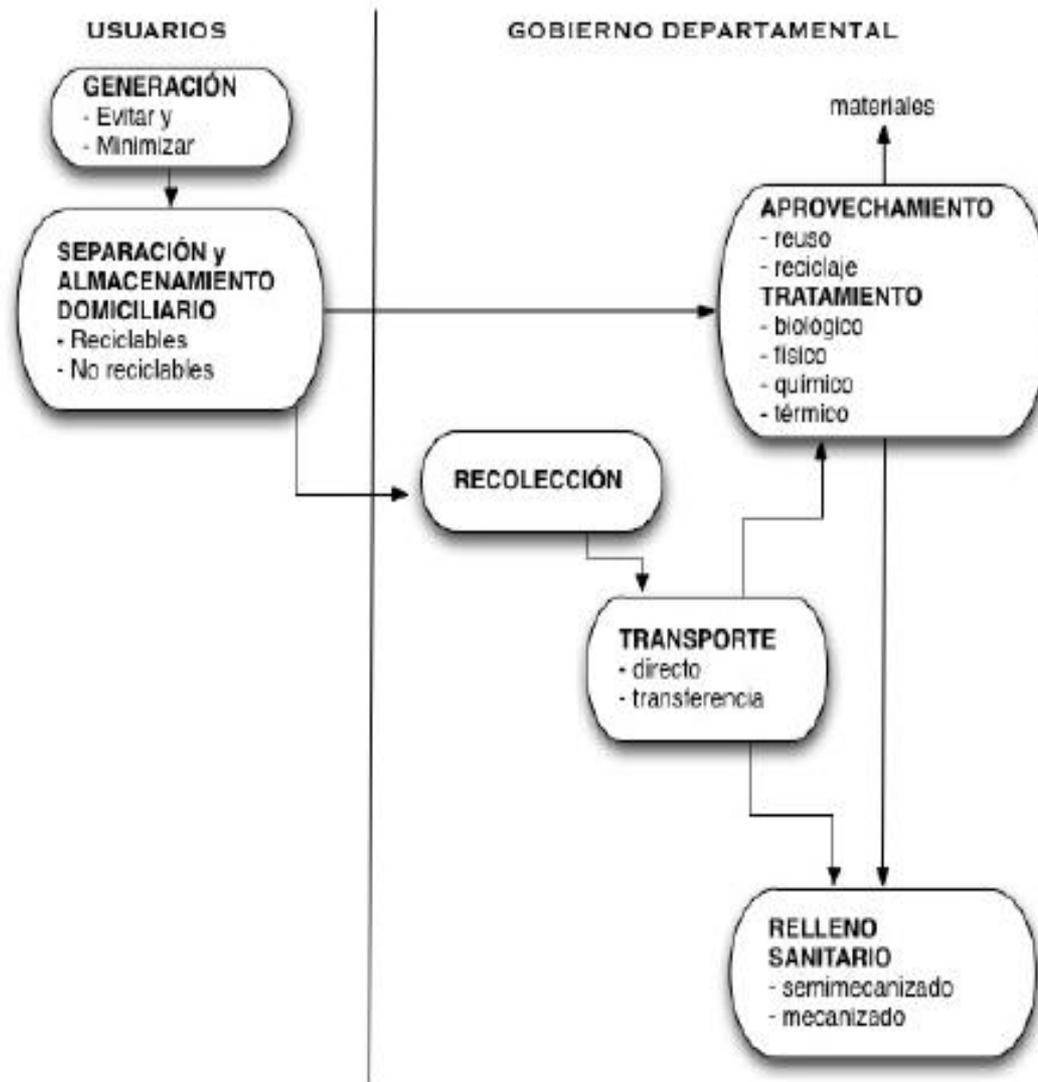


# **Etapas en la Gestión de Residuos Sólidos**

- **Generación de residuos sólidos (RS)**
- **Acondicionamiento en origen**
- **Recolección de RS**
- **Tratamiento / valorización de (algunos) RS**
- **Disposición de RS**

# GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS



# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS en América del Sur

## ■ *Brasil:*

- 76% en vertederos
- 13% en vertederos controlados
- 10% rellenos sanitarios
- **NBR – 8419/84**

## ■ *Venezuela:*

- 80% de los residuos permanecen a cielo abierto y un porcentaje bajo son separados para ser reciclados.

## ■ *Uruguay:*

- 10% de la disposición final es en vertederos con cierto grado de control.

# Vertedero no controlado



# Vertedero controlado





# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



**Relleno Sanitario**

# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



**Relleno  
Sanitario**

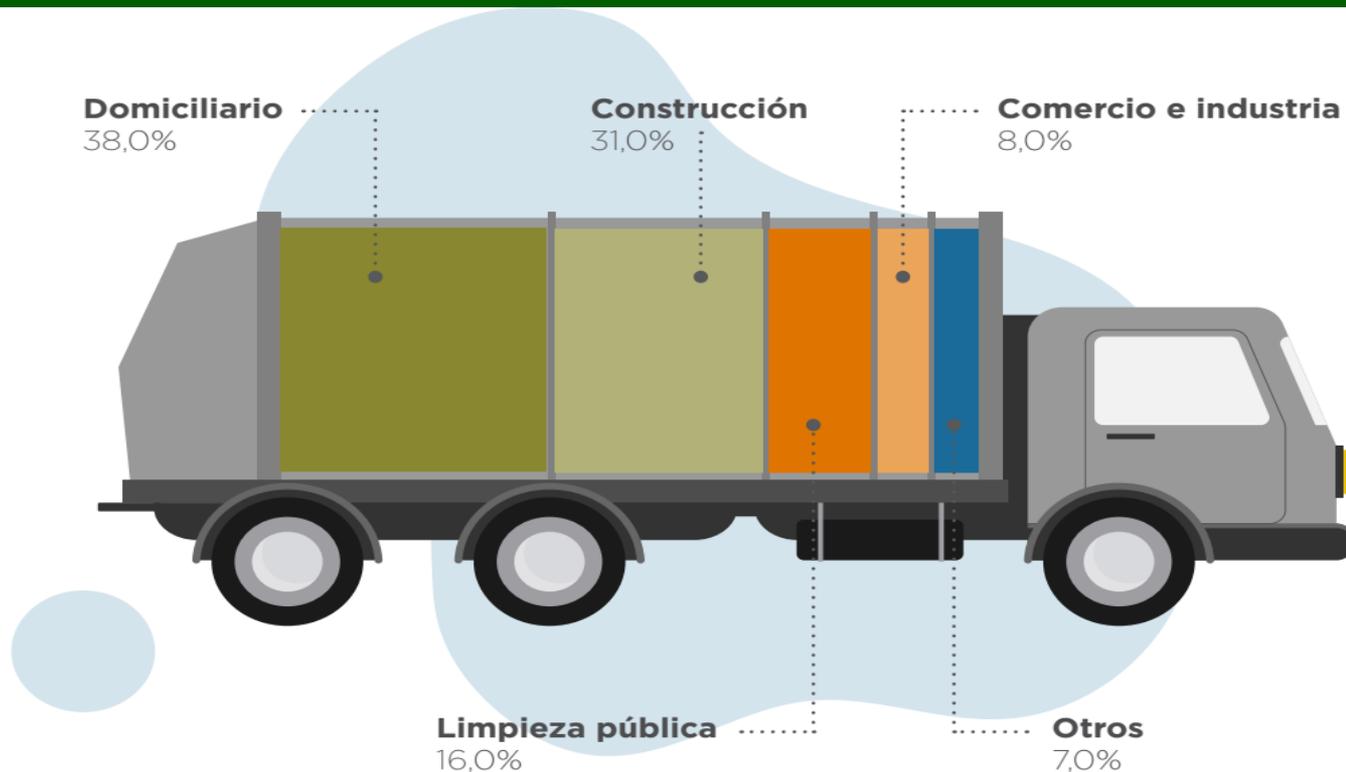
# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

- Vertedero no controlado.
- Vertedero con algún grado de control.
- Relleno sanitario



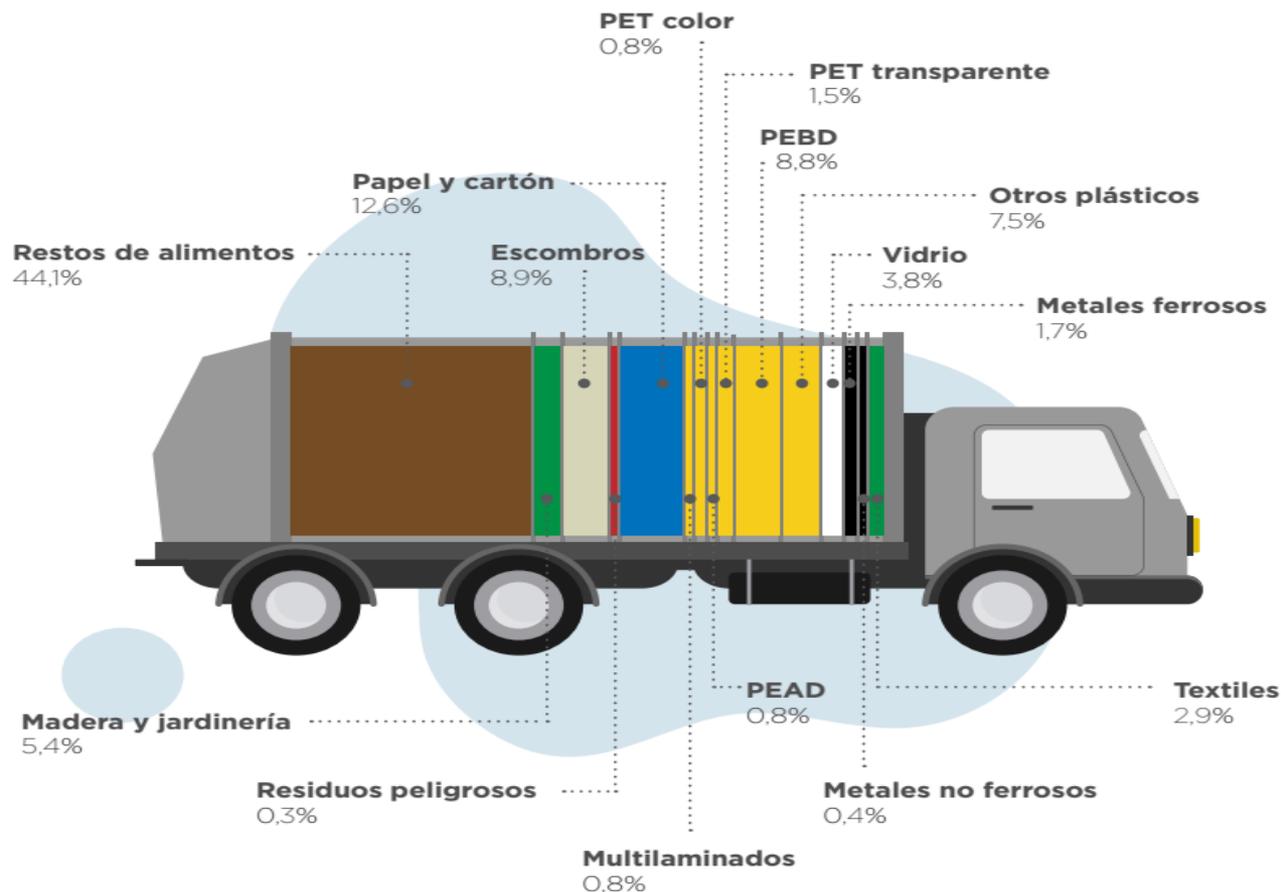
Ilustración 9: Vertederos a cielo abierto en América Latina y el Caribe: cifras clave



