



# Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos

## Unidad didáctica III: Lixiviados

**Acción gratuita cofinanciada por el Fondo Social Europeo**

ATEGRUS®

11 de junio de 2010

ÍNDICE

1. GENERALIDADES ..... 3

2. PROCESO DE FORMACIÓN DE LIXIVIADOS ..... 4

3. MEDIDA DE CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS .....

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS.....

4.1. Cambios en el lixiviado durante el proceso de estabilización .....

5. BALANCE DE AGUAS.....

5.1. Balance de aguas.....

5.1.1. Aguas de fenómenos atmosféricos.....

5.1.2. Agua aportada por el material de cobertura .....

5.1.3. Salida de agua.....

5.1.4. Agua consumida para producción de biogás.....

5.1.5. Agua perdida como vapor de agua .....

5.1.6. Otras pérdidas y ganancias de agua .....

5.1.7. Capacidad de campo del vertedero .....

5.1.8. Cálculo del balance de aguas .....

5.2. Ecuaciones empíricas y mediciones de campo.....

5.2.1. Ecuación de Gee .....

5.2.2. Modelo de producción de lixiviado del vertedero de Meruelo .....

5.2.3. Medidas de producción directas .....

6. TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS.....

6.1. Tratamiento conjunto con aguas residuales urbanas.....

6.2. Recirculación .....

6.3. Lagunaje .....

6.4. Evaporación.....

6.5. Tratamientos biológicos aeróbicos.....

6.6. Tratamientos biológicos anaeróbicos .....

6.7. Tratamientos físico-químicos .....

6.8. Resumen de tratamientos de lixiviados .....

**7. SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO .....**

**8. BIBLIOGRAFÍA.....**

### 1. GENERALIDADES

Un gran problema de los vertederos es la descarga de los lixiviados. Estos se forman debido al agua que pasa a través de los residuos y es contaminada con diversos componentes orgánicos e inorgánicos.

Cuando llueve cierta cantidad de agua entra en el vertedero debido a que una parte se pierde en la escorrentía superficial y con la evapotranspiración. El agua restante se infiltra en el vertedero. La generación del lixiviado ocurre cuando las características absorbentes de los residuos son excedidas (capacidad de campo) y dependiendo del sitio se pueden adoptar estrategias de control para prevenir la contaminación del ambiente circundante.

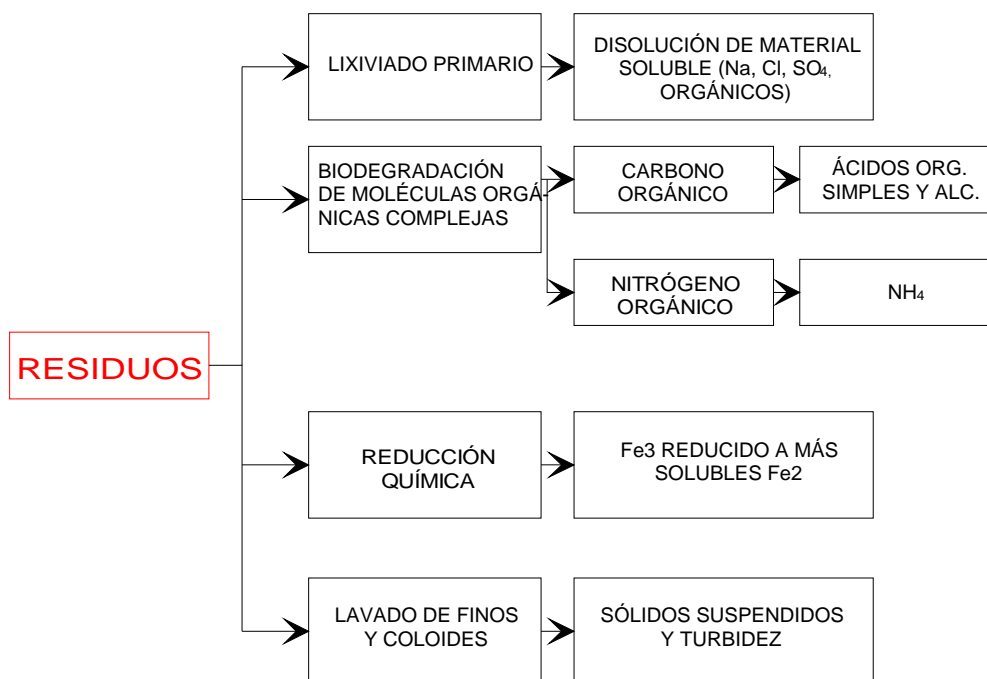
Si las aguas superficiales son contaminadas, esto puede redundar en la muerte de peces, pérdida del valor estético y un cambio general en la flora y la fauna del agente receptor. En el caso de las aguas subterráneas, la contaminación es por largos períodos de tiempo y puede permanecer sin detectar a menos que el agua subterránea se extraiga para distintos usos o esta emerja. La contaminación puede ser muy costosa de eliminar en el caso de las aguas subterráneas contaminadas, debido a que por sí sólo el sistema puede tomar cientos de años para volver a su condición original.

