

DISCUSION SOBRE LOS SITIOS PARA LOS VERTEDEROS DE DESECHOS SOLIDOS DE SAN JOSE (COSTA RICA)

K. Knoblich & E. Manz
Institut für Angewandte Geowissenschaften
Justus-Liebig-Universität Giessen
Diezstr. 15, 35390 Giessen. R.F.A.

ABSTRACT: The investigation is dealing with the underground and the top- and base sealing of waste disposal sites. On the base of the request of approval of the underground and sealing systems the conditions of the sites "Río Azul" and "Cabezas" are discussed. It is shown with laboratory tests that suitable soft bed-rock material is available close to the site of Río Azul for construction of the top sealing system. In the case of Cabezas the underground is not suited for waste disposal.

RESUMEN: El presente estudio trata de las propiedades geotécnicas del subsuelo y de los sistemas de impermeabilización, tanto para la base como para la superficie de los rellenos sanitarios. Basado en las condiciones que debe cumplir el subsuelo y las capas impermeables se estudiaron los sitios "Río Azul" y "Cabezas". Ensayos de laboratorio mostraron que en el caso del relleno sanitario de Río Azul, existen en las cercanías materiales adecuados para la construcción del sistema de impermeabilización superior. En el sitio Cabezas las condiciones del subsuelo no son adecuadas para el diseño de un relleno sanitario.

INTRODUCCION

La búsqueda de sitios adecuados para los vertederos de desechos sólidos es un problema mundial. Es necesario, desde un principio tratar de ubicar los rellenos sanitarios de manera que se reduzcan al mínimo los daños al medio ambiente. Ello requiere cuidadosas investigaciones geológicas, hidrogeológicas y climatológicas, eventualmente bajo medidas económicas complicadas. Desde el punto de vista ecológico, la búsqueda y determinación de un sitio no es un problema técnico. Los factores que dificultan la elección de un lugar favorable son más bien los intereses de orden político o económico, así como la falta de aceptación por la población vecina.

CRITERIOS PARA LA ELECCION DE UN RELLENO SANITARIO

Una distancia suficiente a la población más cercana debería ser uno de los criterios principales en la elección de un sitio. La distancia

mínima debería ser de 500 m, mejor aún de 1 km. Se da por entendido, que el relleno no se podrá situar en un área de aprovechamiento o recarga de aguas potables, de pozos o manantiales. No entran en consideración los cuerpos de aguas subterráneas potables que puedan ser utilizados en el futuro, ni terrenos vecinos a aguas superficiales.

Finalmente, hay que respetar peculiaridades de una zona dada, como son plantas o animales en peligro de extinción, campos valiosos para la agricultura, minas o zonas de recreo para la población. Estas limitaciones pueden llevar a la elección del lugar menos indicado por su subsuelo. En este caso, el sitio debe ser elegido de manera que se puedan implementar soluciones técnicas que disminuyan los posibles daños que el vertedero pueda causar al medio ambiente.

Desde el punto de vista geológico-técnico, un sitio es adecuado cuando el subsuelo tiene una capacidad de carga suficiente y presenta poca permeabilidad. Además, debajo del relleno sanitario el nivel del agua subterránea deberá estar lo más profundo posible. De ninguna manera debe llegar el agua subterránea al recinto

del vertedero. Finalmente, el terreno debe ser lo más plano posible.

Aunque se cumplan todas estas condiciones, se necesita una protección del subsuelo que se realizará mediante un sistema de impermeabilización.

Una vez finalizada la depositación de la basura, los conocimientos y exigencias actuales piden una recuperación por cultivo del área-depósito, que se llevará a cabo junto con un sistema de impermeabilización de la superficie. Ambos sistemas de impermeabilización originan un mecanismo de protección para la basura.

Para mantener el costo lo más bajo posible y para reducir el tamaño del vertedero al mínimo, se debería intentar disminuir el volumen de basura. En los países industrializados la producción actual de basura es de más de 300 kg por persona/año y se reduciría a la mitad si se transformarían los restos orgánicos en compost para su posterior utilización como abonos y si se recolectará por separado el vidrio, el papel y los metales, devolviéndolos a través de reciclaje al proceso industrial.

