



# Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 4, año 2008 ISSN 0718-378X  
PP

## EFFECTO DE LA RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADO TRATADO EN EL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO

Effect of recirculation of treated leachate in landfill behavior

María Cristina Schiappacasse  
Rolando Chamy  
Paola Poirrier

### ABSTRACT

In Latin America, urban solid wastes (USW) are mostly disposed in sanitary landfills that have the disadvantage of slow organic matter stabilization. The behavior of two sanitary landfills was monitored in a pre-pilot scale with the purpose of evaluating the effect of the recirculation of anaerobically treated leachate on their velocities of settlement. Both landfills were initially loaded with 0.5 tons of USW, one operating with a recirculation of leachate treated in an anaerobic filter and the other with a recirculation of untreated leachate, with estimated stabilization times of 3.7 and 13.3 years, respectively. Considering the good results obtained in the pre-pilot scale with the recirculation of treated leachate, this same study was conducted in a pilot scale in a sanitary landfill initially loaded with 1,440 tons of USW. It was found that the average velocity of settlement doubles during the periods of recirculation of the treated leachate in relation to the landfills in which there is no recirculation of leachate. It can be concluded that it is possible to reduce the stabilization time by approximately 40% if untreated leachate is recirculated and by approximately 80% if this leachate is first anaerobically treated.

Key words: Sanitary landfill, leachate recirculation, leachate treatment

V-Schiappacasse-Chile-001

## EFEECTO DE LA RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADO TRATADO EN EL COMPORTAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO

### María Cristina Schiappacasse

Ingeniero Civil Bioquímico; P. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Magíster en Medio Ambiente; Universidad de Santiago de Chile, Chile.

### Rolando Chamy

Ingeniero Civil Bioquímico; P. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Magíster en Cs. de la Ingeniería M/Ingeniería Bioquímica; P. Universidad de Valparaíso, Chile. Doctor en Ingeniería Química y Ambiental; U. de Santiago de Compostela, España.

### Paola Poirrier

Ingeniero Civil Bioquímico; P. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Magíster en Cs. de la Ingeniería M/Ingeniería Bioquímica; P. Universidad de Valparaíso, Chile. Doctor en Ingeniería Química y Ambiental; U. de Santiago de Compostela, España.

**Dirección (1): General Cruz 34 – Valparaíso – Chile – Tel.:(+32)227-3645 – Fax: (+32)227-3803- e-mail: mschiapp@ucv.cl**

### RESUMEN

En Latinoamérica los sistemas más utilizados para la disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) son los rellenos sanitarios, los cuales tienen la desventaja de poseer bajas velocidades de estabilización **de la materia orgánica**. Con el objetivo de evaluar el efecto de la recirculación del lixiviado tratado anaeróbicamente sobre las velocidades de asentamiento de los rellenos sanitarios, se siguió el comportamiento a escala pre-piloto de dos rellenos sanitarios, **cargados inicialmente con de 0,5 Ton de RSU**, operando uno con recirculación de lixiviado tratado en un filtro anaerobio y el otro con recirculación de lixiviado sin tratamiento, estimándose los tiempos de estabilización en 3,7 y 13,3 años, respectivamente. Dados los buenos resultados obtenidos a escala pre-piloto con la recirculación de lixiviado tratado, se realizó este mismo estudio a escala piloto en un relleno sanitario, **cargado inicialmente con 1.440 Ton de RSU**, obteniéndose que la velocidad de asentamiento promedio se incrementa al doble durante los períodos de recirculación del lixiviado tratado con respecto a los que no existe recirculación de lixiviado. Se concluye que es posible reducir los tiempos de estabilización en alrededor de un 40% si se recircula lixiviado no tratado y cerca de un 80% si además este lixiviado se ha tratado anaeróbicamente.

Palabras claves: Relleno sanitario, recirculación lixiviado, tratamiento lixiviado

## INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica los rellenos sanitarios son uno de los sistemas más utilizados para la disposición de los RSU. Sin embargo, estos sistemas poseen una baja velocidad de degradación de la materia orgánica, lo que se traduce en una baja productividad de biogás y en una corta vida útil de los rellenos, debido al lento proceso de asentamiento (10 a 20 años o más).

