

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1992

MES	PRECIPI- TACION	EVAPOTRANS- PIRACION REAL	ESCORRENTIA	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA	INFIL- TRACION POTEN- CIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	74.9	10.5	22.5	41.9	0.0	38.9
Febrero	15.7	11.3	4.7	-0.3	-0.3	0.0
Marzo	18.7	13.3	5.6	-0.2	-0.5	0.0
Abril	25.4	14.2	7.6	3.6	0.0	0.6
Mayo	124.8	15.9	37.4	71.5	0.0	68.5
Junio	2.6	18.3	0.8	-16.5	-16.5	0.0
Julio	6.2	18.5	1.9	-14.2	-30.8	0.0
Agosto	57.5	17.3	17.3	23.0	-7.7	0.0
Septiembre	44.9	15.2	13.5	16.2	0.0	13.2
Octubre	33.6	13.6	10.1	9.9	0.0	6.9
Noviembre	22.0	11.4	6.6	4.0	0.0	1.0
Diciembre	11.4	10.5	3.4	-2.5	-2.5	0.0

Todas las unidades están en mm

Infiltración total = 129.10 mm/año

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1993

MES	PRECIPI- TACION	EVAPOTRANS- PIRACION REAL	ESCORRENTIA	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA	INFIL- TRACION POTEN- CIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	38.5	10.8	11.6	16.2	0.0	13.2
Febrero	21.5	10.7	6.5	4.4	0.0	1.4
Marzo	20.6	13.2	6.2	1.2	0.0	0.0
Abril	10.0	14.7	3.0	-7.7	-7.7	0.0
Mayo	95.0	16.5	28.5	50.0	0.0	47.0
Junio	267.0	16.8	80.1	170.1	0.0	167.1
Julio	0.1	18.0	0.0	-17.9	-17.9	0.0
Agosto	10.9	17.7	3.3	-10.1	-28.0	0.0
Septiembre	222.1	14.7	66.6	140.8	0.0	137.8
Octubre	21.0	13.1	6.3	1.6	0.0	0.0
Noviembre	13.0	11.4	3.9	-2.3	-2.3	0.0
Diciembre	2.5	10.6	0.8	-8.9	-11.2	0.0

Todas las unidades están en mm

Infiltración total = 366.50 mm/año

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1994

MES	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION REAL	ESCORRENTIA	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA	INFILTRACION POTENCIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	45.3	10.9	13.6	20.8	0.0	17.8
Febrero	8.1	10.5	2.4	-4.8	-4.8	0.0
Marzo	45.0	13.3	13.5	18.2	0.0	15.2
Abril	8.6	14.6	2.6	-8.6	-8.6	0.0
Mayo	61.5	16.8	18.5	26.3	0.0	23.3
Junio	33.2	17.7	10.0	5.5	0.0	2.5
Julio	7.5	18.7	2.3	-13.5	-13.5	0.0
Agosto	27.7	17.2	8.3	2.2	-11.3	0.0
Septiembre	238.3	14.7	71.5	152.1	0.0	149.1
Octubre	27.6	13.6	8.3	5.7	0.0	2.7
Noviembre	28.9	12.3	8.7	7.9	0.0	4.9
Diciembre	33.4	10.7	10.0	12.7	0.0	9.7

Todas las unidades están en mm

Infiltración total = 225.20 mm/año

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1995

MES	PRECIPI- TACION	EVAPOTRANS- PIRACION REAL	ESCORRENTIA	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA	INFIL- TRACION POTEN- CIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	9.3	10.8	2.8	-4.3	-4.3	0.0
Febrero	8.6	11.0	2.6	-5.0	-9.3	0.0
Marzo	17.6	13.0	5.3	-0.7	-10.0	0.0
Abril	4.4	14.9	1.3	-11.8	-21.8	0.0
Mayo	59.7	17.7	17.9	24.1	0.0	21.1
Junio	18.6	17.4	5.6	-4.4	-4.4	0.0
Julio	3.6	18.6	1.1	-16.1	-20.5	0.0
Agosto	187.4	17.0	56.2	114.2	0.0	111.2
Septiembre	20.8	15.1	6.2	-0.5	-0.5	0.0
Octubre	7.1	13.7	2.1	-8.7	-9.3	0.0
Noviembre	26.7	11.9	8.0	6.8	-2.5	0.0
Diciembre	12.2	10.5	3.7	-2.0	-4.5	0.0

Todas las unidades están en mm

Infiltración total= 132.3 mm/año

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1996

MES (1)	PRECIPI- TACION (2)	EVAPOTRANS- PIRACION REAL (3)	ESCORRENTIA (4)	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD (5)	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA (6)	INFIL- TRACION POTEN- CIAL (7)
Enero	13.8	10.9	4.1	-1.2	-1.2	0.0
Febrero	0.2	10.9	0.1	-10.8	-12.0	0.0
Marzo	0.0	12.9	0.0	-12.9	-24.9	0.0
Abril	13.1	14.9	3.9	-5.7	-30.6	0.0
Mayo	2.5	18.0	0.8	-16.3	-46.9	0.0
Junio	52.8	18.2	15.8	18.0	-28.1	0.0
Julio	5.6	19.0	1.7	-15.1	-43.2	0.0
Agosto	304.6	17.2	91.4	196.0	0.0	193.0
Septiembre	6.4	15.4	1.9	-10.9	-10.9	0.0
Octubre	84.5	13.7	25.4	45.5	0.0	42.5
Noviembre	9.6	11.9	2.9	-5.2	-5.2	0.0
Diciembre	1.9	10.6	0.6	-9.3	-14.5	0.0

Todas las unidades están en mm

Infiltración total= 235.50 mm/año

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1997

MES	PRECIPI- TACION	EVAPOTRANS- PIRACION REAL	ESCORRENTIA	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA	INFIL- TRACION POTEN- CIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	11.9	10.6	3.6	-2.3	-2.3	0.0
Febrero	25.8	10.5	7.7	7.6	0.0	4.6
Marzo	85.2	13.3	25.6	46.3	0.0	43.3
Abril	96.8	13.7	29.0	54.1	0.0	51.1
Mayo	86.6	16.4	26.0	44.2	0.0	41.2
Junio	58.1	17.2	17.4	23.5	0.0	20.5
Julio	5.1	18.7	1.5	-15.1	-15.1	0.0
Agosto	0.8	18.3	0.2	-17.7	-32.9	0.0
Septiembre	70.60	15.6	21.2	33.8	0.0	30.8
Octubre	141.2	13.3	42.4	85.5	0.0	82.5
Noviembre	25.2	11.5	7.6	6.1	0.0	3.1
Diciembre	4.6	10.4	1.4	-7.2	-7.2	0.0

Todas las unidades están en mm

Infiltración total = 277.10 mm/año

Tabla 6. Cantidad de agua que entra en el Relleno Sanitario (Continuación)
(Ing. Elías Vázquez Godina)

Año: 1998

MES	PRECIPITACION	EVAPOTRANSPIRACION REAL	ESCORRENTIA	SUBIDA (+) O PERDIDA (-) DE HUMEDAD	DEFICIT DE HUMEDAD EN EL MATERIAL DE COBERTURA	INFILTRACION POTENCIAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	0.1	11.4	0.0	-11.3	-11.3	0.0
Febrero	16.6	11.0	5.0	0.6	-10.7	0.0
Marzo	27.1	13.1	8.1	5.9	-4.8	0.0
Abril	15.2	14.9	4.6	-4.3	-9.1	0.0
Mayo	-	18.7	0.0	-18.7	-27.8	0.0
Junio	32.3	18.9	9.7	-3.7	-24.1	0.0
Julio	5.3	19.2	1.6	-15.5	-39.6	0.0
Agosto	66.5	17.7	20.0	28.9	-10.7	0.0
Septiembre	144.5	15.3	43.4	85.9	0.0	82.9
Octubre	70.5	13.3	21.2	36.1	0.0	33.1
Noviembre	55.0	12.0	16.5	26.5	0.0	23.5
Diciembre	-	-	0.0	-10.5	-10.5	0.0

Todas las unidades están en mm

Infiltración total= 139.50 mm/año

3.6.6 CALCULO DE LA RELACION RESIDUO/SUELO (Por: Ing. Elías Vázquez Godina)

Se determinó la relación residuo/material de cobertura, en función del peso específico compactado inicial, para un flujo de residuos sólidos de 3,562 toneladas diarias, que fueron colocados en niveles de 5 m con una anchura de celda de 50.0 m. La pendiente del frente de trabajo fue de 3:1. El peso específico de los residuos compactados fue de 750 kg/m³. El espesor de la cubierta diaria fue de 15 cm. Todos los datos anteriores fueron proporcionados por SIMEPRODESO.

A continuación se indica como fue calculada la relación residuo/suelo.

1.- Volumen diario de los residuos sólidos depositados

$$V = 3,562 \text{ T/d} \times 1000 \text{ kg/T} \times 1 \text{ m}^3/750 \text{ kg}$$

$$V = 4,749.33 \text{ m}^3$$

2.- Longitud de cada celda diaria

$$L = 4,749.33 / (5 \text{ m} \times 50 \text{ m}) = 19.0 \text{ m}$$

3.- Area superficial de las celdas

a) Para la parte superior de la celda

$$A_s = 19.0 \text{ m} \times 50 \text{ m} = 950.0 \text{ m}^2$$

b) Para el frente de la celda

$$A_f = 50 \times [(5 \text{ m})^2 + (25 \text{ m})^2]^{1/2}$$

$$A_f = 1,274.75 \text{ m}^2$$

c) Para el lado de la celda

$$A_l = 19.0 \times [(5 \text{ m})^2 + (25 \text{ m})^2]^{1/2}$$

$$A_l = 484.41 \text{ m}^2$$

4.- El volumen de suelo para la cubierta diaria es:

$$V_c = 0.15 \text{ m} \times (950.0 + 1,274.25 + 484.41)$$

$$V_c = 406.37 \text{ m}^3$$

5.- La relación residuo/suelo de cobertura es:

$$R_{rs} = 4,749.33 \text{ m}^3 / 406.37 \text{ m}^3$$

$$R_{rs} = 12:1$$

3.7 CALCULO DE LA PRODUCCION DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L. (Por: Ing. Elías Vázquez Godina de acuerdo al método recomendado por Tchobanoglus G. 1994).

3.7.1 Datos generales¹ para el cálculo de la producción de lixiviado.

3.7.1.1 Cantidad de residuos recibidos en el Relleno Sanitario

- a) Residuos colocados por día= 3,562 Ton.
- b) Número de días de explotación= 365 días
- c) Residuos colocados por año= 1.3×10^9 kg

3.7.1.2 Características de los residuos

- a) Peso específico compactado de los residuos= 750 kg/m^3
- b) Contenido de humedad inicial en los residuos= 20%

3.7.1.3 Características del relleno

3.7.1.3.1 Generales

- a) altura del nivel= 5.0 m
- b) relación residuo/suelo= 12:1 (Calculado)
- c) número de niveles= 5 (uno por año)

3.7.1.3.2 Material de cobertura

- a) peso específico del suelo= 1770 kg/m^3

¹ Todos los datos relacionados con el Relleno Sanitario fueron proporcionados por SIMEPRODESO. Excepto donde se indique.

3.7.1.3.3 Producción de gas

a) Se utilizarán los siguientes datos de producción de gas para estimar la cantidad total de gas producido por kg de residuos totales colocados en cada nivel,² así como el agua consumida en la formación del gas, el vapor de agua en el gas del relleno y el peso específico del gas.

Producción de gas, kg/m ³			
Final del año	Rápidamente degradables	Lentamente degradables	Total
1	0.000	0.000	0.000
2	0.059	0.000	0.059
3	0.103	0.001	0.104
4	0.073	0.002	0.076
5	0.044	0.003	0.047
6	0.015	0.004	0.019
7	0.000	0.005	0.005
8	0.000	0.004	0.004

Tomada de Tchobanoglous, G. 1994

a) agua consumida en la formación de gas del relleno= 0.160 kg/m³

b) agua presente como vapor de agua en el gas del relleno= 0.016 kg/m³

c) peso específico del gas del relleno= 1339 kg/m³

²

El organismo operador no proporcionó datos sobre la producción de gas, por lo tanto los datos de producción de gas y sus características fueron tomados de George Tchobanoglous, 1994. Hay que destacar que los valores que se presentan son los valores máximos que se pueden presentar para residuos orgánicos mezclados. Las cantidades reales de gas generado, generalmente son menores ya que todos los desechos orgánicos biodegradables no están completamente disponibles para su descomposición.

Peso de residuos sólidos = $[720 \text{ kg/m}^3 \times (5\text{m} \times 11/12) \times 1\text{m}^2]$

3.7.1.3.4 Capacidad de campo. kg

La capacidad de campo, en función del peso de sobrecarga, se expresa como:

$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$ sólidos = $3,437.5 \text{ kg} \times 0.80 = 2750 \text{ kg}$

donde:

FC = la fracción de agua en los residuos basándose en el peso seco 7.5 kg

W = Peso de sobrecarga calculado a una altura media de los residuos en el nivel en cuestión, kg. $6.41 \text{ cm} \times 1\text{m}^2/100\text{cm} \times 1\text{m}^2 \times 1000\text{kg/m}^3 = 164.1 \text{ kg}$

3.7.1.4 Cantidad de agua de lluvia que entra en la cubierta diaria del relleno. (Calculado en el punto 3.6.5. tabla 6).

a) Según los cálculos, la cantidad de agua de lluvia que entra en la cubierta diaria durante los primeros cinco años de operación del relleno es de:

año estudiado cantidad de lluvia (cm/año) En la segunda parte, se calculará la

1 (1991)	16.41
2 (1992)	12.91
3 (1993)	36.65
4 (1994)	22.52
5 (1995)	13.23

b) La cantidad de agua de lluvia que entra en la cubierta final después de cinco años de operación del relleno es de:

año cantidad de lluvia (cm/año)

6 (1996)	23.55
7 (1997)	27.71
8 (1998)	13.95

3.7.1.5 Los elementos del balance de aguas para el primer nivel se definen de la siguiente manera:

a) Peso del material de cobertura y de los residuos sólidos en cada nivel

Peso del material de cobertura = $[1770 \text{ kg/m}^3 \times (5\text{m} \times 1/12) \times 1\text{m}^2]$
 = 737.5 kg

$$\begin{aligned}\text{Peso de residuos sólidos} &= [720 \text{ kg/m}^3 \times (5\text{m} \times 11/12) \times 1\text{m}^2] \\ &= 3,437.5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\text{Peso total del nivel} = (737.5 + 3,437.5)\text{kg} = 4,175 \text{ kg}$$

b) $\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 3,437.5 \text{ kg} \times 0.80 = 2750 \text{ kg}$

c) $\text{Contenido de humedad de los residuos} = 3,437.5 \text{ kg} \times 0.20 = 687.5 \text{ kg}$

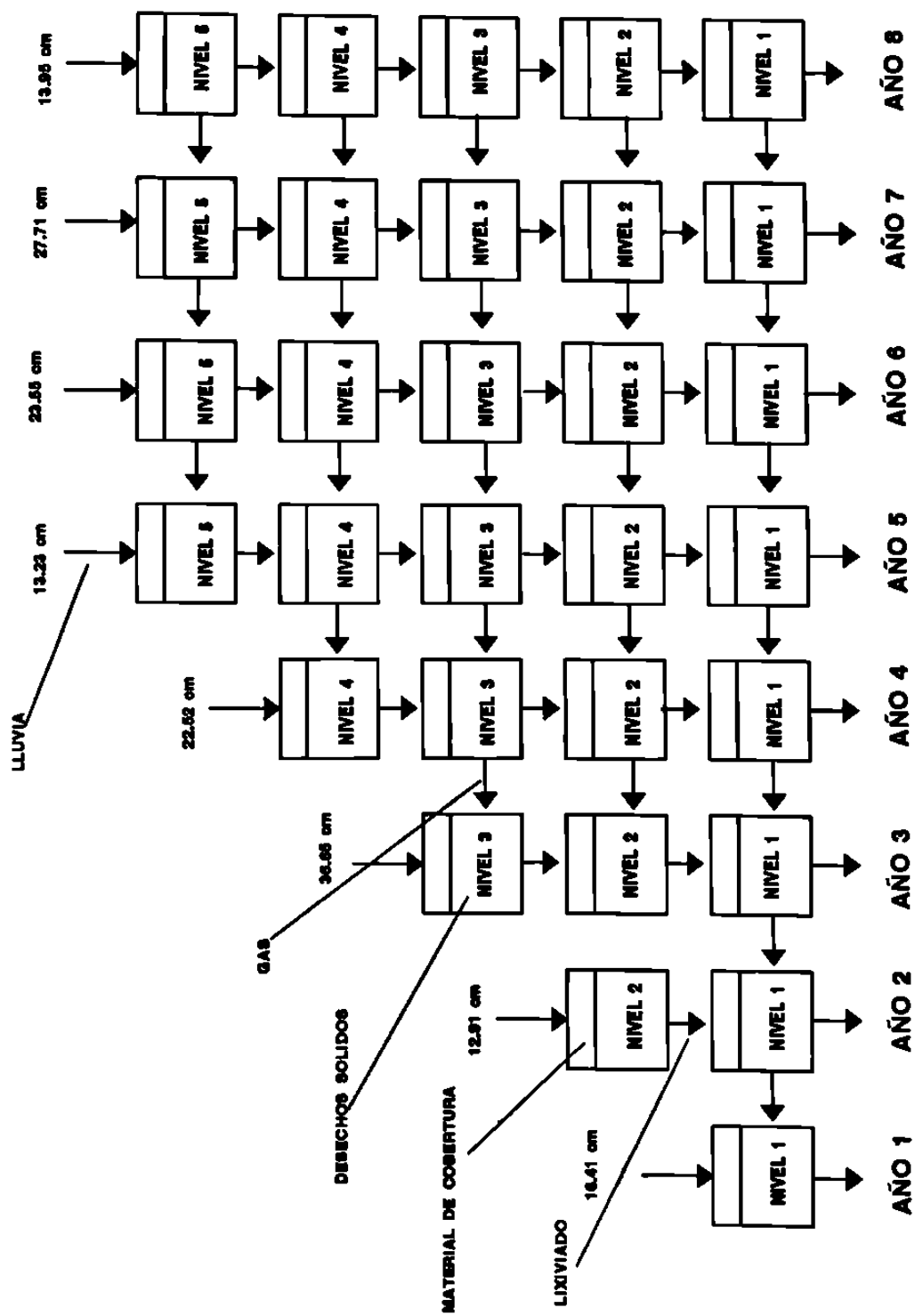
d) $\text{Peso de la lluvia que entra en el relleno}$

$$\text{Peso de la lluvia} = 16.41 \text{ cm} \times 1\text{m}/100\text{cm} \times 1\text{m}^2 \times 1000\text{kg/m}^3 = 164.1 \text{ kg}$$

e) $\text{Peso total del nivel} = (737.5 + 3,737.5 + 164.1) = 4,339.1 \text{ kg}$

Para calcular la producción de lixiviado se hará en dos partes; en la primera parte se calculará el lixiviado generado en el nivel uno de cada uno de los años en que estuvo en funcionamiento la parte del relleno estudiada, y que fueron cinco años. En la segunda parte, se calculará la cantidad de lixiviado producido por año en cada nivel del relleno terminado.

FIGURA 12. Representación de los niveles del Relleno Sanitario



Ing. Eifas Vázquez Godina

CUANTIFICACION Y EFECTOS DE LA PRODUCCION DE LIXIVIADOS
EN EL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L.

3.7.2 Parte 1

3.7.2.1 Se prepara un balance de aguas para el nivel 1 al final del primer año y se determina la cantidad de lixiviados que se puede esperar del nivel 1.

- a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 durante el primer año. Hay que resaltar que la producción de gas no comienza hasta el final del primer año, es decir, se supone que no se produce gas durante el primer año.

$$\text{Gas producido} = 3,437.5 \text{ kg} \times 0.0 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ = 0.0 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del gas producido} = 0.0 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 0.0 \text{ kg}$$

- b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 0.0 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 0.0 \text{ kg}$$

- c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 0.0 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 0.0 \text{ kg}$$

- d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1

$$\text{Peso del agua} = 687.5 \text{ kg} + 164.1 \text{ kg} = 851.55 \text{ kg}$$

- e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 1

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 2,750 \text{ kg} - [0.0 \text{ kg (gas del relleno)} - 0.0 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)}] = 2,750 \text{ kg}$$

- f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1. (El peso medio en el nivel 1 se producirá en el punto medio de los residuos en el nivel 1).

$$\text{Peso medio} = 0.50 (2,750 + 851.6) + 737.5 = 2,538.275 \text{ kg}$$

- g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[2538.275/(4536 + 2538.275)] = 0.40$$

- h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1} = 0.40 \times 2,750 \text{ kg} = 1,107.31 \text{ kg}$$

f) Lixiviado producido:

1 Lixiviado producido= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (851.55 - 1,107.31) \text{ kg} = -255.76 \text{ kg}$$

Como la capacidad de campo de los residuos es mayor que la cantidad real de agua presente en los residuos, no se producirá lixiviado.

j) Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del primer año

$$\text{Agua restante} = 851.55 \text{ kg} - 0.00 \text{ kg} = 851.55 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 1 al final de primer año

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 2,750 \text{ kg} + 851.55 \text{ kg} + 737.5 \text{ kg} = 4,339.10 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.2.2 Se prepara un balance de aguas para los niveles 1 y 2 al final del año 2 y se determina la cantidad de lixiviados que se puede esperar del primer nivel.

