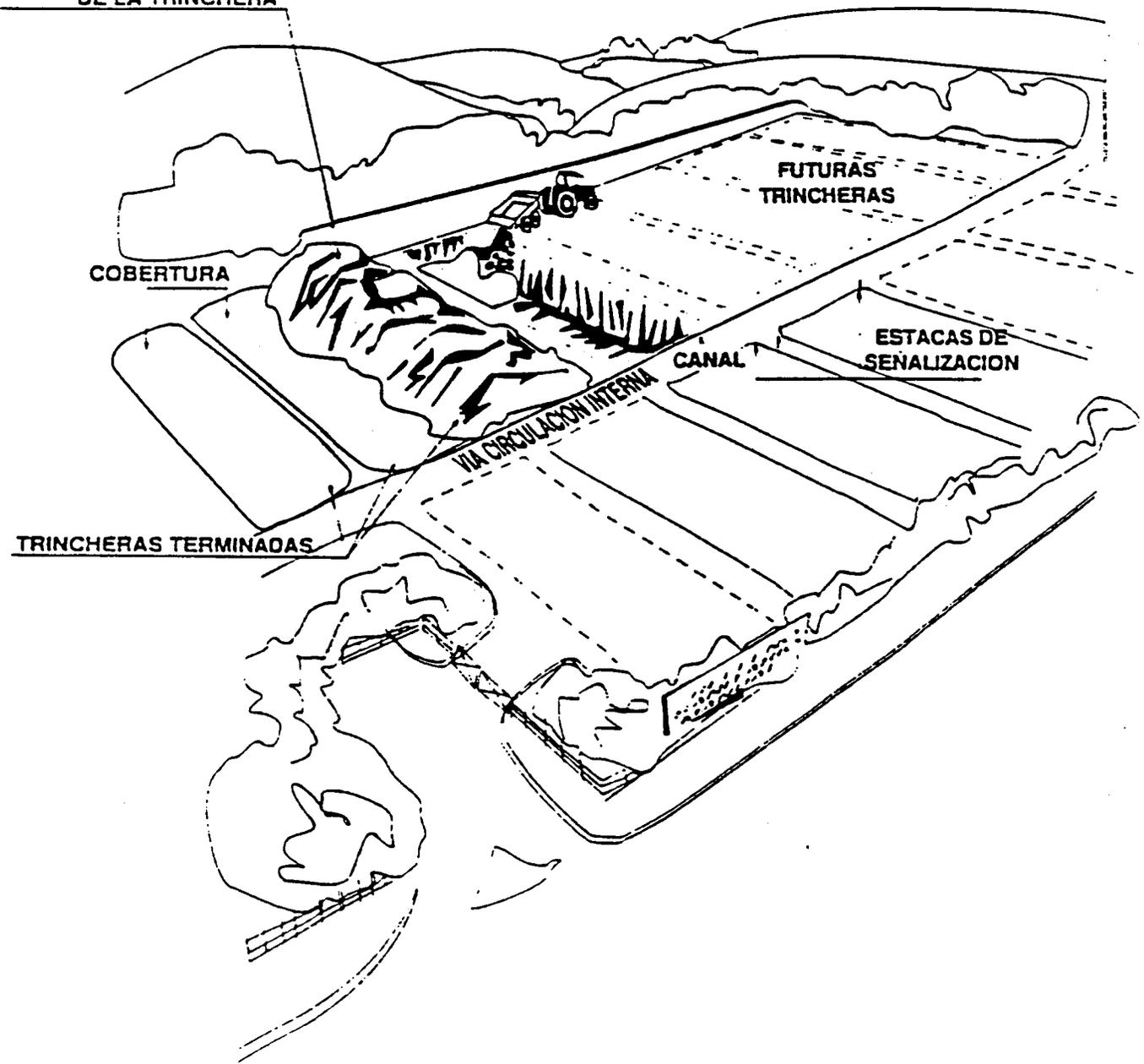


Detalle de Construcción de Celdas.