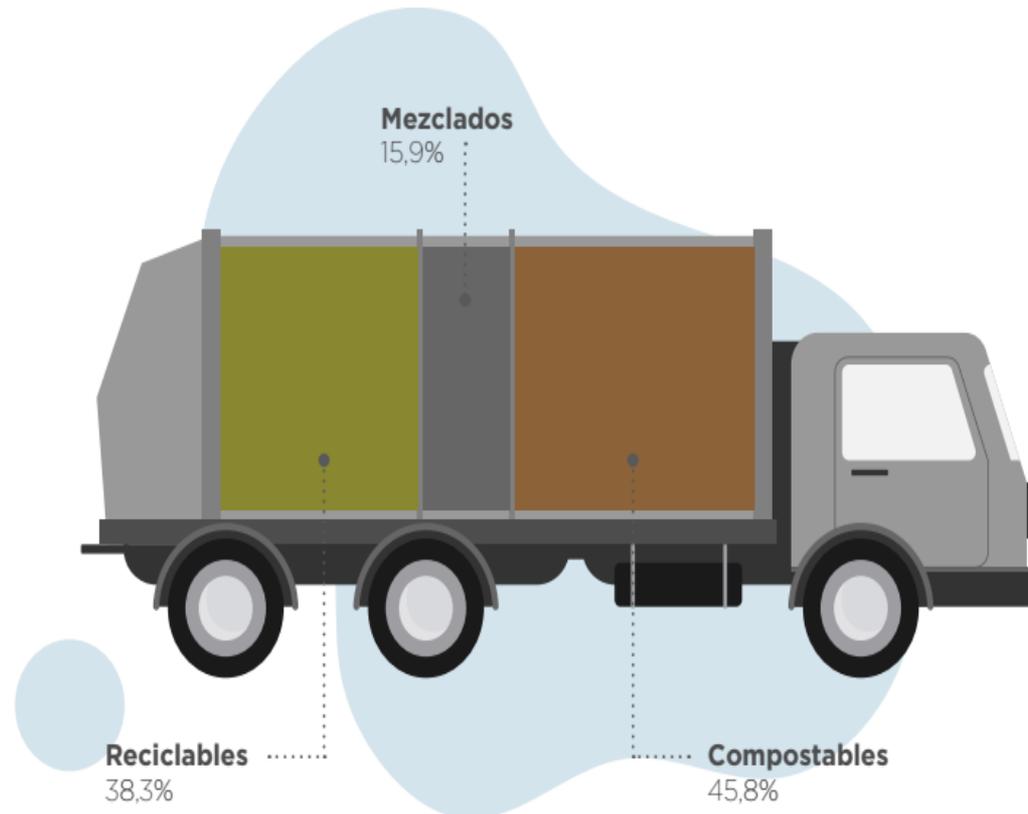


Fuente: Colturato et al. (2019).

- 895.000 Ton de Residuos ingresaron al Felipe Cardozo en 2018.
- 1.300 toneladas diarias de residuos de origen domiciliario y de limpieza pública.
- La tasa de disposición en relleno sanitario resultante es de 0,70 kg/persona-día y 0,29 kg/persona-día



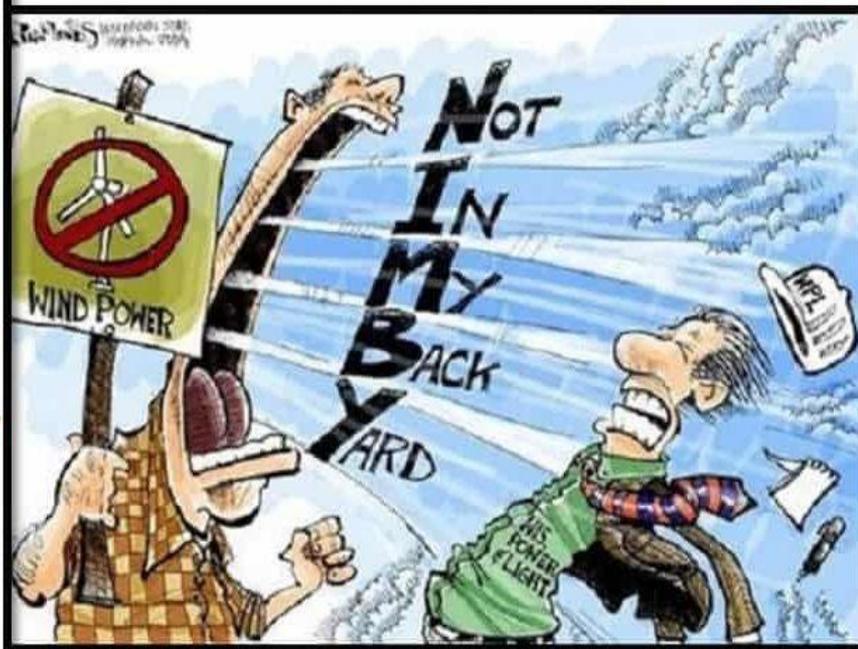
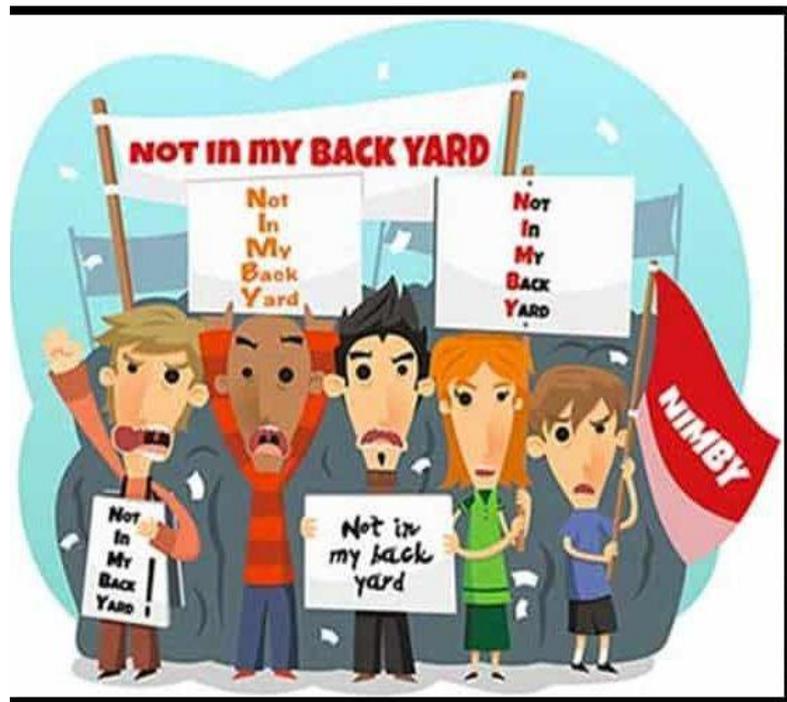
Composición de residuos de origen domiciliario dispuestos en el relleno sanitario Felipe Cardoso, por peso, 2015 (en porcentaje)



Fuente: Colturato et al. (2019).

# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Pese a que hoy día sólo se diseñan rellenos sanitarios y no vertederos –controlados o no-, todavía tiene un peso muy grande el “fenómeno NIMBY”:



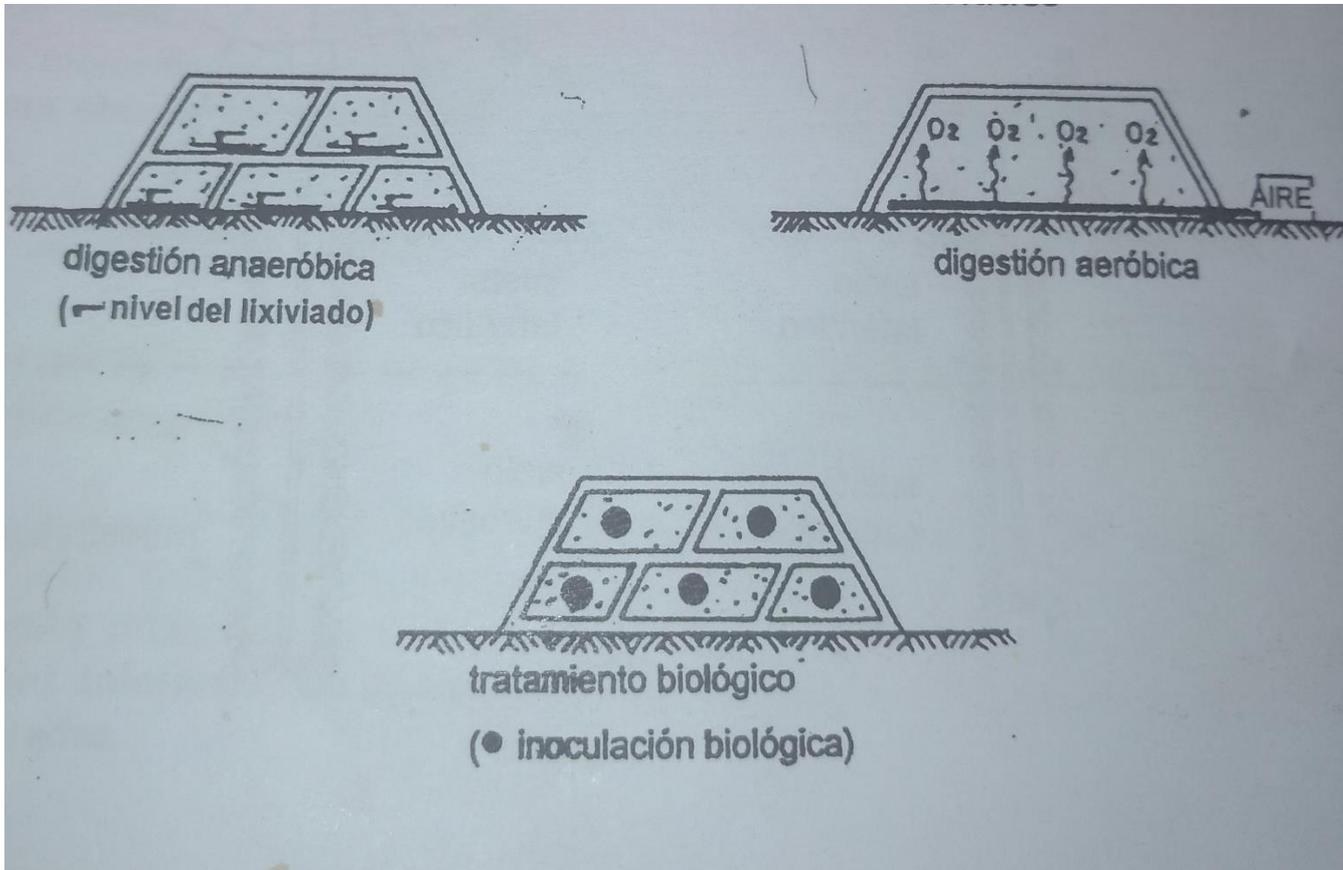
# NIMBY

El fenómeno NIMBY amerita un análisis cuidadoso desde el punto de vista de los derechos y responsabilidades inherentes a los diferentes roles que los ciudadanos tienen, desde tengan en la sociedad.

*Los derechos individuales,  
¿terminan cuando comienzan a primar los de la  
comunidad?*

**Not In My  
Backyard!**

# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS



**Relleno Sanitario**

# Dimensionamiento del Relleno Sanitario - Área Requerida del SDF :

1. Definir el tipo de residuos a disponer
2. Características fisiográficas y ambientales
3. Uso futuro del área por rellenar
4. Definir la vida útil del proyecto
- 5. Calcular el total de residuos a disponer**
6. Estimar la densidad de los residuos una vez compactados
7. Calcular el volumen ocupado por el material de cobertura diaria
- 8. Calcular los requerimientos adicionales de área para la infraestructura adicional**

# Dimensionamiento del Relleno Sanitario

## 5. Definir la cantidad de residuos a disponer

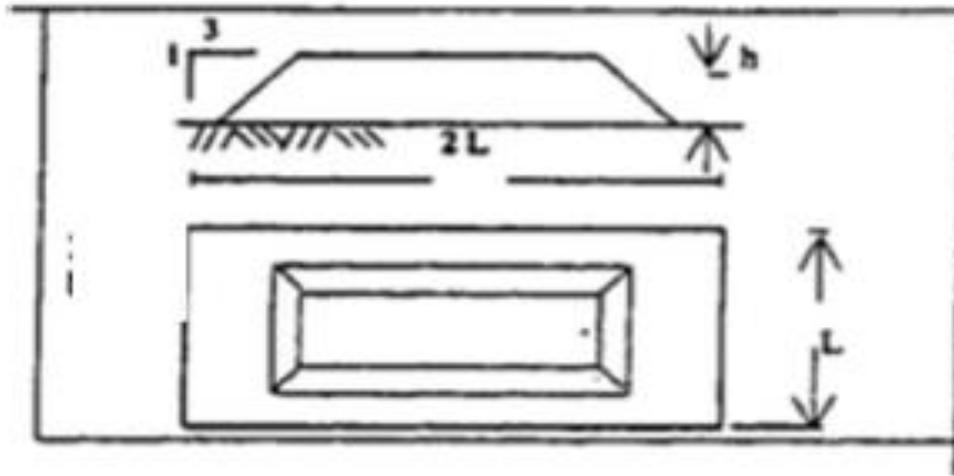
$$TR (kg) = \sum_{i=1}^{i=vida\ útil} (Pob * tasa * 365)_i$$

$$TR (kg) = Pob * 0.8 * 365 * 20$$

# Dimensionamiento del Relleno Sanitario

8. Calcular los requerimientos adicionales de área para la infraestructura adicional

Geometría del relleno utilizada para el cálculo del área requerida



# Área requerida de acuerdo a: Población Servida

Área necesaria de acuerdo al tamaño de población servida

Población	Total residuos (ton)	h (m)	L (m)	Área (ha)
50.000	292.000	10	160	9
75.000	438.000	10	190	12
100.000	584.000	10	220	15
200.000	1.168.000	12	280	24
300.000	1.752.000	12	350	37
500.000	2.920.000	12	430	55
1.000.000	5.840.000	20	500	74
1.500.000	8.760.000	20	600	106
1.500.000	8.760.000	40	460	63

---

**Ejemplo 11.1. Estimación del área requerida para un vertedero.** Estimar el área necesaria para un vertedero que sirve una comunidad con una población de 31.000 habitantes. Suponer que se aplican las siguientes condiciones:

1. Generación de residuos sólidos = 2,9 kg/hab · día
2. Peso específico de residuos compactados en el vertedero = 474,64 kg/m<sup>3</sup>
3. Profundidad media de residuos compactados = 6 m.

**Ejemplo 11.1. Estimación del área requerida para un vertedero.** Estimar el área necesaria para un vertedero que sirve una comunidad con una población de 31.000 habitantes. Suponer que se aplican las siguientes condiciones:

1. Generación de residuos sólidos = 2,9 kg/hab · día
2. Peso específico de residuos compactados en el vertedero = 474,64 kg/m<sup>3</sup>
3. Profundidad media de residuos compactados = 6 m.

**Solución**

1. Determinar la tasa de generación de residuos sólidos en t por día.

$$\text{Tasa de generación} = \frac{(31.000 \text{ hab.})(2,9 \text{ kg/hab} \cdot \text{día})}{1.000 \text{ kg/t}} = 89,9 \text{ t/día (89.900 kg/día)}$$

2. Se determina el área requerida de la siguiente forma:

$$\text{Volumen requerido/día} = \frac{89.900 \text{ kg/día}}{474,64 \text{ kg/m}^3} = 189,41 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Area requerida/año} = \frac{(189,41 \text{ m}^3/\text{día})(365 \text{ días/año})}{6 \text{ m (10.000 m}^2/1 \text{ ha)}} = 1,15 \text{ ha/año}$$

# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Elementos necesarios para que un sitio de disposición final de residuos sólidos sea un relleno sanitario:

- Preparación del terreno para lograr un fondo impermeable.
- **Sistema de drenaje y tratamiento de lixiviados.**
- Cobertura diaria.
- Sistema de Operación.
- **Sistema de recolección y venteo/quema/tratamiento de gases.**
- **Gestión de pluviales.**
- Infraestructura conexa.
- Monitoreo de variables ambientales.
- **Clausura y Post-clausura del relleno sanitario**