Se ha demostrado en forma repetida que la adición de agua tiene un efecto positivo en la estabilización de los RSU dispuestos en los rellenos sanitarios. Sin embargo, al disponer los rellenos sanitarios de un sistema de impermeabilización por membrana y sellado con cobertura, se impide que ingrese humedad la cual es esencial para los procesos de degradación de la materia orgánica (Reinhart y Al-Yousfi, 1996).

Se ha observado que la recirculación de lixiviados es el método más efectivo para aumentar el contenido de humedad a niveles óptimos, con ventajas adicionales entre las que se incluyen la distribución de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y enzimas, aumento de la degradación de la materia orgánica, aumento en la producción de biogás y concentración de metano presente, tamponamiento del pH, dilución de compuestos inhibitorios, recirculación y distribución de microorganismos metanogénicos, mejoramiento de la calidad del lixiviado y finalmente se favorece la velocidad y el grado de compactación del relleno (Benson et al., 2007, Francois et al., 2007, Ledakowicz et al., 2004, Reinhart, 1996, Reinhart y Al-Yousfi, 1996, San y Onay, 2001, Suna Erses y Onay, 2003, Wang et al., 2006, Zao et al., 2006)

La recirculación del lixiviado entre el relleno y un digestor anaerobio puede resolver el problema de inhibición por diferentes frentes: (1) los ácidos formados en el relleno serán removidos y tratados; (2) el lixiviado que entrará en el relleno tendrá suficiente alcalinidad para **amortiguar** el pH; y (3) el lixiviado proveerá inóculo al relleno para establecer rápidamente una población microbiana con un adecuado balance entre los organismos acidogénicos y metanogénicos (O'Keefe y Chynoweth, 2000).

La digestión anaerobia de los lixiviados y luego su recirculación al relleno puede involucrar la descomposición de la materia orgánica en dos fases. La primera fase se realiza en las celdas del relleno llevándose a cabo las etapas hidrolítica y acidogénica. En la segunda fase que se efectúa en el digestor anaerobio donde se realizan las etapas acetogénicas y metanogénicas (Mata-Alvarez, 1987, O'Keefe y Chynoweth, 2000).

Desde un punto de vista cinético y de operación, la separación en dos fases garantiza la posibilidad de mantener un ambiente óptimo para cada grupo bacteriano, aumentando sustancialmente las reacciones asociadas. En el caso de los RSU, la etapa hidrolítica es la fase limitante en cuanto a la velocidad global del proceso debido al tiempo limitado de exposición de la superficie del sólido a las enzimas extracelulares (Mata-Alvarez, 1987).

El objetivo de este trabajo es evaluar a escala pre-piloto y piloto el efecto de la recirculación de lixiviado tratado en el comportamiento del relleno sanitario.

## METODOLOGÍA

### a) Pre-piloto

Se operaron dos rellenos sanitarios a escala pre-piloto de 0,5 Ton. durante 650 días a 30°C. Dos diseños de procesos se llevaron a cabo: en el primer caso, los lixiviados

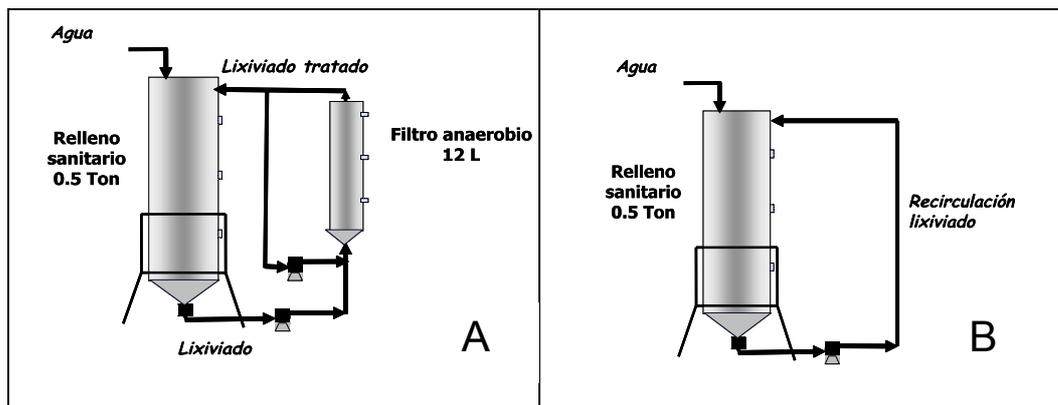
generados fueron recirculados al relleno previo tratamiento a 37°C en un filtro anaerobio de 12 L; en el segundo caso, los lixiviados fueron recirculados sin tratamiento. En la Figura 1 ( A y B) se muestran esquemáticamente los rellenos pre-pilotos.