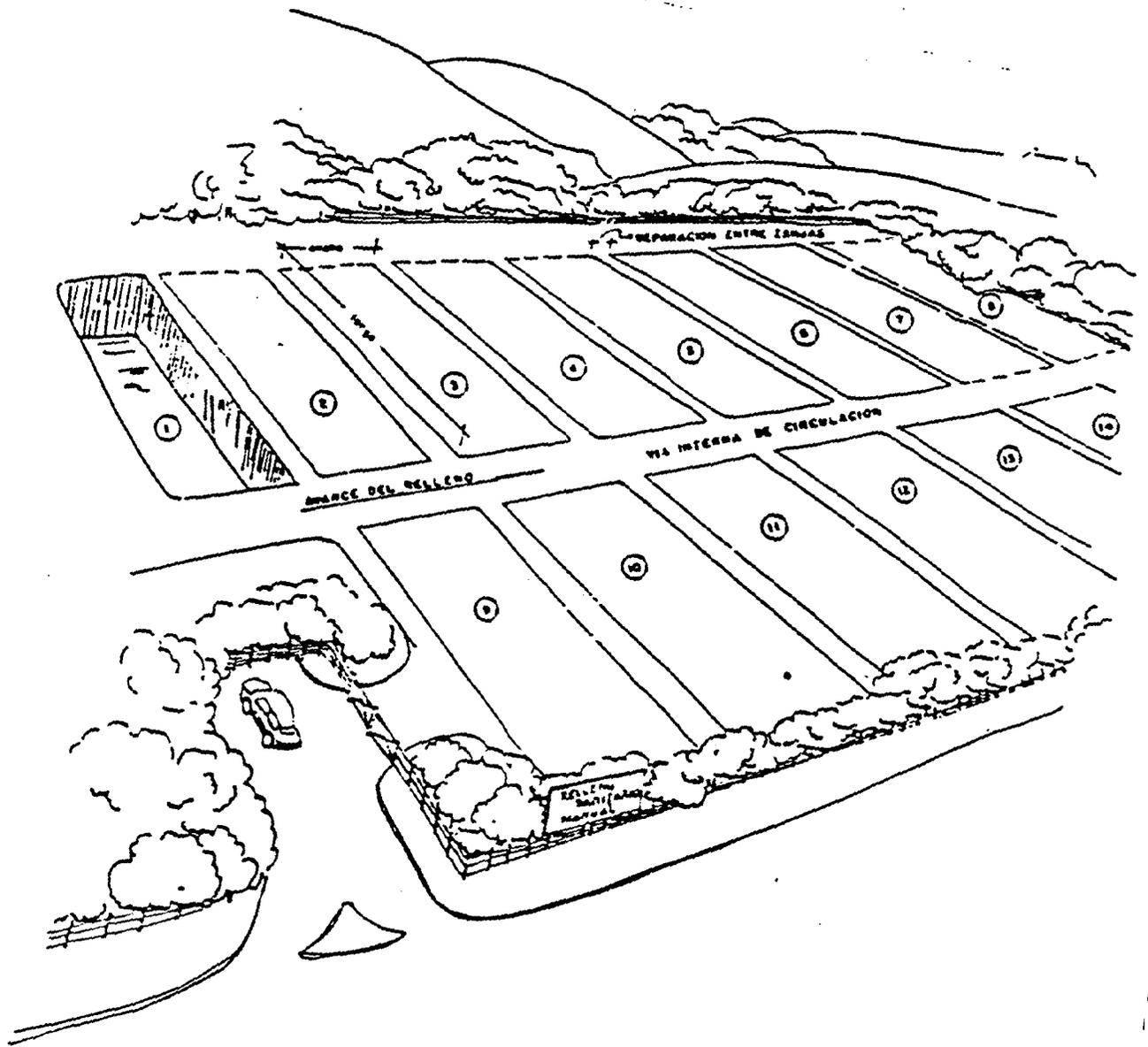


Drenaje para terrenos de alto nivel freático

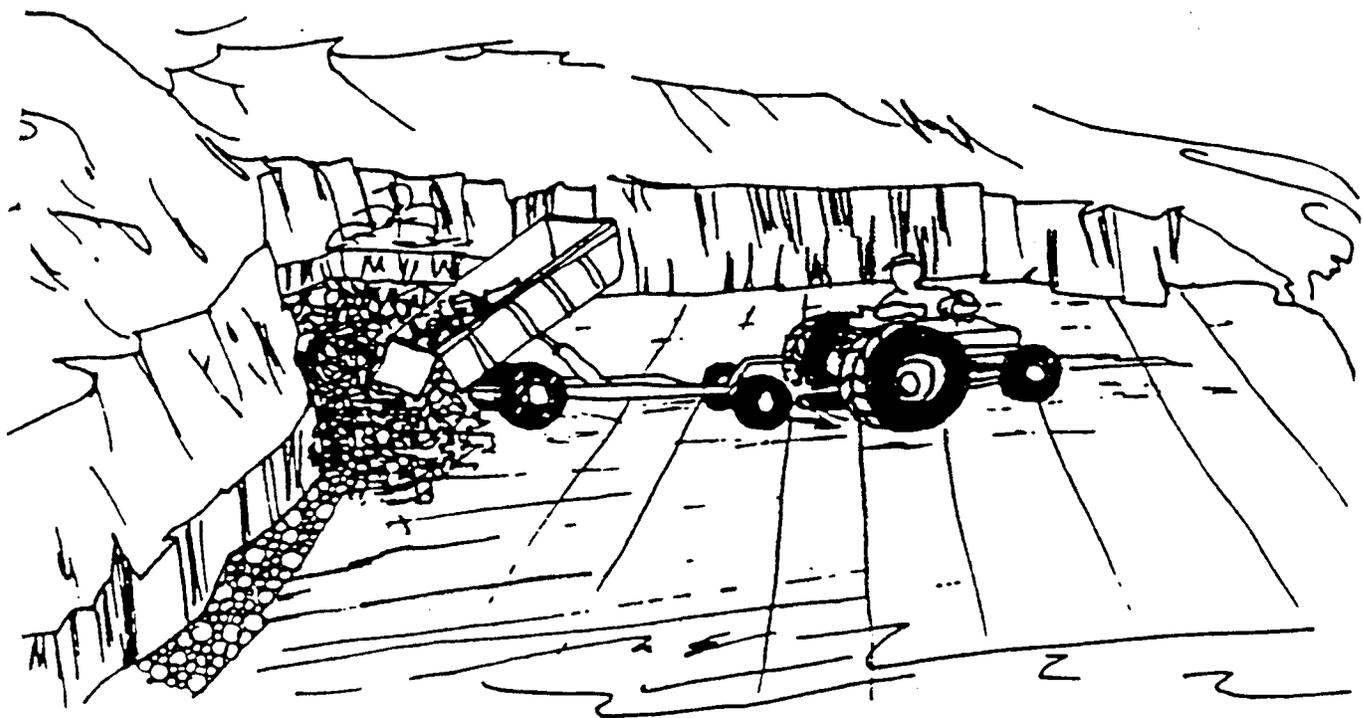
MATERIAL DE LA EXCAVACION
DE LA TRINCHERA



Avance del relleno en zanja o trinchera



Plan de manejo del terreno para la construcción del relleno sanitario manual por el método de trinchera



1 Descarga de los desechos sólidos.



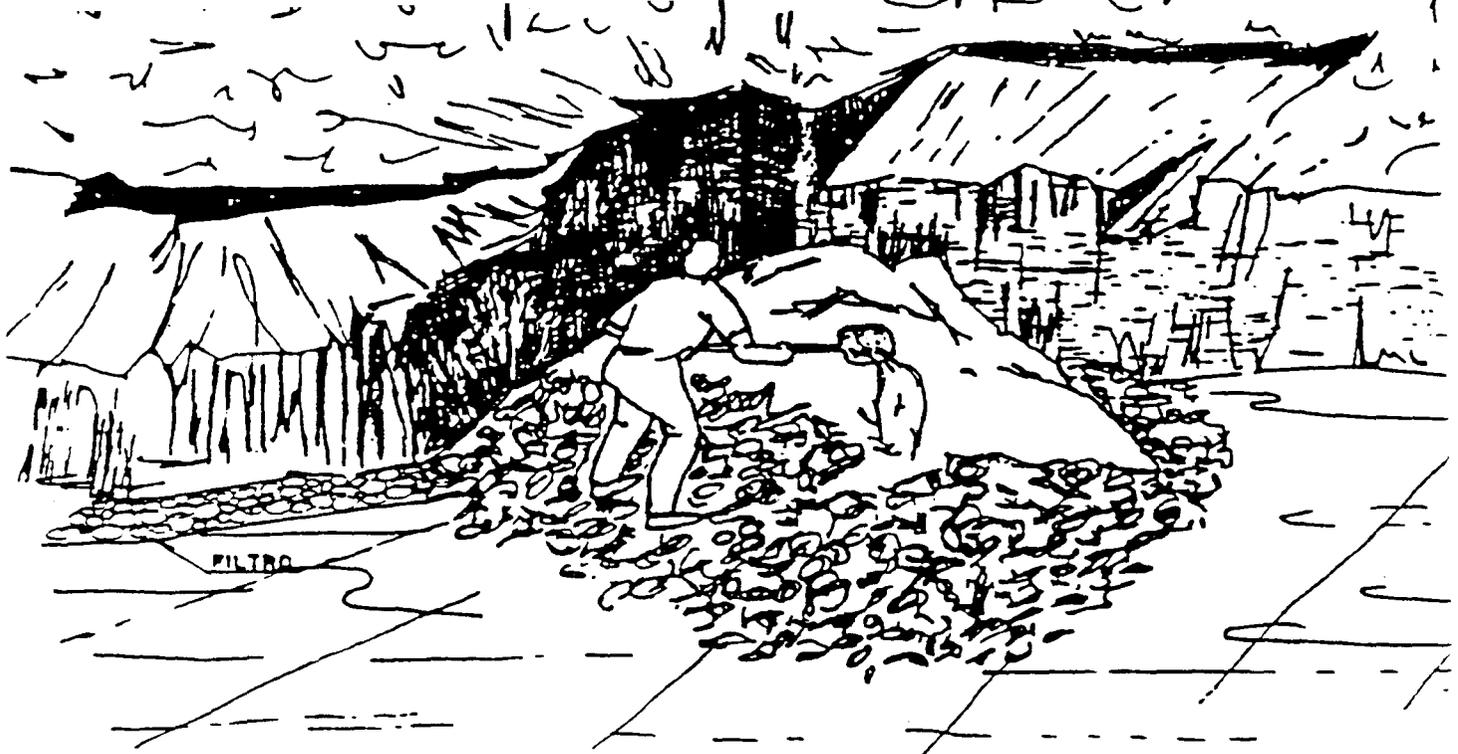
2 Esparcimiento de los desechos en el área limitada para la celda.