Hay que resaltar que los cálculos para definir los elementos del balance de agua para el primer nivel son iguales para todos los niveles, excluyendo los incisos 5d) y 5e) ya que la cantidad de lluvia es diferente para cada año.

- Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 2 = 129.10 kg
- Peso total del nivel 2 en el año 2 = 3,437.5 + 129.10 + 737.50 = 4,304.10 kg

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 durante año 2.

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.5 \text{ kg} \times 0.059 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ &= 202.80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso del gas producido} = 202.80 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 271.6 \text{ kg}$$

b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 202.80 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 32.5 \text{ kg}$$

c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 202.80 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 3.2 \text{ kg}$$

d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 2

$$\text{Peso del agua} = 851.55 \text{ kg} - 32.5 \text{ kg} - 3.2 \text{ kg} = 815.90 \text{ kg}$$

- e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 2**
- Peso seco de los residuos sólidos = 2,750 kg - [271.6 kg (gas del relleno) - 32.5 kg (agua consumida en la reacción de conversión)] = 2,510.90 kg**
- f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1. (El peso medio en el nivel 1 se producirá en el punto medio de los residuos en el nivel 1).**
- Peso medio = 4,304.10 kg (nivel 2) + 0.50 (2,510.90 + 815.90) + 737.5 = 6,704.97 kg**
- g) **Factor de capacidad de campo:**
- $$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$
- $$FC = 0.60 - (0.55)[6,704.97/(4536 + 6,704.97)] = 0.27$$
- h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**
- Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1 = 0.27 x 2,510.9 kg = 682.81 kg**
- i) **Cantidad de lixiviados producidos.**
- Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos**
- Lixiviados producidos = (815.90 - 682.81) kg = 133.05 kg**
- j) **Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 2**
- Agua restante = 815.90 kg - 133.05 Kg = 682.81 kg**
- k) **Peso total del nivel 1 al final del año 2**
- Peso total del nivel = residuos secos + agua restante + material de cobertura**
= 2,510.90 kg + 682.81 kg + 737.50 kg = 3,931.20 kg

3.7.2.3 Se prepara un balance de aguas para los niveles 1, 2 y 3 al final del año 3 y se determina la cantidad de lixiviados que se puede esperar del primer nivel.

- **Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 3 = 366.50 kg**
- **Peso total del nivel 3 al final del año 3 = 3,437.50 + 366.50 + 737.50 = 4,541.50 kg**

- a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 durante año 3.

$$\text{Gas producido} = 3,437.50 \text{ kg} \times 0.104 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ = 357.50 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del gas producido} = 357.60 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ = 478.7 \text{ kg}$$

- b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno
 Peso del agua consumida = $357.60 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 57.20 \text{ kg}$

- c) Peso del vapor de agua presente en el gas
 Peso del vapor de agua = $357.60 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 5.72 \text{ kg}$

- d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 3
 Peso del agua = $682.81 \text{ kg} - 57.20 \text{ kg} - 5.72 \text{ kg} = 425.80 \text{ kg}$

- e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 3

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 2,510.90 \text{ kg} - [478.70 \text{ kg (gas del relleno)} - 57.20 \text{ kg} \\ \text{(agua consumida en la reacción de conversión)}] = 2,089.40 \text{ kg}$$

- f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1.

$$\text{Peso medio} = 4,541.50 \text{ (nivel 3)} + 3,931.20 \text{ (nivel 2)} + 0.50 (2,089.40 + 752.90) + 737.50 \\ = 10,631.35 \text{ kg}$$

- g) Factor de capacidad de campo utilizando la siguiente ecuación:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[10,631.35/(4536 + 10,631.35)] = 0.21$$

- h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1} = 0.21 \times 2,089.40 \text{ kg} = 448.14 \text{ kg}$$

- i) Lixiviados producidos.

$$\text{Lixiviados producidos} = \text{agua real en residuos sólidos} - \text{capacidad de campo de los} \\ \text{residuos sólidos}$$

$$\text{Lixiviados producidos} = (752.90 - 448.14) \text{ kg} = 304.79 \text{ kg}$$

- j) Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 3

$$\text{Agua restante} = 752.90 - 304.79 \text{ kg} = 448.14 \text{ kg}$$

k) **Peso total del nivel 1 al final del año 3.**

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 2,089.40 \text{ kg} + 448.14 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 3,275.0 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.2.4 Se prepara un balance de aguas para los niveles 1, 2, 3 y 4 al final del año 4 y se determina la cantidad de lixiviados que se puede esperar del primer nivel.

Hay que resaltar que la cantidad desechada del nivel 2 al nivel 1 es igual a 304.79 kg

● **Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 4 = 225.20 kg**

● **Peso total del nivel 4 en el año 4 = 3,437.50 + 225.20 + 737.50 = 4,400.20 kg**

a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 al final del año 4.**

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.076 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ &= 261.30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del gas producido} &= 261.30 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ &= 349.80 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**
Peso del agua consumida = 261.30 m³ x 0.16 kg/m³ = 41.80 kg

c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**
Peso del vapor de agua = 261.30 m³ x 0.016 kg/m³ = 4.20 kg

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 4.**

$$\begin{aligned} \text{Peso del agua} &= 448.10 \text{ kg} - 41.80 \text{ kg} - 4.20 + 304.79 \text{ (lixiviados del nivel 2) kg} \\ &= 707.00 \text{ kg} \end{aligned}$$

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 4**

$$\begin{aligned} \text{Peso seco de los residuos sólidos} &= 2089.40 \text{ kg} - [349.80 \text{ kg (gas del relleno)} - 41.80 \text{ kg} \\ &\text{(agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,781.40 \text{ kg} \end{aligned}$$

f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1.**

$$\text{Peso medio} = 4,400.20 \text{ (nivel 4)} + 3,275.00 \text{ (nivel 3)} + 3,931.20 \text{ (nivel 2)} + 0.50 \text{ (1,781.40)}$$

$$+ 707.00) + 737.50 = 13,588.09 \text{ kg}$$

g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[13,588.09/(4536 + 13,588.09)] = 0.19$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1} = 0.19 \times 1,781.40 \text{ kg} = 334.28 \text{ kg}$$

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (707.00 - 334.28) \text{ kg} = 372.68 \text{ kg}$$

j) Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 4

$$\text{Agua restante} = 707.00 \text{ kg} - 372.68 \text{ kg} = 334.28 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 1 al final del año 4

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,781.40 \text{ kg} + 334.28 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2853.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.2.5 Se prepara un balance de aguas para los niveles 1, 2, 3, 4 y 5 al final del año 5 y se determina la cantidad de lixiviados que se puede esperar del primer nivel.

Hay que resaltar que la cantidad desechada del nivel 3 al nivel 2 es igual a 304.79 kg y del nivel 2 al nivel 1 es de 372.68 kg

- **Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 5 = 132.30 kg**

- **Peso total del nivel 5 en el año 5 = 3,437.50 + 132.30 + 735.30 = 4,307.30 kg**

a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 al final del año 5.**

$$\text{Gas producido} = 3,437.50 \text{ kg} \times 0.047 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ = 161.60 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del gas producido} = 161.60 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ = 216.3 \text{ kg}$$

b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**
Peso del agua consumida = $161.60 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 25.90 \text{ kg}$

c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**
Peso del vapor de agua = $161.60 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 2.60 \text{ kg}$

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 5.**

$$\text{Peso del agua} = 334.3 \text{ kg} - 25.90 \text{ kg} - 2.60 + 372.68 \text{ (lixiviados del nivel 2)kg} \\ = 678.50 \text{ kg}$$

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 5.**

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 1,781.40 \text{ kg} - [216.3 \text{ kg (gas del relleno)} - 25.90 \text{ kg} \\ \text{(agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1590.90 \text{ kg}$$

f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1.**

$$\text{Peso medio} = 4,307.30 \text{ (nivel 5)} + 2853.20 \text{ (nivel 4)} + 3,275.00 \text{ (nivel 3)} + 3931.20 \text{ (nivel} \\ \text{2)} + 0.50 (1591.0 + 678.50) + 737.50 = 16,238.89 \text{ kg}$$

g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[16,238.89/(4536 + 16,238.89)] = 0.17$$

h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos.**

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1} = 0.17 \times 1591.0 \text{ kg} = 270.59 \text{ kg}$$

i) **Lixiviados producidos.**

$$\text{Lixiviados producidos} = \text{agua real en residuos sólidos} - \text{capacidad de campo de los} \\ \text{residuos sólidos.}$$

$$\text{Lixiviados producidos} = (678.50 - 270.59) \text{ kg} = 407.93 \text{ kg}$$

j) **Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 5**

$$\text{Agua restante} = 678.50 \text{ kg} - 407.93 \text{ kg} = 270.59 \text{ kg}$$

k) **Peso total del nivel 1 al final del año 5**

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1591.0 \text{ kg} + 270.59 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2599.0 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3 Parte 2

Al llegar a la parte final del relleno, para determinar los lixiviados en el nivel 1, se calculará la producción de lixiviado por año y en cada uno de los niveles del relleno sanitario

3.7.3.1 Se calculará el lixiviado generado en cada uno de los niveles del relleno sanitario durante el año 6 (1996).

3.7.3.1.1 Se prepara un balance de aguas para determinar la cantidad de lixiviado en el nivel 5 al final del año 6.

● **Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 6 = 235.50 kg**

a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido para el nivel 5 al final del año 6.**

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.059 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 5} \\ &= 202.80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del gas producido} &= 202.80 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ &= 271.60 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**

$$\text{Peso del agua consumida} = 202.80 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 32.50 \text{ kg}$$

c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**

$$\text{Peso del vapor de agua} = 202.80 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 3.25 \text{ kg}$$

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 5.**

Hay que resaltar que la cantidad inicial de agua presente en el nivel, es igual a la humedad de los residuos más el agua infiltrada en el año 5.

$$\text{Peso del agua} = 687.5 \text{ kg} - 32.50 \text{ kg} - 3.25 + 235.50 \text{ (lluvia año 6)} + 132.30 \text{ (lluvia año 5)} = 1019.6 \text{ kg}$$

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 5 al final del año 6**

Peso seco de los residuos sólidos= 2750 kg - [271.60 kg (gas del relleno) - 32.50 kg (agua consumida en la reacción de conversión)]= 2,510.90 kg

f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 5.

Peso medio= 4,307.3 (peso del nivel 5 en el año 5) + 0.50 (2,510.90 + 1019.60) + 737.50 = 6,810.04 kg

g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[6,810.04/(4536 + 6810.04)] = 0.30$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 5 = 0.30 x 2,510.90 kg = 753.00 kg

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

Lixiviados producidos= (1,019.6 - 753.00) kg = 266.6 kg

j) Agua restante en el nivel 5 al final del año 6.

Agua restante= 1,019.6 - 266.6 kg = 753.00 kg

k) Peso total del nivel 5 al final del año 6

Peso total del nivel= residuos secos + agua restante + material de cobertura
= 1,510.90 kg + 753.00 kg + 737.50 kg = 3,001.14 kg

3.7.3.1.2 Se prepara un balance de aguas para calcular los lixiviados en el nivel 4 al final del año 6.

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 4 al final del año 6.

Gas producido= 3,437.50 kg x 0.104 m³/kg de residuos depositados en el nivel 4
= 357.50 m³

Peso del gas producido= 357.50 m³ x 1.339 kg/m³
= 478.7 kg

- b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**
Peso del agua consumida= $357.50 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 57.20 \text{ kg}$
- c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**
Peso del vapor de agua= $357.50 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 5.72 \text{ kg}$
- d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 4 al final del año 6**
Peso del agua= $682.8 \text{ kg} - 57.2 \text{ kg} - 5.72 \text{ kg} + 266.6 = 886.48 \text{ kg}$
- e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 4 al final del año 6**
Peso seco de los residuos sólidos= $2,51.90 \text{ kg} - [478.70 \text{ kg (gas del relleno) - 57.20 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)}] = 2,089.40 \text{ kg}$
- f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 4.**
Peso medio= $4307.30 + 3001.14 + 0.50 (1,219.13 + 886.48) + 364.30 = 9,533.88 \text{ kg}$
- g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[9,533.88/(4536 + 9,533.88)] = 0.23$$
- h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**
Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 4 = $0.23 \times 2,089.4 \text{ kg} = 480.56 \text{ kg}$
- i) **Lixiviados producidos.**
Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos
Lixiviados producidos= $(886.48 - 480.56) \text{ kg} = 405.92 \text{ kg}$
- j) **Cantidad de agua restante en el nivel 4 al final del año 6**
Agua restante= $886.48 \text{ kg} - 405.92 \text{ kg} = 480.56 \text{ kg}$
- k) **Peso total del nivel 4 al final del año 6**
Peso total del nivel= residuos secos + agua restante + material de cobertura
= $2,089.4 \text{ kg} + 480.56 \text{ kg} + 737.5 \text{ kg} = 3,307.46 \text{ kg}$

3.7.3.1.3 Se prepara un balance de aguas para calcular los lixiviados del nivel 3 al final del año 6.

- a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 3 al final del año 6.

$$\text{Gas producido} = 3,437.5 \text{ kg} \times 0.076 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 3} \\ = 261.3 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del gas producido} = 261.3 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 349.8 \text{ kg}$$

- b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 261.3 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 41.80 \text{ kg}$$

- c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 261.3 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 4.20 \text{ kg}$$

- d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 3 al final del año 6.

$$\text{Peso del agua} = 448.1 \text{ kg} - 41.80 \text{ kg} - 4.20 \text{ kg} + 405.92 \text{ kg} = 808.02 \text{ kg}$$

- e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 3 al final del año 6.

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 2089.40 \text{ kg} - [349.80 \text{ kg (gas del relleno)} - 41.80 \text{ kg} \\ \text{(agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,781.40 \text{ kg}$$

- f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 3.

$$\text{Peso medio} = 4,307.3 + 3,001.14 + 3307.46 + 0.50 (1,781.40 + 808.02) + 737.50 = \\ 12,648.11 \text{ kg}$$

- g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[12,648.11/(4536 + 12,648.11)] = 0.195$$

- h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 3} = 0.195 \times 1781.40 \text{ kg} = 347.37 \text{ kg}$$

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (808.02 - 347.37) \text{ kg} = 460.65 \text{ kg}$$

j) Cantidad de agua restante en el nivel 3 al final del año 6

$$\text{Agua restante} = 808.02 - 460.65 \text{ kg} = 347.37 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 3 al final del año 6

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,781.40 \text{ kg} + 347.37 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,866.27 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.1.4 Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 2 al final del año 6.

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 2 al final del año 6.

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.047 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 2} \\ &= 161.60 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso del gas producido} = 161.60 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 216.30 \text{ kg}$$

b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 161.60 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 25.90 \text{ kg}$$

c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 161.60 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 2.60 \text{ kg}$$

d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 2 al final del año 6.

$$\begin{aligned} \text{Peso del agua} &= 334.30 \text{ kg} - 25.90 \text{ kg} - 2.60 + 460.65 \text{ (lixiviados del nivel 3) kg} \\ &= 766.45 \text{ kg} \end{aligned}$$

e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 2 al final del año 6

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 1,781.40 \text{ kg} - [216.30 \text{ kg (gas del relleno)} - 25.90 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,591.00 \text{ kg}$$

f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 2.

$$\text{Peso medio} = 4,307.3 + 3,001.14 + 3,307.46 + 2,866.27 + 0.50 (1,591.00 + 766.45) +$$

$$737.50 = 15,398.395 \text{ kg}$$

g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[15,398.395/(4536 + 15,398.395)] = 0.175$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 2} = 0.175 \times 1,591.00 \text{ kg} = 278.425 \text{ kg}$$

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (766.45 - 278.425) \text{ kg} = 488.025 \text{ kg}$$

j) Cantidad de agua restante en el nivel 2 al final del año 6

$$\text{Agua restante} = 766.45 \text{ kg} - 488.025 \text{ kg} = 278.425 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 2 al final del año 6

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,591.00 \text{ kg} + 278.425 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,606.925 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.1.5 Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 1 al final del año 6.

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 al final del año 6.

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.019 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ &= 65.30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del gas producido} &= 65.30 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ &= 87.50 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 65.30 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 10.50 \text{ kg}$$

c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 65.30 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 1.0 \text{ kg}$$

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 6.**

$$\text{Peso del agua} = 270.60 \text{ kg} - 10.50 \text{ kg} - 1.0 + 488.025 \text{ (lixiviados del nivel 2) kg} = 747.125 \text{ kg}$$

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 6**

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 1,591.00 \text{ kg} - [87.50 \text{ kg (gas del relleno)} - 10.50 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1514.00 \text{ kg}$$

f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1.**

$$\text{Peso medio} = 4,307.30 + 3,001.14 + 3,307.46 + 2,866.27 + 2,606.925 + 0.50 (1,514.00 + 747.125) + 364.30 = 17,957.158 \text{ kg}$$

g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[17,957.158/(4536 + 17,957.158)] = 0.161$$

h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1} = 0.161 \times 1,514.00 \text{ kg} = 243.754 \text{ kg}$$

i) **Lixiviados producidos.**

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (747.125 - 243.754) \text{ kg} = 503.37 \text{ kg}$$

j) **Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 6**

$$\text{Agua restante} = (747.125 - 503.371) \text{ kg} = 243.754 \text{ kg}$$

k) **Peso total del nivel 1 al final del año 6**

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,514.00 \text{ kg} + 243.754 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,495.254 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.2 Se calculará el lixiviado generado en cada uno de los niveles del relleno sanitario durante el Año 7 (1997).

3.7.3.2.1 Se prepara un balance de aguas para calcular la cantidad de lixiviados en el nivel 5 en el año 7.

- **Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 7 = 277.10 kg**
- a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 5 durante año 7.**
Gas producido= 3,437.50 kg x 0.104 m³/kg de residuos depositados en el nivel 5
= 357.50 m³
Peso del gas producido= 357.50 m³ x 1.339 kg/m³ = 478.70 kg
- b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**
Peso del agua consumida= 357.50 m³ x 0.16 kg/m³= 57.20 kg
- c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**
Peso del vapor de agua= 357.50 m³ x 0.016 kg/m³= 5.72 kg
- d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 5 al final del año 7**
Peso del agua= 753 kg - 57.20 kg - 5.72 + 277.10 (lluvia en el año 7) kg= 967.20 kg
- e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 5 al final del año 7**
Peso seco de los residuos sólidos= 2,510.90 kg - [478.70 kg (gas del relleno) - 57.20 kg (agua consumida en la reacción de conversión)]= 2089.40 kg
- f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 5.**
Peso medio= 3,001.14 + 0.50 (2,089.40 + 967.20) + 737.50 = 5,266.94 kg
- g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[5,266.94/(4536 + 5,266.94)] = 0.30$$
- h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**
Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 5= 0.30 x 2,089.40 kg= 626.82 kg
- i) **Lixiviados producidos.**
Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

Lixiviados producidos= (967.20 - 626.82) kg= 340.38 kg

j) **Cantidad de agua restante en el nivel 5 al final del año 7**

Agua restante= 967.20 - 340.38 kg= 626.82 kg

k) **Peso total del nivel 5 al final del año 7**

**Peso total del nivel= residuos secos + agua restante + material de cobertura
= 2,089.40 kg + 626.82 kg + 737.50 kg= 3,453.72 kg**

3.7.3.2.2 Se prepara un balance de aguas para calcular la cantidad de lixiviados en el nivel 4 al final del año 7.

a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 4 al final del año 7.**

**Gas producido= 3,437.50 kg x 0.076 m³/kg de residuos depositados en el nivel 4
= 261.30 m³**

Peso del gas producido= 261.30 m³ x 1.339 kg/m³ = 349.80 kg

b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**

Peso del agua consumida= 261.30 m³ x 0.16 kg/m³= 41.80 kg

c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**

Peso del vapor de agua= 261.30 m³ x 0.016 kg/m³= 4.20 kg

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 4 al final del año 7.**

Peso del agua= 448.10 kg - 41.80 kg - 4.20 + 340.38 (lixiviados del nivel 5) kg= 742.48 kg

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 4 al final del año 7**

Peso seco de los residuos sólidos= 2,089.40 kg - [349.80 kg (gas del relleno) - 41.80 kg (agua consumida en la reacción de conversión)]= 1,781.40 kg

f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 4.**

Peso medio= 3,001.14 + 3,453.72 + 0.50 (1,781.40 + 742.48) + 737.50 = 8,454.30 kg

g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[8,454.30/(4536 + 8,454.30)] = 0.24$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 4} = 0.24 \times 1781.40 \text{ kg} = 427.54 \text{ kg}$$

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (742.48 - 427.54) \text{ kg} = 314.94 \text{ kg}$$

j) Cantidad de agua restante en el nivel 4 al final del año 7

$$\text{Agua restante} = 742.48 \text{ kg} - 314.94 \text{ kg} = 427.54 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 4 al final del año 7

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,781.40 \text{ kg} + 427.54 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,946.44 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.2.3 Se prepara un balance de aguas para calcular la cantidad de lixiviados en el nivel 3 al final del año 7.

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 3 al final del año 7.