Las características del lixiviado dependen de la naturaleza de los residuos, la etapa de estabilización en que se encuentren y muchas otras variables. El problema principal a resolver es la prevención de la contaminación y de la producción.

Siempre que se construye un vertedero el problema de los lixiviados debe ser considerado. La geología y la hidrología del sitio deben ser cuidadosamente investigadas y si la producción y movimiento de los lixiviados puede ser un problema, entonces es más fácil y usualmente más barato implementar estrategias de control antes o durante la operación del vertedero en vez de esperar que se produzca un problema ocasionado por los lixiviados.

### 2. PROCESO DE FORMACIÓN DE LOS LIXIVIADOS

El movimiento subsecuente del lixiviado en el suelo circundante, las aguas subterráneas o las aguas superficiales puede causar considerables problemas de contaminación. El mecanismo de contaminación se muestra en la siguiente figura.



El lixiviado primario proviene de la disolución de sales solubles o de materiales orgánicos solubles que existen en el relleno original. La materia orgánica disuelta dará al lixiviado su color marrón-negruzco. Gran parte de la materia orgánica en los residuos tendrá baja solubilidad, pero la biodegradación de esta materia tiende a producir más productos finales solubles como ácidos orgánicos simples y alcoholes. Todos estos productos de reacciones bioquímicas liberarán durante su formación productos finales gaseosos. El nitrógeno presente en la materia orgánica original tenderá a convertirse en iones de amonio  $\text{NH}_4^+$ , que son muy solubles y pueden aumentar significativamente las cantidades de amonio en el lixiviado.

Los vertederos se convierten rápidamente en reactores anaerobios, que es un ambiente químicamente de naturaleza reductora. Esto induce a los iones de sales férricas a ser reducidos al estado ferroso. El sulfato en los residuos puede ser reducido bioquímicamente a sulfuros, lo que puede conducir a la generación de pequeñas cantidades de sulfuros de hidrógeno o a que este se mantenga con otros metales altamente insolubles dentro del vertedero.

Los sólidos suspendidos y la turbidez pueden estar presentes en el lixiviado debido a lavado de los materiales sólidos finos en los residuos.

### 3. MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS

#### 3. MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS

Para definir las características de los lixiviados se utilizan los mismos parámetros que para las aguas residuales. Las formas de medición se puede dividir en cuatro categorías: físicas, constituyentes orgánicos, constituyentes inorgánicos y biológicas.

##### Parámetros de muestreo de lixiviados

Físicos	Constituyentes Orgánicos	Constituyentes Inorgánicos	Biológicos	
Aspecto	Químicos orgánicos	SS	DBO <sub>5</sub>	
pH	Fenoles	STD	Bacterias Coliformes	
Potencial Oxi-Reducción	DQO	SVS	Recuento sobre placas	
Conductividad	COT	SVD		
Color	Ácidos volátiles	Cloruros		
Turbiedad	Taninos, ligninas	Sulfatos		
Temperatura	N-Orgánico	Fosfatos		
Olor	Solubles en éter(aceite y grasa)	Alcalinidad y Acidez		
	Sustancias activas	N-Nitrato		
	Al azul de metileno	N-Nitrito		
	Grupos funcionales orgánicos	N-Amoniaco		
	Hidrocarburos clorados	Sodio		
				Potasio
				Calcio
				Magnesio
				Dureza
				Metales Pesados
				Arsenio
		Cianuro		
		Flúor		
		Selenio		

Fuente: Tchobanoglous et al "Gestión integral de residuos sólidos" (1994)

### 3. MEDIDA DE LA CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS

---

Las características físicas de los lixiviados como sólidos disueltos y en suspensión, temperatura, calor y compuestos químicos se miden por métodos estandarizados. La medida de la contaminación orgánica es más difícil y se basa en la demanda de oxígeno del lixiviado.

Cuando el lixiviado penetra en las aguas de un río el oxígeno del agua es consumido por las bacterias, las cuales descomponen los compuestos orgánicos del lixiviado. Cuando la contaminación orgánica es grave, el río puede ser despojado la totalidad del oxígeno con consecuencias fatales para la vida acuática aerobia.

### 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS

Es difícil resumir y definir las características de los lixiviados. Gran cantidad de descripciones de lixiviados son dadas en la literatura para una gran variedad de condiciones y lugares. Esto se traduce a que las características tengan amplios márgenes de variación.