Los rellenos sanitarios pre-pilotos poseían un diámetro de 0,8 m, una altura de 2,4 m, y un fondo de forma cónica con una pendiente de 3% (para facilitar la salida del lixiviado). Los rellenos estaban constituidos por un filtro de aproximadamente 20 cm de espesor formado por una capa de arena y otra de gravilla encima; luego una capa de RSU sintético, formulado de acuerdo a la composición típica de la ciudad de Valparaíso y compactados hasta una densidad final de 0,5 Ton /m<sup>3</sup>; y una cobertura final de 20 cm de suelo arcilloso.

Se adicionó por debajo de la cobertura final, agua para simular las precipitaciones de la ciudad de Valparaíso y el lixiviado recirculado (tratado o no tratado).

El filtro anaerobio poseía una altura de 0,9 m y un diámetro de 0,13 m, el cual fue relleno con anillos corrugados de material plástico que tenían un área superficial de 573 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Este filtro fue operado a una temperatura de 37°C.

Con el fin de acelerar la generación de lixiviado, los rellenos con recirculación de lixiviado tratado y no tratado, fueron inicialmente saturados gradualmente por un período de 2 semanas con un volumen de agua igual a 110 L y 95 L, respectivamente.



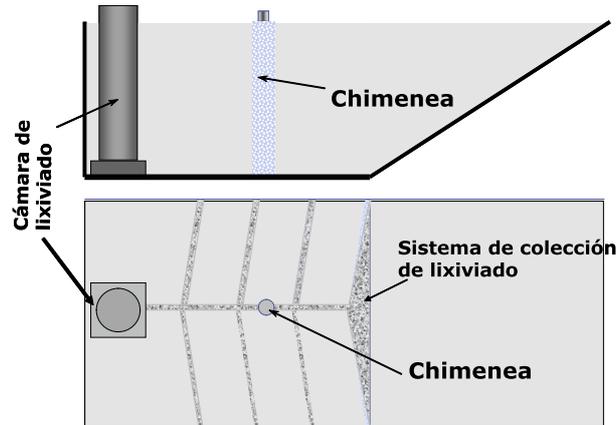
**Figura 1: Relleno sanitario Pre-piloto con y sin tratamiento anaerobio del lixiviado recirculado ( A y B, respectivamente)**

**b) Escala piloto**

Los experimentos a escala piloto fueron llevados a cabo por un período de 640 días, en un relleno sanitario de 1.440 Ton de RSU, ubicado en la ciudad de Valparaíso. En este caso los lixiviados fueron recirculados previo tratamiento en un filtro anaerobio de 6,1 m<sup>3</sup> a 37°C.

El relleno poseía 14,9 m de longitud, 10 m de ancho y 6 m de profundidad; y una rampa de 20,2 X 10 m<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 2. Se impermeabilizó con una membrana de HDPE de 1 mm de espesor. Disponía de una cobertura final de 30 cm de suelo arcilloso, una chimenea para la captación del biogás, un sistema para el drenaje del lixiviado y una cámara para colectar el lixiviado y desde ahí ser bombeado al filtro anaerobio. Además, tenía un sistema de distribución del lixiviado tratado por debajo de

la cobertura final.