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.047 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 3} \\ &= 161.60 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso del gas producido} = 161.60 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 216.30 \text{ kg}$$

b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 161.60 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 25.90 \text{ kg}$$

c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 161.60 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 2.60 \text{ kg}$$

d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 3 al final del año 7.

$$\text{Peso del agua} = 334.30 \text{ kg} - 25.90 \text{ kg} - 2.60 + 314.94 \text{ (lixiviados nivel 4) kg} = 620.74 \text{ kg}$$

e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 3 al final del año 7

Peso seco de los residuos sólidos= 1781.40 kg - [216.60 kg (gas del relleno) - 25.90 kg (agua consumida en la reacción de conversión)]= 1591.00 kg

f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 3.

Peso medio= 3,001.14 + 3,453.72 + 2,946.44 + 0.50 (1591.00 + 620.74) + 737.50 = 11,244.67 kg

g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[11,244.67/(4536 + 11,244.67)] = 0.21$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 3= 0.21 x 1,591.00 kg= 334.11 kg

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

Lixiviados producidos= (620.74 - 334.11) kg= 286.63 kg

j) Cantidad de agua restante en el nivel 3 al final del año 7.

Agua restante= 620.74 kg - 286.63 kg= 334.11 kg

k) Peso total del nivel 3 al final del año 7.

Peso total del nivel= residuos secos + agua restante + material de cobertura
= 1,591.00 kg + 334.11 kg + 737.50 kg= 2,662.61 kg

3.7.3.2.4 Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 2 al final del año 7.

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 2 al final del año 7.

Gas producido= 3,437.50 kg x 0.019 m³/kg de residuos depositados en el nivel 2
= 65.30 m³

Peso del gas producido= 65.30 m³ x 1.339 kg/m³ = 87.50 kg

- b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**
Peso del agua consumida= $65.30 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 10.50 \text{ kg}$
- c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**
Peso del vapor de agua= $65.30 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 1.0 \text{ kg}$
- d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 2 al final del año 7.**
Peso del agua= $270.60 \text{ kg} - 10.50 \text{ kg} - 1.0 + 286.63 \text{ (lixiviados del nivel 3) kg} = 545.73 \text{ kg}$
- e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 2 al final del año 7**
Peso seco de los residuos sólidos= $1,591.00 \text{ kg} - [87.50 \text{ kg (gas del relleno)} - 10.50 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,514 \text{ kg}$
- f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 2.**
Peso medio= $3,001.14 + 3,453.72 + 2,946.44 + 2,662.61 + 0.50 (1,514.00 + 545.73) + 737.50 = 13,831.275 \text{ kg}$
- g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[13,831.275/(4536 + 13,831.275)] = 0.186$$
- h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**
Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 2= $0.186 \times 1,514.00 \text{ kg} = 281.60 \text{ kg}$
- i) **Lixiviados producidos.**
Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos
Lixiviados producidos= $(545.73 - 281.60) \text{ kg} = 264.13 \text{ kg}$
- j) **Cantidad de agua restante en el nivel 2 al final del año 7**
Agua restante= $(545.63 - 264.13) \text{ kg} = 281.60 \text{ kg}$

k) **Peso total del nivel 2 al final del año 7.**

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,514.00 \text{ kg} + 281.60 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,533.10 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.2.5 **Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 1 al final del año 7.**

a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 al final del año 7.**

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.005 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ &= 17.20 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del gas producido} &= 17.20 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ &= 23.00 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**

$$\text{Peso del agua consumida} = 17.20 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 2.80 \text{ kg}$$

c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**

$$\text{Peso del vapor de agua} = 17.20 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 0.28 \text{ kg}$$

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 7.**

$$\text{Peso del agua} = 270.20 \text{ kg} - 2.80 \text{ kg} - 0.28 + 264.13 \text{ (lixiviados nivel 2) kg} = 531.25 \text{ kg}$$

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 7**

$$\begin{aligned} \text{Peso seco de los residuos sólidos} &= 1,514.00 \text{ kg} - [23.00 \text{ kg (gas del relleno)} - 2.80 \text{ kg} \\ &\text{(agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,493.60 \text{ kg} \end{aligned}$$

f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1.**

$$\begin{aligned} \text{Peso medio} &= 3,001.14 + 3,453.72 + 2,946.44 + 2,662.61 + 2,533.10 + 0.50 (1,493.60 \\ &+ 531.25) + 737.50 = 16,346.935 \text{ kg} \end{aligned}$$

g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[16,346.935/(4536 + 16,346.935)] = 0.17$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1} = 0.17 \times 1,493.60 \text{ kg} = 253.91 \text{ kg}$$

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (531.25 - 253.91) \text{ kg} = 277.34 \text{ kg}$$

j) Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 7

$$\text{Agua restante} = (531.25 - 277.34) \text{ kg} = 253.91 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 1 al final del año 7

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,493.60 \text{ kg} + 253.91 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,485.01 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.3 Se calculará el lixiviado generado en cada uno de los niveles del relleno sanitario durante el año 8 (1998).

3.7.3.3.1 Se prepara un balance de aguas para calcular la cantidad de lixiviados en el nivel 5 al final del año 8.

● **Peso de la lluvia que entra al relleno en el año 8 = 139.50 kg**

a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 5 al final del año 8.**

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.076 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 5} \\ &= 261.30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso del gas producido} = 261.30 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 349.80 \text{ kg}$$

b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**

$$\text{Peso del agua consumida} = 261.30 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 41.80 \text{ kg}$$

c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**

$$\text{Peso del vapor de agua} = 261.30 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 4.20 \text{ kg}$$

d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 5 al final del año 8.**

$$\text{Peso del agua} = 626.82 \text{ kg} - 41.80 \text{ kg} - 4.20 + 139.50 \text{ (lluvia en el año 8)} \text{ kg} = 720.32 \text{ kg}$$

- e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 5 al final del año 8**
- Peso seco de los residuos sólidos = 2,089.40 kg - [349.80 kg (gas del relleno) - 41.80 kg (agua consumida en la reacción de conversión)] = 1781.40 kg**
- f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 5.**
- Peso medio = 3453.72 + 0.50 (1,81.40 + 720.32) + 737.50 = 5,442.08 kg**
- g) **Factor de capacidad de campo:**
- $$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$
- $$FC = 0.60 - (0.55)[5,442.08/(4536 + 5,442.08)] = 0.30$$
- h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**
- Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 5 = 0.30 x 1,781.40 kg = 534.42 kg**
- i) **Lixiviados producidos.**
- Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos**
- Lixiviados producidos = (720.32 - 534.42) kg = 185.90 kg**
- j) **Cantidad de agua restante en el nivel 5 al final del año 8.**
- Agua restante = 720.32 kg - 185.90 kg = 534.42 kg**
- k) **Peso total del nivel 5 al final del año 8**
- Peso total del nivel = residuos secos + agua restante + material de cobertura**
= 1,781.40 kg + 534.42 kg + 737.50 kg = 3,053.32 kg
- 3.7.3.3.2 Se prepara un balance de aguas para calcular la cantidad de lixiviados en el nivel 4 al final del año 8**
- a) **Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 4 al final del año 8.**
- Gas producido = 3,437.50 kg x 0.047 m³/kg de residuos depositados en el nivel 4**
= 161.60 m³
- Peso del gas producido = 161.60 m³ x 1.339 kg/m³ = 216.30 kg**

- b) **Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno**
Peso del agua consumida= $161.60 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 25.90 \text{ kg}$
- c) **Peso del vapor de agua presente en el gas**
Peso del vapor de agua= $161.60 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 2.60 \text{ kg}$
- d) **Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 4 al final del año 8.**
Peso del agua= $334.30 \text{ kg} - 25.90 \text{ kg} - 2.60 + 185.90 \text{ (lixiviado nivel 5) kg} = 491.70 \text{ kg}$
- e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 4 al final del año 8**
Peso seco de los residuos sólidos= $1781.40 \text{ kg} - [261.30 \text{ kg (gas del relleno) - } 25.90 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)] = 1,591.00 \text{ kg}$
- f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 4.**
Peso medio= $3,453.72 + 3,053.32 + 0.50 (1,591.00 + 491.70) + 737.50 = 8,285.89 \text{ kg}$
- g) **Factor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[8,285.89/(4536 + 8,285.89)] = 0.24$$
- h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**
Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 4= $0.24 \times 1,591.00 \text{ kg} = 381.84 \text{ kg}$
- i) **Lixiviados producidos.**
Lixiviados producidos= agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos
Lixiviados producidos= $(491.70 - 381.84) \text{ kg} = 109.86 \text{ kg}$
- j) **Cantidad de agua restante en el nivel 4 al final del año 8**
Agua restante= $491.70 - 109.86 \text{ kg} = 381.84 \text{ kg}$
- k) **Peso total del nivel 4 al final del año 8**
Peso total del nivel= residuos secos + agua restante + material de cobertura
= $1,591.00 \text{ kg} + 381.84 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,710.34 \text{ kg}$

3.7.3.3.3 Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 3 al final del año 8.

- a) Calcular la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 3 al final del año 8.

$$\text{Gas producido} = 3,437.50 \text{ kg} \times 0.019 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 3} \\ = 65.30 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del gas producido} = 65.30 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 87.50 \text{ kg}$$

- b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 65.30 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 10.50 \text{ kg}$$

- c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 65.30 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 1.0 \text{ kg}$$

- d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 3 al final del año 8.

$$\text{Peso del agua} = 270.60 \text{ kg} - 10.50 \text{ kg} - 1.0 + 109.86 \text{ (Lixiviados nivel 4) kg} = 368.96 \text{ kg}$$

- e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 3 al final del año 8

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 1591 \text{ kg} - [87.50 \text{ kg (gas del relleno)} - 10.50 \text{ kg} \\ \text{(agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,514.00 \text{ kg}$$

- f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 3.

$$\text{Peso medio} = 3,453.72 + 3,053.32 + 2,710.34 + 0.50 (1,514.00 + 368.90) + 737.50 \\ = 10,896.36 \text{ kg}$$

- g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[10,896.36/(4536 + 10,896.36)] = 0.21$$

- h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 3} = 0.21 \times 1,514.00 \text{ kg} = 217.94 \text{ kg}$$

- i) Lixiviados producidos.

$$\text{Lixiviados producidos} = \text{agua real en residuos sólidos} - \text{capacidad de campo de los} \\ \text{residuos sólidos}$$

$$\text{Lixiviados producidos} = (368.96 - 317.94) \text{ kg} = 51.02 \text{ kg}$$

- j) Cantidad de agua restante en el nivel 3 al final del año 8

$$\text{Agua restante} = (368.96 - 51.02) \text{ kg} = 317.94 \text{ kg}$$

- k) Peso total del nivel 3 al final del año 8

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,514.00 \text{ kg} + 317.94 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,569.44 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.3.4 Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 2 al final del año 8.

- a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 2 al final del año 8.

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.005 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 2} \\ &= 17.20 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso del gas producido} = 17.20 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 = 23.00 \text{ kg}$$

- b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 17.20 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 2.80 \text{ kg}$$

- c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 17.20 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 0.28 \text{ kg}$$

- d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 2 al final del año 8.

$$\text{Peso del agua} = 278.425 \text{ kg} - 2.80 \text{ kg} - 0.28 + 51.02 \text{ (lixiviado nivel 3)} \text{ kg} = 326.365 \text{ kg}$$

- e) Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 2 al final del año 8

$$\text{Peso seco de los residuos sólidos} = 1,591.00 \text{ kg} - [23.00 \text{ kg (gas del relleno)} - 2.80 \text{ kg (agua consumida en la reacción de conversión)}] = 1,565.20 \text{ kg}$$

- f) Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 2.

$$\begin{aligned} \text{Peso medio} &= 3,453.72 + 3,53.32 + 2,710.34 + 2,569.44 + 0.50 (1,565.20 + 326.365) \\ &+ 737.50 = 13,470.1025 \text{ kg} \end{aligned}$$

- g) Factor de capacidad de campo:

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[13,470.1025 / (4536 + 13,470.1025)] = 0.19$$

h) Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 2} = 0.19 \times 1,565.20 \text{ kg} = 297.388 \text{ kg}$$

i) Lixiviados producidos.

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

$$\text{Lixiviados producidos} = (326.365 - 297.388) \text{ kg} = 28.98 \text{ kg}$$

j) Cantidad de agua restante en el nivel 2 al final del año 8

$$\text{Agua restante} = (326.365 - 28.98) \text{ kg} = 297.388 \text{ kg}$$

k) Peso total del nivel 2 al final del año 8

$$\begin{aligned} \text{Peso total del nivel} &= \text{residuos secos} + \text{agua restante} + \text{material de cobertura} \\ &= 1,565.20 \text{ kg} + 297.388 \text{ kg} + 737.50 \text{ kg} = 2,600.10 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.7.3.3.5 Se prepara un balance de aguas para calcular la formación de lixiviados en el nivel 1 al final del año 8.

a) Se calcula la cantidad y el peso del gas producido en el nivel 1 al final del año 8.

$$\begin{aligned} \text{Gas producido} &= 3,437.50 \text{ kg} \times 0.004 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ de residuos depositados en el nivel 1} \\ &= 13.80 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del gas producido} &= 13.80 \text{ m}^3 \times 1.339 \text{ kg/m}^3 \\ &= 18.40 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) Peso del agua consumida en la producción del gas del relleno

$$\text{Peso del agua consumida} = 13.80 \text{ m}^3 \times 0.16 \text{ kg/m}^3 = 2.20 \text{ kg}$$

c) Peso del vapor de agua presente en el gas

$$\text{Peso del vapor de agua} = 13.80 \text{ m}^3 \times 0.016 \text{ kg/m}^3 = 0.22 \text{ kg}$$

d) Peso del agua en los residuos sólidos en el nivel 1 al final del año 8.

$$\text{Peso del agua} = 253.91 \text{ kg} - 2.20 \text{ kg} - 0.22 + 28.98 \text{ (lixiviado nivel 2)} \text{ kg} = 280.47 \text{ kg}$$

e) **Peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 8**

Peso seco de los residuos sólidos = 1,493.60 kg - [18.30 kg (gas del relleno) - 2.20 kg (agua consumida en la reacción de conversión)] = 1,477.40 kg

f) **Peso medio sobre los residuos colocados en el nivel 1.**

Peso medio = 3,453.72 + 3,053.32 + 2,710.34 + 2,569.44 + 2,600.10 + 0.50 (1,477.40 + 280.47) + 737.50 = 16,003.405 kg

g) **Fctor de capacidad de campo:**

$$FC = 0.60 - (0.55)[W/(4536 + W)]$$

$$FC = 0.60 - (0.55)[16,003.405/(4536 + 16,003.405)] = 0.17$$

h) **Cantidad de agua que puede retenerse en los residuos sólidos**

Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1 = 0.17 x 1,477.40 kg = 251.175 kg

i) **Lixiviados producidos.**

Lixiviados producidos = agua real en residuos sólidos - capacidad de campo de los residuos sólidos

Lixiviados producidos = (280.47 - 251.175) kg = 29.30 kg

j) **Cantidad de agua restante en el nivel 1 al final del año 8**

Agua restante = (280.47 - 29.30) kg = 251.175 kg

k) **Peso total del nivel 1 al final del año 8**

**Peso total del nivel = residuos secos + agua restante + material de cobertura
= 1,477.40 kg + 251.175 kg + 737.50 kg = 2466.18 kg**

3.8 PRODUCCION TOTAL DE LIXIVIADOS (Por: Ing. Elías Vázquez Godina).

El cálculo de la producción de lixiviados se hizo para un metro cuadrado, ahora hay que estimar la cantidad total de lixiviado en toda el área estudiada del relleno.

3.8.1 El área total ocupada por el relleno sanitario es:

a) El peso total de los residuos sólidos colocados en un nivel del relleno sanitario de 1 m² y 5 m de altura= 2,750 kg/m².año

b) El área total ocupada por cada nivel expresada en m² es:

$$\text{Area total} = (1.3 \times 10^9 \text{ kg/año}) / (2,750 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año}) = 472,727.27 \text{ m}^2$$

3.8.2 Para calcular el factor de conversión y transformar los kilogramos de lixiviado obtenidos por m² a m³/año para el relleno completo tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Factor de conversión} &= (1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año} \cdot 472,727.27 \text{ m}^2) / 1000 \text{ kg/m}^3 * \\ &= 1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año} \cdot 472.727 \end{aligned}$$

$$1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año} = 472.727 \text{ m}^3/\text{año}$$

* En el departamento de Ingeniería Ambiental se determinó la densidad del lixiviado y el resultado fue de 1.01 g/ml. Para casos prácticos generalmente se toma como 1.0 g/ml

Tabla 7. Producción de lixiviados en cada nivel del relleno sanitario (kg/m²)

AÑO	NIVEL DEL RELLENO SANITARIO				
	1	2	3	4	5
(1) 1991	0				
(2) 1992	133.05	0			
(3) 1993	304.79	133.05	0		
(4) 1994	372.68	304.79	133.05	0	
(5) 1995	407.93	372.68	304.79	133.05	0
(6) 1996	503.37	488.025	460.65	405.92	266.6
(7) 1997	277.34	264.13	286.63	314.94	340.38
(8) 1998	29.30	28.98	51.02	109.86	185.90

Ing. Elias Vázquez Godina

Tabla 8. Producción Total de Lixiviado en el fondo del relleno sanitario

PRODUCCION TOTAL DE LIXIVIADO		
AÑO	kg/m ²	m ³ /AÑO
(1) 1991	0.0	0.0
(2) 1992	133.05	62,896.32
(3) 1993	304.79	144,082.46
(4) 1994	372.68	176,175.89
(5) 1995	407.93	192,839.52
(6) 1996	503.37	237,956.59
(7) 1997	277.34	131,106.11
(8) 1998	29.30	13,850.90

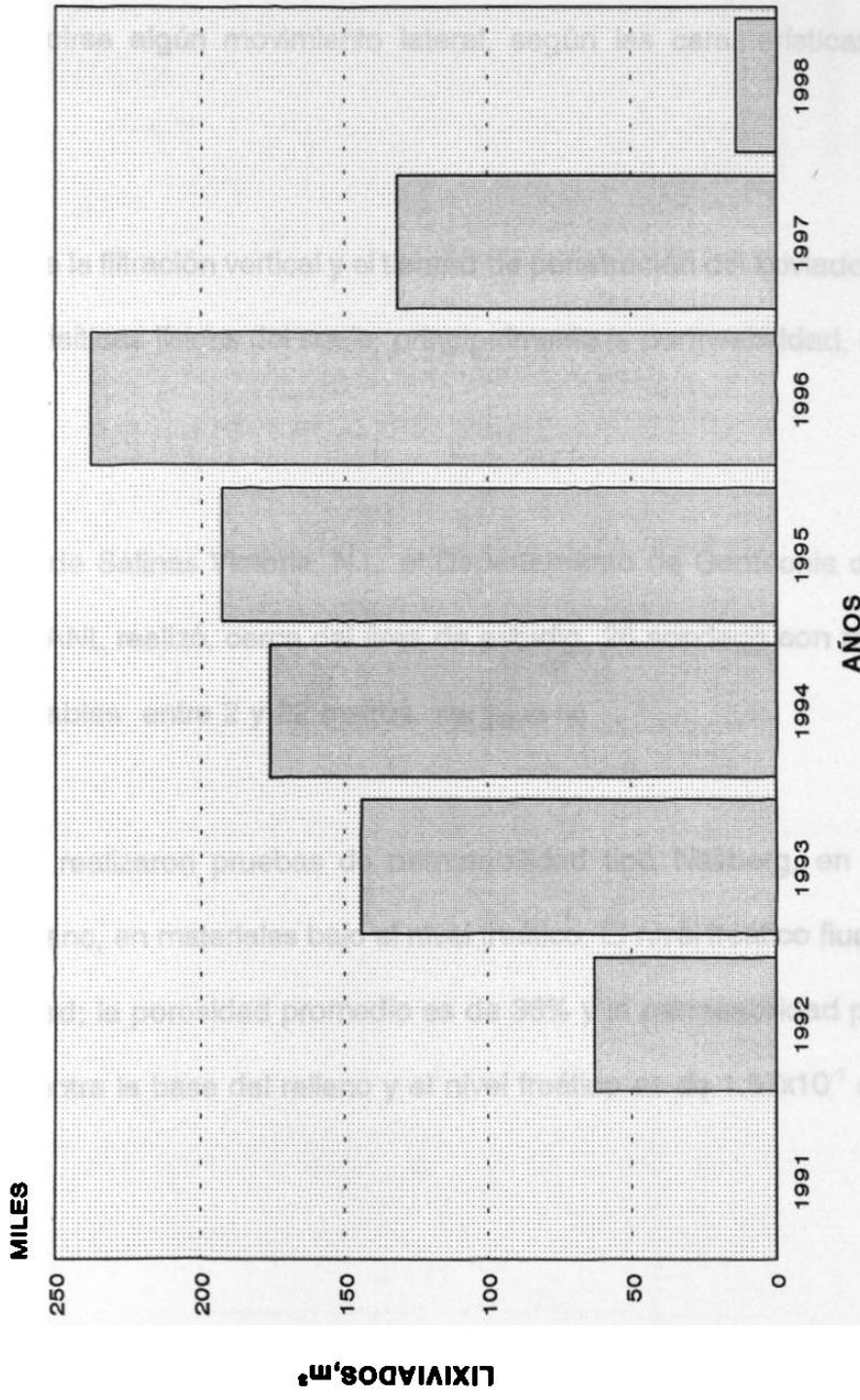
Ing. Elias Vázquez Godina

En total se tienen 958,907.79 m³ de lixiviado, con un promedio de 119,863.47 m³/año

En la siguiente página se presenta la gráfica de la producción de lixiviados¹. Como se puede apreciar, la producción máxima de lixiviado se presenta en el año 6 (1996); después empieza a disminuir la producción hasta mantenerse constante, lo cual depende del régimen de lluvias de cada año.