#### Características de los lixiviados

CARACTERÍSTICAS	EDAD DE LOS RESIDUOS	
	< 2 años	> 10 años
pH	5.0-6.5	6.5-7.5
DBO <sub>5</sub>	4000-30000	<100
DQO	10000-60000	50-500
COT	1000-20000	<100
Sólidos totales	8000-50000	1000-3000
Sólidos totales sedimentables	200-2000	100-500
Nitrógeno total	100-1000	<100
Fosfatos	5-100	<5
Cloruros	500-2000	100-500
Sulfatos	50-1000	<10
Hierro	100-1500	10-400
Sodio	500-3000	<200
Potasio	200-1000	50-400
Calcio	500-2500	100-400
Todas las cantidades en mg/l, excepto el pH		

Fuente: Crawford & Smith "Landfill Technology", 1985

La composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del vertedero. Si se recoge una muestra durante la fase ácida de la descomposición el pH será bajo y las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO, nutrientes y metales pesados serán altas. Si se recoge una muestra durante la fase de metanogénesis el pH estará dentro del rango de 6.5-7.5 y los valores de concentración de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO y de los nutrientes será significativamente más bajos. También serán bajas las concentraciones de metales pesados porque la mayor parte son menos solubles para valores de pH neutros. El pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presentes, sino también de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el gas de vertedero que está en contacto con el lixiviado.



#### 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS

La biodegradabilidad del lixiviado varía con el tiempo. Observando el valor de DBO<sub>5</sub>/DQO inicialmente las relaciones estarán en el rango de 0.5 o más. Las relaciones entre 0.4 y 0.6 se toman como indicador que la materia orgánica de los lixiviados es fácilmente biodegradable. Si esta relación se encuentra en el rango de 0.05 a 0.2 esto indica que la materia orgánica no es fácilmente biodegradable debido a la presencia de ácido húmicos y fúlvicos. Esta variación en las características del lixiviado hace que el diseño de los sistemas de tratamiento sea complicado. Existe un gran problema en la interpretación de los datos analíticos debido a que el lixiviado que se genera en un momento dado es una mezcla de lixiviado de las distintas capas de residuos.

##### Características de los lixiviados

CARACTERÍSTICAS	EDAD DE LOS RESIDUOS		
	<2 años		>10 años
	Rango	Típico	
DBO <sub>5</sub>	2000-30000	10000	100-200
DQO	3000-60000	18000	100-500
COT	1500-20000	6000	80-160
Total de sólidos en suspensión	200-2000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	1000-10000	3000	200-1000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	300-10000	3500	200-500
Calcio	200-3000	1000	100-400
Magnesio	50-1500	250	50-200
Potasio	200-1000	300	50-400
Sodio	200-2500	500	100-200
Cloro	200-3000	500	100-400
Sulfatos	50-1000	300	20-50
Hierro	50-1200	60	20-200

Todas las cantidades en mg/l, excepto el pH

Fuente: Tchobanoglous et al "Gestión integral de residuos sólidos" (1994)

### 4.1. Cambios en el lixiviado durante el proceso de estabilización

Los cambios que se producen en la calidad del lixiviado durante el proceso de estabilización son usados para interpretaciones didácticas y operacionales de las descripciones de las fases de estabilización. Las fases de ajuste inicial, transición, formación de ácidos, fermentación metánica y maduración final son identificadas y descritas en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos que se reportan comúnmente en la literatura. A continuación se ofrece un resumen de los cambios en la calidad del lixiviado y su interpretación, que es comparado para cada fase del proceso de estabilización.