EL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION DE LA BASE

El subsuelo y el sistema de impermeabilización de la base deben de cumplir algunas exigencias. Ambos deben impedir que las aguas de infiltración, altamente concentradas en sustancias tóxicas y perjudiciales para la salud, contaminen el subsuelo y lleguen al agua subterránea. Esto será garantizado con una reducida permeabilidad del subsuelo, junto con la construcción de un sistema de impermeabilización en la base del relleno sanitario.

La impermeabilización debe ser estable a largo plazo y resistentes contra los líquidos agresivos, independientemente de su temperatura y pH. El subsuelo no deberá subsidir bajo el peso de la basura, ni presentar asentamientos ni rupturas. Los subsuelos más adecuados son rocas con un módulo de deformación de $E_{v2} > 45 \text{ MN/m}^2$. Considerando además un coeficiente de

permeabilidad de $k < 10^{-7} \text{ m/s}$, lutitas, esquistos y tobas volcánicas reúnen condiciones especialmente favorables.

El sistema de impermeabilización de la base se compone de dos elementos: (1) una capa mineral impermeable en combinación con una lámina sintética y (2) el drenaje para desviar el agua de infiltración del vertedero, protegido por dos geotextiles (Fig. 1).

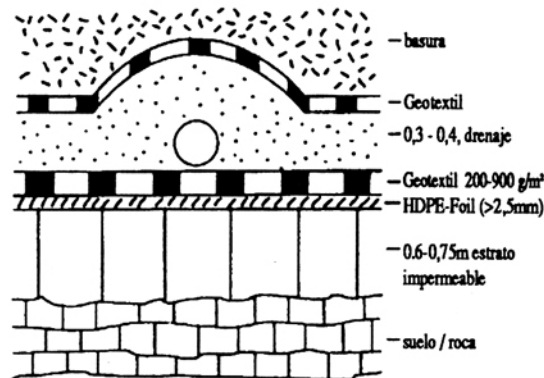


Fig. 1: Sistema de impermeabilización inferior de un relleno sanitario.

La combinación entre un estrato impermeable de 0,6-0,7 m de espesor y una lámina sintética del tipo HDPE ("polietileno de alta densidad") con un grosor de 2-4 mm cumple con las exigencias de larga duración y escasa permeabilidad. Una sola lámina de geotextil puede romperse. Las capas de asfalto o de cemento, a su vez, son atacadas por las soluciones agresivas. Un estrato mineral podría sufrir agrietamiento debido a la contracción y perder su impermeabilidad. De todas formas, debería tener una permeabilidad de $k < 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ y este estado se logra si el material del suelo se compacta con una densidad de Proctor de por lo menos 97%. Una menor permeabilidad y un mayor grado de compactación, junto con una posible disminución de la tendencia de fenómenos de hinchamiento y contracción se consiguen con un suelo que no tenga una granulometría demasiado fina o que no esté compuesto por muchos minerales arcillosos con capacidad de hinchamiento. Son apropiadas arcillas de baja plasticidad o suelos mezclados con 30-40 % de arcilla/limo. Las exigencias se cumplen cuando el material posee las características del cuadro 1 y figura 2.