¹ Elaborada por: Ing. Elías Vázquez Godina.

**RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L.
PRODUCCION DE LIXIVIADOS**



Ing. Eifes Vázquez Godina

FIGURA 13

**CUANTIFICACION Y EFECTOS DE LA PRODUCCION DE LIXIVIADOS
EN EL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L.**

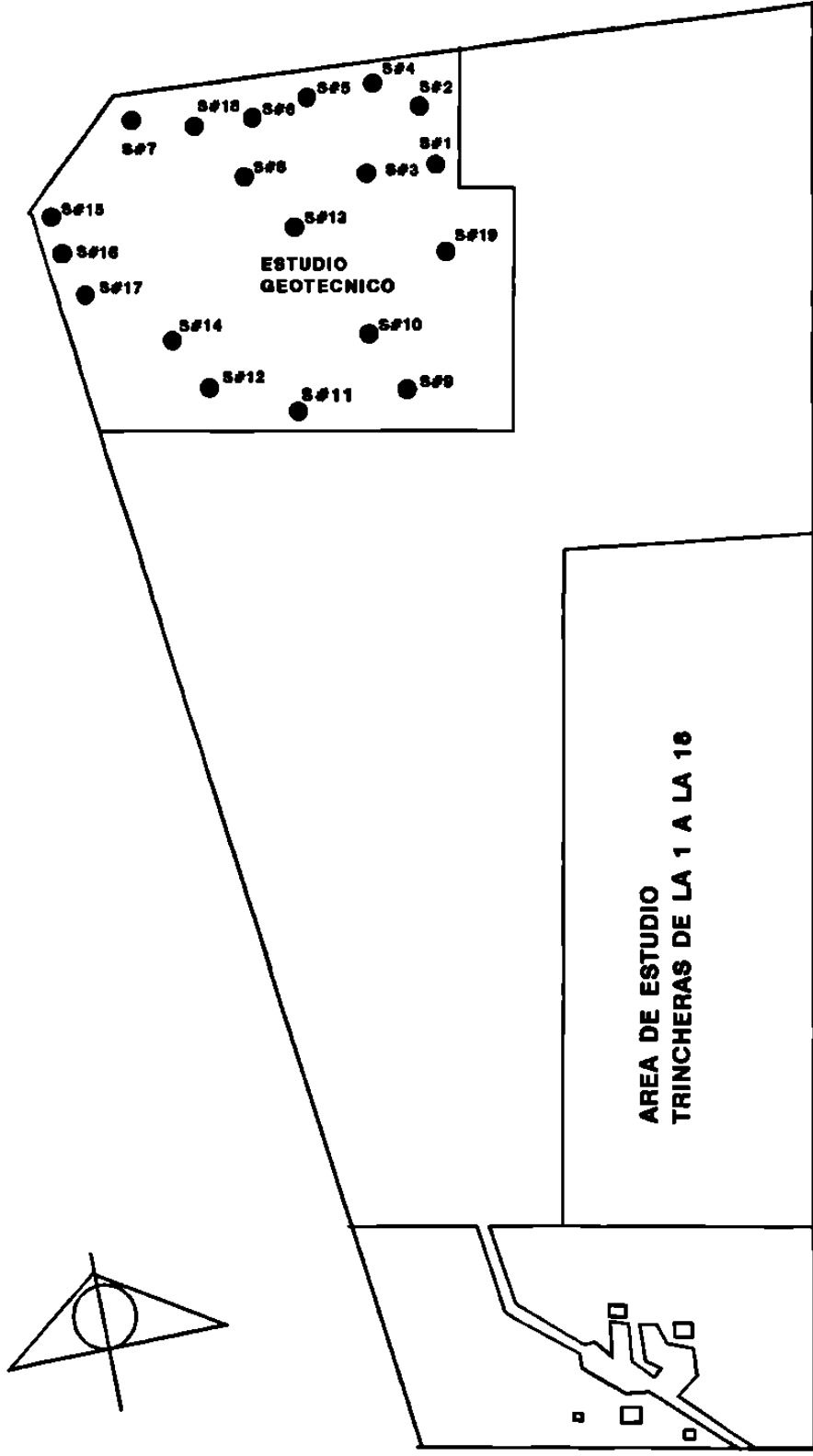
3.9 MOVIMIENTO DEL LIXIVIADO

En condiciones normales, es decir, en aquellos rellenos que cuentan con toda la infraestructura para la recolección de lixiviados, el lixiviado se encuentra en el fondo de los rellenos. Desde allí su movimiento en rellenos sin aislamiento es hacia abajo, a través del estrato inferior, aunque también puede producirse algún movimiento lateral, según las características del material circundante.

Para hacer el cálculo de la filtración vertical y el tiempo de penetración del lixiviado, es necesario determinar las características físicas del suelo, principalmente la permeabilidad, la porosidad y el nivel freático.

En el relleno sanitario de Salinas Victoria, N.L. el Departamento de Geotecnia del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL realizó, cerca del área de estudio, 26 sondeos con máquina rotaria y a profundidades variables entre 2 y 22 metros. (Ver Figura 14)

En estos sondeos se realizaron pruebas de permeabilidad tipo Nasberg, en materiales no saturados; y tipo Le Franc, en materiales bajo el nivel freático. El nivel freático fluctúa entre 11.8 y 16.1 m de profundidad; la porosidad promedio es de 36% y la permeabilidad promedio en el estrato comprendido entre la base del relleno y el nivel freático es de 1.57×10^{-7} cm/seg.



P.F.C.C. A LAREDO

**RELLENO SANITARIO
Salinas Victoria, N.L.**

LOCALIZACION DE SONDEOS

FIGURA 14

3.9.1 Cálculo de la Infiltración vertical (Por: Ing. Elías Vázquez Godina)

En la filtración del lixiviado, desde el fondo del relleno hacia el subsuelo, la más importante para el efecto de la contaminación del agua subterránea es la filtración vertical; los cálculos se harán en la sección vertical ya que, en los problemas prácticos de Mecánica de Suelos, es muy frecuente considerar el suelo isótropo en cuanto a su permeabilidad¹.

Para el cálculo de la filtración vertical se hará uso de la Ley de Darcy, que puede expresarse de la siguiente forma:

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

donde:

Q= Descarga del lixiviado por unidad de tiempo, m³/año

K= Coeficiente de permeabilidad, m³/m².año

A= Area en perfil a través de la cual corre el lixiviado, m²

dh/dl= Gradiente hidráulico, m/m

h= Perdida de carga, m

l= Longitud del camino del flujo, m

El signo negativo en la Ley de Darcy viene del hecho de que la pérdida de carga, dh, siempre es negativa.

El coeficiente de permeabilidad también se conoce como conductividad hidráulica, permeabilidad efectiva o coeficiente de filtración.

¹ Juárez Badillo, Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos*, Tomo III. Flujo del agua en suelos.

La tasa de flujo de lixiviación del relleno al agua subterránea se calcula haciendo algunas consideraciones; por ejemplo, suponiendo que el material que se encuentra entre el fondo del relleno y la cima del nivel freático está saturada y que existe una pequeña capa de lixiviado en el fondo del relleno. En estas condiciones, la ecuación de Darcy se aplica de la siguiente forma:

$$Q(\text{m}^3/\text{año}) = -K(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{año}) \times A(\text{m}^2) \times [-h_i(\text{m})/L_i(\text{m})]$$

Considerando que:

El área total del del relleno en estudio es de 420,000 m²

$$Q = 119,863.47 \text{ m}^3/\text{año}.$$

Entonces la capa de lixiviado en el fondo del relleno es de:

$$h = 0.285 \text{ m}$$

En seguida se calculará la distancia que recorre Q (cantidad de lixiviado por año), tomando en cuenta los siguientes datos.

$$Q = 119,863.47 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$h = 0.285 \text{ m}$$

$$A = 420,000 \text{ m}^2$$

$$K = 1.57 \times 10^{-7} \text{ cm/seg.} = 0.04951 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{año}$$

A partir de la ecuación de Darcy se tiene:

$$L = (KAh)/Q$$

$$L = (0.04951 \times 420,000 \times 0.285)/119,863.47$$

$$L = 0.0495 \text{ m}$$

Entonces se sabe que $119,863.47 \text{ m}^3$ de lixiviado recorren una distancia vertical de 0.0495 m en un año.

3.9.2 Cálculo del tiempo de penetración del lixiviado, desde el fondo del relleno hasta el nivel freático (Por: Ing. Elías Vázquez Godina).

El tiempo de penetración, en años, que tardan los lixiviados en traspasar un recubrimiento de arcilla de un espesor dado, puede estimarse utilizando el cálculo anterior:

Si el recorrido del lixiviado es de $L = 0.0495 \text{ m/año}$, entonces los años que tarda en recorrer el lixiviado un espesor dado queda de la siguiente forma:

$$\text{Años} = L / 0.0495 \text{ m.}$$

Para este caso, el nivel freático se encuentra a 15 metros a partir del terreno natural, pero el fondo de la celda se encuentra a 7 metros, entonces la distancia que tiene que recorrer el lixiviado para llegar al nivel freático es de 8 metros, y el tiempo que tardaría sería de:

$$\text{Años} = 8 / 0.0495$$

$$161.61 \text{ Años.}$$

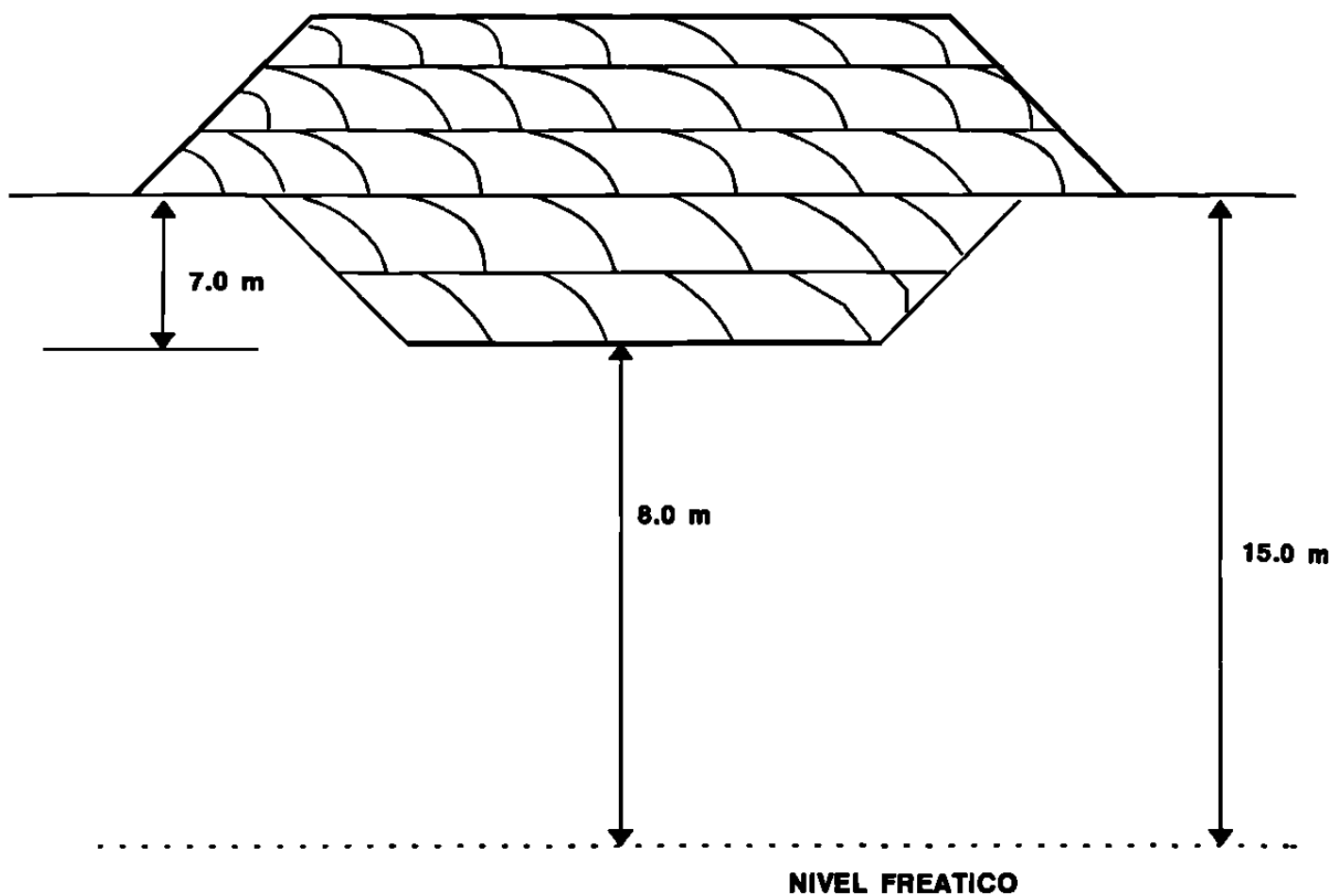


FIGURA 15 Recorrido del lixiviado desde el fondo del relleno hasta el nivel freático

Ing. Elías Vázquez Godina

CAPITULO 4

METODOS Y TECNICAS PARA EL CONTROL DE LIXIVIADOS

4.1 CONTROL DE LOS LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO.

Actualmente se utilizan, por lo general, materiales aislantes para limitar o eliminar el movimiento del lixiviado y de los gases del relleno, fuera de la zona del mismo. Hasta la fecha (2000), el uso de arcilla como material de aislamiento ha sido el método más utilizado para reducir o eliminar la filtración del lixiviado fuera del relleno. La arcilla es factible por su facilidad para absorber y retener muchos de los constituyentes químicos encontrados en el lixiviado y por su resistencia al flujo del lixiviado. Sin embargo, está aumentando la demanda del uso de aislantes formados por una combinación mixta de geomembrana y arcilla, especialmente por la resistencia proporcionada por las geomembranas al movimiento del lixiviado y de los gases del relleno.

En la tabla 9 se resumen las características , ventajas y desventajas de las geomembranas (también conocidas como recubrimientos de membrana flexible, RMF) que se pueden utilizar en las futuras celdas del relleno sanitario de Salinas Victoria, N.L.

TABLA 9

RECOMENDACIONES UTILES PARA MEJORAR EL CONTROL DE LIXIVIADOS

Material	Comentarios
Recubrimientos sintéticos de membrana flexible (SMF)	Los recubrimientos deben diseñarse y construirse para contener los fluidos, incluyendo a los residuos y lixiviados. Para los rellenos sanitarios no se requieren recubrimientos sintéticos. Sin embargo, si se selecciona esta alternativa, los recubrimientos sintéticos deben tener un espesor máximo de 40 mm. Estos recubrimientos deben instalarse para cubrir todos los materiales geológicos naturales que probablemente estarán en contacto con los residuos o el lixiviado en un relleno.
Selladores de fondo	No existen normas específicas que gobiernen la aplicación de los selladores de fondo de los rellenos sanitarios. El diseño, la construcción y la instalación de los selladores de fondo están sujetos a la aprobación de las dependencias locales.
Recubrimientos artificiales de arcilla	Los recubrimientos de arcilla son opcionales para los rellenos sanitarios. Si las condiciones del lugar lo requieren, los recubrimientos de arcilla para los rellenos sanitarios deben tener un espesor mínimo de 0.3 m y deben instalarse con una compactación relativa de por lo menos el 90%. Un recubrimiento de arcilla debe mostrar una permeabilidad máxima de 1×10^{-8} cm/s. Los recubrimientos de arcilla, si se instalan, deben cubrir todos los materiales geológicos naturales que probablemente estarán en contacto con los residuos o el lixiviado en un relleno.
Barreras subsuperficiales	<p>Una barrera subsuperficial se usa conjuntamente con los materiales geológicos naturales para asegurar la satisfacción de las estandarizaciones de permeabilidad lateral.</p> <p>Las barreras serán requeridas en aquellos rellenos sanitarios donde haya un potencial de movimiento lateral de los fluidos, incluyendo residuos y lixiviados, y se puede aprovechar la permeabilidad de los materiales geológicos naturales para contener los residuos en vez de un recubrimiento.</p> <p>Las barreras deben tener un espesor mínimo de 2 pies para el material arcilloso o un mínimo de 40 mm para los materiales sintéticos. Se requiere que estas estructuras estén localizadas a un mínimo de 5 pies, dentro de materiales geológicos naturales que satisfacen los requisitos de permeabilidad de 1×10^{-6} a 1×10^{-7} cm/s. Si se utilizan muros interceptores, las excavaciones de los rellenos también deben localizarse en materiales geológicos naturales con permeabilidades no mayores que 1×10^{-8} cm/s.</p> <p>Se requiere que las barreras tengan sistemas de recogida de fluidos pendiente arriba de la estructura. Los sistemas deben diseñarse, construirse, explotarse y mantenerse para prevenir la acumulación de una cabeza hidráulica contra la estructura. El sistema de recolección debe inspeccionarse regularmente y los fluidos acumulados deben separarse.</p>

Tomada de: George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel A. Vigil. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Volumen I, 1994

a) Sistemas de recubrimiento para el relleno sanitario.

El objetivo de utilizar aislamientos en el relleno sanitario es minimizar la filtración del lixiviado en los suelos subsuperficiales por debajo del relleno y eliminar, así, la contaminación potencial de las aguas subterráneas. Para ello se han desarrollado varios diseños de aislamientos para

minimizar el movimiento del lixiviado en la subsuperficie por abajo de los rellenos, entre ellos se recomienda:

Diseño de multilaminados: En este diseño se utilizan varias capas de arcilla y geomembranas. Por ejemplo, una capa de arcilla y geomembrana servirá como barrera mixta para controlar el movimiento del lixiviado y del gas del relleno.

La capa de arena o grava servirá como capa de recolección y drenaje del lixiviado generado dentro del relleno.

La capa de geotextil se utiliza para minimizar la mezcla de las capas del suelo con la capa de arena o grava.

La capa final del suelo se emplea para proteger la capa de drenaje y barrera.

Este tipo de diseño se complementa con la instalación de la tubería para la recolección de lixiviados. El diseño proporciona más protección y son hidráulicamente más efectivos que cualquier tipo de impermeabilización, utilizando aislantes.

Existen diferentes variantes del diseño de multilaminados usando telas de filtro geotextil, sobre membranas y arcilla compactada. Se pueden hacer diseños mixtos con capas primarias y secundarias; las primarias, para recolectar los lixiviados y, las secundarias, para detectar fugas

que a la vez sirven como respaldo a las primarias.

b) Construcción de aislamiento de arcilla.

Se debe tener mucho cuidado con la construcción del aislamiento de arcilla, ya que el mayor problema de la arcilla es su propensión a agrietarse debido a la desecación, por lo que es muy importante no dejar que la arcilla se seque durante su colocación. Para lograr un buen rendimiento, el recubrimiento de arcilla se debe instalar en capas de 10 a 15 cm, con una compactación adecuada antes de colocar las capas subsiguientes. Se recomienda colocar la arcilla en capas finas para evitar la posibilidad de fugas ocasionadas por la formación de grumos, lo que podría producirse si la capa de arcilla se coloca de una sola vez. Otro problema que podría presentarse, cuando se utilizan arcillas de distintos tipos, es el agrietamiento, ello debido a las diferencias en el hinchamiento. Para evitar estas diferencias, se debe utilizar un solo tipo de arcilla para la construcción del aislamiento.

4.1.1 SISTEMAS PARA LA RECOLECCION DE LIXIVIADOS.

El diseño de un sistema para la recolección de lixiviados en el relleno sanitario implica:

- 1) La selección del sistema que se va a utilizar.
- 2) El desarrollo de un plan gradual que incluya la puesta en obra de los canales para el drenaje y para la recolección del lixiviado y tuberías para canalizar el lixiviado, y
- 3) El trazo y diseño de instalaciones para canalizar, recoger y almacenar el lixiviado.

4.1.1.1 Selección del sistema de aislamiento.

El sistema seleccionado depende en gran parte de la geología local y de los requisitos ambientales de la zona del relleno. Por ejemplo, en zonas en donde no hay agua subterránea, quizás sea suficiente un aislamiento sencillo con arcilla compactada. Sin embargo si se quiere controlar la migración de lixiviados y del gas, será necesario un aislamiento mixto de arcilla y geomembrana con una capa apropiada de drenaje y de protección del suelo.

4.1.1.2 Diseño de instalaciones para la recolección de lixiviados.

Se pueden utilizar varios diseños para separar el lixiviado dentro del relleno sanitario. A continuación se describen los diseños de: terraza inclinada y de fondo con tuberías.

a) Terrazas inclinadas.

Para evitar la acumulación del lixiviado en el fondo del relleno, la zona del fondo se gradúa en una serie de terrazas inclinadas. En este tipo de diseño, las terrazas deben estar construidas para que el lixiviado que se acumula en la superficie de las terrazas, drene hasta los canales de recolección del lixiviado. Se utiliza una tubería perforada colocada en cada canal, para transportar el lixiviado recogido, hasta una localización central, a partir de la cual se separa para su tratamiento o para riego sobre la superficie del relleno.