# MÉTODOS DE RELLENO - Celda excavada - trinchera

Nivel freático alejado de superficie, y  
Buen material de cobertura en suelo

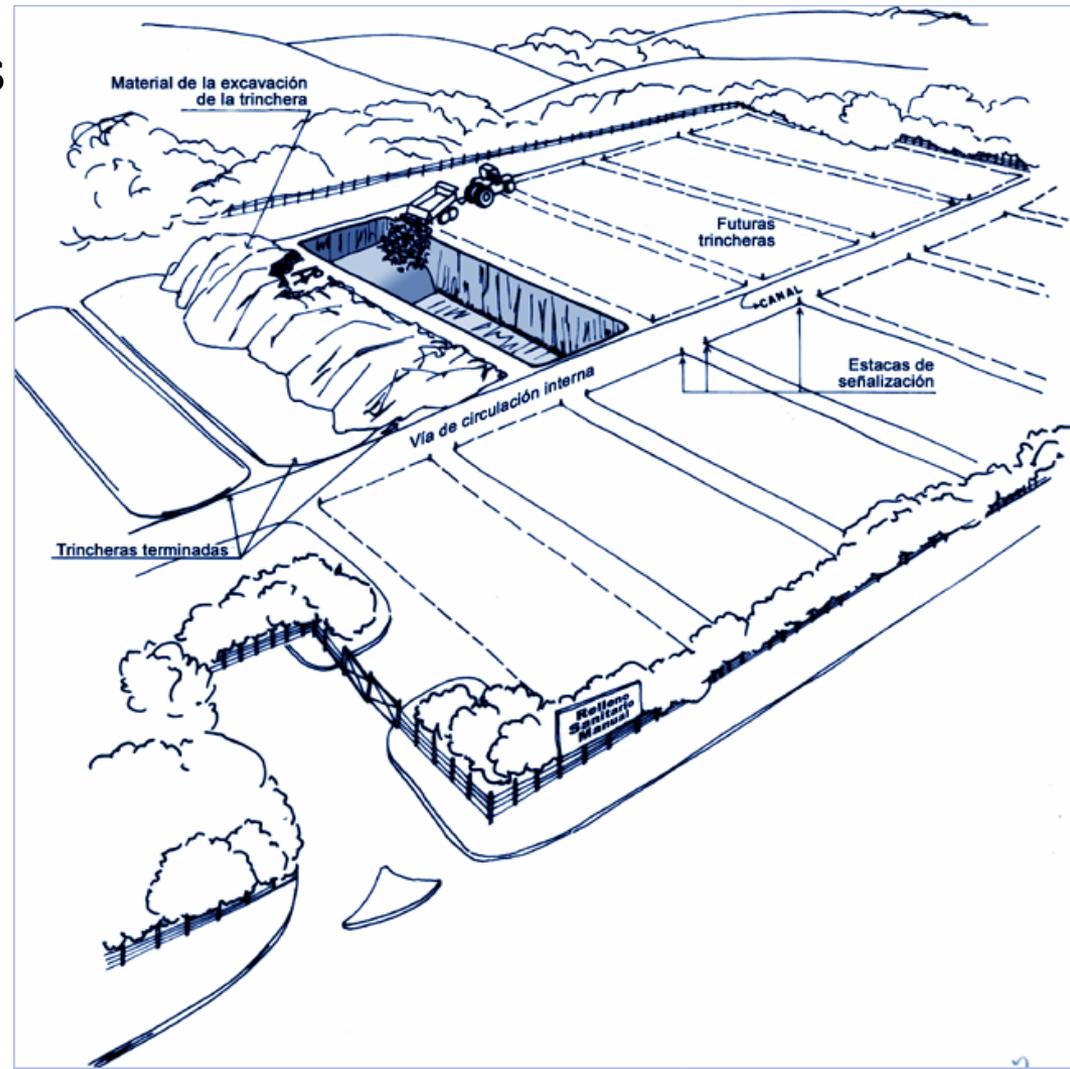
Se excava y se colocan residuos  
El material excavado se utiliza  
para cobertura diaria.

Pendiente lateral 2:1 a 1.5:1

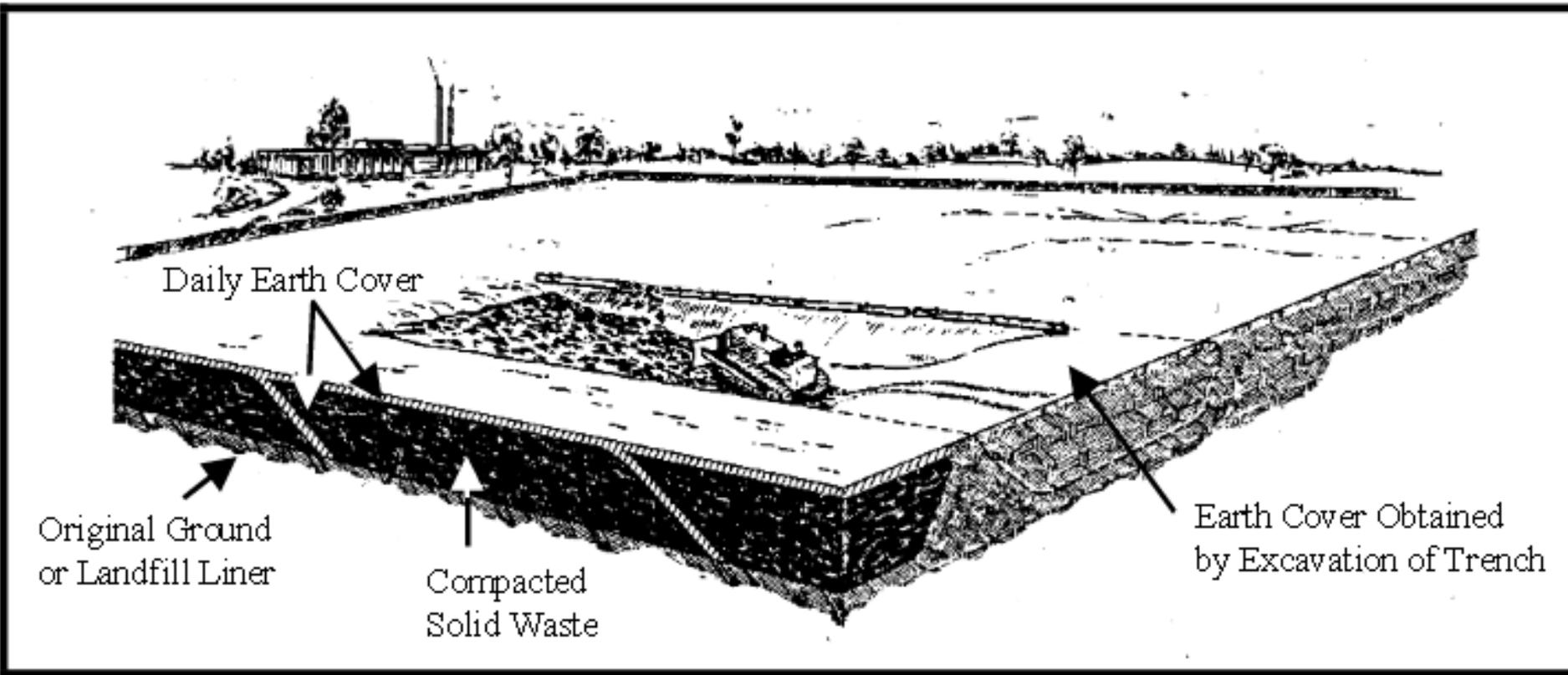
Largo 60 a 300m

Ancho 4.5 a 15m

Profundidad útil 1 a 3m



# MÉTODOS DE RELLENO - Celda excavada - trinchera



## MÉTODOS DE RELLENO – Métodos en zona - área

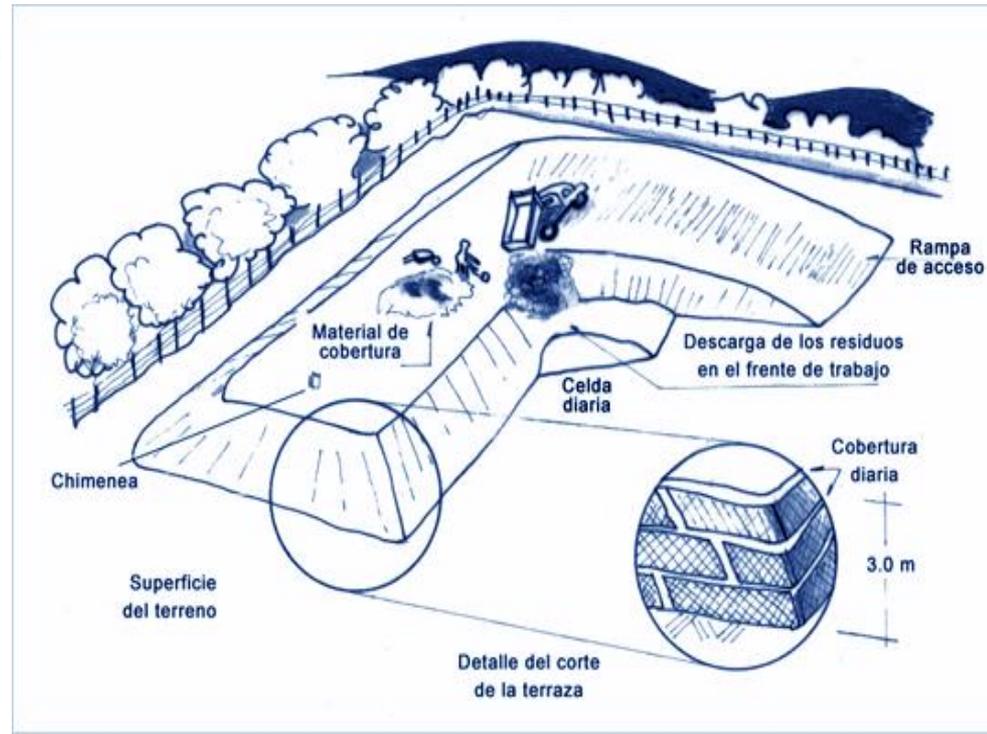
Terreno no apropiado para excavación por su topografía irregular.