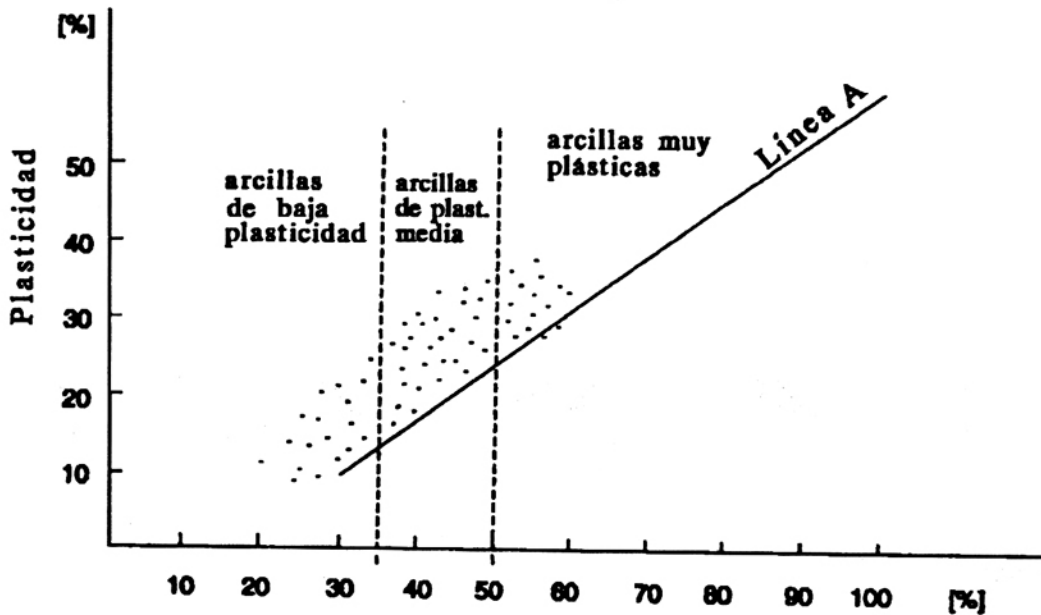


Fig. 2: Datos de materiales adecuados para la construcción de un estrato impermeable en un relleno sanitario.

Cuadro 1

Exigencias del comportamiento plástico del suelo para la construcción de sistemas de impermeabilización en rellenos sanitarios.

Límite Líquido (LL)	35 - 45 %
Límite Plástico (PL)	20 - 25 %
Índice de Plasticidad (IP)	10 - 25 %

Cuando el material se encuentra en estado rígido plástico, es decir, cuando posee un índice de consistencia (Ip) de 0,9 -1,1 se deja densificar a 97 % de Proctor por medio de apisonadoras. La capa impermeable, construida en 2 o 3 subcapas, se cubre con una lámina sintética del tipo HDPE y ésta se protege con un geotextil de 200 - 900 gr/m². Sobre este conjunto se extiende un sistema de drenaje compuesto por grava con un grosor de 30 - 40 cm.

Mediante una tubería de drenaje se recoge el agua que se infiltra del vertedero y se lo conduce por un acumulador principal a una planta depuradora. Para que la unidad de drenaje funcione, su base deberá estar inclinada. Para ello toda la base del vertedero puede estar dividida en sectores con pendientes. Para proteger el drenaje de la obstrucción causada por la basura de tama-

ño pequeño, se protege el sistema con un geotextil superior.

EL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION DE LA SUPERFICIE

Está compuesto de los mismos elementos que el sistema de la base. Tanto los espesores de cada una de las unidades, como los materiales utilizados son los mismos. Junto a este sistema hay que construir una superficie de recubrimiento, compuesta por 1 - 2 m de suelo cultivable (Fig. 3). Con esta construcción se logra que la menor cantidad posible de agua de lluvia penetre en la basura y tenga que ser purificada como agua del vertedero. También se puede instalar un pozo de gas para recuperar y transportar los gases (metano y dióxido de carbono), que se forman en el proceso biológico de la descomposición.

En caso de que los materiales adecuados para la construcción de los sistemas de impermeabilización no se encuentren en las cercanías del relleno sanitario, se pueden utilizar materiales menos adecuados, añadiéndoles arena o arcilla para mejorarlos.