La pendiente transversal de las terrazas es normalmente del 1 al 5% y la pendiente de los canales de drenaje es de 0.5 al 1.0%. La pendiente y la longitud máxima del canal de drenaje se seleccionan con base en la capacidad de las instalaciones de drenaje. La capacidad de la

tasa de flujo de las instalaciones se estima utilizando la ecuación de Manning. El objetivo del diseño es no permitir que el lixiviado se estanque en el fondo del relleno, creando así una importante carga hidráulica sobre el aislamiento del relleno. La profundidad de flujo en el tubo perforado de drenaje se incrementa continuamente, desde los tramos altos del canal de drenaje, hasta los tramos bajos.

b) Fondo con tuberías.

En este tipo de diseño, la zona del fondo se divide en una serie de tiras rectangulares con barreras de arcilla, colocadas a distancias apropiadas. El espaciamiento de cada barrera le corresponde una celda del relleno. Se procede a colocar la tubería longitudinalmente, encima de la geomembrana para recoger el lixiviado. Los tubos para la recolección del lixiviado son de 10 cm y tienen perforaciones cortadas con láser, similares a un colador, sobre la mitad de la circunferencia. Los cortes de láser están espaciados en 0.6 cm y el tamaño del corte es 0.00025 cm, que corresponde al tamaño más pequeño de la arena. Para proporcionar un drenaje efectivo, se inclina el fondo desde el 1.2 hasta el 1.8%. Los tubos para recoger el lixiviado, espaciados cada 6 m, se cubren con una capa de arena que mide 60 cm antes de comenzar el vertido. El uso de un sistema con tubería múltiple para la recolección del lixiviado asegurará la rápida separación del lixiviado del fondo del relleno. Además, el uso de la capa de arena de 60 cm sirve para filtrar los lixiviados, antes de recogerlos para su tratamiento. La primera capa de 1 m de residuos sólidos, que se coloca directamente encima de la capa de arena, no se compacta.

Un rasgo único del diseño es el método utilizado para separar las aguas pluviales de la porción no utilizada del relleno. En la porción no utilizada del relleno se recogen las aguas pluviales en las líneas que al final se utilizarán para la recolección del lixiviado. Cuando se va a poner en funcionamiento la siguiente celda del relleno, se conecta la tubería para el lixiviado al sistema para la recolección del lixiviado y se cubre el tubo que se extiende en la siguiente tira.

4.1.1.3 Instalaciones para separar, recoger y almacenar lixiviados.

Se pueden utilizar dos métodos para la separación del lixiviado que se acumula dentro del relleno. Se puede colocar un tubo para la recolección del lixiviado en la parte lateral del relleno. Cuando se utiliza este método, debe tenerse mucho cuidado para asegurar que el tubo penetre totalmente en el relleno. Un método alternativo, utilizado para la separación del lixiviado de los rellenos, es el uso de un tubo de recolección inclinado, localizado dentro del relleno.

Las instalaciones para la recolección del lixiviado se utilizan cuando éste se va a reciclar o tratar.

El lixiviado, separado del relleno, se recoge en un depósito de retención y la capacidad del depósito dependerá del tipo de instalaciones disponibles, de la tasa máxima y de descarga permisible en las instalaciones de tratamiento.

Generalmente se recomienda que los depósitos para la retención de lixiviados se diseñen para retener la producción de uno a tres días, durante el período de máxima producción de lixiviado. Se pueden utilizar depósitos de pared sencilla y doble, prefiriéndose los de pared doble por la

seguridad que proporcionan. En cuanto al material del depósito, éste puede ser de plástico o de metal, prefiriéndose los de plástico, ya que son más resistentes a la corrosión.

4.1.2 ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE LIXIVIADOS.

El control de lixiviados es clave para la eliminación del potencial que tiene un relleno sanitario para contaminar el agua subterránea. Se pueden utilizar varias alternativas para gestionar el lixiviado recogido del relleno sanitario, incluyendo:

- 1) Reciclaje del lixiviado,
- 2) Evaporación del lixiviado,
- 3) Tratamiento seguido por evacuación, y
- 4) Descarga a los sistemas municipales para la recolección de aguas residuales.

4.1.2.1 Reciclaje de lixiviados.

Un método efectivo para el tratamiento de los lixiviados consiste en recogerlos y reciclarlos a través del relleno. Durante las primeras etapas del funcionamiento del relleno, el lixiviado contendrá cantidades importantes de SDT (sólidos disueltos totales), DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno), DQO (Demanda química de oxígeno), nutrientes y metales pesados. (VER TABLA 1). Cuando se recircula el lixiviado, se diluyen y atenúan los compuestos producidos por la actividad biológica, y por otras reacciones químicas y físicas que se producen dentro del relleno. Por ejemplo, los ácidos orgánicos sencillos presentes en el lixiviado se convertirán en CH₄ y CO₂. Por la subida del pH dentro del relleno, cuando se produce CH₄, los metales se precipitarán y serán retenidos dentro del relleno. Un beneficio extra del reciclaje de los lixiviados es la

recuperación del gas del relleno que contiene CH_4 . Normalmente la tasa de producción de gas es mayor en sistemas para la recirculación del lixiviado. Para evitar la emisión incontrolada de gases del relleno, cuando se recicla el lixiviado para su tratamiento, se deberá equipar el relleno con un sistema para la recuperación del gas. Finalmente, será necesario recoger, tratar y evacuar el lixiviado residual. En forma que va aumentando el número de trincheras a trabajar, quizá será necesario proporcionar instalaciones para el almacenamiento de lixiviados.

4.1.2.2 Evaporación de lixiviados.

Es uno de los sistemas más sencillos para el control de lixiviados y consiste básicamente en tanques recubiertos para el almacenamiento y evaporación de lixiviados, el lixiviado que no se evapora se riega por encima de las celdas del relleno ya terminadas. En lugares lluviosos, el tanque se cubre durante el invierno con una geomembrana para impedir el paso del agua de lluvia y posteriormente se destapa durante los meses cálidos del verano y el lixiviado que no se evapora, como se dijo anteriormente, se riega por encima de las celdas terminadas o en operación.

Los gases olorosos que pueden acumularse, cuando el tanque está tapado, se pueden extraer hacia un filtro de compost o suelo. Los lechos de suelo pueden tener una profundidad de 0.6 a 0.9 m con tasas de carga orgánica de aproximadamente 1.6 a 0.4 kg/m^3 de suelo.

Cuando se destapa el tanque en los meses de verano, es necesario una aireación superficial para el control de los olores. En el caso de que el tanque no sea muy grande, se puede dejar

tapado todo el año. Otra alternativa es el tratamiento del lixiviado por medio de un tratamiento biológico, con almacenamiento invernal y evacuación por medio de riego sobre terrenos cercanos, durante el verano, en caso de que se cuente con suficiente terreno disponible; el riego puede ser continuo e incluso en época de lluvias.

4.1.2.3 Tratamiento de lixiviados.

Cuando no se utiliza el reciclaje y la evaporación de los lixiviados y no es posible evacuarlos directamente a una instalación de tratamiento, será necesaria alguna forma de pretratamiento o tratamiento completo. Debido a que las características de los lixiviados son muy variadas, se han utilizado varias opciones para el tratamiento del lixiviado. En la tabla 10 se resumen las principales operaciones y procesos de tratamiento biológico y físico/químicos utilizados para el tratamiento de lixiviado. El proceso o los procesos de tratamiento elegidos dependerán, en gran parte, del contaminante o contaminantes que haya que separar.

TABLA 10
PROCESOS Y OPERACIONES BIOLÓGICOS, QUÍMICOS Y FÍSICOS REPRESENTATIVOS, UTILIZADOS PARA
EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Proceso de Tratamiento	Aplicación	Observaciones
Procesos Biológicos Lodos activados	Separación de orgánicos	Pueden ser necesarios aditivos de desespumamiento; necesario clarificador separador.
Reactores de lotes secuenciados	Separación de orgánicos	Similar a lodos activados, pero no es necesario un clarificador separado; solamente aplicable con tasas de flujo relativamente lentas.
Estanques aireados de estabilización	Separación de orgánicos	Requiere una gran superficie de terreno
Procesos de película fija (filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios)	Separación de orgánicos	Frecuentemente utilizado con efluentes industriales similares a los lixiviados, pero no ensayado con lixiviados de rellenos sanitarios
Lagunas anaerobias	Separación de orgánicos	Requisitos de energía y producción de fangos menores que en los sistemas aerobios; requiere calefacción; mayor potencial para la inestabilidad del proceso; más lento que los sistemas aerobios.
Nitrificación/desnitrificación	Separación de nitrógeno	La nitrificación/desnitrificación puede llevarse a cabo simultáneamente con la separación de orgánicos.
Procesos Químicos Neutralización	Control de pH	De aplicación limitada para la mayoría de los lixiviados
Precipitación	Separación de metales y algunos aniones	Produce un lodo, que posiblemente requiera la evacuación como residuos peligrosos
Oxidación	Separación de orgánicos; detoxificación de algunas especies orgánicas	Funciona mejor con flujos de residuos diluidos; el uso de cloro puede provocar la formación de hidrocarburos clorados
Oxidación por aire húmedo	Separación de orgánicos	Costoso; funciona bien con orgánicos refractarios
Operaciones Físicas Sedimentación/ flotación	Separación de materia en suspensión	Sólo tiene una aplicación limitada; puede utilizarse conjuntamente con otros procesos de tratamiento
Filtración	Separación de materia en suspensión	Solamente útil como proceso complementario
Arrastre por aire	Separación de amoníaco u orgánicos volátiles	Puede requerir equipamiento de control de la contaminación atmosférica
Separación por vapor	Separación de orgánicos volátiles	Altos costos energéticos; el vapor de condensado requiere un tratamiento adicional
Absorción	Separación de orgánicos	Tecnología probada; costos variables según el tipo de lixiviado
Intercambio iónico	Separación de inorgánicos disueltos	Útil solamente como un paso de acabado
Ultrafiltración	Separación de bacterias y de orgánicos con alto peso molecular	Propenso al atascamiento; de aplicación limitada para los lixiviados
Osmosis inversa	Disoluciones diluidas de orgánicos	Costoso; necesario pretratamiento extensivo
Evaporación	Cuando no se permite la descarga de lixiviados	Los lodos resultantes pueden ser peligrosos; puede ser costoso excepto en zonas áridas.

Tomada de: George Tchobanoglus, Hilary Thelton, Samuel A. Vigil. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen I. 1994

4.1.3 SELECCION DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO

Para seleccionar el tipo de instalaciones de tratamiento hay que tomar en cuenta varios factores: en primer lugar, las características del lixiviado y, en segundo lugar, la localización geográfica y física del relleno.

Las características más importantes que se toman en cuenta de un lixiviado son: Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Metales pesados, Sulfatos y constituyentes tóxicos sin especificar. Por ejemplo, un lixiviado que contiene altas concentraciones de SDT (por ejemplo, >50,000 mg/L), es difícil tratarlo biológicamente y con valores altos de DQO, es mejor un proceso de tratamiento anaerobio. Para un lixiviado con altas concentraciones de sulfatos, no es recomendable un proceso anaerobio, debido a la producción de olores procedentes de la reducción biológica de sulfatos a sulfuro. La toxicidad también representa un problema, sobre todo, para procesos de tratamiento biológico.

En cuanto a la capacidad de las instalaciones de tratamiento, éstas dependerán del tamaño del relleno sanitario y de la vida útil esperada.

4.2 SISTEMAS PARA EL CONTROL DEL AGUA SUPERFICIAL EN EL RELLENO SANITARIO

Para tener un buen control de los lixiviados es importante, también, el control de toda el agua superficial, incluyendo la lluvia, la escorrentía, los arroyos intermitentes y los manantiales artesianos. Con el uso de una cubierta correctamente diseñada, una pendiente superficial adecuada y un drenaje adecuado para el agua pluvial, se puede controlar eficazmente la

filtración superficial. Mediante controles correctos para el agua superficial, seguramente no será necesaria una barrera impermeable superficial.

Eliminar o reducir la cantidad de agua superficial que entra en el relleno es de fundamental importancia para el diseño de un relleno sanitario controlado, ya que el agua superficial es la que mayor contribuye al volumen total de lixiviado. No se debe permitir que la escorrentía del agua de lluvia de los alrededores entre al relleno, y no se debe permitir que la escorrentía superficial (procedente de lluvia), se acumule sobre la superficie del mismo.

Los sistemas para el control del agua superficial son:

- Instalaciones de drenaje para el agua superficial.
- Estanques para el almacenamiento del agua pluvial.
- Capas de cubierta intermedia.
- Capas de cubierta final.

4.2.1 Instalaciones de drenaje para el agua superficial

En los lugares en donde la escorrentía del agua pluvial, procedente de los alrededores, pueda entrar en el relleno, se debe instalar un sistema de drenaje correctamente diseñado.

Se puede diseñar el sistema de drenaje para separar solamente la escorrentía de los alrededores, o bien para separar la escorrentía de los alrededores y también de la superficie del relleno.

En las partes del relleno donde se han instalado sistemas de aislamiento completo, en todo el fondo, el diseño del aislamiento debe tener en cuenta la desviación del agua pluvial que no cae sobre los residuos cuando se vierten.

En aquellas partes donde solamente hay que separar el agua superficial de la superficie del relleno, deberán instalarse obras de drenaje para limitar el recorrido del agua superficial. Se pueden utilizar canales interceptores y dirigirlos hacia un canal principal más grande para apartarlo del lugar.

4.2.2 Estanques para el almacenamiento del agua pluvial.

Para los meses cuando las precipitaciones son altas y fuertes, se deben construir estanques para contener los flujos desviados del agua pluvial, minimizando así las inundaciones. Normalmente, se debe recoger el agua pluvial, tanto de las áreas terminadas del relleno como en las zonas aún no utilizadas.

4.2.3 CAPAS DE CUBIERTA INTERMEDIA.

Se utilizan las capas de cubierta intermedia para cubrir los residuos colocados diariamente con el fin de:

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

- **Disminuir la entrada de agua de lluvia a los desechos.**
- **Orientar los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno.**
- **Dar una apariencia estética aceptable al relleno.**

La mayor cantidad de agua que entra en el relleno, y que finalmente se convierte en lixiviado, es la que entra durante el período de operación del relleno. Parte del agua, en forma de lluvia, entra mientras se están colocando los residuos en el relleno. El agua también entra en el relleno, primero, filtrándose y después, pasando a través de la cubierta intermedia. De esta forma, los materiales y la técnica de puesta en obra de la cubierta intermedia pueden limitar la cantidad de agua superficial que entra en el relleno.

4.2.3.1 Materiales utilizados para las capas de cubierta intermedia

Con el perfeccionamiento de técnicas de operación de rellenos sanitarios, se ha buscado la adaptabilidad a varios tipos de materiales para usarse como cubierta intermedia. De entre los materiales que se han usado, en diferentes partes del mundo, se encuentran residuos de jardín (abono verde), compost de residuos de jardín, compost de residuos sólidos urbanos, recubrimiento geosintético de arcilla, suelo nativo típico, arena arcillosa lodosa y arcilla.

De los materiales listados, el compost producido a partir de residuos de jardín y de residuos sólidos urbanos, el recubrimiento geosintético de arcilla y la arcilla, son eficaces para limitar la entrada de aguas superficiales en el relleno. Para conseguir la mayor eficacia posible, utilizando los materiales arriba citados, se debe inclinar la cubierta intermedia correctamente, para

aumentar la escorrentía de las aguas superficiales.

Se recomienda colocar una capa muy espesa de suelo sobre la celda llena. El agua de lluvia que se filtra por la capa de la cubierta intermedia, es retenida en virtud de su capacidad de campo; cuando va a colocarse un segundo nivel sobre el primero, se recomienda apartar el suelo y almacenarlo antes de comenzar el relleno. El uso de la técnica de almacenar temporalmente el material de cubierta adicional sobre una celda ya llena, puede limitar significativamente la cantidad de agua que entra en el relleno. También se puede utilizar espuma sintética como material de cubierta intermedia. Por lo general, la espuma funciona bien, excepto cuando llueve.

4.2.3.2 Capas de cubierta intermedia utilizando materiales residuales.

Cuando está limitada la cantidad de suelo nativo para ser utilizado como material de cobertura intermedia, se pueden utilizar materiales alternativos para este propósito. Estos incluyen: compost y abono verde producidos a partir de residuos de jardín y compost producido a partir de los desechos sólidos. Una de las ventajas importantes de utilizar compost y abono verde, es que el volumen del relleno que habría sido ocupado por el suelo utilizado para la cubierta intermedia, ahora está disponible para la evacuación de materiales residuales. Cuando la cantidad de material de cubierta es limitada, el uso de residuos sólidos fermentados puede incrementar significativamente la capacidad del relleno sanitario.

Entre otros materiales que se pueden utilizar como material de cubierta intermedia se incluyen: alfombras, residuos de construcción y demolición y residuos agrícolas.

4.2.3.3 Impacto del material de cobertura.

El material de cobertura, normalmente tierra, se incorpora al relleno en cada etapa de construcción. Una cubierta diaria, de 15 a 30 cm de tierra, se aplica en los frentes de trabajo del relleno, diariamente, al final de la operación, para controlar vectores sanitarios como ratas e insectos, y para no permitir el vuelo de materiales. La cobertura intermedia es una capa más espesa que el material de cubierta diaria, y que se aplica en las zonas del relleno que no se van a trabajar durante algún tiempo. Las coberturas finales, normalmente tienen de 1 a 2 metros de espesor e incluyen una capa de arcilla compactada, junto con otras capas, para aumentar el drenaje y soportar la vegetación. La cantidad de material de cubierta, necesario para el funcionamiento del relleno, es un factor importante en la determinación de la capacidad del relleno. Normalmente, las necesidades de cubierta diaria e intermedia son expresadas como una relación residuos/suelo, definida como el volumen de residuos depositados por unidad de volumen de cobertura proporcionado.

La relación residuos/suelo, se determina considerando la geometría de una celda del relleno. Las celdas son más o menos paralelepípedas, con material de cubierta en tres de los seis lados. El área superficial de estos frentes depende de la pendiente de los frentes de trabajo del relleno, del volumen de la celda, de la altura del nivel y de la anchura de la terraza en la que se colocan los residuos. Las pendientes del frente de trabajo, normalmente están entre 2:1 y 3:1. Se puede

calcular el volumen de la celda dividiendo la masa media del material depositado cada día por la densidad media del nivel. Se puede seleccionar la altura del nivel y la anchura de la celda para proporcionar la menor relación residuo/suelo aceptable.

4.2.4 CAPAS DE CUBIERTA FINAL

Los propósitos principales de la cubierta final, en el relleno, son:

- Minimizar la entrada de agua procedente de la lluvia, después de terminar el relleno.
- Limitar la salida incontrolada de gases del relleno.
- Suprimir la proliferación de vectores.
- Limitar el potencial de incendios.
- Proporcionar una superficie apta para la vegetación del lugar.
- Servir como elemento central en la recuperación del lugar.

Para afrontar estos propósitos, la cubierta del relleno debe:

- soportar extremos climáticos (por ejemplo, ciclos de calor/frío, humedad/sequedad, etc.),
- resistir la erosión acuática y eólica,
- tener una estabilidad suficiente frente a hundimientos, roturas, fallas de pendiente, deslizamientos etc.,
- resistir los efectos del asentamiento diferencial en el relleno, causados por la salida del gas y la compresión de los residuos y del suelo de cimentación,
- resistir el deterioro debido a las operaciones del relleno, tales como sobrecargas ocasionadas por el almacenamiento y el movimiento de vehículos de recolección en las

partes terminadas del relleno,

- resistir las deformaciones producidas en los materiales de cubierta por los constituyentes del gas del relleno, y
- resistir rupturas causadas por plantas, animales de madriguera, lombrices e insectos.

4.2.4.1 Materiales artificiales utilizados para la cubierta final.

También es posible utilizar materiales artificiales para la cobertura final de los residuos sólidos, como son las membranas sintéticas, que en conjunción con materiales naturales, realizan satisfactoriamente todas las funciones de la cubierta.

Cabe mencionar que la utilización de estos materiales incrementa aún más el costo de la obra, pero para casos especiales, como pudiera ser la cobertura de residuos industriales no peligrosos, se justificaría ampliamente la utilización de estos materiales.

Características de los materiales artificiales.

Las características principales con que deberán contar las membranas sintéticas son las siguientes:

- Facilidad en su transporte, manejo y colocación.
- Resistencia al desgaste y agrietamiento, así como a elementos químicos y orgánicos.
- Capacidad de carga.

Tipos de membranas.

Básicamente, se consideran tres tipos de membranas sintéticas, clasificadas en función del tipo de material de fabricación.

a) membranas de polietileno.

A este tipo de membranas se les conoce comúnmente como "geomembranas" y se emplean generalmente en espesores de 40 a 60 milésimas de pulgada. Deben colocarse sobre suelos perfectamente lisos y libres de restos de elementos punzantes, para evitar su rompimiento.

Las superficies de colocación deben tener aproximadamente 30 cm de espesor, perfectamente compactada y lisa, preferentemente arcilla limpia y libre de elementos gruesos.

Posteriormente, se deberá cubrir la geomembrana con otra capa de material de las mismas características con la finalidad de prevenir su deterioro debido a agentes climáticos y mecánicos.