Alto nivel freático

Material cobertura no disponible en sitio

Posible colocación de terraplenes

Pendiente lateral 2:1 a 1.5:1

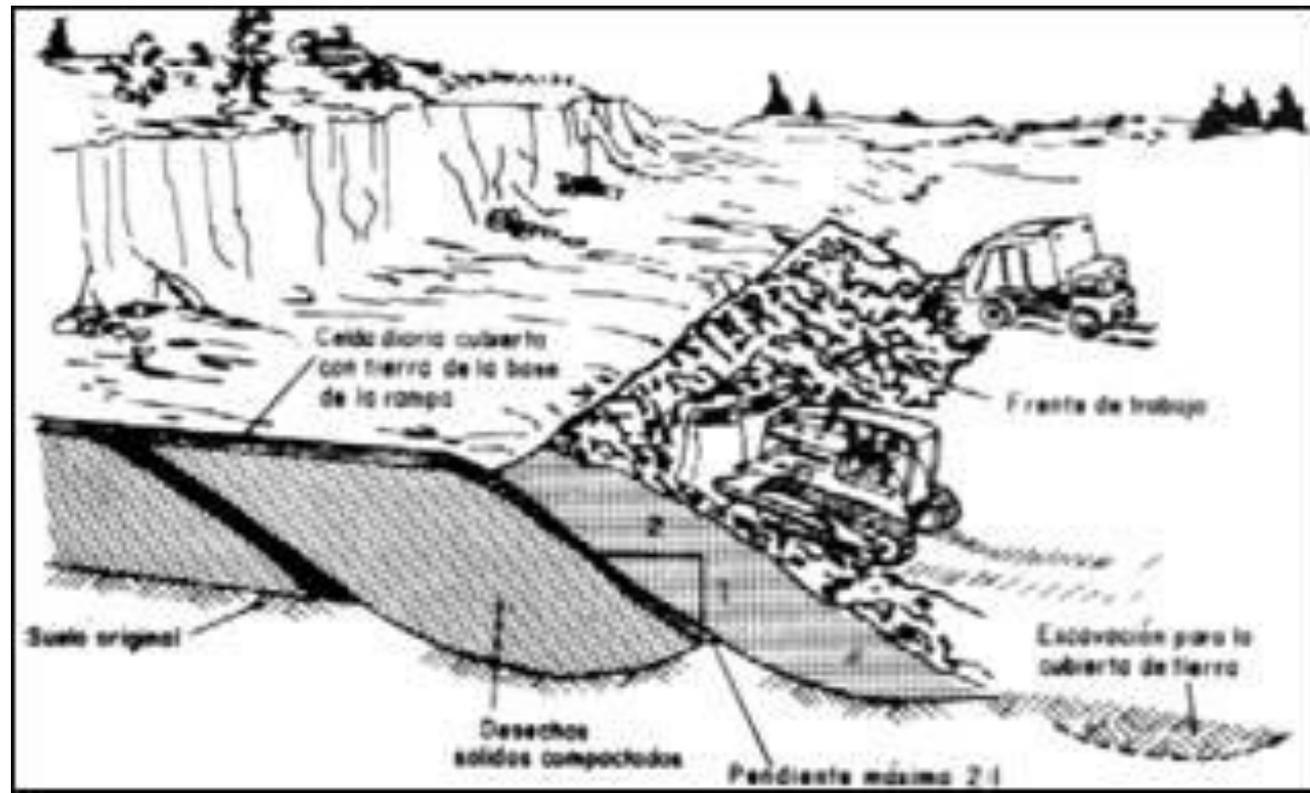


## MÉTODOS DE RELLENO – Métodos en depresión / rampa

Suelo natural ofrece buenas condiciones para ser excavados

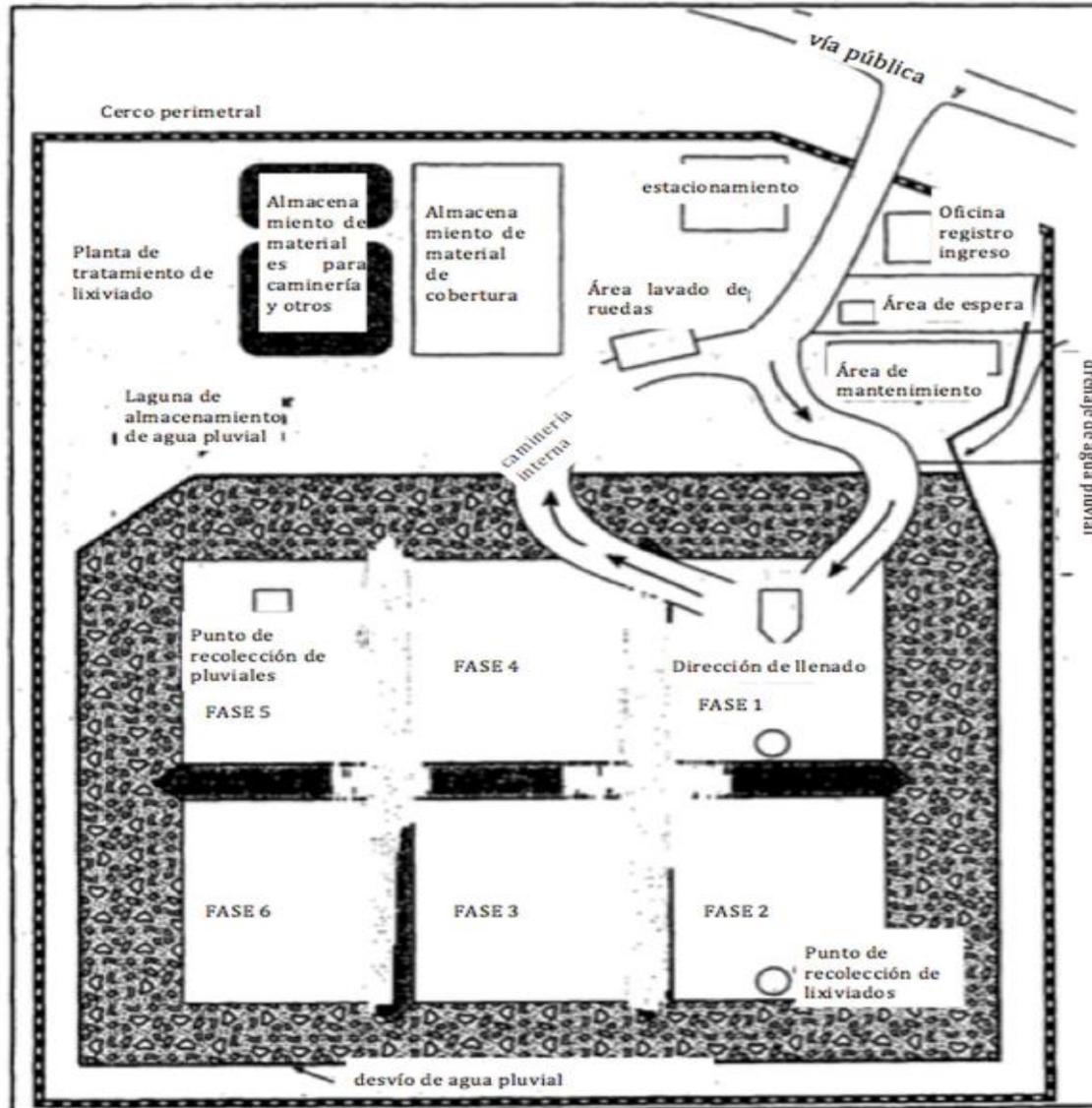
Inicio de explotación por zona inferior

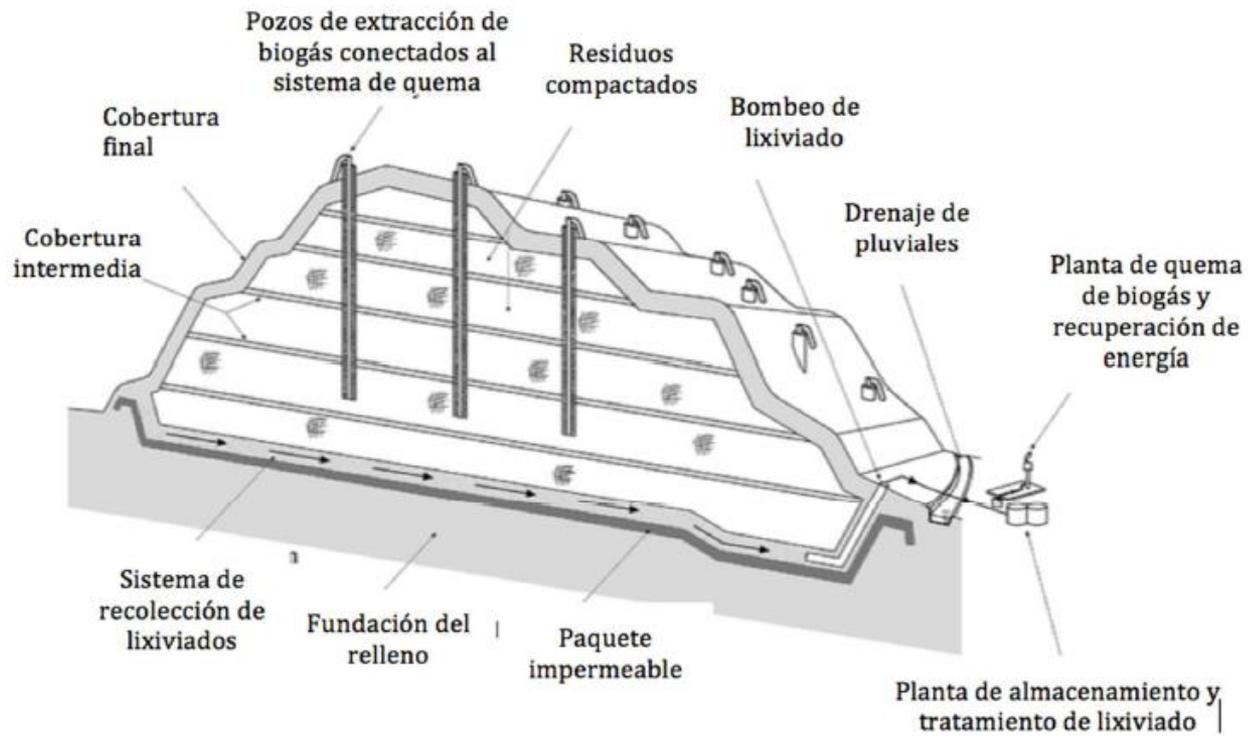
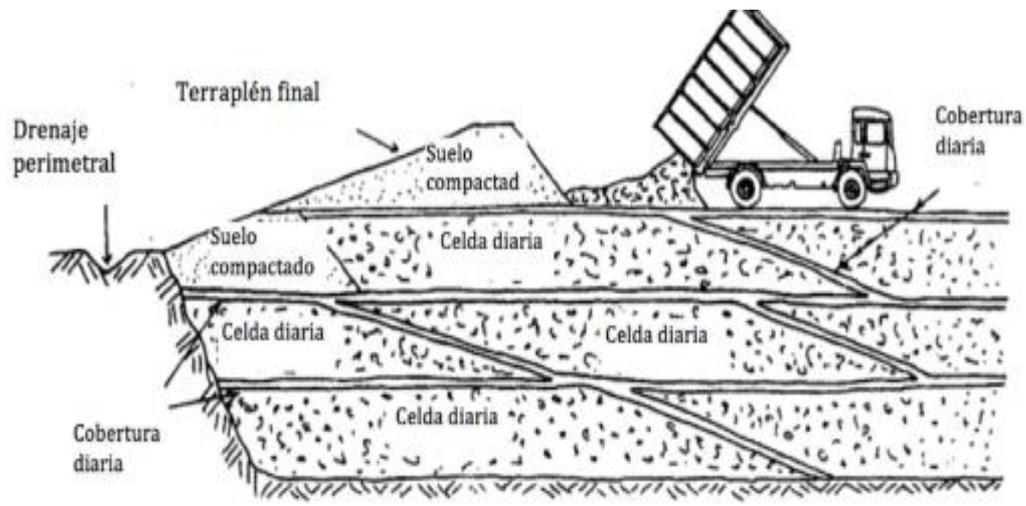
Material de cobertura surge de las paredes del relleno