**Figura 2: Vista lateral y superior del relleno sanitario piloto**

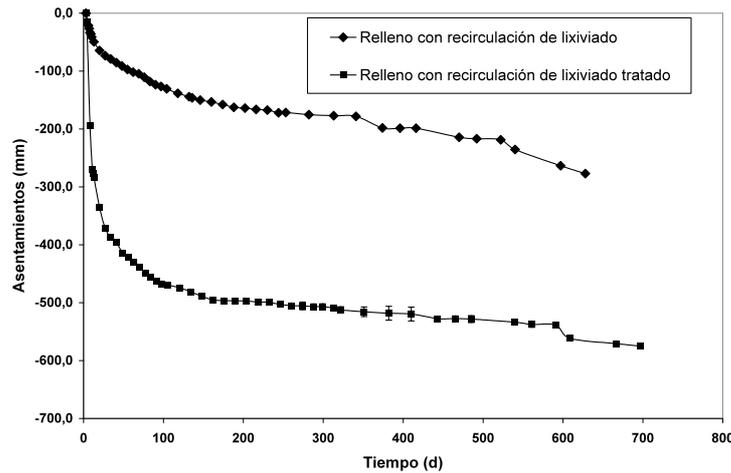
El filtro anaerobio tenía un diámetro de 2,3 m y una altura de 1,5 m. El soporte utilizado para la biopelícula microbiana fue anillos tipo Flocor-R, con una superficie específica de  $612 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Con el fin de reducir el período de puesta en marcha, el relleno sanitario piloto fue saturado inicialmente con  $120 \text{ m}^3$  de agua. Este proceso fue realizado gradualmente para asegurar la saturación homogénea del sistema. Durante la operación del relleno se agregaron  $24 \text{ m}^3$  de agua entre los días 263 y 377, con fin de solucionar el problema de ausencia de precipitaciones y la escasez de lixiviado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### a) Pre-piloto:

Los experimentos llevados a cabo con los rellenos sanitarios pre-pilotos mostraron que la mejor alternativa fue la que se efectuó recirculación de lixiviado tratado, debido a los mayores asentamientos producidos (Figura 3).



**Figura 3: Variación de los asentamientos en los rellenos sanitarios pre-pilotos de 0,5 Ton.**

Los datos de asentamientos de ambos rellenos fueron bien ajustados al modelo hiperbólico publicado por Ling *et al.* (1998):

$$S^* = t^* / [1/r_0 + t/S_{ult}] \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$t^*$  : diferencia entre el tiempo al cual se quiere predecir y el tiempo de inicio de las mediciones ( $t = t_i - t_0$ ), día

$S^*$  : diferencia entre el asentamiento medido en  $t_i$  y el medido en  $t_0$  ( $S = S_i - S_0$ ), mm

$r_0$  : velocidad inicial de asentamiento en  $t = t_0$ , mm/día

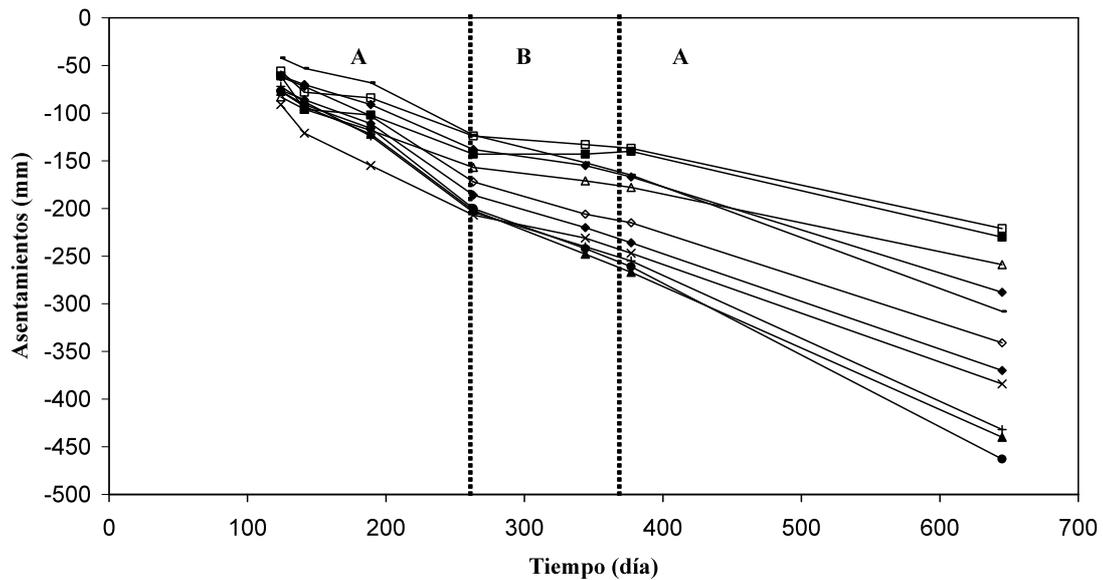
$S_{ult}$  : asiento final ( $t \rightarrow \infty$ ), mm

Los tiempos de estabilización estimados de acuerdo a la ecuación 1 fueron de 3,7 y 13,3 años para los rellenos con recirculación de lixiviado tratado y no tratado, respectivamente.