## Concentraciones en el lixiviado y su significado durante el proceso de estabilización

Parámetro	Unidad	FASES DE LA ESTABILIZACIÓN				Rango
		Transición	Acidogénesis	Metanogénesis	Maduración final	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /l	Baja a alta biodegradabilidad (100-10.900)	Moderada a alta biodegradabilidad (1.000-57.700)	Alta a baja biodegradabilidad (3.400-600)	Baja biodegradabilidad (4-120)	<b>4-57.700</b>
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /l	Bajo a alto potencial de oxidación (480-18.600)	Moderado a alto potencial de oxidación (1.500-71.700)	Alto a bajo potencial de oxidación (9.760-580)	Bajo potencial de oxidación (31-900)	<b>31-71.700</b>
<b>COT</b>	mg O <sub>2</sub> /l	Bajo a moderado (100-3.000)	Bajo a alto (500-27.700)	Moderado a bajo (2.230-300)	Bajo (70-260)	<b>70-27.700</b>
<b>AGV</b>	mg/l acético	Ausentes a bajo (0-500)	Bajo a alto (3.000-18.800) Formación de ácidos	Alto a bajo (4.000-250) Conversión a metano	Ausentes a bajo (0-50)	<b>0-18.800</b>
<b>DBO<sub>5</sub>/DQO</b>	-	Baja a alta biodegradabilidad del sustrato (0,23-0,87)	Moderada a alta biodegradabilidad del sustrato (0,4-0,8)	Moderada a baja biodegradabilidad del sustrato (0,64-0,17)	Baja biodegradabilidad del sustrato (0,02-0,13)	<b>0,02-0,87</b>
<b>DQO/COT</b>	-	Alta (4,3-4,8) Bajo estado de oxidación de comp. orgánicos	Moderada a alta estado de oxidación de comp. org. (2,1-3,4)	Moderado a bajo (3,0-2,0) Moderado a alto estado de oxidación	Bajo (0,4-2,0) Alto estado de oxidación de comp. org.	<b>0,4-4,8</b>
<b>N total (NTK)</b>	mg N/l	Moderado a alto (180-860)	Bajo a alto (14-1.970) Lixiviación y asimilación de compuestos N.	Bajo (25-82) Asimilación de compuestos nitrogenados	Bajo a moderado (7-490)	<b>7-1.970</b>
<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	mg N-NH <sub>3</sub> /l	Moderado (120-225)	Bajo a alto (2-1.030) Producción y captación biológica	Alto a bajo (430-6) Captación biológica	Alto a bajo (430-6) Captación biológica y muerte	<b>2-1.030</b>
<b>Nitratos</b>	mg N-NO <sub>3</sub> /l	Alto a bajo (0,1-51) Oxidación del amoníaco	Moderado a bajo (19-<0,05) Reducción de nitratos	Ausente	Bajo (0,5-0,6)	<b>&lt;0,05-51</b>
<b>NH<sub>3</sub>/NTK</b>	-	Alto a bajo (0,1-0,91)	Bajo a alto (0,02-0,98) Producción y utilización	Bajo a alto (0,1-0,84) Producción y utilización	Moderado a alto (0,54-0,97) Captación y muerte biológica	<b>0,02-0,98</b>
<b>pH</b>	-	Neutro (6-7)	Neutro o bajo (7,7-4,7). Formación de AGV y inhibición	Neutro a alto (6,3-8,8). Conversión de AGV a metano	Neutro a alto (7,1-8,8) Ausencia de AGV	<b>4,7-8,8</b>

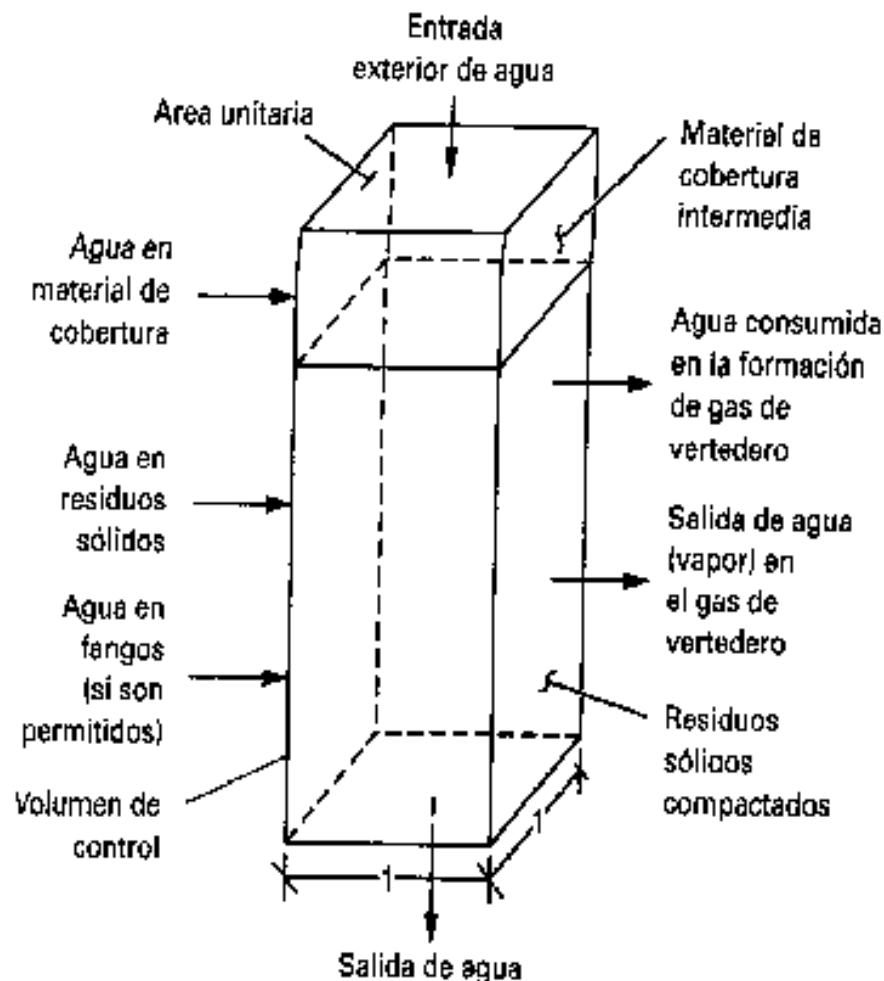
Fuente: Referencia 4. Modificado parcialmente

### 5. BALANCE DE AGUAS Y GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

#### 5.1. Balance de Aguas

Si se hace un balance hidrológico del vertedero puede estimarse la cantidad de lixiviado que se producirá. Esto implica cuantificar la cantidad de agua que entra, la que se consume en las reacciones químicas y al que sale del vertedero.