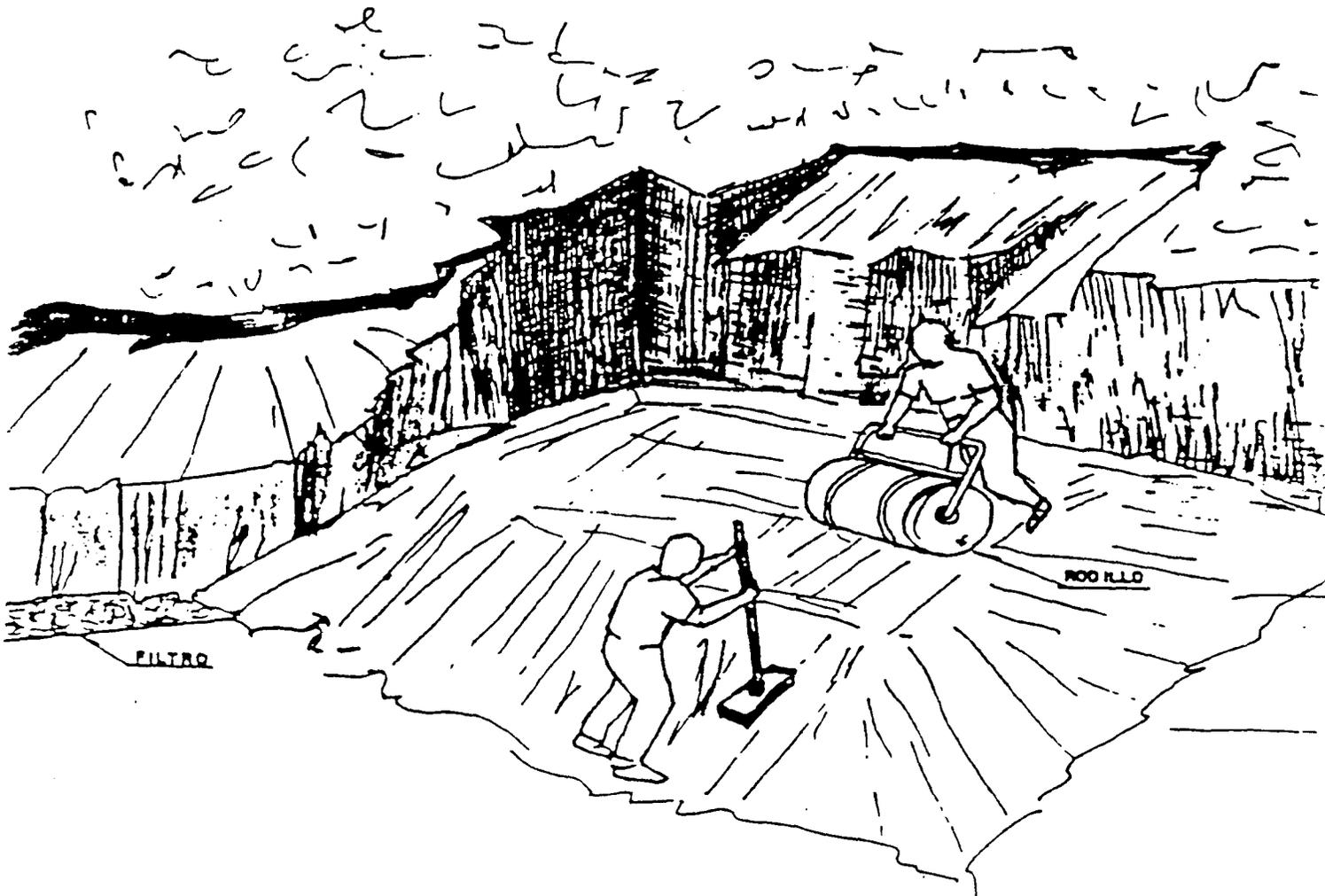
3 Compactación de los desechos con el pisón de mano.



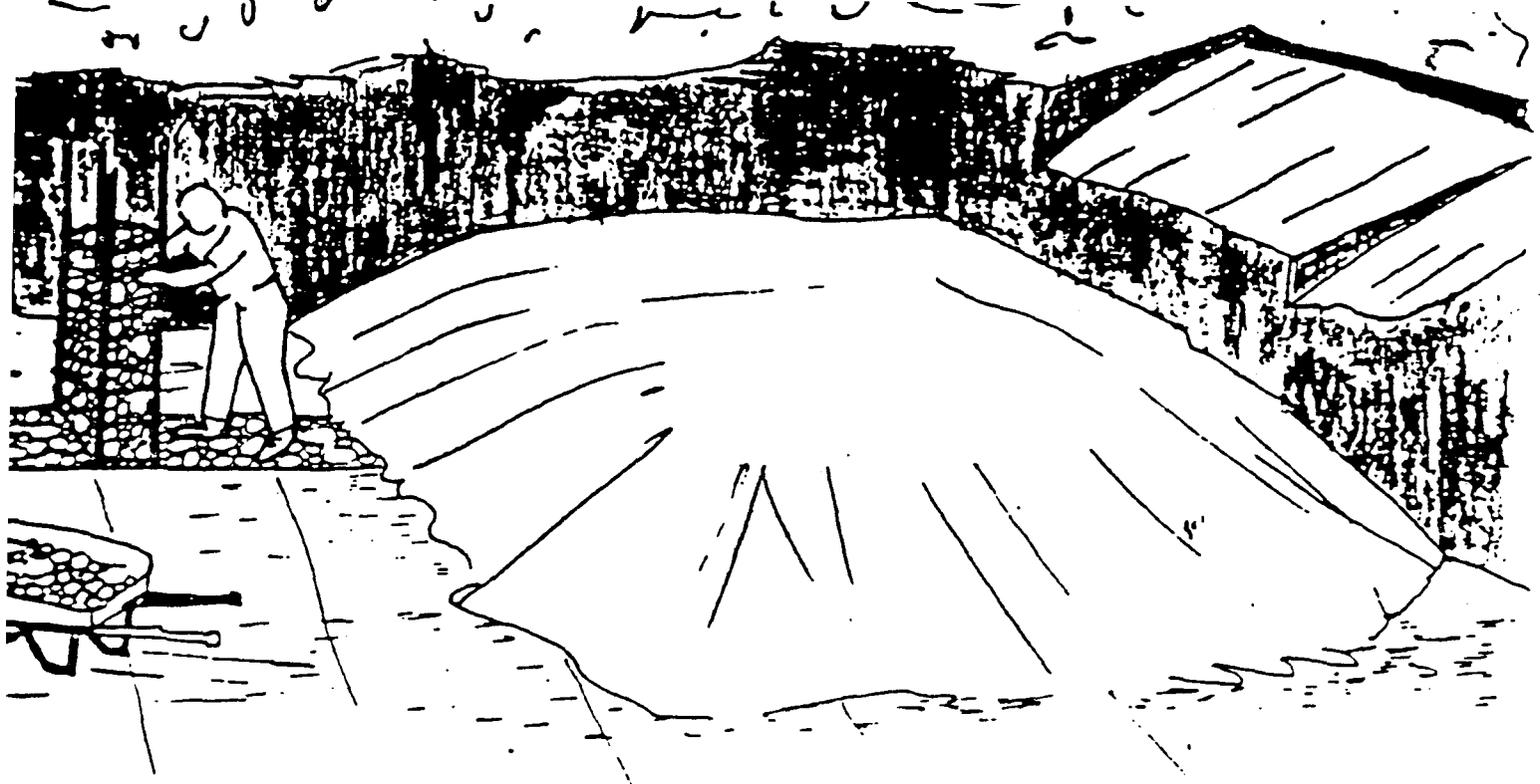
4 Extracción de la tierra para cubrir la basura.