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios operados con recirculación de lixiviado tratado y no tratado tuvieron un DQO promedio de 51.600 mg/L y 12.900 mg/L y un pH de 5,5 y 7,7, respectivamente. En este caso, la alternativa de recirculación de lixiviado tratado se comportaría como un reactor de dos fases, donde la fase hidrolítica y acidogénica se estaría produciendo en el relleno sanitario, mientras que la fase metanogénica en el filtro anaeróbico.

## b) Piloto

En el relleno sanitario piloto de 1.440 Ton se observó que durante el período de recirculación de lixiviado tratado se elevó al doble la velocidad promedio de asentamiento comparado con el período de no recirculación (Figura 4).



**Figura 4: Asentamientos medidos en diferentes puntos del relleno sanitario piloto de 1.440 Ton bajo diferentes regimenes de recirculación de lixiviado tratado. A: período con recirculación de lixiviado tratado en un filtro anaerobio. B: período sin recirculación de lixiviado tratado.**

## CONCLUSIONES

La recirculación de lixiviado tratado anaerómicamente incrementa la velocidad de asentamiento de un relleno sanitario, aumentando su vida útil en alrededor de un 80%.

La operación de un relleno sanitario con recirculación de lixiviado tratado en un filtro anaerobio se comportaría como un reactor de dos fases, aumentando la velocidad de degradación de la materia orgánica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENSON, C. H., BARLAZ, M. A., LANE, D. T., RAWE, J. M. (2007) Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. *Waste Management*. 27:13–29.
2. FRANCOIS, V., FEUILLADE, G., MATEJKA, G., LAGIER, T., SKHIRI, N. (2007) Leachate recirculation effects on waste degradation: Study on columns. *Waste Management*. 27(9):1259-1272.
3. LEDAKOWICZ, S., KACZOREK, K. (2004). Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste. *Journal of Environmental Science and Health Part A—Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. A39 (4):859–871.
4. LING, H.I., LESHCHINSKY, D., MOHRI, Y., KAWABATA T. (1998). Estimation of municipal solid waste landfill settlement. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **124** (1), 21-28.

5. MATA-ALVAREZ, J. (1987). A dynamic simulation of a two phase anaerobic digestion system for solid wastes. *Biotechnology and Bioengineering*. 30, 844-845.
6. O'KEEFE, D. M., CHYNOWETH, D. P. (2000). Influence of phase separation, leachate recycle and aeration on treatment of municipal solid waste in simulated landfill cells. *Bioresource Technology*. 72, 55-66.
7. REINHART, D. R. (1996). Full - scale experiences with leachate recirculation landfills: case studies. *Waste Management & Research*. 14, 347-365.
8. REINHART, D. R. AND BASEL AL-YOUSFI, A. (1996). The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. *Waste Management & Research*. 14, 337-346.
9. SAN, I., ONAY, T.T. (2001). Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. *Journal of Hazardous Material*. 87(1-3):259-71.
10. SUNA ERSES, A., ONAY, T. T. ( 2003). Accelerated landfill waste decomposition by external leachate recirculation from an old landfill cell. *Water Science and Technology*. 47(12): 215-222.
11. WANG, Q., MATSUFUJI, Y., DONG, L., HUANG, Q., HIRANO, F., TANAKA, A. (2006) Research on leachate recirculation from different types of landfills. *Waste Management*. 26(8):815-24.
12. ZHAO, Q. L., LIU, X. Y., QI, X. D., LIU, Z. G. (2006). Landfill leachate production, quality and recirculation treatment in northeast China. *J Journal of Environmental Sciences*. 2006;18(4):625-8.

### Comentarios

Excelente trabajo, a juicio de quien revisa para su publicación solo sugiero revisar algunos términos señalados en el resumen que luego aparecen en el texto