Considerado una celda del vertedero las principales fuentes de agua son el agua que entra en la celda por fenómenos atmosféricos, la humedad de los residuos, al humedad del material de cubrición y, opcionalmente la humedad de los fangos. Las principales salidas de agua son el vapor de agua que sale formando parte del biogás, el vapor de agua saturado en el gas del vertedero y el lixiviado.



## 5. BALANCE DE AGUAS Y GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

---

### 5.1.1. Agua de fenómenos atmosféricos

En la capa superior esta agua es la que se ha infiltrado de las precipitaciones. En las capas inferiores esta agua es la que se ha filtrado a través de los residuos situados sobre la capa. Es difícil estimar la cantidad de lluvia que se filtra a través de la capa del vertedero. Si no se utiliza geomembrana se puede utilizar el modelo de Evaluación Hidrológica del Rendimiento del Vertedero (HELP).

### 5.1.2. Agua aportada por el material de cubrición

La cantidad de esta agua dependerá de tipo y origen del material de cubrición. La máxima cantidad de humedad que el material puede contener se conoce como capacidad de campo. Los valores del 6 a 12% para arena y de 23 a 31% para marga arcillosa.

### 5.1.3. Salida de agua

Este es el lixiviado. El agua que sale del fondo de la segunda y de las subsiguientes celdas procede de la celda superior a la celda en cuestión. Si se utiliza recogida intermedia de lixiviado los valores de cada parte tendrán que ser sumados.

### 5.1.4. Agua consumida para la producción de biogás

Esta agua se consume durante la descomposición anaerobia de los residuos. Su valor se puede estimar por medio de fórmulas químicas.

### 5.1.5. Agua perdida como vapor de agua

Es el agua que escapa con el biogás. Se puede determinar por la ley de gases perfectos.

### 5.1.6. Otras pérdidas y ganancias de agua

Existen pérdidas por evaporación durante el vertido de los residuos. Normalmente esta cantidad se puede despreciar.

## 5. BALANCE DE AGUAS Y GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

### 5.1.7. Capacidad de campo del vertedero

Existe un cierto volumen de agua que entra al vertedero que no se consume y que no sale como vapor de agua que puede permanecer en el vertedero o salir como lixiviado. Esto se debe a que los materiales del vertedero pueden retener agua. Esto se conoce como capacidad de campo, que es la cantidad de agua que se puede mantener contra la gravedad. Su valor puede estimarse por la siguiente ecuación:

$$CC = 0.6 - 0.55 (W/(10.000+W))$$

Donde,

CC: Capacidad de campo (fracción de agua de los residuos con respecto al peso seco)

W: Peso de sobrecarga calculado en la mitad de la altura de los residuos dentro del nivel que se calcula.(kg.)

Capacidades de campo

Fuente	Densidad en peso kg/m <sup>3</sup>	Densidad en peso seco kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente de humedad inicial cm/m	CC
Rovers 1973	314	n.d.	16	30.15
Walsh 1979	479	312	16	32
Walsh 1981	473	308	16.4	40
Wigh 1979	390	303	8.3	37
Fungaroli 1979	334	253	5.2	34

Fuente: Arturo Arias "Modelo de asentamientos de vertederos controlados de residuos sólidos" (1994)

### 5.1.8. Cálculo del balance de aguas

Una vez calculados todos los valores de los acápites anteriores el balance de aguas se calcula como sigue:

$$S_{RS} = W_{RS} + W_{FT} + W_{MC} + W_{A(u)} - W_{GV} - W_E + W_{F(L)}$$

Donde,

$S_{RS}$ : Variación en la cantidad de agua almacenada en los residuos sólidos [kg/m<sup>3</sup>]

$W_{RS}$ : Humedad de los residuo sólidos entrantes [kg/m<sup>3</sup>]

$W_{FT}$ : Humedad en los fangos entrantes (si existen) [kg/m<sup>3</sup>]

## 5. BALANCE DE AGUAS Y GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

$W_{MC}$ : Humedad en el material de cobertura [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$W_{A(u)}$ : Agua de fenómenos atmosféricos [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$W_{GV}$ : Agua pérdida en la formación de biogás [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$W_{VA}$ : Agua pérdida como vapor de agua saturado con el gas de vertedero [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$W_E$ : Agua pérdida debido a la evaporación superficial [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$W_{F(L)}$ : Lixiviado [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

Generalmente se añade la masa del agua entrante por unidad de área de una capa concreta del vertedero, para un tiempo dado (generalmente un mes), al contenido en humedad de esa capa al final del incremento del tiempo anterior, y sustrayendo la masa de agua pérdida de la capa durante el tiempo actual. El resultado es el agua disponible en el incremento de tiempo actual para una capa particular del vertedero. Se compara esta cantidad de agua con la capacidad de campo del vertedero. Si la capacidad de campo es menor que la cantidad de agua, se formará lixiviado.