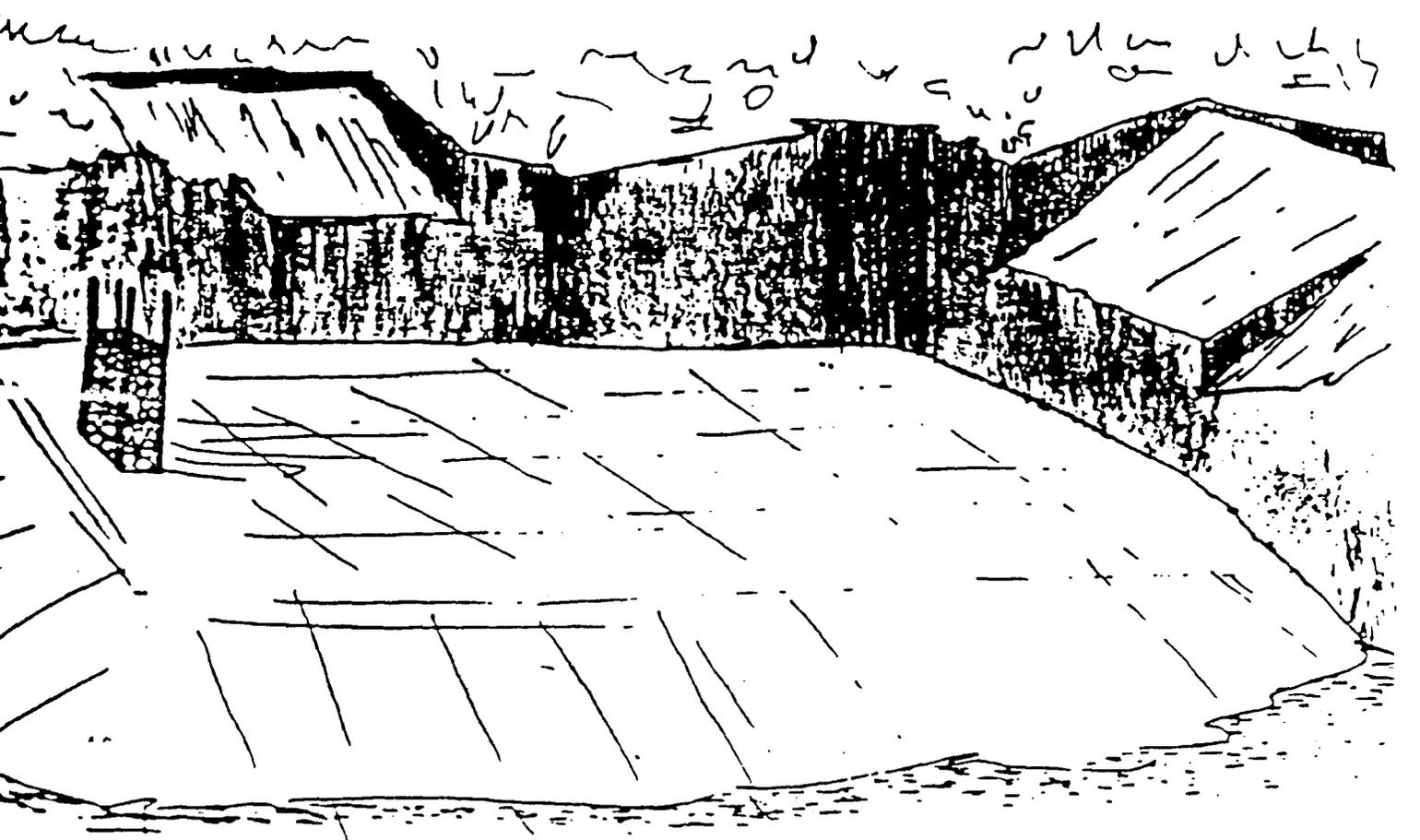
5 Cubrimiento de los desechos sólidos.



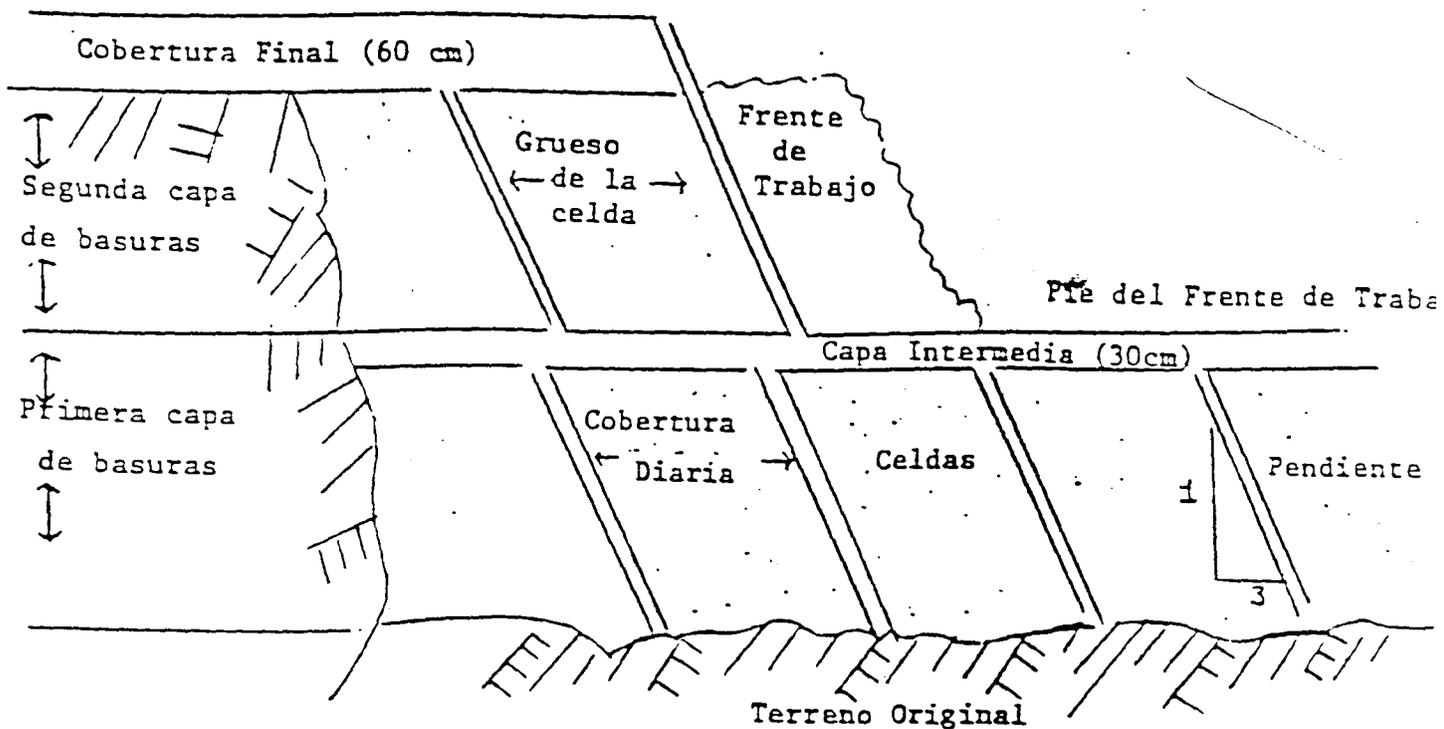
6 Compactación de la celda terminada.