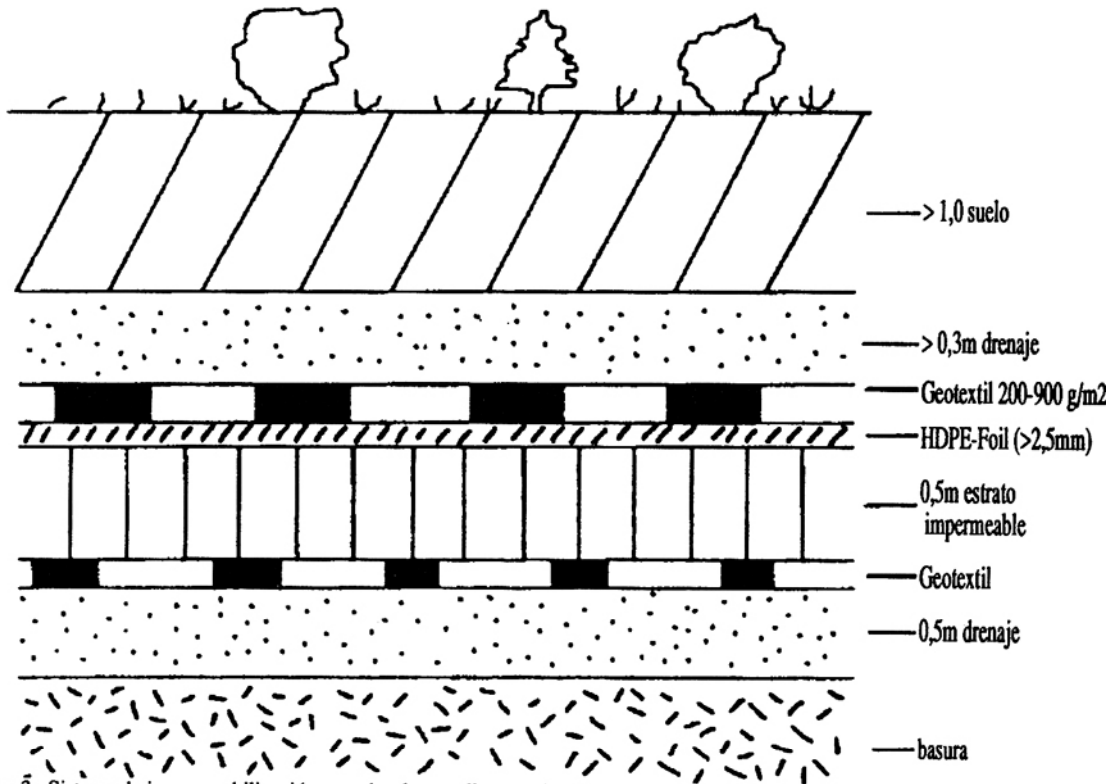


Fig. 3: Sistema de impermeabilización superior de un relleno sanitario.

EL RELLENO SANITARIO "RIO AZUL"

El actual vertedero de la ciudad de San José está situado en el borde de un valle. La superficie de basura ocupa, en su mayoría, las distintas formas del terreno. Las masas del vertedero llegan hasta las faldas de las montañas con fuerte inclinación. Las pendientes y colinas vecinas se componen en parte de rocas piroclásticas.

Los parámetros de los suelos del Cerro Asilo se presentan en los cuadros 2 y 3 y en la figura 4.

La permeabilidad de dos muestras a la densidad de 100% Proctor es:

$$k = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$$

$$k = 6 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$$

El material posee un límite líquido relativamente alto y una buena plasticidad.

Cuadro 2

Granulometría y otros parámetros del material del Cerro Asilo

Diámetro (mm)	Peso (%)
< 0,075	17,3
0,075 - 0,25	24,8
0,25 - 0,85	34,1
0,85 - 10	23,8

Humedad natural $W = 12,8 \%$ Peso específico de diferentes muestras: 1,59/1,62/1,63/1,68 t/m³Peso específico seco de dif. muestras: 1,44/1,46/1,48 t/m³Peso específico (Densidad) Proctor de una muestra: 1,57/1,68 t/m³Humedad óptima $W_{op} = 18,5 \%$

CUADRO 3

Límites de plasticidad del Cerro Asilo

	LL (%)	PL (%)	IP (%)
Muestra A	47,3	30,9	16,4
Muestra B	43,9	24,1	19,8
Muestra C	42,7	23,2	19,5