### 5.2. Ecuaciones Empíricas y Mediciones de Campo

Las ecuaciones empíricas se elaboran en base a observaciones de campo y se pueden extrapolar para condiciones similares.

#### 5.2.1. Ecuación de Gee

Con esta ecuación se puede predecir la lixiviación:

$$L = e^{(K + \beta_1 \ln Wp + \beta_2 \ln (Wi/Wf) + \beta_3 \ln \hat{E} + \beta_4 \ln \$ + \beta_5 Cc)}$$

Donde,

$Wp$ : Lluvia caída en pulgadas

$\$$ : Pendiente del vertedero

$Wi$ : Contenido inicial de humedad

$Wf$ : Contenido final de humedad

$\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5$ : Constantes

$\hat{E}$ : Densidad del suelo en  $\text{lb}/\text{pie}^3$

$Cc$ : Coeficiente de curvatura del suelo

## 5. BALANCE DE AGUAS Y GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

### 5.2.2. Modelo de producción de lixiviado del Vertedero de Meruelo

Esta ecuación fue desarrollada dentro de la Asesoría Técnica al Desarrollo del Plan de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos que realizó la Universidad de Cantabria con la Fundación Leonardo Torres Quevedo para la Diputación Regional de Cantabria en 1991. Se basa en los datos estadísticos obtenidos de la gestión del vertedero.

$$q_1 = 0.0081 p^{1.43}_{\text{día } i-1}$$

$$q_2 = 0.066 + (q_{\text{día } i-1} - 0.066) e^{-0.6}$$

$$q_t = q_1 + q_2$$

Donde,

$p_{\text{día } i-1}$ : Precipitación registrada el día anterior a la medición

$q_t$ : Caudal de lixiviado

### 5.2.3. Medidas de producción directas

Datos de campo obtenidos de diversos vertederos muestran que la producción de lixiviado alcanza aproximadamente el 20% de la precipitación anual. Los valores de producción del lixiviado están directamente ligados al tipo de cobertura y a la compactación.

#### Capacidades de campo

Vertedero	Precipitación (mm/año)	% Precipitación kg/m <sup>3</sup>	Lixiviado m <sup>3</sup> /ha-d	Observación
Baja compactación	571	31.1	4.9	
	571	4.4	0.4	Cubierto con arcilla limosa
	501-729	25-48.2	5.3-8.3	
	662	58.2	10.6	
	632	32.3	5.9	Cubierto y plantado
	565	19.9-21.4	3.5-3.7	
	565-655	39.2-42.0	6.1-7.5	
Alta compactación	652	15.1	2.7	
	651-998	12.2-29.8	3.2-8.1	Cubierto y plantado
	651-998	16.9-21.6	3.0-5.9	
	632	16.3-18.3	2.8-3.2	
	509	16.8	2.3	
	556-1057	15.6-19.6	2.6-5.1	
	770	3.3-7.2	0.7-1.1	Vertedero joven

Fuente: Ehrig H.J. "Leachate Quality"(1983)



### 6. TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS

Los procesos a utilizar para reducir la contaminación de los lixiviados no están bien definidos. Esto se debe a la variabilidad en cantidad y calidad del lixiviado. Además la contaminación es mucho mayor que en las aguas residuales urbanas, lo que es patente cuando se observa que el valor medio de la DQO es aproximadamente 200 veces mayor que el de la ARU.

Cuando se tratan los lixiviados de un vertedero joven, la eficiencia del tratamiento va disminuyendo a medida que el vertedero envejece, por lo que es normal que se tengan que rediseñar las instalaciones de tratamiento.

#### 6.1. Tratamiento conjunto con aguas residuales urbanas

Si las normas municipales lo permiten, se puede evacuar el lixiviado por la red de alcantarillado o transportarlo en camiones hasta la EDAR. Debe tenerse mucho cuidado con la dilución que se hace con el agua residual para que no se vayan a colapsar los procesos de tratamiento.

Una de las razones por la que se sugiere el tratamiento conjunto es que los lixiviados contienen un exceso de nitrógeno y un déficit de fósforo, pero las aguas residuales pueden aportar el fósforo faltante, no teniendo que agregarlo en la estación depuradora.

El principal problema se debe a fenómenos eventuales de altas cargas de componentes orgánicos e inorgánicos en el lixiviado a tratar. Si se hace una dilución muy pequeña se debe esperar un efluente poco clarificado y con altas concentraciones de  $\text{NH}_3$ .

#### 6.2. Recirculación

El método de devolver el lixiviado al vertedero es bastante utilizado. Es muy ventajoso debido a que en las primeras etapas del vertedero la contaminación es muy alta y si este se recircula se disminuyen los valores de contaminación. No siempre es posible utilizar este método debido a que existen áreas en que el balance de aguas indica que se acumularía líquido en el vertedero. Es por esta razón que la recirculación se aplica sólo en zonas secas.