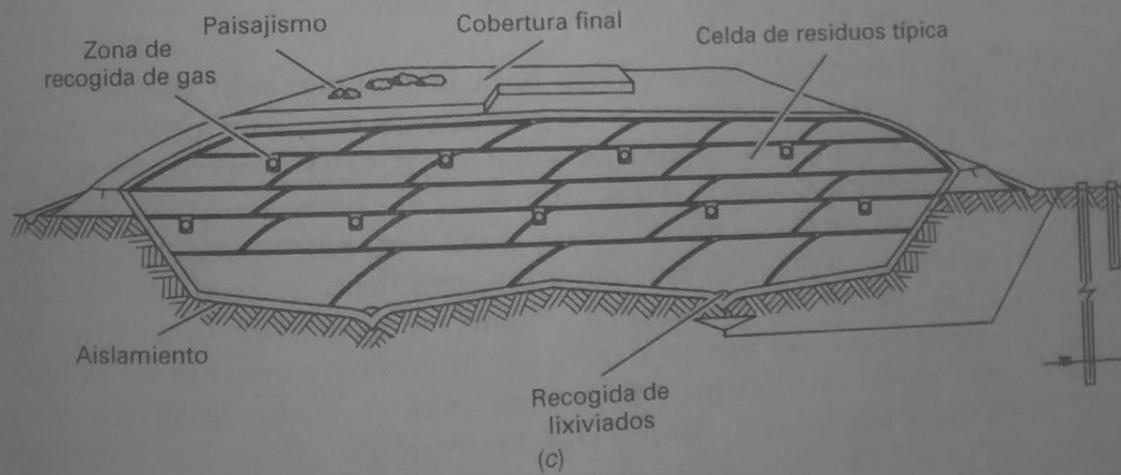
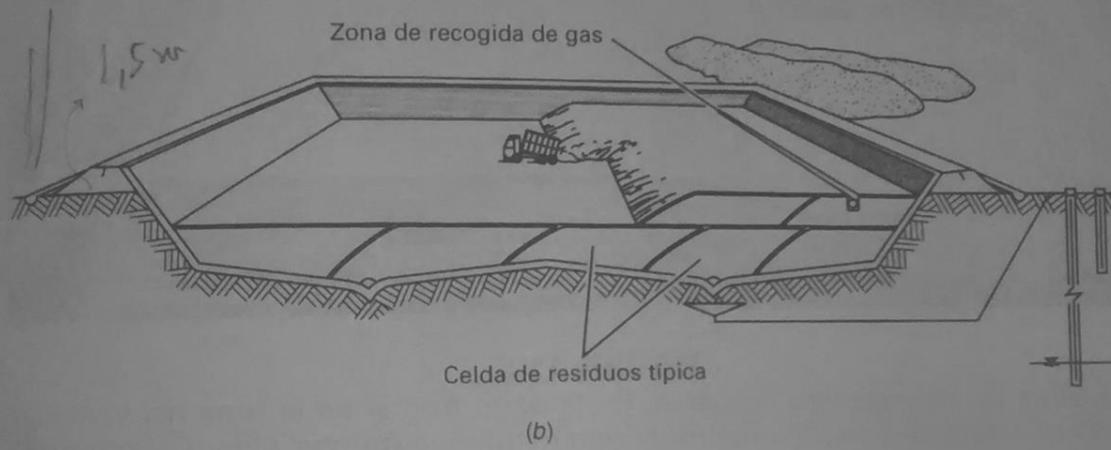
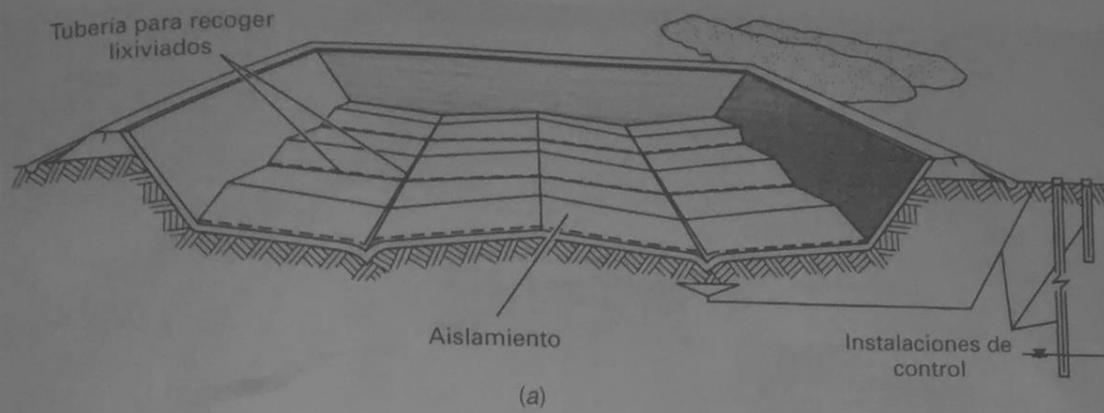


# DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

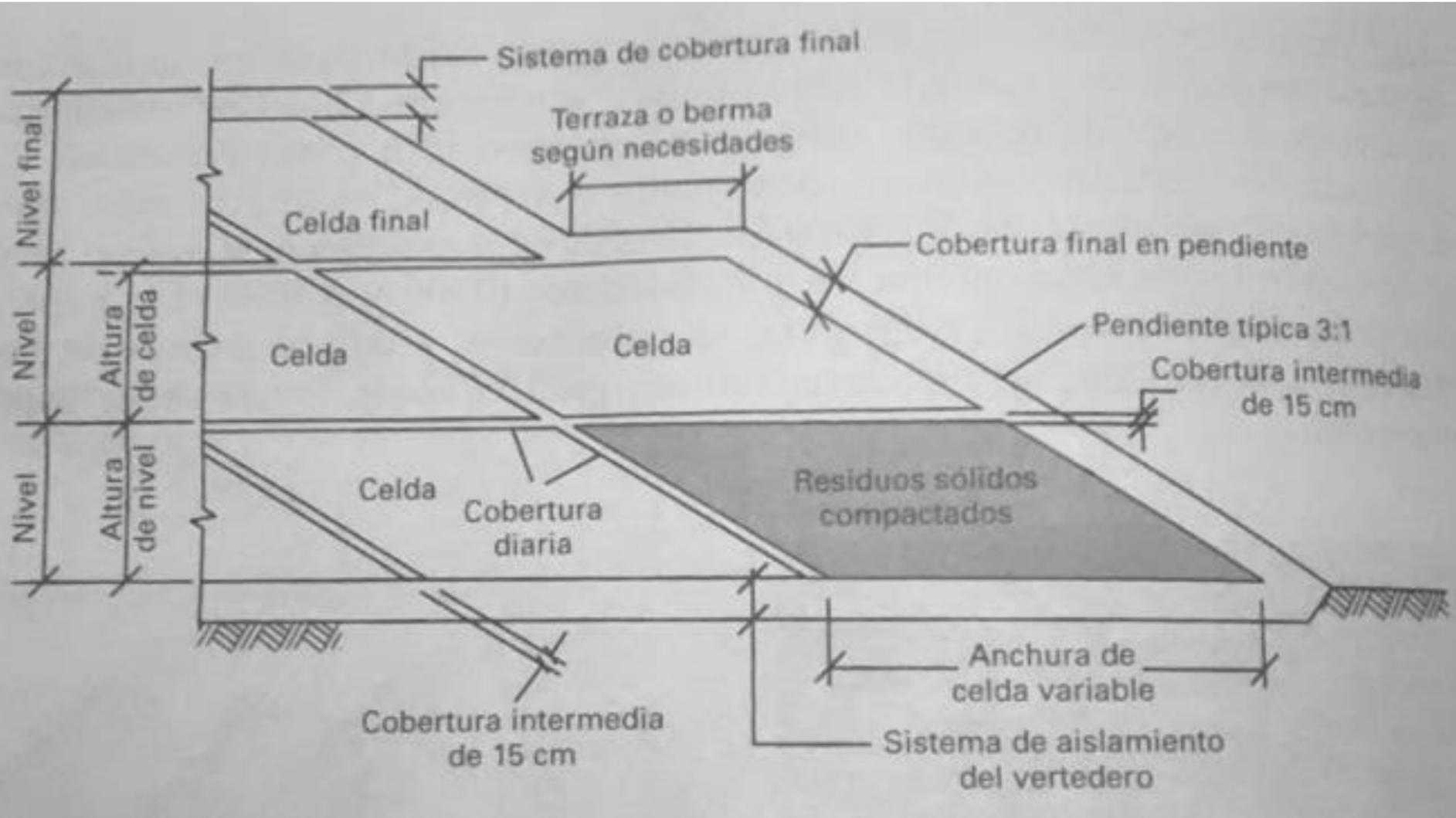
Figura 5-10: Ejemplo de *layout* de un relleno sanitario [1]







# ESQUEMA CELDAS



# Relleno Sanitario

## Fondo impermeable:

Protege las aguas superficiales y subterráneas de posible lixiviación de contaminantes.

Un sistema de tratamiento de la base debe ser de un espesor uniforme entre los 25 y 50 cm y ser compactada hasta alcanzar densidad equivalente al 90 % del Proctor Modificado.