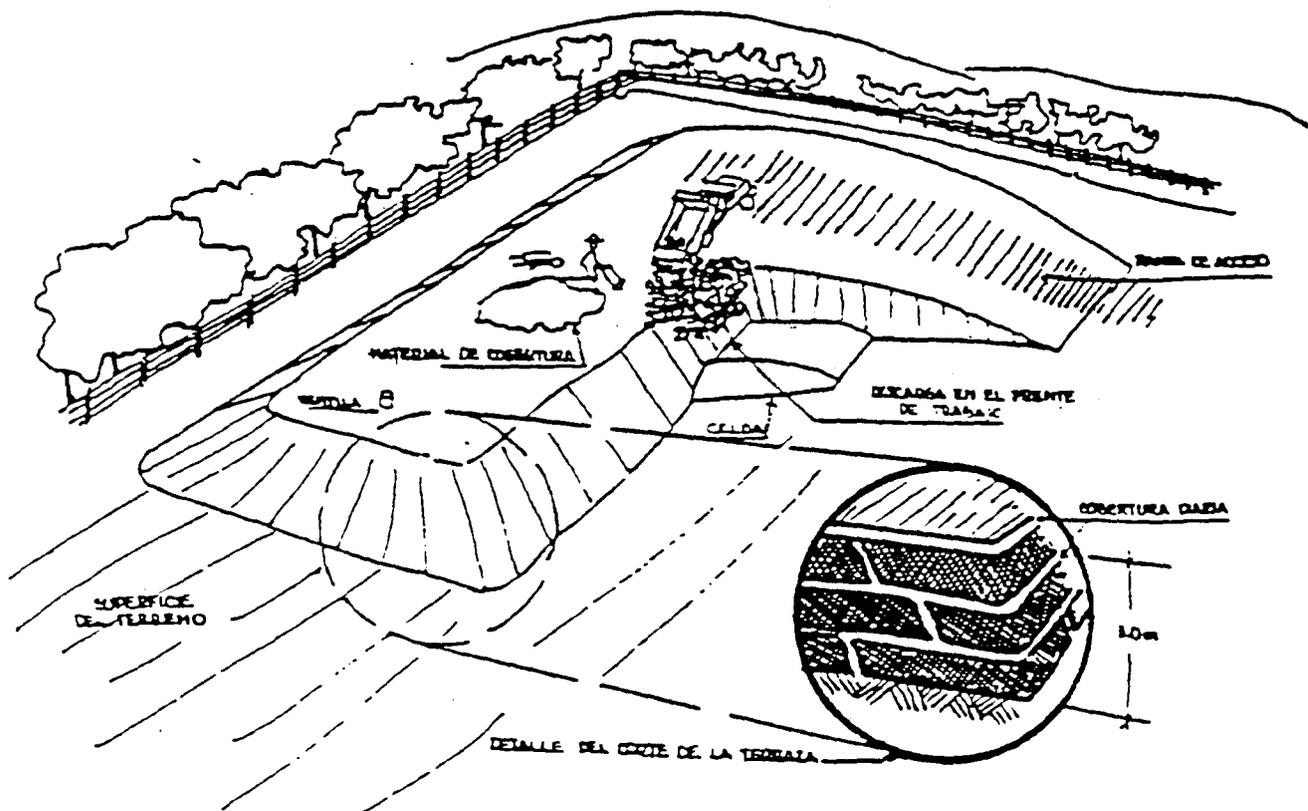
7 Construcción del filtro de gases.

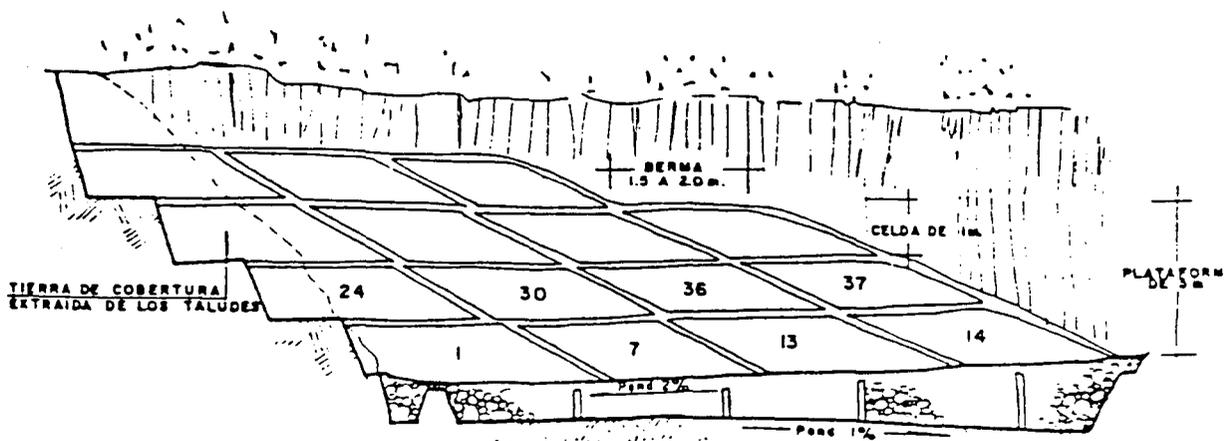
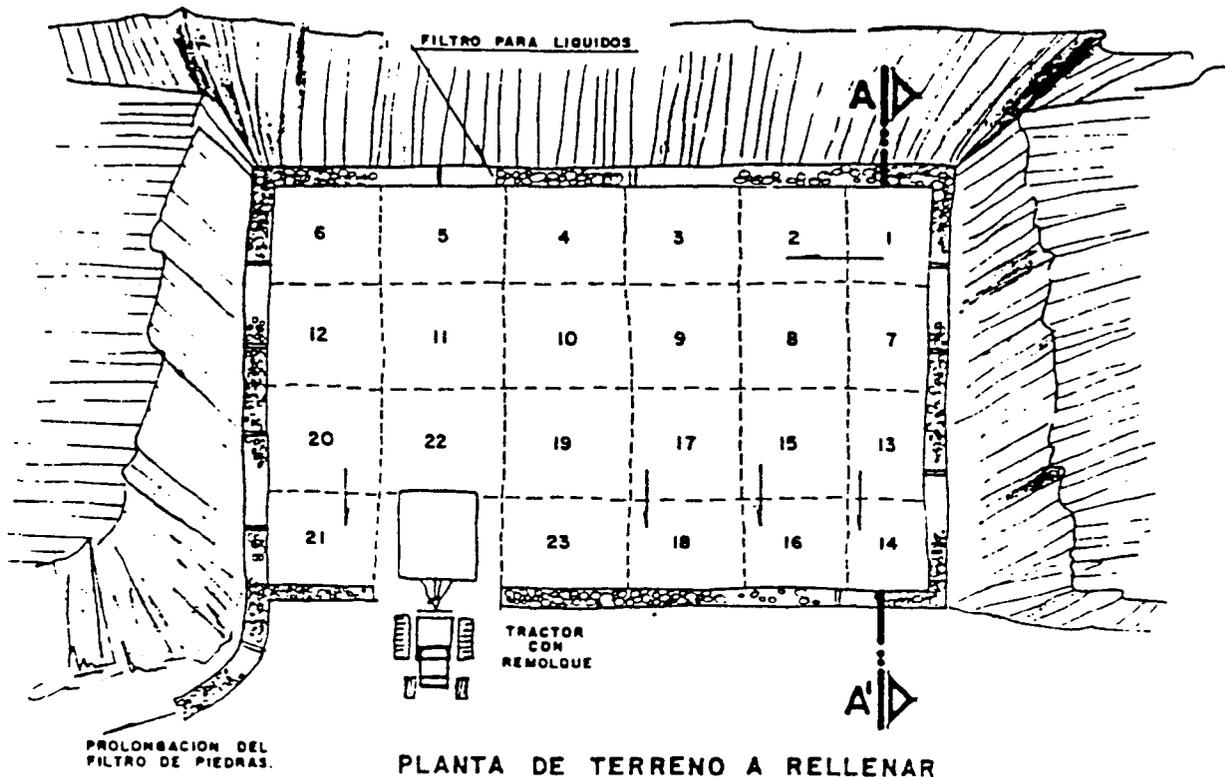