Entre los beneficios del proceso están que se estimula una biodegradación más rápida y se aumenta notablemente la tasa de generación de biogás.

Este es un método complementario que mejora la calidad de lixiviado efluente, por lo que si se aplica se debe considerar como un pre-tratamiento de los lixiviados.

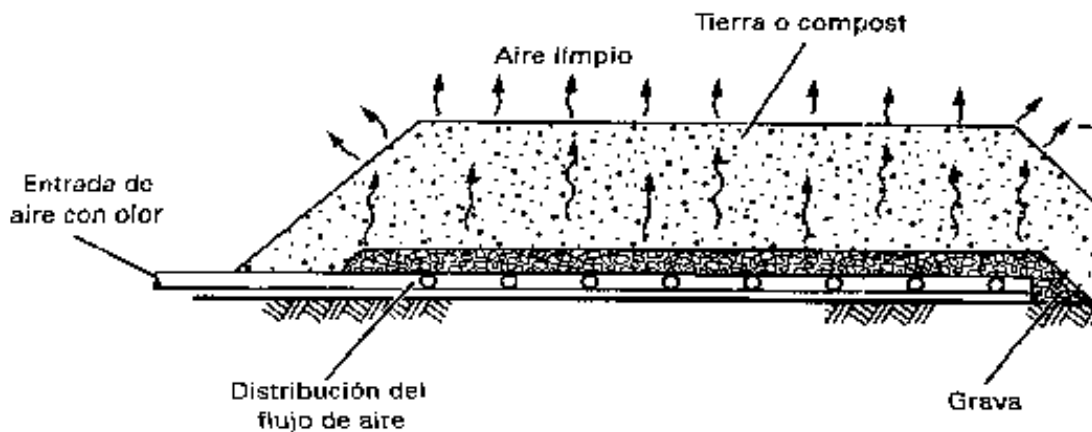
## 6. TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS

### 6.3. Lagunaje

Se utiliza una laguna anaerobia con recirculación a la que se aplican cargas de  $0,3 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^2$ . El porcentaje de recirculación estará determinado por la cantidad de contaminantes que traiga el lixiviado. Antes se utilizan tres o cuatro lagunas facultativas como reguladoras de las fluctuaciones estacionales. Con este método se han alcanzado rendimientos de un 95% para  $\text{DBO}_5$  y 99,9% para coliformes. Uno de los problemas es la generación de olores desagradables y el gran espacio necesario.

### 6.4. Evaporación

Es uno de los tratamientos más sencillos. Se utilizan tanques recubiertos para la evaporación de los lixiviados. El lixiviado que no se evapora se recicla hacia el vertedero. Los vapores de la generación de lixiviado se llevan hacia un filtro de compost o suelo. La profundidad de los estanques es entre 0,6 y 0,9 m y las carga orgánica de 1,6 a  $0,4 \text{ kg/m}^3$  de suelo.



### 6.5. Tratamientos biológicos aerobios

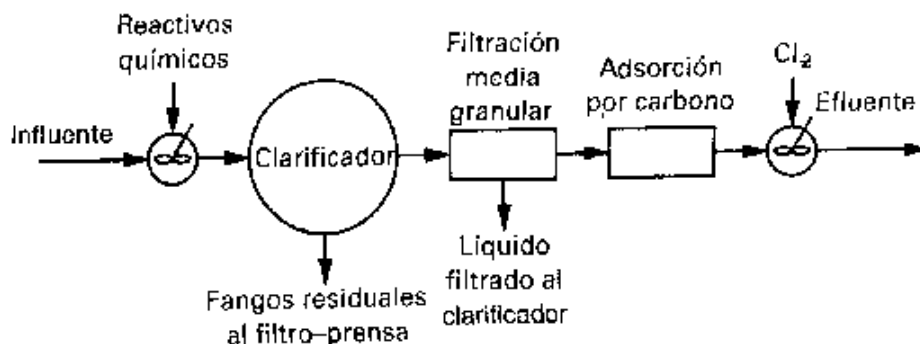
Se disponen de pocos datos del tratamiento de lixiviados con procesos aerobios. Esto se debe a que para aplicar estos tratamientos con eficacia se requieren condiciones más o menos estables, cualidad que no ofrecen los lixiviados. Los tratamientos aerobios que se han utilizado en condiciones limitadas son las lagunas aerobias, los fangos activos y los biofiltros. Se consiguen rendimientos de aproximadamente un 98% en eliminación de DQO.

### 6.6. Tratamientos biológicos anaerobios

Los tratamientos anaerobios son los más ampliamente utilizados en el tratamiento de lixiviados. Esto se debe a que soportan muy bien las sobrecargas puntuales de contaminación que arrastra el lixiviado. Los principales tipos son: Proceso de contacto anaerobio, lecho relleno con flujo ascendente, lecho expandido, UASB, reactor de platos, contacto anaerobio con afinado aerobio. Se obtienen depuraciones de más de un 99% en DQO.