Sobre esta base se emplaza el paquete impermeable, **construido con materiales propios del sitio o materiales de préstamo (arcillas naturales), con materiales sintéticos (geomembranas) o con materiales compuestos (arcillas geosintéticas) o una combinación de ellos.** Además, debe presentar:

1. Estanqueidad
2. Durabilidad
3. Resistencia mecánica
4. Resistencia a la intemperie
5. Compatibilidad físico-química-biológica con los residuos a ser dispuestos.

# Relleno Sanitario

Tabla 5-5: Especificaciones para la geomembrana

Prueba	Norma de ensayo	Especificación PEAD	Especificación PVC
Espesor	ASTM D5199 (liso) ASTM D5994 (texturizado)	$\geq 1.5\text{mm}$	$\geq 0.8\text{mm}$
Densidad	ASTM D1505	$\geq 0.94\text{ g/cm}^3$	$\geq 1.24\text{ g/cm}^3$
Resistencia al punzamiento	ASTM D4833	480 N	220 N
Resistencia elástica	ASTM D638	22 KN/m	5.6 KN/m
Resistencia a la ruptura		49 KN/m	12.8 KN/m
Resistencia al desgarro	ASTM D1004	187 N	35 N
Envejecimiento en estufa a 85 °C	ASTM D 5721	55 %	
Tiempo de oxidación inductiva, % retenido tras 90 días.	ASTM D 3895		

# Relleño Sanitario – Colocación de membrana



# Relleno sanitario

## Cobertura diaria: cobertura de 15 a 30 cm de suelo u otro material

- Evita voladuras y olores, y reduce la proliferación de vectores sanitarios.
- Evita la clasificación de residuos en condiciones inapropiadas
- Evita el aspecto antiestético de los residuos sólidos expuestos.
- Facilita el movimiento de las máquinas y de los vehículos sobre el relleno.
- Evita la quema de residuos a cielo abierto.
- Evita la salida descontrolada de gases.

# Cobertura diaria



# Relleno sanitario

**Cobertura intermedia:** Se utiliza para finalizar la celda operativa, siendo el material de cobertura de baja permeabilidad (para evitar el pasaje de agua pluvial) y se coloca en espesores de 30 cm aproximadamente.

La disponibilidad de material de cobertura fue estudiada a la hora de seleccionar el sitio. En el diseño se debe definir qué zonas del predio serán utilizadas para extraer material de cobertura. De ser necesario el almacenamiento en el predio, éste debe ser realizado en forma adecuada, evitando arrastre en épocas de lluvia y claramente clasificado e identificado.

Cuando exista déficit de material de cobertura se pueden utilizar materiales alternativos como ser:

- a) lonas plásticas reutilizables;
- b) escombros (sin armaduras) o algún otro material inerte que llegue al relleno y
- c) compost

# Relleno sanitario

## Gestión del agua superficial:

En un relleno sanitario es necesaria la gestión del agua pluvial, no solo por las posibles afectaciones al curso de agua existente aguas abajo, sino también por la incidencia en la operación del relleno.

Adicionalmente, en general la operación de un relleno sanitario tiene asociado grandes movimientos de tierra donde los materiales movidos tienen el potencial de generar sedimentos los días de lluvia.

Es por ello que es necesario el diseño de un sistema de aguas pluviales que cumpla las siguientes funciones críticas:

- a) Garantizar que las operaciones del relleno no se vean comprometidas por el drenaje superficial.
- b) Minimizar la generación de lixiviados evitando que las aguas superficiales ingresen en la masa de residuos.
- c) Evitar la contaminación del agua superficial por contacto con el lixiviado.
- d) Minimizar el arrastre de sólido a través de:
  - i. minimizar las áreas sin vegetación,
  - ii. reducir las velocidades de escurrimiento,
  - iii. proteger las áreas con almacenamiento de materiales para minimizar el arrastre
  - iv. realizar lavado de las ruedas de los camiones para evitar arrastre de sólidos.

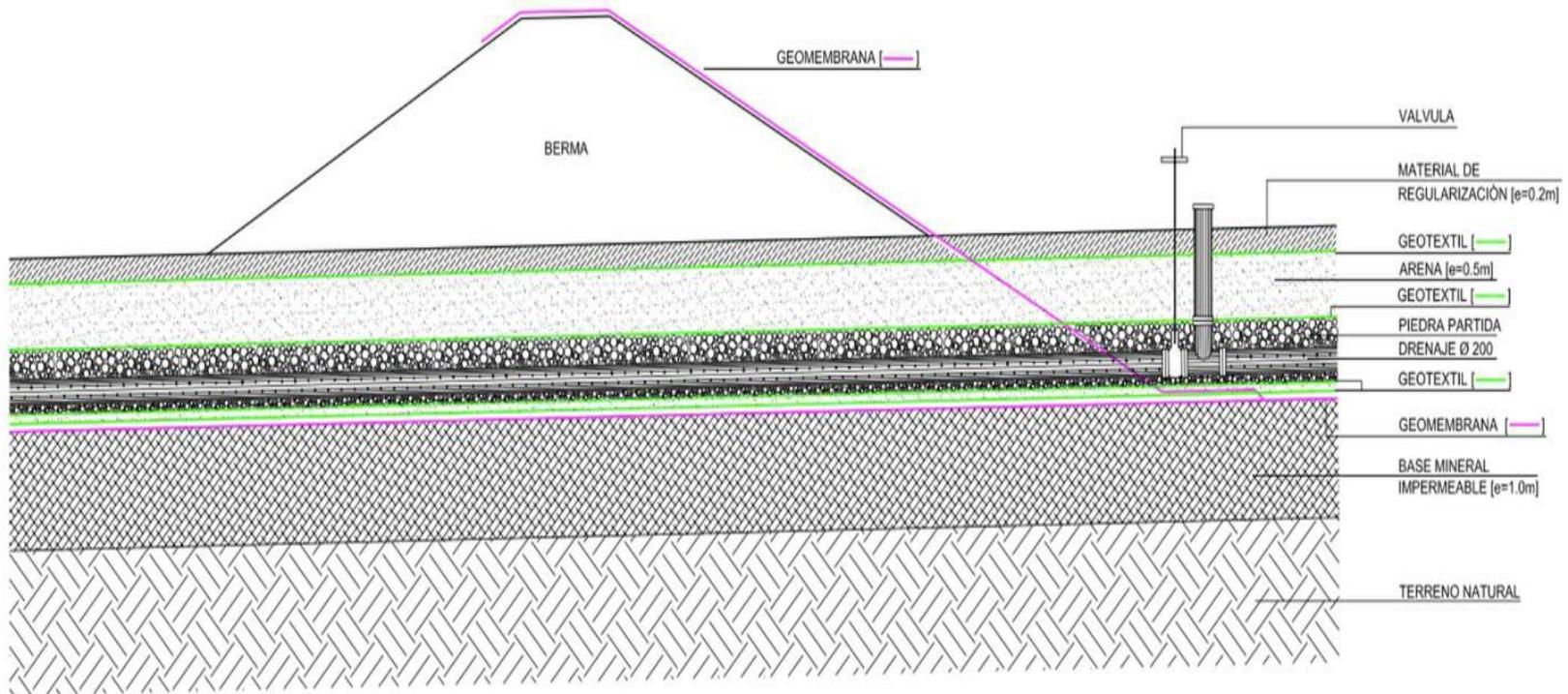
# Gestión del agua superficial:

## SISTEMAS DE DRENAJE:

- Los sistemas de drenaje del escurrimiento superficial están compuestos por zanjas de materiales naturales y canales revestidos que forman el drenaje externo al área de disposición de residuos.
- Se recomiendan estructuras de canal abierto para drenaje de forma tal de optimizar la capacidad de flujo y reducir el riesgo de obstrucción.
- También componen el sistema de drenaje las **conducciones por tuberías, las alcantarillas de caminos, los sistemas de bombeo**. todos ellos semipermanentes o permanentes.
- Estos sistemas son diseñados para eventos con período de retorno del orden de la vida útil del relleno. Bajo eventos de tormenta más severos, dichos sistemas de drenaje puedan sufrir roturas y seguramente requieran ser reparados.

# Gestión del agua superficial:

Figura 5-16: Detalle de la berma



# Relleño Sanitario

## Infraestructura Conexa:

1. Acceso al predio y cerco perimetral
2. Iluminación
3. Cartelería indicativa
- 4. Ingreso al relleno**
- 5. Caminería Interna**
- 6. Barrera vegetal y zonas de amortiguamiento**
7. Oficinas y vestuario para el personal
8. Taller y depósito de máquinas y herramientas
9. Almacenamiento de combustibles
10. Instalación de sistema de incendios

# Relleno sanitario

Monitoreos por medio de construcción de pozos de control, instalación de piezómetros, medidores de desplazamientos horizontales y verticales, medidores de descarga, análisis físico-químicos y biológicos:

## Monitoreo Geotécnico:

- Control de desplazamientos horizontales y verticales.
- Control del nivel del lixiviado y de la presión de los gases en el cuerpo del relleno.
- Control de descarga de lixiviado a través de los drenajes.
- Programación de inspecciones periódicas en el sitio.

## Monitoreo Ambiental:

- Control de la calidad de aguas subterráneas.
- Control de la calidad de las aguas superficiales.
- Control de la calidad del aire.
- Control de la contaminación del suelo.
- Control de los agentes propagadores de enfermedades, olores, vectores, voladuras.