La unión y sellado de la geomembrana se realiza por termofusión.

b) membranas de P.V.C.

Estas membranas deben colocarse también sobre superficies compactadas con rodillos lisos, siguiendo el mismo sistema de manejo y colocación que la anterior. Su costo es un poco más elevado que la membrana de polietileno.

La unión de la membrana se realiza mediante un sistema de inyección de un adhesivo especial, dejando un traslape de aproximadamente cuatro pulgadas, debiendo quedar esta unión perfectamente lisa y sellada.

c) membranas con alma geotextil.

Este tipo de membranas están constituidas por un alma de geotextil, el cual consiste en un hilado sintético, no tejido, impregnado con asfalto plástico.

La base de geotextil se presenta en tres espesores: base 100, base 200 y base 500. Este material se adapta perfectamente a las superficies a cubrir, no necesitan un acabado tan liso como las anteriores y permite además, el tránsito de equipos rodados sobre ellas.

El sellado y la unión de la membrana se realiza con el mismo asfalto plástico que impregna el alma.

De los tres tipos de membranas mencionados anteriormente, la que más se ha utilizado en nuestro país es la membrana de polietileno de alta densidad, o también llamada comúnmente "geomembrana".

4.2.4.2 Selección del tipo de suelo para la cubierta final.

Antes de utilizar un suelo para la cubierta final se debe hacer un análisis para su clasificación. Con base en los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, se procederá a clasificar la muestra o muestras de los suelos potencialmente factibles, como bancos de material para la cobertura final de los residuos sólidos, con la finalidad de seleccionar el más adecuado.

La clasificación del suelo se recomienda que se realice de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), para posteriormente determinar su eficiencia como material de cubierta final. La tabla 11 muestra las características y propiedades más importantes de cada uno de los grupos en que se subdividen los suelos.

Esta misma tabla indica el grado de eficiencia que tiene cada suelo para ser utilizado como material de cobertura final de los residuos sólidos, con base en sus propiedades más importantes, como son: la permeabilidad, la compresibilidad, compactación y saturación; así como la transitabilidad de los vehículos sobre éste, la resistencia a la erosión por viento y agua, y al agrietamiento; de igual manera evita el venteo del biogás y la proliferación de vectores.

De esta manera, se puede mencionar que los mejores suelos para ser utilizados como material de cobertura son, en orden decreciente: las gravillas arcillosas con mezcla de grava, arena y arcilla (GC); arenas arcillosas, con mezclas de arena, arcilla (SC); las gravas limosas, con mezcla de grava, arena y limo (GM),

TABLA 11
PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS SUELOS PARA LA COBERTURA FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

NOMBRES TÍPICOS DE SUELOS	SÍMBOLO DEL GRUPO	PERMEABILIDAD DEL SUELO COMPACTADO	COMPRESIBILIDAD COMPACTACIÓN Y SATURACIÓN	TRANSMITIBILIDAD	IMPEDIR EL VENTILADO DE BROSAS	RESISTENCIA A LA EROSIÓN POR LLUVIA	RESISTENCIA A LA EROSIÓN POR VIENTO	IMPEDIR LA PROLIFERACIÓN DE VECTORES	RESISTENCIA AL AMPLIAMIENTO	EFICIENCIA COMO MATERIAL DE COBERTURA
Gravas bien graduadas; mezclas de grava y arena, pocos o ningunos finos	GW	Mala	Mínima	Excelente	Pésimo	Excelente	Excelente	Pésimo	Excelente	MALA
Gravas mal graduadas; mezcla de gravas y arena, pocos o ningunos finos	GP	Pésima	Mínima	Excelente	Malo	Excelente	Excelente	Pésimo	Excelente	MALA
Gravas limosas; mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	GM	Regular	Mínima	Muy buena	Regular	Muy buena	Muy buena	Malo	Muy buena	BUENA
Arenas arcillosas; mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	GC	Buena	Muy baja	Buena	Buena	Muy buena	Buena	Regular	Buena	EXCELENTE
Arenas bien graduadas; arenas gravosas, pocos o ningunos finos	SW	Mala	Mínima	Excelente	Malo	Excelente	Excelente	Pésimo	Excelente	REGULAR

Manual para la clausura de Tiraderos a Cielo Abierto. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. Noviembre de 1994.

CUANTIFICACION Y EFECTOS DE LA PRODUCCION DE LIXIVIADOS
 EN EL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L.

TABLA 11 (Continuación)
 PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS SUELOS PARA LA COBERTURA FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

NOMBRES TIPOS DE SUELOS	SIMBOLO DEL GRUPO	PERMEABILIDAD DEL SUELO COMPACTADO	COMPRESIBILIDAD COMPACTACION Y SATURACION	TRANSMITABILIDAD	IMPEDIR EL VENTEO DE BOGAS	RESISTENCIA A LA EROSION POR LLUVIA	RESISTENCIA A LA EROSION POR VIENTO	IMPEDIR LA PROLIFERACION DE VECTORES	RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO	EFICIENCIA COMO MATERIAL DE COBERTURA
Arenas mal graduadas; arenas gravosetas, pocas o ningunos finos	SP	Pésima	Muy baja	Excelente	Regular	Excelente	Excelente	Pésimo	Excelente	Regular
Arenas limosas; mezclas de arena y limo, mal graduadas	SM	Regular	Baja	Muy buena	Regular	Buena	Muy buena	Malo	Excelente	Regular
Arenas arcillosas; mezclas de arena y arcilla, mal graduadas	SC	Buena	Baja	Buena	Bueno	Regular	Buena	Bueno	Buena	Excelente
Limos inorgánicos y arenas muy finas; pozos de roca, arenas finas, arcillas limosas de baja plasticidad	ML	Muy buena	Medio	Regular	Muy buena	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena
Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media; arcillas gravosetas, arenas limosas y pobres	CL	Excelente	Medio	Regular	Excelente	Pésima	Regular	Bueno	Mala	Buena

Manual para la clausura de Tiraderos a Cielo Abierto. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. Noviembre de 1994.

CUANTIFICACION Y EFECTOS DE LA PRODUCCION DE LIXIVIADOS
 EN EL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L.

TABLA 11 (Continuación)
PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS SUELOS PARA LA COBERTURA FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

NOMBRES TÍPICOS DE SUELOS	SÍMBOLO DEL GRUPO	PERMEABILIDAD DEL SUELO COMPACTADO	COMPRESIBILIDAD COMPACTACION Y SATURACION	TRANSMITABILIDAD	IMPEDIR EL VIENTO DE BLOQUEAS	RESISTENCIA A LA EROSION POR LLUVIA	RESISTENCIA A LA EROSION POR VIENTO	IMPEDIR LA PROLIFERACION DE VECTORES	RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO	EFICIENCIA COMO MATERIAL DE COBERTURA
Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	OL	-	Medio	Mala	-	Pésima	Malo	Regular	Mala	MALA
Limos orgánicos; limos micáceos o diatomáceos, limos estéuticos	MH	Muy buena	Alta	Pésima	-	Mala	Pésimo	Muy bueno	Pésima	MALA
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad muy compresibles, arcillas francas	CH	Excelente	Alta	Pésima	Excelente	Mala	Pésimo	Excelente	Pésima	MALA
Arcillas orgánicas de plasticidad media o alta, limos orgánicos de media plasticidad	OH	-	Alta	-	-	Regular	-	-	Pésima	MALA
Turba y otros suelos altamente orgánicos en proceso de descomposición	PI	-	Alta	-	-	Buena	-	-	-	PESIMA

Manual para la clausura de tiraderos a cielo abierto. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. Noviembre de 1994.

4.2.4.3 Manejo y mejoramiento del material de cobertura.

Después de haber seleccionado el suelo a utilizar para la cobertura de los residuos sólidos, es necesario tomar en cuenta algunas recomendaciones necesarias en la colocación y el manejo del material, con objeto de mejorar sus propiedades y características.

A continuación se mencionan los procedimientos más usuales que se utilizan para mejorar las propiedades del material de cobertura durante su manejo y colocación en la obra:

a) Compactación de la cubierta

La compactación de la cubierta consiste en incrementar la resistencia del suelo y reducir su permeabilidad utilizando medios mecánicos.

La selección del equipo mecánico a utilizar para lograr buena compactación, estará en función del tipo de material a utilizar; ésto es que, para suelos gravo-arenosos, el equipo recomendable es el de tipo vibratorio, mientras que para los suelos arcillosos, los equipos de carga estática resultan más ventajosos. Entre los equipos disponibles para realizar la compactación de la cubierta se encuentran los rodillos lisos y los rodillos "pata de cabra", así como algunos otros que son combinación de éstos.

La eficiencia del equipo, en la compactación del material de cubierta, estará en función de los resultados obtenidos en las pruebas de compactación realizadas en el laboratorio; estos resultados indicarán el contenido de agua y la energía de compactación suministrada al suelo

para alcanzar la mayor compactación posible.

En la figura 16 se muestran algunos ejemplos de curvas típicas de compactación, llamadas curvas de densidad máxima, para varios tipos de suelos ideales; estas curvas muestran el contenido de humedad óptima, expresado en porcentaje de peso del suelo seco, que permite el máximo grado de compactación.

Una vez seleccionado el tipo de suelo para la cubierta, se deberá hacer una curva tipo de compactación, para así determinar su humedad óptima y el grado de compactación.

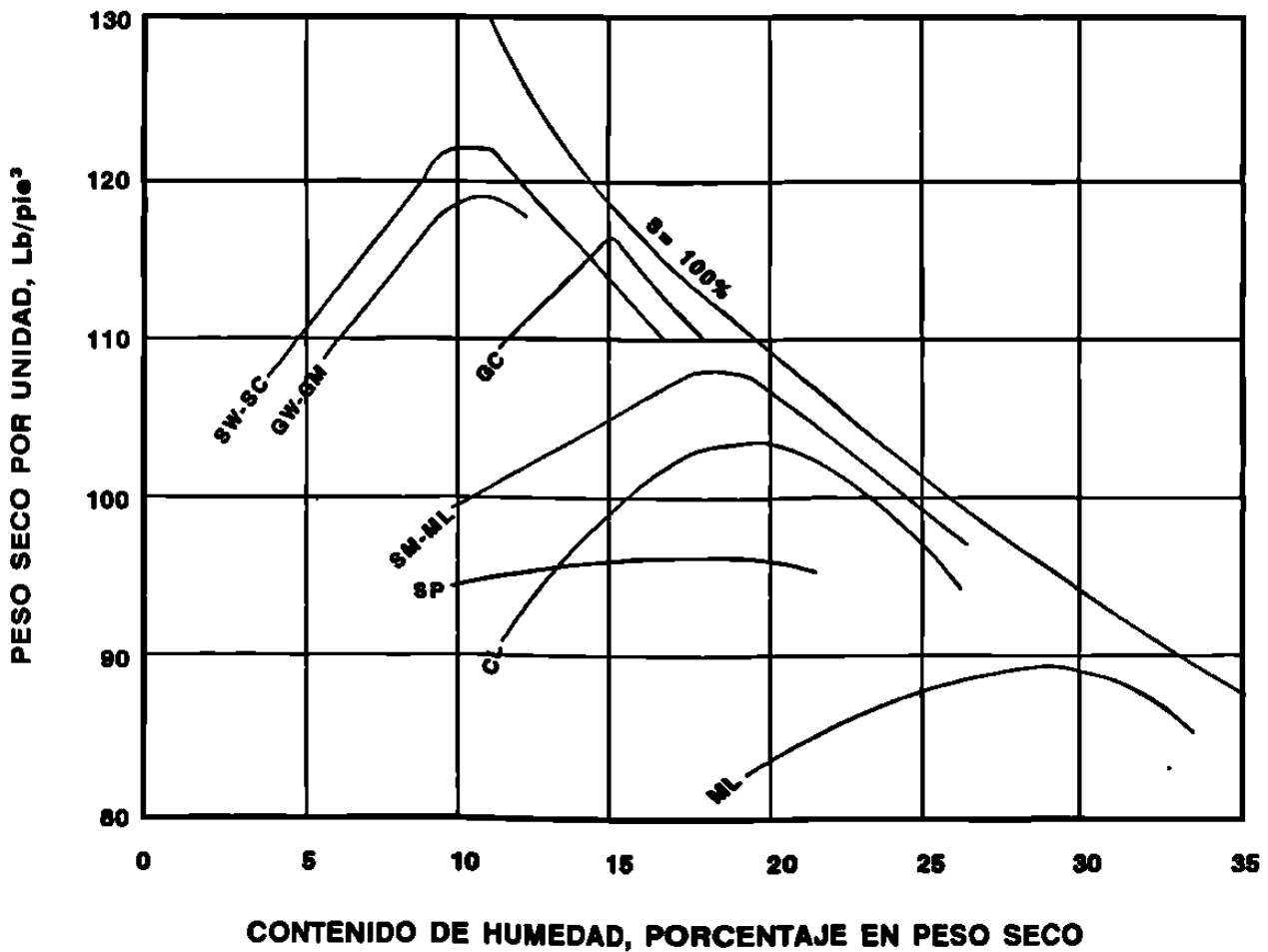
Es conveniente además, realizar directamente en la obra, una prueba simple de compactación para comprobar los resultados obtenidos en el laboratorio y, asegurarse de que el equipo empleado esté trabajando efectivamente en las condiciones previstas en el proyecto, una vez iniciada la obra.

b) Mejoramiento del material de cobertura.

En caso de que no se encontrara un banco de material que reuniera las características y funciones indispensables para ser utilizado como cubierta final, se puede realizar una mezcla de diferentes tipos de suelo.

Sin embargo, cabe señalar que esta mezcla de suelos aumenta el costo de la colocación y manejo de la cubierta final, por lo que no es muy común su utilización, a excepción de casos

CURVAS DE COMPACTACION



Manual para la clausura de Tiraderos a Cielo Abierto. CICMAC.
 Noviembre de 1994.

FIGURA 16

especiales.

Las mezclas más comunes de los suelos son con:

- Adición de grava.
- Adición de arenas.
- Adición de arcillas.

c) Adición de grava.

Con la adición de grava a los suelos finos se obtiene un incremento en el grado de compactación, pudiendo presentarse este mismo efecto, de manera similar, en otros materiales, como por ejemplo en los residuos sólidos triturados o molidos que, en casos especiales, se llega a utilizar como material de cubierta (diaria).

d) Adición de arenas.

La adición de este material tiene la finalidad de cubrir las deficiencias en la graduación de las partículas del material de cobertura, reduciendo con ésto la permeabilidad de la cubierta. También es posible disminuir los costos de esparcido y compactación al adicionar arenas a suelos arcillosos, ya que se hace menos pegajoso y resbaladizo el material de cobertura. Asimismo, estos materiales granulares son buenos como base de sustento de la cubierta vegetal.

e) adición de arcillas.

El suministro de suelos arcillosos repercute considerablemente en la reducción de la permeabilidad. Ciertamente, podrá causar dificultades en su manejo si su contenido de humedad es muy alto; pero deberá suministrarse en cantidades adecuadas para mejorar el material original de cobertura, disminuyendo con ésto su permeabilidad.

f) Sellado del relleno sanitario.

Un sellado moderno de un relleno sanitario conforma una serie de capas, cada una de las cuales tiene una función especial.

La capa sub-base del suelo se utiliza para contomear la superficie del relleno y servir como sub-base para la capa barrera.

En algunos casos, se deberá colocar una capa para la recolección del gas debajo de la capa de suelo, con la finalidad de transportar el gas del relleno hacia instalaciones para la gestión del gas.

Se utiliza la capa barrera para restringir la entrada de líquidos en el relleno y la salida de gases a través de la cubierta.

Se utiliza la capa de drenaje para transportar las aguas de lluvia, que se filtran a través del material de cobertura, fuera de la capa barrera, y para reducir la presión del agua sobre la capa barrera.

La capa superficial se usa para contorneear la superficie del relleno y que sirva como soporte de las plantas que se utilizarán en el diseño de clausura a largo plazo.

Se debe resaltar que no todas las capas son necesarias en todos los casos. Por ejemplo, una capa para la recolección de gas, no será necesaria donde exista un sistema activo para la recuperación del gas. A veces, también se puede utilizar la capa sub-base como capa para la recolección del gas.

La capa barrera es la más importante por las razones anteriormente citadas. Se puede utilizar una capa de arcilla como capa barrera, aunque tiene algunos inconvenientes. Por ejemplo, una arcilla es difícil de compactar sobre una cimentación blanda, la arcilla compactada puede desarrollar grietas debido a la desecación, la congelación puede dañar la arcilla, el asentamiento diferencial causa grietas en la arcilla y ésta, una vez dañada, es difícil de separar en una cubierta de relleno, y finalmente, la capa de arcilla no restringe el movimiento del gas del relleno de una forma significativa. En consecuencia, se recomienda el uso de una o más geomembranas, antes que el uso de arcilla, como capa barrera en el sellado del relleno. Y se pueden usar también recubrimientos geosintéticos de arcilla para la capa barrera.

4.2.4.4 Selección de la cobertura final.

La selección y colocación de un material adecuado para la cobertura final de los residuos sólidos requiere de la aplicación de técnicas de ingeniería con la finalidad de determinar el tipo de material adecuado para cubrir los residuos, cumpliendo con los requisitos técnicos

necesarios para asegurar el buen funcionamiento del sello final.

Las principales restricciones que se tienen al diseñar y seleccionar el material de cobertura para el sellado final de los residuos sólidos son: la cantidad y características del material, así como su localización y disponibilidad en volumen; es decir, que se deberá seleccionar un banco de material con las propiedades adecuadas y con el volumen suficiente para cubrir la superficie que demande los residuos sólidos, tomando en consideración que este banco se localice lo más cercano posible al sitio de clausura.

Para realizar una buena selección y buen diseño de la cubierta final, es necesario establecer ciertos lineamientos a seguir. Se recomienda tomar en consideración los siguientes puntos:

- Primero, establecer las funciones que deberá cumplir el material de cobertura.
- Segundo, determinar las características y propiedades del suelo, en términos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).
- Tercero, planear y diseñar el procedimiento de operación y clausura, así como de la superficie final del sitio, con la finalidad de realizar una cuantificación del material necesario para realizar la cobertura final. Establecer algunos procedimientos, como la compactación, con la finalidad de mejorar ciertas funciones del suelo.

- Cuarto, cuando no se disponga de un suelo que reúna las características mínimas para ser empleado como material de cobertura, se deberán considerar en el diseño algunos mejoradores de suelo o aditivos y, en algunos casos, el empleo de materiales sintéticos.

Características de la cobertura final.

Dentro de la operación de rellenos sanitarios existe un requisito indispensable: cubrir los residuos sólidos diariamente al término de la jornada de trabajo por lo que, al finalizar la vida útil de éste, es necesario colocar una cubierta final o capas de sello.

Por tal motivo, el material a utilizarse para la cobertura final de los residuos sólidos, deberá contar con ciertos requisitos para cumplir con sus funciones.

Funciones de la cobertura.

La cobertura o sello final de los residuos sólidos tiene como funciones primordiales las siguientes:

- a) Minimizar la proliferación de moscas y roedores, así como controlar la atracción de animales.
 - Evitando la aparición y atracción de moscas y otros insectos.
 - Disminuyendo la atracción de aves, roedores y otros animales.
- b) Controlar el escurrimiento de agua pluvial.
 - Minimizando la infiltración.

- **Disminuyendo la erosión.**
- c) **Controlar el flujo del biogás.**
- **Dirigiendo el flujo hacia los pozos de captación.**
 - **Facilitando el monitoreo de la calidad del biogás.**
- d) **Minimizar los posibles incendios.**
- **Confinando los materiales fáciles de incendiarse.**
 - **Controlando y disminuyendo la entrada de oxígeno.**
- e) **Disminuir el impacto estético negativo al medio ambiente.**
- **Evitando la dispersión de papeles.**
 - **Controlando los malos olores.**
 - **Estableciendo una apariencia agradable del sitio.**
- f) **Operar adecuadamente durante las clausuras de otras zonas.**
- **Facilitando el acceso y tránsito de vehículos, así como la facilidad de trabajo en época de lluvias.**
 - **Creando zonas para la construcción de obras provisionales (oficinas, campamentos etc).**

g) Soportar la cubierta vegetal.

Algunas otras funciones de la cubierta final que pueden ser consideradas son:

- Minimizar la erosión ocasionada por viento.
- Proporcionar funcionalidad en condiciones adversas del clima (lluvia, frío, etc)
- Asegurar la estabilidad de los taludes.
- Evitar la saturación de los residuos sólidos.

4.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO Y SELECCION DE LA COBERTURA FINAL.

Para lograr una buena selección del material que servirá como cubierta final de los residuos sólidos y poder definir las especificaciones de diseño, para esta etapa, es recomendable tomar en cuenta algunas consideraciones.

A continuación se establece un plan general que deberá ser considerado, tomando en cuenta las características y restricciones propias del lugar y de los materiales disponibles.

4.3.1 Esquema general.

- Establecer las funciones de la cubierta para el sitio de clausura, basándose en información confiable sobre la cantidad y tipo de los residuos a cubrir, las características climatológicas a las que estará sujeta la cubierta, aspectos sociales y económicos, así como los riesgos potenciales del sitio.
- Obtener información de los diferentes materiales de cubierta final.