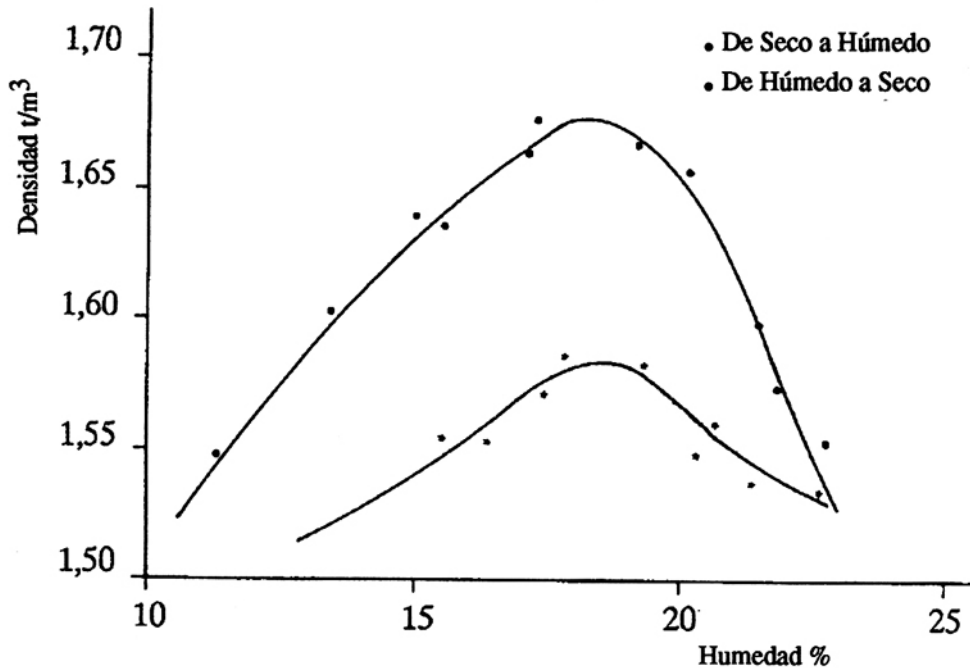


Fig. 4: Densidad Proctor de una muestra.

Según los análisis de rayos-X el suelo contiene en su parte fina caolinita e illita. En general, el material es apropiado para la construcción de la capa impermeable. Considerando sus componentes gruesos, resultaría técnicamente difícil conseguir una densidad y compactación que garantice una permeabilidad de k igual o menor a 10^{-9} m/s.

Se esperan dificultades en la realización técnica, sobre todo en las partes de terrazo con más pendiente. Aquí se recomienda una nivelación que permita trabajar con equipo pesado. Al construir el drenaje son necesarias mediciones exactas para establecer las relaciones correctas de los desniveles.

Durante los trabajos deberían instalarse pozos de observación del agua subterránea por debajo del escalonado principal, para poder controlar si existe una contaminación del agua y en que forma se desarrolla.

EL SITIO "CABEZAS"

El lugar previsto para el posible relleno sanitario de San José está situado a una distancia

de aproximadamente 100 km, cerca de la costa Pacífica. Para el transporte se dispone del ferrocarril.

Un antiguo trazado de la línea del tren que pasa por el lugar debe repararse. Junto con unas cuantas ventajas que el transporte por ferrocarril ofrece, existe el gran inconveniente de que cerca de la capital, en una zona muy poblada, habría que crear un vertedero como almacén intermedio, desde donde se cargaría al ferrocarril.

El lugar en sí es plano, es una depresión rodeada de colinas bajas. Se abre hacia el este en un pantano manglar que a su vez comunica con el mar. Al norte de este sitio corre el río Barranca. Las condiciones naturales se ven perjudicadas por la línea del ferrocarril y la carretera entre el pantano manglar y la costa.