### 6.7. Tratamientos físico-químicos

Son muy escasos los datos de tratamientos físico-químicos aplicados a lixiviados. Su ventaja es que la puesta en marcha es corta, tienen simplicidad de equipamiento y material, son procesos de fácil automatización y tienen poca sensibilidad a los cambios en el ambiente circundantes. Su desventaja es que su rendimiento en depuración es muy pequeño (<50%), el costo de operación es muy elevado y que los químicos añadidos pueden provocar toxicidad.



### 6.8. Resumen de tratamientos de lixiviados

#### Resumen de procesos de tratamiento

Proceso de tratamiento	Aplicación	Observaciones
Fangos activos	Separación de orgánicos	Pueden ser necesarios aditivos antiespuma; necesario clarificador separador
Reactores de lotes secuenciados	Separación de orgánicos	No se precisa clarificador separado; solamente aplicable a tasas de flujo lentas
Estanques de estabilización	Separación de orgánicos	Requiere gran superficie de terreno
Proceso de biopelícula	Separación de orgánicos	Utilizado en efluentes industriales similares a los lixiviados, pero no ensayado con estos
Lagunas anaerobias	Separación de orgánicos	Requisitos de energía y producción de fangos menores que los sistemas aerobios; requiere calefacción; mayor potencial de inestabilidad; más lento que los sistemas aerobios
Nitrificación-Desnitrificación	Separación del hidrógeno	La nitrificación-desnitrificación puede llevarse a cabo simultáneamente con la separación de orgánicos
Neutralización	Control del pH	De aplicación limitada para los lixiviados
Precipitación	Separación de metales y algunos aniones	Produce fango, que posiblemente requiera evacuación como residuo peligroso
Oxidación	Separación de orgánicos; destoxificación de algunas especies inorgánicas	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	Caro; funciona bien con orgánicos refractarios
Sedimentación-Flotación	Separación de materia en suspensión	Sólo tiene una aplicación limitada; puede utilizarse con otros procesos

## 6. TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS

Proceso de tratamiento	Aplicación	Observaciones
Filtración	Separación de materia en S.	Solamente útil como proceso de afino
Arrastre por aire	Separación de amoniaco u orgánicos volátiles	Puede requerir equipamiento de control de la contaminación atmosférica
Separación por vapor	Separación de orgánicos volátiles	Altos costes energéticos; el vapor de condensado requiere tratamiento adicional
Absorción	Separación de orgánicos	Tecnología probada; costes variables según el tipo de lixiviado
Intercambio iónico	Separación de inorg. disueltos	Útil solamente como un paso de acabado
Ultrafiltración	Separación de bacterias y de org. con alto peso molecular	Propenso al atascamiento; de aplicación limitada para los lixiviados
Ósmosis inversa	Disoluciones diluidas de inorg.	Costoso; necesario un pre-tratamiento extensivo
Evaporación	Cuando no se permite la descarga de lixiviados	Los fangos resultantes pueden ser peligrosos; puede ser costoso, excepto en zonas áridas

### 7. SELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

El tipo de instalación a seleccionar dependerá de las características de los lixiviados y de la localización geográfica y física del vertedero. Las características más importantes a tener en cuenta son sólidos totales disueltos, demanda química de oxígeno, sulfatos, metales pesados y constituyentes tóxicos.

Cuando se tienen altos valores de sólidos disueltos (>50.000 mg/l) el lixiviado puede ser difícil de tratar biológicamente. Para altos valores de DQO se recomiendan tratamientos anaerobios. Las concentraciones altas pueden limitar el proceso de tratamiento anaerobios, debido a la producción de olores procedente de la reducción biológica de sulfatos a sulfuros.

### 8. BIBLIOGRAFÍA

Arias, A. MODELO DE ASENTAMIENTOS DE VERTEDEROS CONTROLADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, Tesina de Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y Medio Ambiente, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Septiembre 1994.

Crawford, J.; Smith, P., LANDFILL TECHNOLOGY, Butterworths, 1985, ISBN 0-408-01407-5

Ehrig, H.J. LEACHATE QUALITY, Sanitary Landfilling: Process, technology and environmental impact, 1983.

Pohland, F., Dertien, J., Ghosh, S., LEACHATE AND GAS QUALITY CHANGES DURING LANDFILL STABILIZATION OF MUNICIPAL REFUSE, School of Civil Engineering Georgia Institute of Technology, 1984, Atlanta, Georgia, U.S.A.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S., GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, Traducido de la 1ª Edición en inglés de "Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues" por Tejero Monzón, J.I.; Gil Diaz, J.L.; Szantó Narea, M.; Mc Graw-Hill, 1994, ISBN 84-481-1830-8.