8. Construcción de la nueva celda al lado de la anterior.

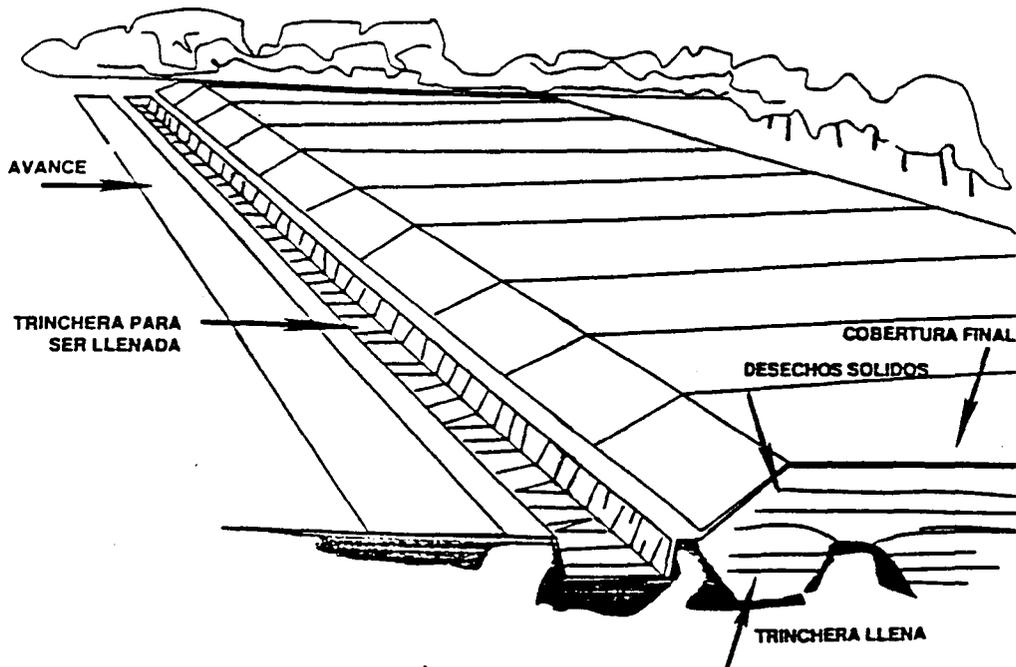


CONSTRUCCION DE CELDAS

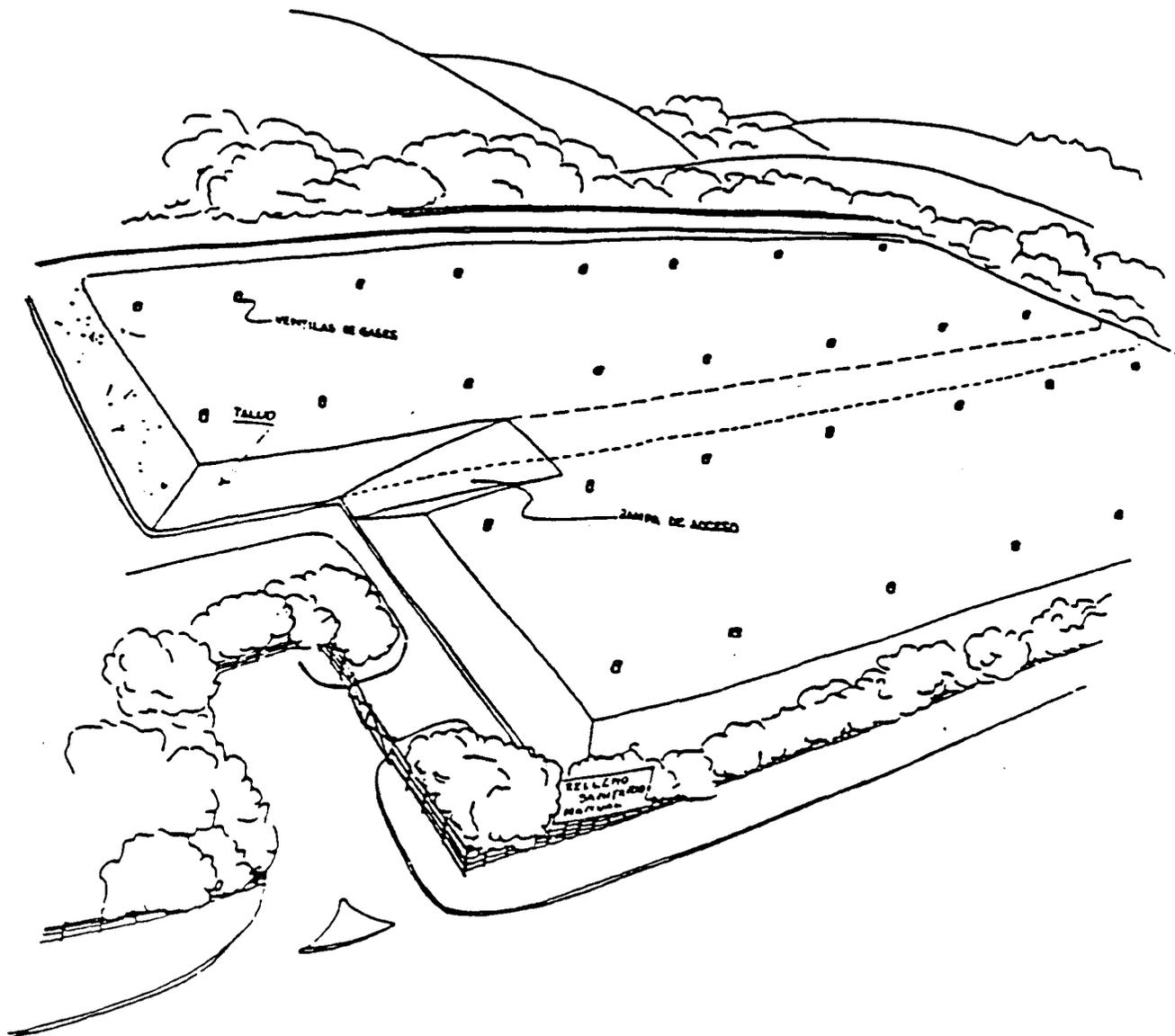




Fases de construcción del RSM



Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario



Relleno sanitario terminado y construido por la combinación de los métodos de trinchera y área