Dentro de la depresión, al norte del sitio previsto para el vertedero, se realizó en febrero de 1993 un sondeo hasta una profundidad de 6 m. No se encontró agua subterránea. En el perfil aparece una arcilla agregada, de color gris oscuro, con una plasticidad rígida a blanda. Una prueba del suelo dió los resultados que se presentan en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Límites de plasticidad del suelo del sitio Cabezas

Límite Líquido	LL = 72,0 %
Límite Plástico	PL = 22,8 %
Índice de plasticidad	Ic = 42,2 %

Los contenidos de humedad se encuentran entre 26,2 % en la parte superior y 38,3 % en la parte inferior del suelo (Fig. 5).

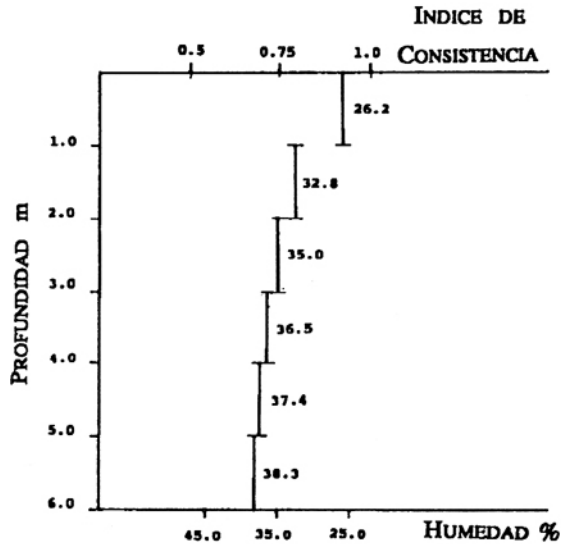


Fig. 5: Humedad en relación a la profundidad en la depresión de Cabezas.

Debido a un ensayo de relleno en el pozo de sondeo, se calculó una permeabilidad de $k = 4,5 \cdot 10^{-7}$ m/s, utilizando la fórmula de MAAG (1941)

$$k = (r/4 \cdot t) \cdot 2,303 (\lg h_1/h_2), \text{ donde}$$

r = radio interior de la tubería de relleno
 h_1 = posición del agua al principio del intervalo de medición ($t = t_2 - t_1$)
 h_2 = posición del agua al final del intervalo de medición ($t = t_2 - t_1$).

Los datos sólo dan una idea bastante general, sin embargo nos permite la conclusión precaria de que la base más próxima a la depresión está formada por una arcilla muy plástica. Debido a la gran cantidad de espacios vacíos causados por las raíces y grietas profundas, posee más permeabilidad de la que se esperaría según la plasticidad. Tanto la alta plasticidad como la tendencia a procesos de contracción son causas del gran porcentaje de montmorillonita presente.

Con relación a la permeabilidad, la base reúne las condiciones requeridas por un vertedero. Las condiciones no se cumplen si se juzga la situación bajo el punto de vista geotécnico.

Para evitar asentamientos, la base debe de poseer una dureza determinada, que le será dada por medio de un módulo de deformación de por lo menos $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$. Además, no debería ser sensible a los cambios en el contenido de humedad. En el caso citado hay que contar con grandes cambios en la posición del nivel freático. En la época lluviosa el nivel de las aguas subterráneas puede subir hasta la superficie del terreno. El material montmorillonítico está sometido a fuertes dilataciones y fenómenos de contracción. Pasa de plasticidad blanda a rígida y a una estado de dureza media. Aunque se impida una filtración del agua de lluvia mediante la construcción de un sistema impermeable en la base, el agua subterránea penetrará a través de los laterales por debajo del vertedero. En todos los casos aparecerán asentamientos debido al peso de la basura acumulada y de las dilataciones y encogimientos. Estos pueden llegar a deformar el sistema de impermeabilización y debilitar enormemente su función. Una impermeabilización eficaz de la base se compone de una capa de arcillas y una superficie de drenaje. Esta última debe tener una inclinación de 3-4 %, para la instalación de un conducto de infiltración. Por ello habrá que colocar una capa impermeable en los terrenos con pendiente.