# Sistema de drenaje y tratamiento de lixiviados



# LIXIVIADOS

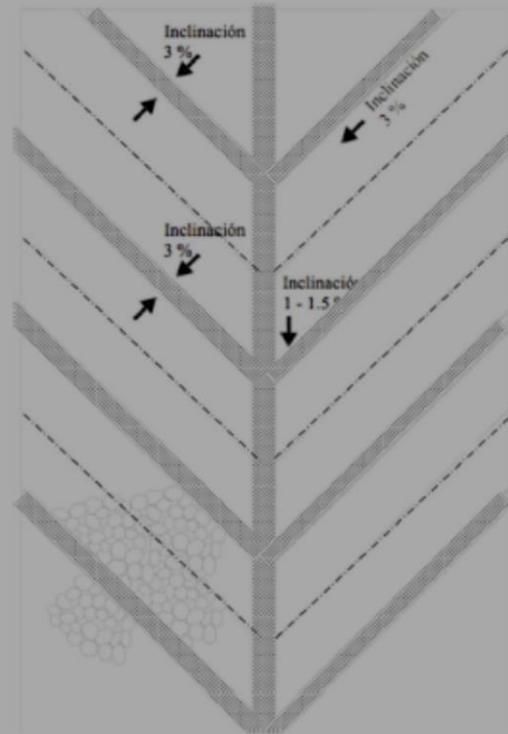
**TABLA 11.13**

Datos típicos sobre la composición de los lixiviados procedentes de vertederos nuevos y maduros<sup>a</sup>

Constituyente	Valor, mg/l <sup>b</sup>		
	Vertedero nuevo (menos de 2 años)		Vertedero maduro (mayor de 10 años)
	Rango <sup>c</sup>	Típico <sup>d</sup>	
DOB <sub>5</sub> (demanda de oxígeno bioquímico de 5 días)	2.000-30.000	10.000	100-200
COT (carbono orgánico total)	1.500-20.000	6.000	80-160
DOC (demanda de oxígeno químico)	3.000-60.000	18.000	100-500
Total de sólidos en suspensión	200-2.000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Total fósforo	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	1.000-10.000	3.000	200-1.000

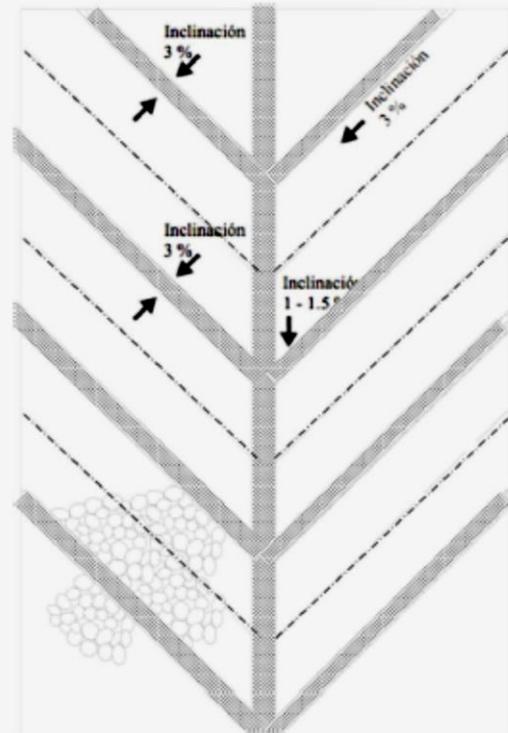
# LIXIVIADOS

Figura 5-12: Red de drenes en forma de espina de pescado [13]



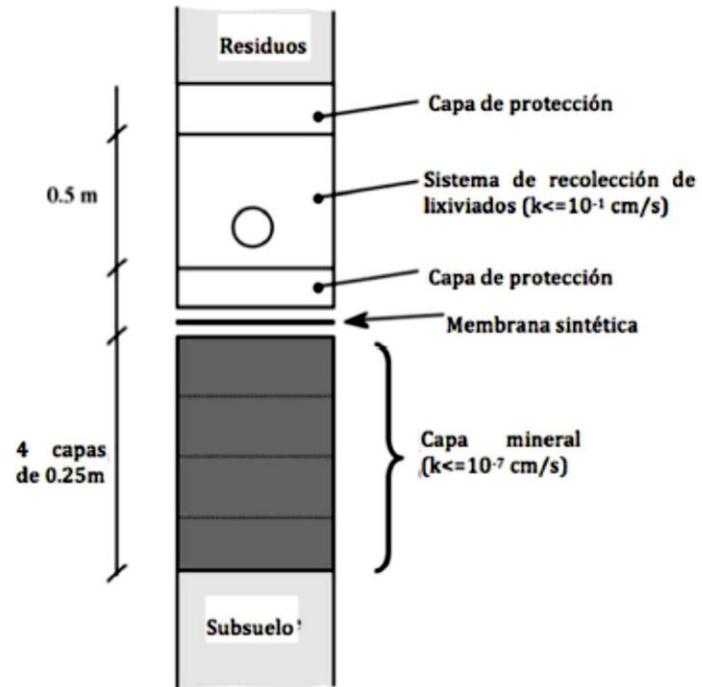
# LIXIVIADOS

Figura 5-12: Red de drenes en forma de espina de pescado [13]

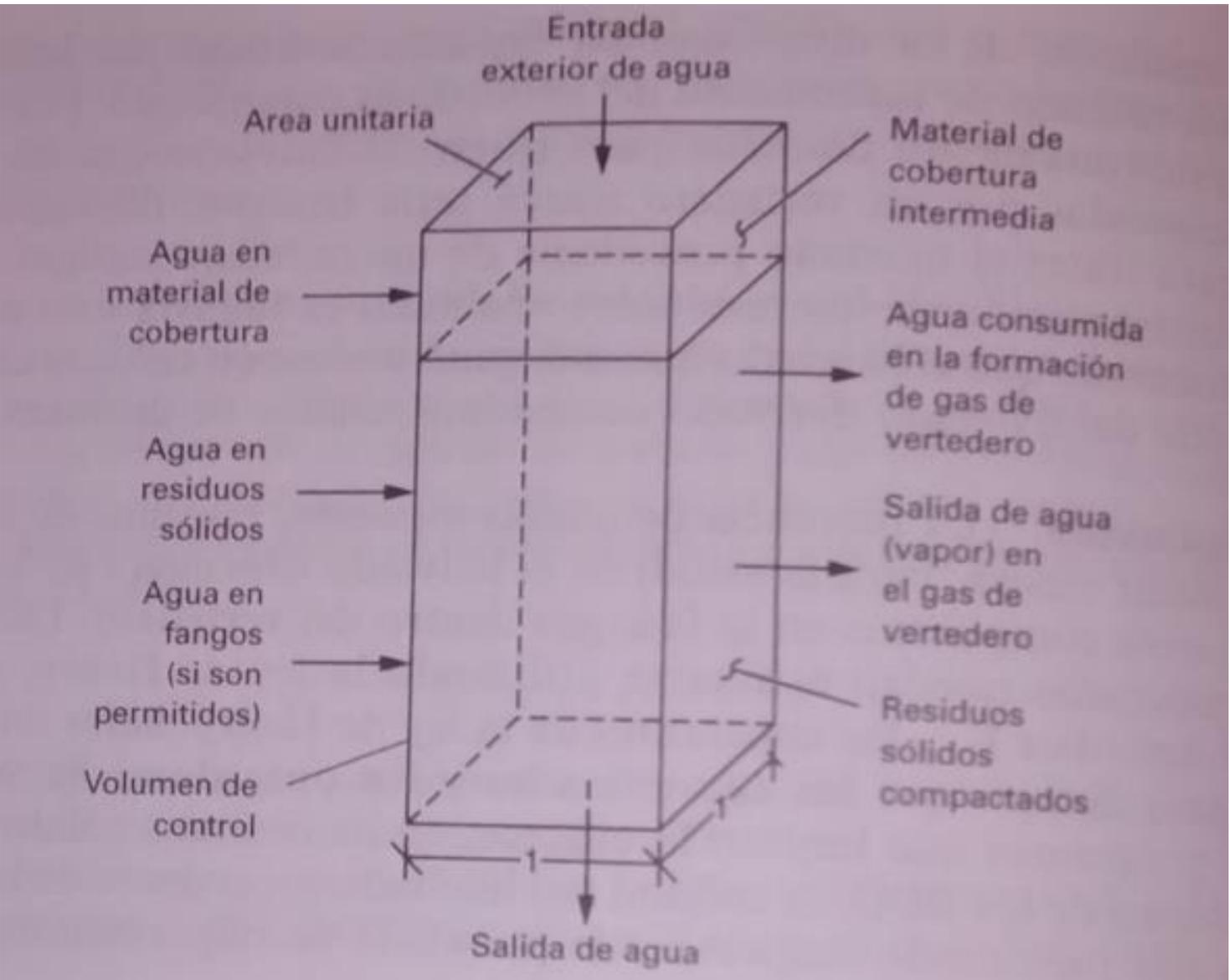


# LIXIVIADOS

Figura 5-13: Ilustración del paquete impermeable y drenante [1]



# LIXIVIADOS



# Venteo y recolección de gases



# Composición y características Biogás

**CH<sub>4</sub> - explosivo**

**CO<sub>2</sub>**

**N**

**Constituyentes traza**

**Temperatura 37 a 67<sup>a</sup>C**

**Densidad 1.02 a 1.06 kg/m<sup>3</sup>**

**Humedad de saturación**

**Poder calorífico 890 a 1223 Kcal/m<sup>3</sup>**

# Constituyentes

<b>Gases</b>	<b>EUA %</b>	<b>EUA %</b>	<b>EUA %</b>	<b>Chile %</b>	<b>Colombia %</b>
Metano	30-65	30-65	45-60	55-65	54-70
Dióxido de carbono	20-50	20-40	40-60	33-44	27-45
Nitrógeno	1-21	5-40	2-5	0.2-5	
Oxígeno	1-25	0-5	0.1-1.0	0.1-2	
Amoniaco			0.1-1.0		
Hidrógeno		1-3	0 - 0.2		0-0.1
Monóxido de Carbono			0 - 0.2		
Sulfuro de Hidrógeno		0-0.01	0-1.0	0.001-0.004	0-0.1
Argón		0-0.4			
Referencia	Bagchi 1994, citado por Robles 2008	Johannessen 1999	Tchobanoglous et al 2005	Valdés & González 2003	Serrano 2008