PALA



AZADON



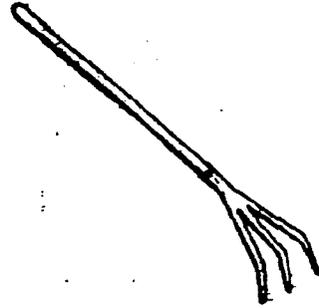
BARBA



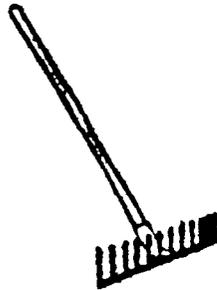
PICA



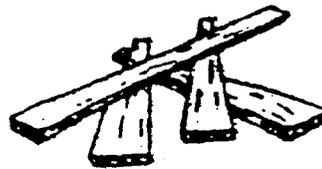
PISON DE MANO



HEROUILLA

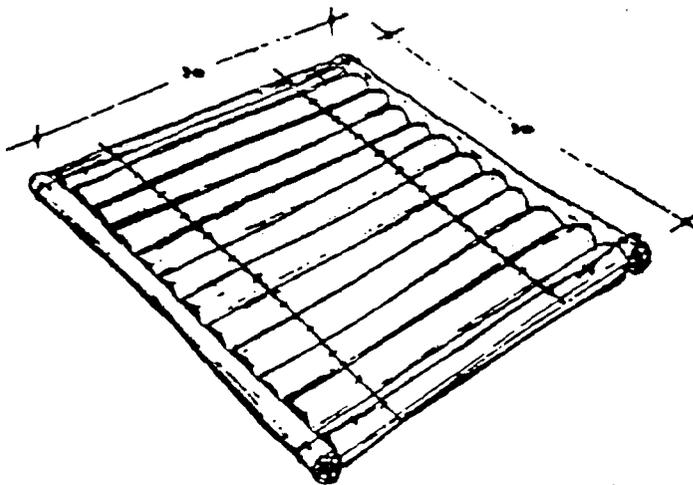


RASTRILLO

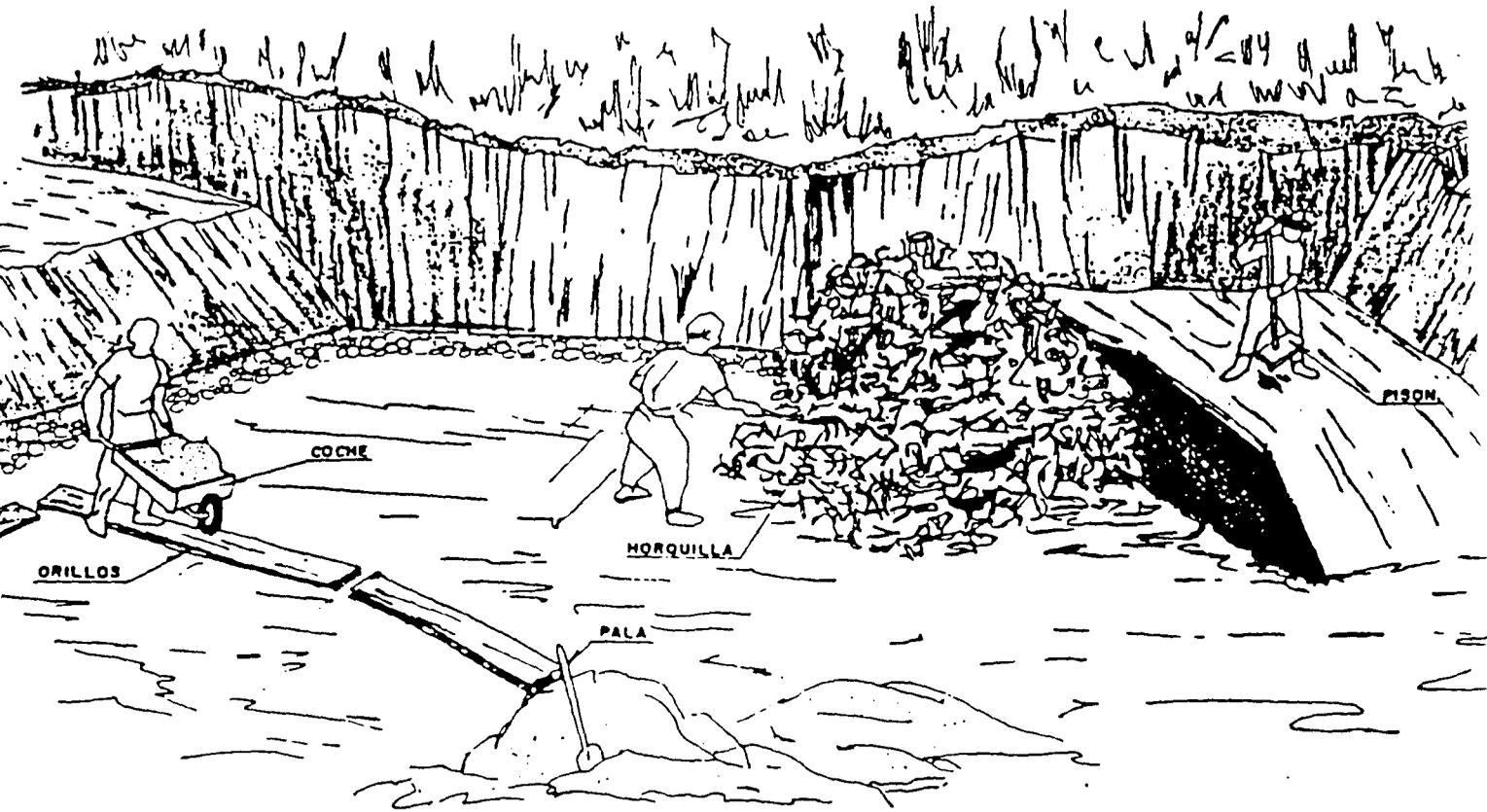


TABLAS

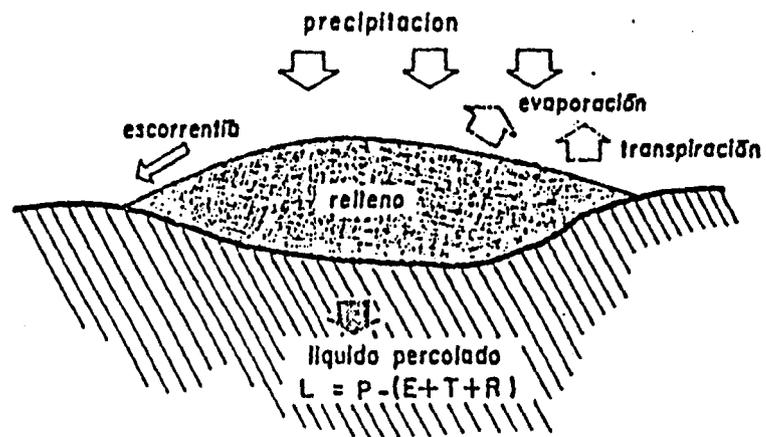
Herramientas de trabajo



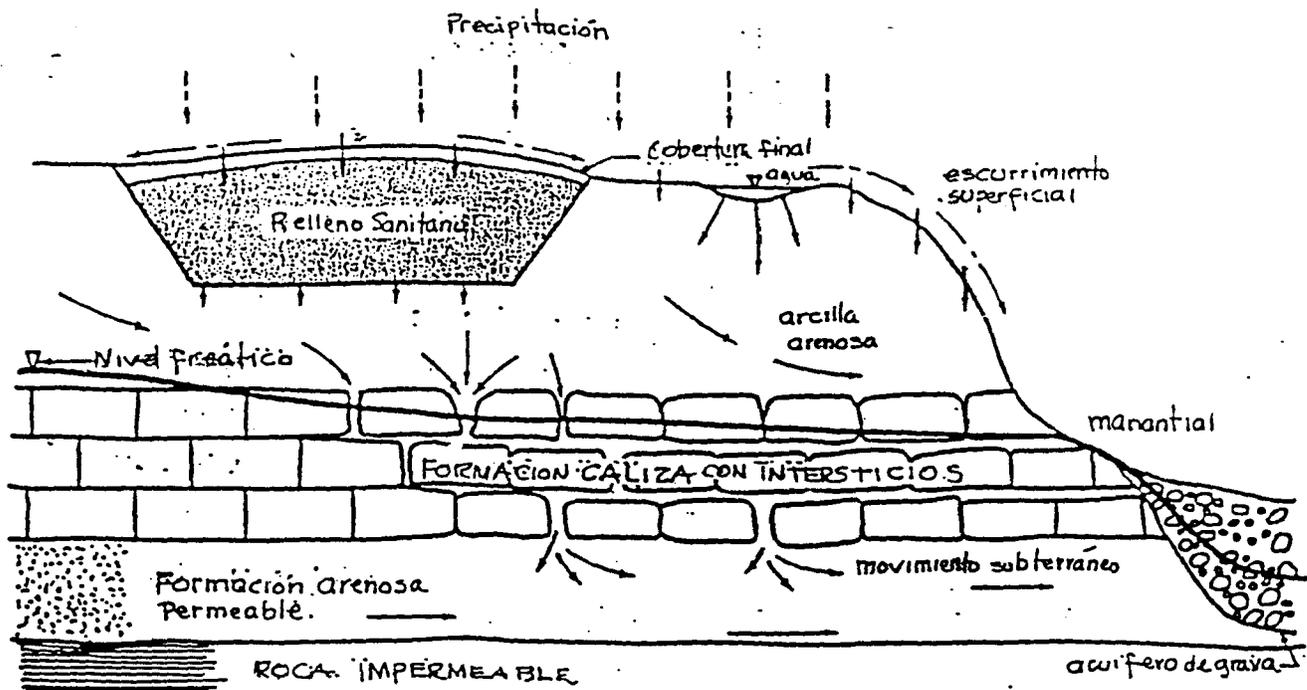