El conducto de infiltración de las capas de drenaje en las depresiones debería tener también una inclinación de 3-4 % para traspasar el agua de infiltración a la tubería de acumulación (Fig. 6). En caso de posibles asentamientos, estos podrían originar cambios en el declive, lo que haría el sistema poco efectivo.

En el sitio Cabezas, la depresión del lugar es poco favorable para el conducto de agua de infiltración. Existe la dificultad de crear el desnivel necesario para la instalación de depuración del agua infiltrada.

Debido a la depresión es necesario cerrar herméticamente las colinas aledañas hasta la altura ocupada por la basura para la debida protección del agua subterránea. Las colinas tienen una inclinación que permitiría la construcción de la capa impermeable en un solo paso.

Existe la posibilidad de colocar los elementos del sistema de impermeabilización en la

Sistema de drenaje

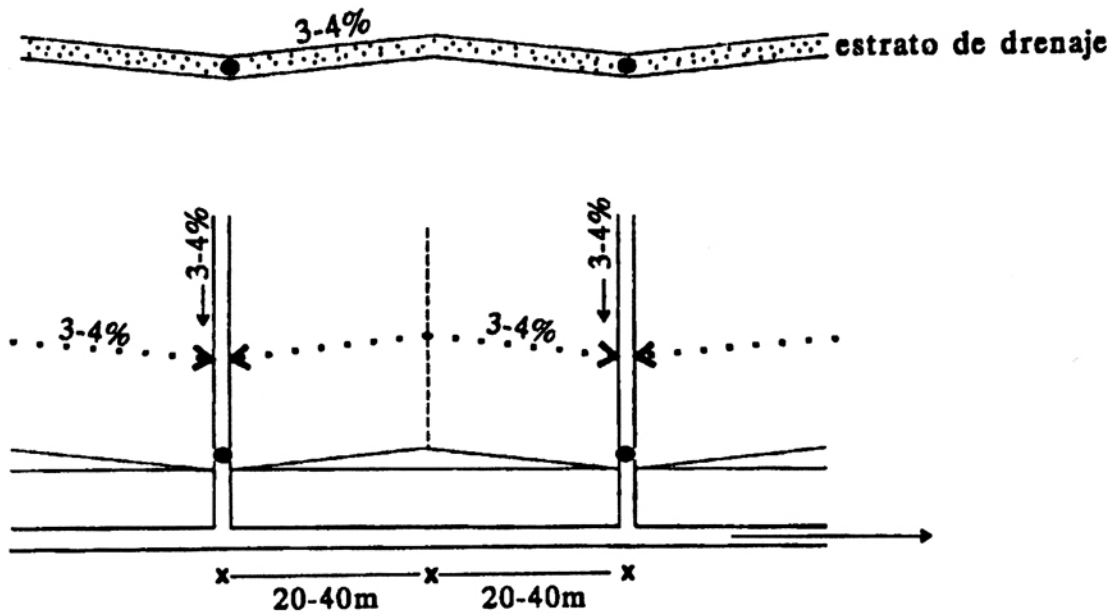


Fig. 6: Sistema de drenaje en un relleno sanitario.

colina inclinada durante el almacenamiento de la basura. Habrá que construir simultáneamente la capa de arcilla y la capa de drenaje. De manera general, el sitio Cabezas ofrece dificultades técnicas para la realización del sistema de impermeabilización y debido al tipo de suelo parece un sitio poco propicio.

caso del vertedero "Río Azul" es factible construir un sistema superior de impermeabilización sin mayores dificultades técnicas. Al contrario, el sitio "Cabezas" no presenta condiciones óptimas para una impermeabilización y la construcción del sistema de base ocasionará dificultades técnicas más serias.

CONCLUSIONES

Para evitar una contaminación del ambiente, los rellenos sanitarios deben ser construidos con un sistema de impermeabilización eficaz, tanto en la base como en la parte superior. En el

BIBLIOGRAFIA

MAAG, E., 1941: Methode zur feldmäßigen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. - Straße und Verkehr, 19: 335-338.