Establecer y ubicar posibles bancos de material cercanos al sitio, considerando el tipo de material y el volumen disponible.

Realizar una clasificación del suelo de los diferentes bancos de material seleccionados, con base al S.U.C.S.

Efectuar los análisis del laboratorio correspondientes, para cada una de las muestras obtenidas, de cada uno de los bancos de material preseleccionados.

Revisar las opciones existentes sobre la utilización de materiales artificiales.

- Elegir el mejor sistema de cobertura con base en:

El orden de importancia de las funciones.

El grado de efectividad con que cubrirá cada una de las funciones.

La disponibilidad de obtener el material.

Una evaluación de costo-beneficio.

El uso final del sitio.

- Diseñar el sistema de cobertura.

Especificaciones para la colocación y manejo del material seleccionado.

Especificaciones de diseño para cubrir alguna función especial

- Realizar un plan de operación y preparación de la superficie por cubrir.
- Establecer las normas de control de calidad.

Ahora bien, una vez seleccionado el material de cobertura final y teniendo las características de él, puede presentarse que éste no cubra satisfactoriamente con todas las funciones encomendadas, por lo que es necesario modificar su estructura o implementar algunos mecanismos de control o, tal vez, utilizar una combinación de diferentes materiales.

Por lo anterior, a continuación se mencionan algunas recomendaciones para suplir las deficiencias del material de cubierta en algunas de las funciones primordiales de ésta.

- 1.- Impedir la infiltración y la percolación de agua pluvial.
 - Incrementando la pendiente superficial y realizando cunetas de desvío y desalojo.
 - Adicionando otros suelos de mejor graduación.
 - Usando aditivos.
 - Incrementando el espesor de la cubierta de material.
 - Usando membranas como barreras impermeables.
 - Compactando el material con equipo especial.
 - Usando un sistema combinado por capas de diferentes materiales.

- 2.- Evitar el flujo del biogás en toda la superficie.
- Usando suelos muy finos, como la arcilla.
 - Manteniendo alto el grado de saturación del suelo.
- 3.- Controlar la erosión por agua.
- Mezclando suelos granulares como las arenas y las gravas.
 - Compactando el material con equipo especial.
 - Reduciendo la pendiente superficial.
 - Construyendo obras de drenaje interiores y exteriores.
 - Colocando una cubierta vegetal.
 - Usando aditivos.
- 4.- Reducir la erosión por viento.
- Adicionando suelos granulares como las arenas y las gravas.
 - Minimizando las elevaciones irregulares de la superficie.
 - Considerando en el diseño la orientación y dirección de los vientos.
 - Colocando una cubierta vegetal.
 - Usando aditivos.
- 5.- Minimizar la generación de polvos.
- Disminuyendo la distancia de recorrido dentro del sitio, creando un sistema

centralizado.

- Dando continuo mantenimiento a los caminos de acceso.
- Sembrar vegetación desde el inicio de las operaciones de cobertura

6.- Garantizar la seguridad de los taludes

- Realizando un análisis de estabilidad.
- Diseñando la inclinación de los taludes cuidando que no sea menor de 2:1.
- Construir bermas en la parte frontal o lateral del talud.
- Construyendo muros de retención.
- Compactando el material con equipo especial.

7.- Reducir los efectos de heladas.

- Utilizando capas de suelos granulares.
- Contando con una reserva de material disponible para la cobertura.
- Programando las operaciones de acuerdo con la época del año.

4.4 SUPERVISION DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL RELLENO SANITARIO.

La supervisión ambiental en el relleno sanitario se debe llevar a cabo para asegurar que ningún contaminante, que pueda afectar la salud pública y al ambiente circundante, escape del relleno.

La supervisión necesaria se puede dividir en tres categorías generales:

- supervisión de la zona aireada para gases y líquidos,
- supervisión de las aguas subterráneas y
- supervisión de la calidad del aire

4.4.1 Supervisión de la zona aireada

La zona aireada se define como aquella zona entre la superficie del suelo y el lugar donde se encuentra el agua subterránea permanente. Una característica importante de la zona aireada es que los espacios de los poros no están ocupados por agua y que las pequeñas cantidades de agua, que están presentes, coexisten con aire. La supervisión de la zona aireada en el relleno implica líquidos y gases.

4.4.1.1 Supervisión de líquidos en la zona aireada.

La supervisión de líquidos en la zona aireada es necesaria para detectar escapes de lixiviados desde el fondo del relleno. En la zona aireada, la humedad mantenida en los intersticios de las partículas del suelo o dentro de la roca porosa, siempre se mantiene a presiones por debajo de la presión atmosférica. Para eliminar la humedad, es necesario desarrollar una presión negativa o un vacío, para arrastrar la humedad fuera de las partículas del suelo. Como hay que aplicar una succión para arrastrar la humedad, fuera de la zona aireada, no se pueden usar pozos

convencionales u otras cavidades abiertas para obtener muestras en esta zona. Los dispositivos de muestreo, utilizados para la extracción de muestras en la zona no saturada, se llaman lisímetros de succión. Las tres clases de lisímetros más comúnmente utilizados son:

1. de taza cerámica,
2. de fibra hueca y
3. de filtro de membrana.

El dispositivo que generalmente se utiliza para obtener muestras de humedad en la zona aireada es la taza cerámica, que consiste en una taza porosa, o anillo hecho de material cerámico, que está acoplado a una sección corta de tubería no porosa (por ejemplo, PVC). Cuando se coloca en el suelo, como tiene poros, se convierte en una extensión del espacio poroso del suelo. La humedad del suelo es succionada a través del elemento poroso de cerámica, mediante la aplicación de vacío. Cuando se ha recogido una cantidad suficiente de agua en el muestreador, la muestra recogida se lleva a la superficie a través de un tubo estrecho, mediante la aplicación de vacío, o se empuja hacia arriba, mediante presión de aire.

4.4.1.2 Supervisión del gas en la zona aireada.

La supervisión de los gases en la zona aireada es necesaria para detectar el movimiento lateral de los gases del relleno. En muchos sistemas de control se recogen las muestras del gas, en múltiples profundidades, dentro de la zona aireada.

4.4.2 Supervisión del agua subterránea.

La supervisión del agua subterránea es necesaria para detectar cambios en la calidad de la misma, que puedan producirse a causa del escape de los lixiviados y de los gases del relleno. Se necesitan dos tipos de pozos (de pendientes positiva y negativa) para detectar cualquier contaminación del acuífero subterráneo, causado por el lixiviado del relleno. En la figura 17 se ilustra un ejemplo de un pozo utilizado para el monitoreo de las aguas subterráneas.

4.4.3 Control de la calidad del aire.

El control de la calidad del aire del relleno implica:

- a) el control de la calidad del aire ambiental, dentro y en el entorno del relleno,
- b) el control de los gases extraídos del relleno y
- c) el control de los gases de salida, procedentes de instalaciones, para el procesamiento o tratamiento del gas.

4.4.3.1 Control de la calidad del aire ambiental.

Se controla la calidad del aire ambiental en las zonas del relleno para detectar el movimiento de contaminantes gaseosos en el contorno del relleno. Se pueden dividir los dispositivos para el muestreo del gas en tres categorías: 1) pasivos, 2) de extracción, y 3) activos. El muestreo pasivo implica la recogida de una muestra del gas, mediante el paso de una corriente de gas a través de un dispositivo de recogida, en el que se separan los contaminantes contenidos en la corriente de gas para su análisis subsiguiente. El muestreo pasivo, comúnmente utilizado en el

pasado, apenas se utiliza actualmente. Las muestras de extracción se recogen utilizando un frasco vacío, una jeringuilla de gas o una bolsa para la recolección de aire, elaborada con un material sintético. Un muestreo activo implica la recolección y el análisis de una corriente continua de gas.

4.4.3.2 Control del gas extraído del relleno.

Se controla el gas del relleno para valorar la composición del gas, y para determinar la presencia de oligoconstituyentes, que puedan ocasionar un riesgo ambiental o para la salud pública.

4.4.3.3 Control de los gases de salida.

Se lleva a cabo el control de los gases de salida, procedentes de las instalaciones de tratamiento y de recuperación de energía, para determinar si cumplen los requisitos de control de contaminación atmosférica. Se puede utilizar el muestreo de extracción y el continuo para tal propósito.

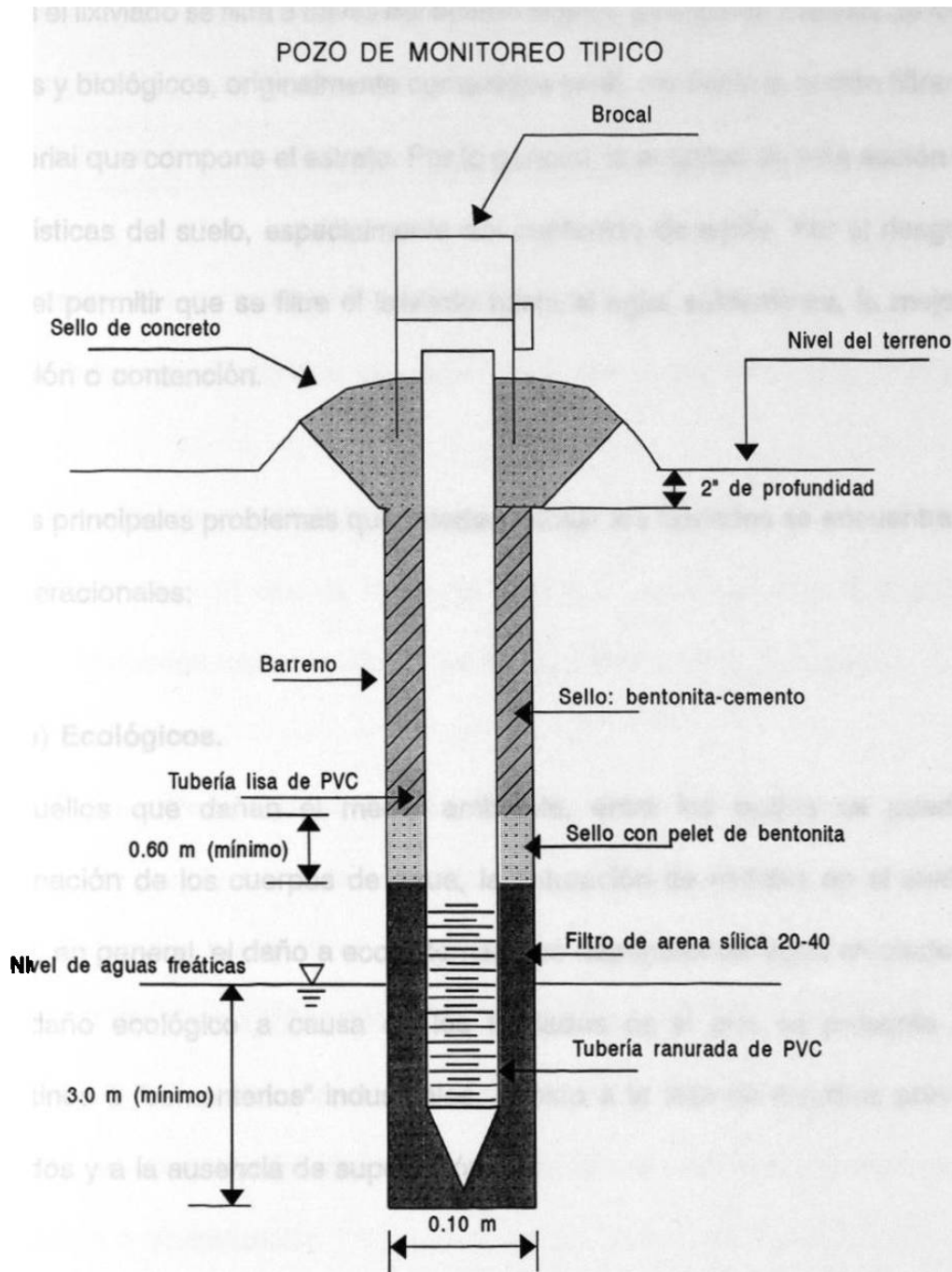


FIGURA 17 Pozo típico para el monitoreo del agua subterránea.

Recomendado por el Departamento de Geotecnia del Instituto de Ingeniería Civil, F.I.C. U.A.N.L. para el Relleno Sanitario. Estudio para SIMEPRODE. 1997

4.5 IMPACTOS NEGATIVOS QUE PUDIERAN PRESENTAR LOS LIXIVIADOS.

Mientras el lixiviado se filtra a través del estrato inferior, se separan muchos de los constituyentes químicos y biológicos, originalmente contenidos en él, mediante la acción filtrante y absorbente del material que compone el estrato. Por lo general, la amplitud de esta acción depende de las características del suelo, especialmente del contenido de arcilla. Por el riesgo potencial que implica el permitir que se filtre el lixiviado hasta el agua subterránea, la mejor práctica es su eliminación o contención.

Entre los principales problemas que pueden causar los lixiviados se encuentran los ecológicos y los operacionales:

a) Ecológicos.

Son aquellos que dañan el medio ambiente, entre los cuales se puede mencionar la contaminación de los cuerpos de agua, la saturación de metales en el suelo que provocan acidez y, en general, el daño a ecosistemas que dependen del agua afectada. Actualmente, el mayor daño ecológico a causa de los lixiviados es el que se presenta en los tiraderos clandestinos o "cementeros" industriales, debido a la falta de estudios previos, tratamientos adecuados y a la ausencia de supervisión.

b) Operacionales.

Estos dificultan la operación del relleno sanitario; un exceso de lixiviado provoca que la basura alcance un menor grado de compactación y, por consiguiente, una menor resistencia mecánica y menor volumen por almacenar en una celda.

Es importante, una vez que se tiene conocimiento de los problemas que generan los lixiviados, encontrar formas de controlar y neutralizar los impactos negativos que se presentan.

4.5.1 Monitoreo de lixiviados.

Este es el primer paso que se debe de dar para tomar acciones tendientes al control de lixiviados. Se pueden presentar dos situaciones en los rellenos sanitarios:

La primera, que tomando en cuenta las normas técnicas de diseño, se haya dado a la superficie del relleno las pendientes y la compactación necesarias para la recolección de lixiviados, entonces se llevarán a cabo la construcción de cárcamos de colección, tal como lo especifica el PROYECTO de Norma NOM 084 ECOL 94, Que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias, y que sirven para determinar la composición química del lixiviado e implementar los procesos para su estabilización o neutralización.

La otra situación, se refiere a que el relleno sanitario se haya construido sin atender a las normas técnicas correspondientes, o se operen en forma incorrecta, de tal manera que presente la

infiltración de lixiviados hacia el subsuelo. En tal caso, se pueden hacer monitoreos para determinar la pluma contaminante, o sea el flujo de agua que tiene presencia de lixiviados.

EL monitoreo para detectar la presencia de lixiviado se puede hacer por medio de los siguientes métodos:

4.5.1.1 Monitoreo por el método directo.

El monitoreo de la pluma contaminante se puede realizar usando este método, que consiste en realizar pozos para la extracción de agua o muestras de suelo, las cuales se analizan para determinar la presencia de contaminantes. La desventaja de estos métodos se encuentra en el hecho de que solamente presentan resultados puntuales de la pluma de contaminante y su costo no permite realizar demasiadas perforaciones. En la figura 17 se presenta un ejemplo de un pozo para el monitoreo del agua subterránea.

4.5.1.2 Métodos indirectos.

Esto se refiere, específicamente, al método geofísico de las resistividades, para el cual existen dos arreglos que comúnmente se usan, dependiendo de las características de los estudios:

Arreglo Wenner. Este tipo de arreglo tiene la separación constante entre electrodos; se utilizan comúnmente para delimitar estratos hasta profundidades de 30 metros de manera más detallada, pero abarcando un área más delimitada.

Arreglo Shulumerger. Este arreglo mantiene fijo el punto medio de la línea de electrodos de potencial y, mediante incrementos sucesivos, se separan los electrodos de corriente, permitiendo obtener las resistividades de estratos cada vez más profundos; este arreglo es el más usado por la profundidad que pueden alcanzar sus lecturas.

Experimentalmente se tienen rangos de valores para suelos típicos, de donde se hace una correlación entre las estratigrafías y las resistividades obtenidas. A continuación se da la siguiente tabla de "resistividades tipo".¹

Tabla 12. Resistividades tipo

MATERIAL	RESISTIVIDAD (ohm-m)
Grafito	3×10^{-4}
Pirita	1×10^{-3}
Salmuera	5×10^{-2}
Arcilla	1.0
Yeso	10
Agua dulce	50
Gravas y arenas saturadas con agua dulce	10^2
Serpenyina	3×10^2
Caliza	10^{03}
Granito	10^{08}
Cuarzo	10^{11}
Calcita	5×10^{12}

¹ Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Abril-Junio, 1994

En la tabla anterior puede observarse el intervalo de valores; el monitoreo de la pluma contaminante, por el método de las resistividades, está basado en el hecho de que el lixiviado contiene sales y metales en solución, lo que hace que la resistividad disminuya, o sea, que el lixiviado se comporte como un buen conductor; entonces se tiene un sondeo y sus resistividades resultantes. Analizando los resultados, se puede estimar con bastante exactitud la trayectoria del líquido contaminante, que será aquella en donde los puntos presentan una resistividad anormalmente baja con respecto a los puntos adyacentes o a los mismos puntos, si se cuentan con los registros de sondeos anteriores.

Lo anteriormente expuesto permite deducir que, para suelos con un alto contenido salino, no es aplicable el método de las resistividades pues la variación de ésta, debido a la migración de lixiviados, es casi imperceptible.

4.6 ESTRATEGIAS PARA NEUTRALIZAR LOS IMPACTOS NEGATIVOS DEBIDO A LA PRESENCIA DE LIXIVIADO.

Las medidas de control preventivas y correctivas que se pueden realizar para mitigar o prevenir los impactos negativos que provocan la presencia de lixiviado, en el relleno sanitario, son básicamente las siguientes:

- 1) Preventivas, para los confinamientos por construir, y
- 2) Correctivas, para los confinamientos en los que no se consideró la captación de lixiviados y no hubo el diseño de las obras complementarias adecuadas.

4.6.1 Métodos de control preventivos.

Los métodos de control preventivos se recomiendan para aquellas nuevas áreas a utilizar en el área del relleno sanitario de Salinas Victoria, N.L., o en otras áreas, al término de la vida útil del relleno sanitario.

En cualquiera de los dos casos, se sujetarán a las Normas Oficiales Mexicanas NOM 084 ECOL 94, en donde se dice que debe haber colectores, subcolectores y, por lo menos, tres pozos de monitoreo para lixiviados.

Al fondo de la microcelda, y en cada capa de cubierta, se le debe dar una pendiente de 0.4%. Eso tiene la finalidad de captar los lixiviados que escapen del sistema de recolección. Tanto el material de la base como el de cobertura de las capas, deberán compactarse al 90% próctor para asegurar una permeabilidad baja.

Otro método de control preventivo que permite conocer la composición química, la temperatura de los desechos, la generación de biogás y las interacciones entre celdas, es el método de las celdas de control. Permite investigar el comportamiento para generar parámetros de diseño, y llevar a cabo el monitoreo del mismo, para evitar posibles riesgos de contaminación ambiental. Para que una celda sea representativa de las condiciones reales del relleno, se deberán tomar las siguientes consideraciones:

- 1) El volumen de la celda que sea similar al de la basura por depositar en un día normal.
- 2) El volumen del lixiviado por captar.
- 3) El volumen del biogás, incluyen amoniaco, ácido sulfhídrico, nitrógeno y principalmente bióxido de carbono y metano.

Entre las instrumentaciones de la celda se encontrarán: tubería para extracción de biogás y lixiviado, termopares para poder conocer la temperatura de los desechos y se instalarán bancos de nivel fijos, a fin de conocer los asentamientos.

Otra forma de evitar el transporte de lixiviados es cubrir la totalidad de las celdas con geotextiles o cualquiera de las formas comentadas en el punto 4.1: "Control de Lixiviados en el Relleno Sanitario".

4.6.2 Métodos correctivos.

Se pueden hacer varias sugerencias para el control de lixiviado proveniente del relleno sanitario:

- 1) Para mejorar el fondo y aumentar la resistencia mecánica al esfuerzo cortante, se puede inyectar una solución de cal; ésto hace que aumente el número de iones hidróxido y, por lo tanto, la capacidad de intercambio catiónico aumenta también.

- 2) Dependiendo de las condiciones topográficas, se puede realizar la construcción de un canal perimetral a cielo abierto, abajo del nivel de la base del relleno sanitario y, previo estudio de flujo subterráneo, construir un cárcamo de colección.

- 3) En el caso de que el lixiviado ya se encuentre en la zona saturada, aprovechando la forma de transporte, se pueden crear controles hidrodinámicos, por medio de conos de abatimiento por bombeo y dirigir

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. La producción de lixiviado se presenta a partir del segundo año de operación del relleno sanitario; y tampoco se produce gas sino hasta principios del segundo año de operación.
2. La producción de lixiviado aumenta de acuerdo con la operación del relleno sanitario. Mientras el relleno esté en operación, se produce cada vez más lixiviado.
3. Durante el tiempo de operación del relleno sanitario, la producción de lixiviado depende directamente del régimen de lluvias, pero esto no repercute en el mismo año, sino para los años siguientes, ya que se va acumulando la humedad en los residuos y en el material de cobertura.
4. Después de terminado el relleno sanitario, la cantidad de agua que penetra en el mismo es factor importante para la producción de lixiviado; pero esto no se ve reflejado en los resultados obtenidos en el fondo del relleno, sino más bien en los niveles intermedios. Cabe destacar que la producción de lixiviados, en el fondo del relleno, va disminuyendo, ya que tarda en descender por los diferentes niveles del mismo.
5. De acuerdo con los cálculos efectuados, la producción de lixiviados empieza a disminuir al segundo año después de que deja de operar el relleno sanitario, y podrá llegar un

momento en que esta producción sea constante, en cantidades mínimas, o que la producción sea cero; ésto dependerá básicamente de las condiciones de humedad y temperatura del lugar y de las características de la cubierta final del relleno sanitario.