Módulo terminado



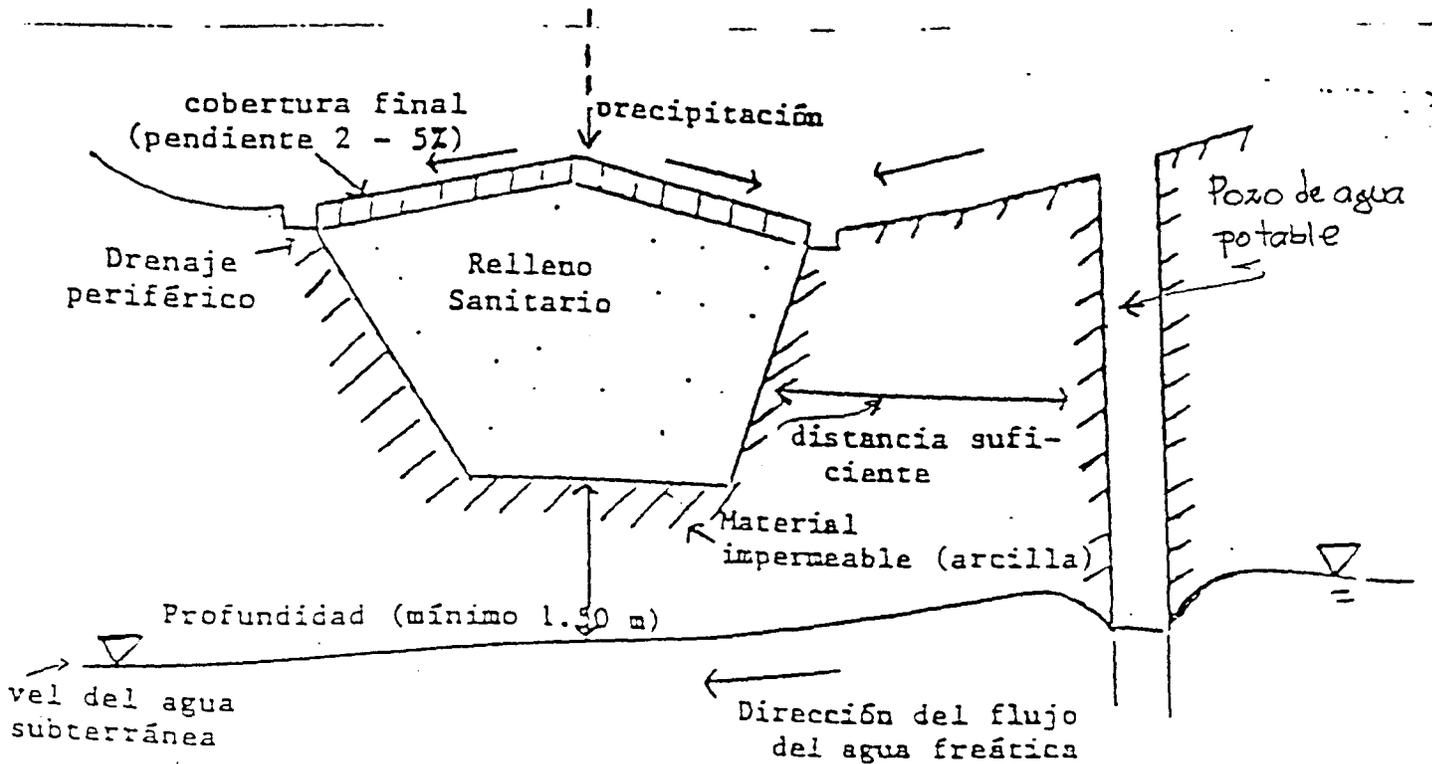
Empleo de algunas herramientas en la operación del Relleno Sanitario.



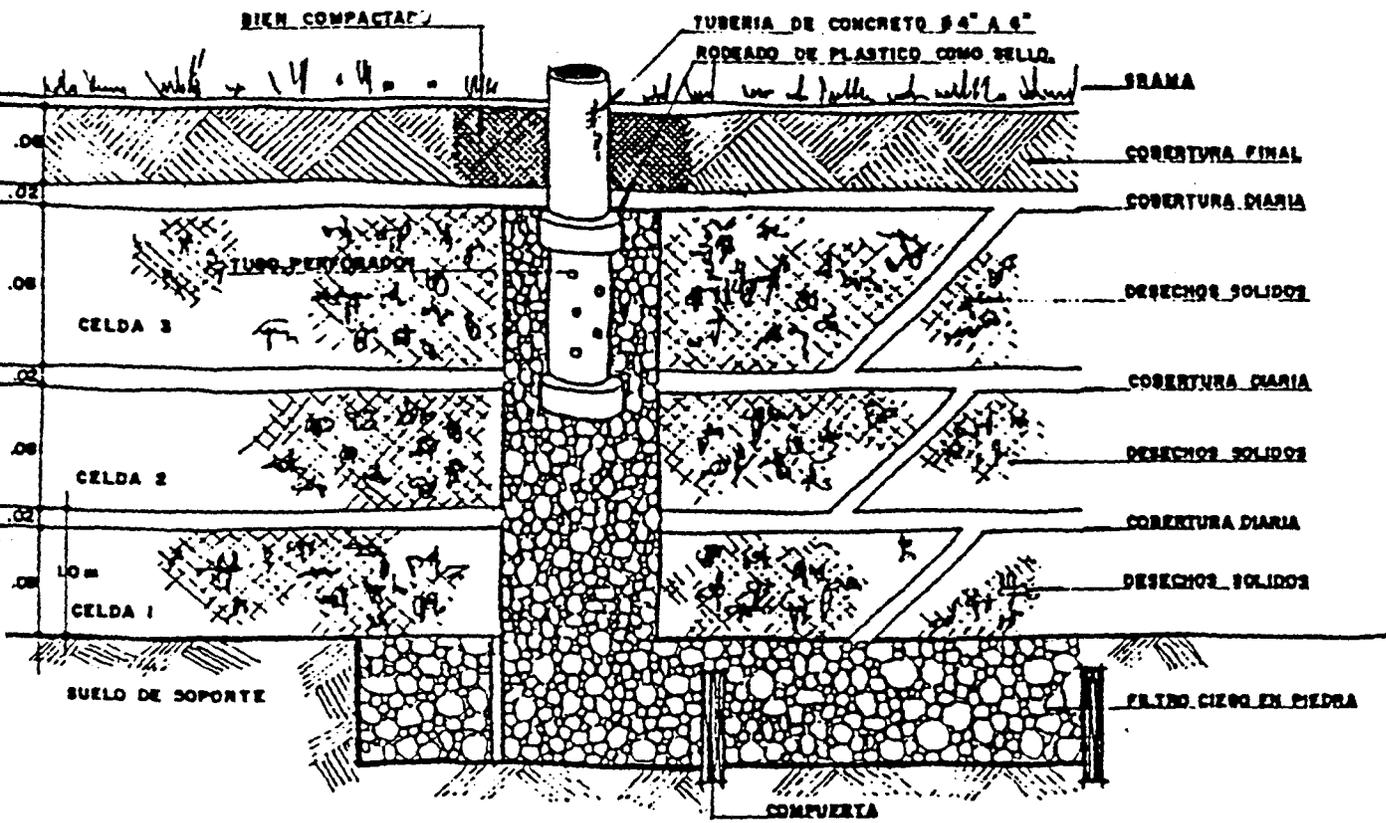
Ciclo del agua en un relleno sanitario



... INFILTRACION Y MOVIMIENTO DE LOS LIQUIDOS PERCOLADOS ...



Protección de Aguas.



Interconexión de Filtros de drenaje de gases y percolado.