6. En general, se puede decir que, aún en condiciones de altas temperaturas, puede haber producción de lixiviado ya que, por lo regular, se presentan lluvias durante la operación del relleno y la humedad queda atrapada entre los residuos y el material de cobertura y, aún con temperaturas cálidas no se evaporará completamente; por lo tanto, si se sigue trabajando a un ritmo normal, cada día será más difícil que la temperatura llegue hasta los residuos para evaporar completamente la humedad presente en los mismos. Hay que tomar en cuenta que la mayor cantidad de agua que entra en un relleno y que, finalmente, se convierte en lixiviado, entra durante el período de operación. En este caso en particular, en el Area Metropolitana de Monterrey se dan temperaturas promedio por arriba de los 30°C en algunos meses del año (junio, julio y agosto, principalmente) y aún así, de acuerdo con los cálculos, existe producción de lixiviado.
7. De acuerdo con los cálculos realizados, se tiene una producción promedio de 119,863.47 m³/año de lixiviado, y un recorrido de 0.0495 m por año, por lo que se calcula que, en aproximadamente 161 años, el lixiviado llegará al nivel freático.
8. El efecto principal de la contaminación se presenta en el suelo, ya que éste retiene los materiales contenidos en el lixiviado; ésto provoca que el suelo pierda o disminuya sus

características mecánicas, por lo que puede provocar asentamientos y grietas sobre el relleno sanitario, lo cual puede dar lugar a que se infiltre más agua de la pronosticada en los cálculos.

9. Los asentamientos y grietas son producto no solamente de la falla del suelo de base, sino también de la descomposición de la basura de las capas intermedias.
10. Se debe evitar, a cualquier costo, que la contaminación llegue al manto freático, ya que una vez ahí, será muy difícil su descontaminación o purificación.

RECOMENDACIONES

- Dado que el agua que entra al relleno después de su operación depende básicamente de las condiciones y características de la cubierta final; se debe seleccionar muy bien el material para dicho propósito, y construir y dar mantenimiento periódico a las obras complementarias, como sería el caso de los canales laterales para recolectar el agua de lluvia.
- Dado que se pueden llegar a presentar ciertos problemas ocasionados, tanto por deformaciones ocurridas en el interior de la celda, como por intemperismo, para el mantenimiento y conservación de la cubierta final del relleno sanitario se recomienda:

- Que las pendientes que se deben preparar para el escurrimiento del agua pluvial, en la parte superior de la celda terminada, deberán prepararse de tal forma que, sobre ellas, las pendientes no sean mayores del 2% para facilitar el escurrimiento y salida del agua de lluvia, así como evitar encharcamientos y erosión por efecto del escurrimiento del agua de lluvia.

- Que para solucionar el problema de las depresiones se escarifique con pala, rastrillo o zapapico toda el área afectada, ello con el fin de cuantificar los daños y limpiar el área y que, después de escarificar y limpiar el área, se coloque el material de cobertura necesario para llevar a cabo la nivelación de la superficie afectada.

- Que para reparar las grietas se escarifique con pala, rastrillo o zapapico, el área afectada por la grieta y que, después de haber escarificado y limpiado el área afectada, se coloque material de cubierta a todo lo largo de la grieta y en un ancho de cuando menos 20 cm de cada lado de ella.

- Dado que la erosión se puede presentar tanto en taludes como en terraplenes, para ambos casos, se recomienda escarificar 10 cm con maquinaria o manualmente y, después, humedecer la zona afectada y reparar hasta llegar a la superficie original.

- Los suelos recomendados para la cubierta final son:

Las gravas arcillosas: mezclas mal graduadas de gravas, arena y arcillas, son excelentes como material de cobertura, ya que su permeabilidad al suelo compactado es buena, la resistencia a la erosión por lluvia es muy buena y la resistencia a la erosión, por viento, es buena y su resistencia al agrietamiento también es buena.

Se pueden usar también, con muy buenos resultados, arenas arcillosas: mezclas de arena y arcilla mal graduadas y gravas limosas: mezclas mal graduadas de grava, arena y limo¹.

En este caso, se ha estado utilizando el material de corte, ya que es de buena calidad para tal propósito. El material de corte está compuesto principalmente de arcilla calichosa y limo café consolidado, y gravas y boleas empacados en arcilla, parcialmente cementados².

- Dado que la supervisión ambiental es necesaria para asegurar que ningún contaminante proveniente del relleno pueda afectar la calidad sanitaria del ambiente circundante y por ende la salud pública; y ya que se encuentran asentamientos humanos muy cerca del relleno sanitario, es importante diseñar una red de monitoreo para la supervisión del agua subterránea con el fin de obtener información confiable y representativa de las características del acuífero, la dirección del flujo y características físicas y químicas del

¹ Manual para la Clausura de Tiraderos a Cielo Abierto. Colegio de Ingenieros Civiles de México. A.C. Nov. 1994

² Estudio Geotécnico. Departamento de Geotecnia. Instituto de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil. U.A.N.L. 1997

agua subterránea.

La red de pozos de monitoreo del agua subterránea deben adecuarse para monitorear las características de cada acuífero o las zonas de transporte de agua; las redes de monitoreo del agua subterránea deben incluir suficiente número de pozos, tanto aguas arriba como aguas abajo del relleno sanitario; sólo así se podrá detectar más fácilmente la extensión horizontal y vertical de algún contaminante y su posible transportación.

- En el caso de detectar algún contaminante en el agua subterránea, se deberá dar aviso a la autoridad correspondiente, para que sea ésta quien dicte las medidas a seguir y, al mismo tiempo, implementar cualquiera de las acciones recomendadas en el capítulo 4.5.2 ya que, como se comentó anteriormente, existen asentamientos humanos cerca del relleno sanitario, en los cuales existen norias y pozos, y se utiliza el agua para riego, abrevadero y uso doméstico en menor escala.
- Se recomienda diseñar una red de monitoreo para supervisar la calidad del aire en el relleno sanitario y para detectar el movimiento de los contaminantes gaseosos en la periferia del mismo. Se deberá controlar la salida del gas del relleno para evaluar la composición del mismo y detectar la presencia de compuestos que puedan representar un riesgo ambiental o a la salud pública.

- Para las áreas que se encuentran actualmente en operación, se recomienda que la basura proveniente de la planta clasificadora se ubique en una celda especial para tales residuos, para así poder llevar un control más estricto sobre la producción de gas y lixiviado ya que ambos dependen de la calidad de la basura, del método de operación y de la edad del relleno sanitario.
- También se recomienda instalar una área especial para almacenar la basura durante la época de lluvia; en el área se recibirá la basura durante los días de lluvia, para así evitar que la operación del relleno se haga en forma normal. Durante la época de lluvia se puede colocar el material de cobertura sobre los desechos para evitar que el agua penetre sobre ellos; después de las lluvias se puede laborar en otro frente de trabajo y cubrir los desechos con el material que se utilizó para cubrir los desechos durante la lluvia, siempre y cuando este material cumpla con las características para cubierta intermedia o final, según sea el caso. El uso de esta técnica de almacenar temporalmente el material de cubierta adicional sobre una celda terminada o en operación, puede limitar significativamente la cantidad de agua que entra en el relleno sanitario, y por lo tanto, disminuir la producción de lixiviado.
- Por último, se recomienda hacer una separación de celdas para cada tipo de desecho (desechos municipales que entran directamente a las celdas de confinamiento, desechos industriales no peligrosos, desechos provenientes de la planta clasificadora, etc.) y llevar un mejor control del tipo de desecho presente en cada una de las celdas. Una vez

identificadas las celdas, y las características de sus desechos, se procederá a cuantificar la producción de gas y sus características, y hacer una nueva valoración sobre la producción de lixiviado; tanto para las áreas terminadas, como para las que se encuentran en operación, para así poder llevar un mejor control sobre la producción y el tratamiento de lixiviado en todo el Relleno Sanitario.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Azevedo Netto y Acosta Alvarez (1976)

Manual de Hidráulica

México, Harla

Castany G.(1971)

Tratado práctico de las aguas subterráneas

Barcelona, Omega.

Custodio Emilio y Llamas Manuel Ramón (1976)

Hidrología subterránea

Barcelona, Omega.

Ecology and Environment, Inc. Whitman, Requardt and Associates (1985)

Toxic Substance Storage Tank Containment

Park Ridge, New Jersey, USA. Noyes Publications.

Fried Jean J. (1975)

Groundwater Pollution. Theory, Methodology, Modelling and Practical Rules.

Amsterdam. Elsevier Scientific Publishing Company.

Gábor Kiss. "Consideraciones Medioambientales en Proyectos de Rellenos Sanitarios"

En la Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales

Año 10, Núm. 35, marzo - abril de 1998

Gábor Kiss Köfalusi y Fluvio Mendoza Rosas. "Generación de materias contaminantes en Rellenos Sanitarios de Residuos Sólidos Municipales"

En la Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales

Año 10, Núm. 38, septiembre-octubre 1998.

Gábor Kiss. "Modelos y Fórmulas para la Descripción del Balance de Agua en Rellenos Sanitarios". En la Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales

Año 10, Núm. 45, noviembre-diciembre 1999.

García Avilés Alfredo (1977)

Introducción a la Metodología de la Investigación Científica

México, Plaza y Valdés.

- Jaramillo Jorge (1991)
Residuos Sólidos Municipales. Guía para el Diseño, construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales.
Programa de Salud Ambiental. Serie Técnica No. 28
Washington, D. C., OPS, OMS
- Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodríguez Alfonso (1982)
Mecánica de Suelos Tomo III. Flujo del Agua en Suelos
México, Limusa.
- Johnson Division, UOP Inc. (1975)
El agua subterránea y los pozos
Saint Paul, Minesota.
- Kostecki Paul T. & Calabrese Eduard J. (1991)
Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater. Analysis Fate Environmental and Public Health Effects Remediation.
Michigan. USA. Lewis Publishers, Inc.
- Memorias del VII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C
Oaxaca, Oax. del 19 al 21 de septiembre de 1990.
- Linsley Ray K. Jr, Kholer Max A. y Paulhus Joseph L.H. (1977)
Hidrología para ingenieros
México, McGraw-Hill.
- L. Mijailov (1985)
Hidrogeología
Moscú, Mir.
- México, Comisión Nacional del Agua, 1994
Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos
- Miller G. Tyler. Jr. (1994)
Ecología y Medio Ambiente
Traducción de Dra. Irma de León Rodríguez y Biol. Virgilio González Velázquez.
México. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Orta Ledesma María Teresa, Monje Ramírez Ignacio y Rojas Valencia Ma. Neftalí. "Manejo de los Lixiviados y el Biogás procedentes de Rellenos Sanitarios en México"
En la Revista Ingeniería y Ciencias Ambientales
Año 10, Núm. 42, mayo-junio 1999

Rojas Soriano Raul (1994)
Guía para realizar Investigaciones Sociales
México, Plaza y Valdés.

Tchobanoglous George, Theisen Hilary, Vigil Samuel (1994)
Gestión Integral de Residuos Sólidos
Tomos I y II
España, McGraw-Hill/Interamericana.

Vega Durán E; Morales y Monroy R. y Hernández Oviedo E. "Contaminación por lixiviados"
En la Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos
Mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos 1993-1994
México, D.F.
No.6, abril-junio, 1994

Walton William C. (1991)
Principles of Groundwater Engineering
USA, Lewis Publishers, Inc.

GLOSARIO

GLOSARIO

Absorción.- Incorporación y fijación de una sustancia en el cuerpo de otra, cuando el fenómeno no se limita tan solo a la superficie.

Acarreo.- Es la acción de transportar el material de cobertura desde el lugar donde se encuentra hasta el relleno sanitario.

Acción microbiana.- Proceso de degradación de la materia orgánica en los residuos sólidos debido principalmente a bacterias y hongos, los cuales la hidrolizan y oxidan a través de las enzimas.

Agua Subterránea.- Es el agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas.

Aireación.- Inclusión de oxígeno de la atmósfera, por medios naturales o mecánicos, para la degradación por vía aerobia de todos aquellos residuos biodegradables.

Almacenamiento.- La acción de retener temporalmente los residuos sólidos, en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se disponen.

Arcilla.- Suelo de grano fino o la porción de grano fino de un suelo que es plástica (como mastique) y presenta gran resistencia cuando es secado al aire.

Biodegradable.- Cualidad que tiene toda la materia de tipo orgánico para ser metabolizada por medios biológicos.

Biogás.- Gas, producto de degradación de los sólidos, por acción de organismos anaeróbicos. La mezcla de gases, producto de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

Características Biológicas.- Contenido de organismos en los residuos sólidos, medido a través de indicadores como: Número Más Probable (N.M.P), cuenta en placa y resultado de ensayos biológicos.

Características Físicas.- Propiedades que derivan el estado de la materia que constituye a todo residuo sólido, así como aquellas que no alteran o modifican su naturaleza y composición.

Características Químicas.- Propiedades que definen la potencialidad de la materia contenida en todo tipo de residuos sólidos para transformarse, cambiar en energía o alterar su estado.

Carga Hidráulica.- Es la energía presente en un acuífero, normalmente tiene dos componentes;

a) la carga relacionada con la elevación con respecto a un punto de referencia que es normalmente el nivel medio del mar, y b) la carga de presión, o presión de poro.

Caudal o flujo.- Es aquel en el que cada partícula de agua se mueve en una dirección paralela a la de cualquier otra y en el que la pérdida de carga es proporcional a la primera potencia de la velocidad.

Celdas.- Es la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cobertura, debidamente compactado mediante equipo mecánico.

Compactación.- Es la acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él.

Contaminante.- Todo elemento, materia, sustancia, compuesto, así como toda forma de energía técnica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, alteran o modifican su estado y composición o bien, afectan la flora, la fauna o la salud humana. Debe entenderse como medio físico el agua, el aire y el suelo.

Corte.- Es la acción de rebajar, por medios mecánicos o manuales, un material (vegetal o para cubierta).

Cota.- Es la marca que indica la elevación de un banco de nivel.

Cuantificación.- Proceso mediante el cual se determina la composición, en peso, de cada uno de los subproductos contenidos en los residuos sólidos.

Cubierta intermedia.- Es el estrato de material natural o sintético con que se cubre una franja o capa de residuos en un relleno sanitario

Cubierta diaria.- La capa de material natural o sintético con que se cubren los residuos depositados durante un día de operación.

Cubierta final.- El revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.

Degradable.- Cualidad que presentan determinadas sustancias o compuestos para descomponerse gradualmente por medios físicos, químicos o biológicos.

Densidad.- Masa o cantidad de un determinado residuo sólido, contenido en una unidad de volumen.

Disposición.- La descarga, depósito, inyección, vertido, derrame o colocación de cualquier tipo de residuo en o sobre el suelo o cualquier cuerpo de agua.

Disposición Final.- El depósito permanente de los residuos en sitio y condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas.

Ecosistema.- Unidad básica de interacción de los organismos vivos entre sí y sobre el ambiente, en un espacio determinado.

Escurrimiento.- Es el agua pluvial que no se infiltra y no se evapora.

Fauna nociva.- Conjunto de especies animales, potencialmente dañina para la salud y la economía que nacen, crecen, se reproducen y se alimentan de los residuos orgánicos que son depositados en tiraderos, basureros y rellenos sanitarios.

Generación.- Cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

Gravas.- Partículas trituradas, semiredondeadas o redondeadas de roca que pasan las cribas 3" y son retenidas por la criba No. 4.

Infiltración.- Introducción suave de un líquido entre los poros de un sólido referido al agua, el paso lento de esta a través de los intersticios del suelo y del subsuelo.

Incineración.- Proceso de combustión controlada para tratar los residuos sólidos.

Limos.- Materia que pasa por la criba standar No. 200, que no es muy plástico o ligeramente plástico, y que tiene muy poca, o ninguna resistencia, cuando se seca al aire.

Lixiviado.- Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disuelto o en suspensión, compuestos que se encuentran en los mismos residuos.

Material de cobertura.- Capa superficial que tiene, entre otras finalidades, controlar infiltraciones y el ingreso y egreso de fauna nociva.

Monitoreo.- Conjunto de actividades necesarias para conocer y evaluar la calidad de un determinado elemento del ambiente.

Nivel freático.- Es la profundidad en la que se encuentran las aguas freáticas; este nivel baja en tiempo de seca y sube en tiempo de lluvias.

Pendiente.- Es la inclinación que tiene un terreno o cualquier elemento tomando, como base, la relación longitud-altura.

Pendiente hidráulica.- Es la diferencia de niveles del escurrimiento de agua respecto a un plano horizontal a diferentes distancias.

Percolación.- Es el movimiento descendiente de agua a través del perfil del suelo debido a la influencia de la gravedad.

Perímetro.- Es la longitud exterior de un cuerpo cerrado.

Permeabilidad.- Es la propiedad de una formación geológica que determina el paso del agua a través de ella. La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella sin deformar su estructura bajo la carga producida por un gradiente hidráulico.

Porosidad.- Es el porcentaje de vacíos en el volumen total de una muestra, o bien, el cociente del volumen que puede ser ocupado por agua entre el volumen total.

Pozo de monitoreo.- Es aquella excavación hecha expreso, para hacer cualquier tipo de medición (hidráulica, geofísica, geológica, etc.).

Reciclaje.- Proceso de transformación de los residuos sólidos para fines productivos.

Recolección.- Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

Relleno sanitario.- Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales, los cuales se depositan, se esparcen, compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con una capa de tierra, al término de las operaciones del día.

Residuo.- Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo genera.

Residuo peligroso.- Se consideran peligrosos aquellos residuos que presenten una o más de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y/o biológica infecciosas.

Residuo sólido.- Cualquier residuo que posea suficiente consistencia para no fluir por sí mismo.

Residuo sólido municipal.- Aquellos que se generen en: casas habitación, parques, jardines, vías públicas, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio y en general todos aquellos generados en actividades municipales, que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.

Reuso.- Acción de usar residuos sólidos sin previo tratamiento.

Selección.- Método por el cual se separan residuos sólidos con base a una clasificación previamente establecida.

Talud.- Parámetro inclinado de un dique, terraplén o desmonte. Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos de suelo con un ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.

Terraplén.- Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante.

Tratamiento.- El proceso que sufren los residuos para eliminar su peligrosidad, o hacerlos reutilizables.

Trincheras.- Desmonte de un terreno para abrir un camino, con taludes a ambos lados. Zanjas para disponer los residuos sólidos.

Evapotranspiración.- Pérdida de humedad por la superficie foliar de los vegetales.

Zona de aireación.- La zona que contiene agua bajo presión menor a la de la atmósfera esta delimitada entre al superficie del terreno y el nivel freático.

Zona de saturación.- El área que se caracteriza por tener sus poros o fracturas llenas de agua, su límite superior corresponde al nivel freático y su límite inferior es una unidad impermeable.

Zona no saturada.- Es el espesor que existe entre la superficie del terreno y el nivel frático. Es equivalente a la profundidad del nivel freático.

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Elías Vázquez Godina

Candidato para el grado de

Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Tesis: CUANTIFICACION Y EFECTOS DE LA PRODUCCION DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, NUEVO LEON.

Campo de Estudio: Ciencias del Ambiente

Biografía:

Datos Personales: Nacido en Dr. Arroyo, N.L. el 6 de Octubre de 1965, hijo de J.Reyes Vázquez Obregón y Florentina Godina López.

Educación:

Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1990.

Experiencia profesional:

Personal Profesional no Docente en el Instituto de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L. desde 1990.

Departamento de Geotécnica, (1990-1992).

Diversos estudios de campo y laboratorio de Estudios Geotécnicos realizados en el Area Metropolitana de Monterrey. Participación en trabajos de perforación de pozos para monitoreo de agua y suelo y determinación de las características físicas y mecánicas del suelo y roca. Participación en el Estudio Geotécnico para la Línea 2 del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

Departamento de Ingeniería Ambiental desde 1992.

Colaboración en diferentes estudios e investigaciones sobre Ecología y Medio Ambiente. Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental en diferentes modalidades; preventivo, general y específico; a nivel Estatal y Federal dentro del Estado de Nuevo León y entidades vecinas.

Maestro por horas en la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L

Maestro para la clase de Saneamiento Ambiental. (1995-1996)

Maestro para la clase de Ingeniería de Residuos. (febrero-julio del 2001)

Maestro por horas en la Facultad de Ciencias Políticas y Administración Pública de la U.A.N.L., desde 1994.

Maestro para las clases de: Probabilidad y Estadística, Matemáticas, Ecología y Técnicas de Investigación Social. Participación en la reforma Curricular de la Facultad. Elaboración de programas de estudio de: Matemáticas, Probabilidad y Estadística y Ecología.



