

Tratamiento con aire previo a la degradación anaeróbica de residuos sólidos urbanos

Estudio comparativo

M.D. Pettri Flores, M.R. Reta, G.M. Acuña, O.M. Barboza,
C. Kruzolek, M.B. Smorczewski, M.B. Meichtry

Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales
e-mail: mpettri@fceqyn.unam.edu.ar

Resumen

Se estudió la variación de cantidad y calidad de lixiviados producidos por residuos sólidos urbanos (RSU) en condiciones anaeróbicas sin estabilización previa y con pretratamiento aeróbico, efectuándose además el estudio comparativo de la estabilidad alcanzada por las masas y reducción de volúmenes.

Los residuos fueron separados en dos fracciones iguales, depositándose una en un reactor anaeróbico y otra en un aeróbico hasta finalizar la etapa activa de biodegradación, para tratarla luego anaeróbicamente.

La calidad de lixiviados se estudió mediante el seguimiento de DBO, DQO, Conductividad, pH, Color, AOV, Alcalinidad, ST y STV. En residuos pretratados se recolectaron menores cantidades de lixiviados.

Se halló mayor grado de estabilización en los residuos pretratados, con 93 % de reducción de Materia Orgánica Fácilmente Oxidable y mayor disminución de volumen. Existe una reducción estadísticamente significativa en DBO de los lixiviados hasta los 64 días de tratamiento, mientras que la reducción en DQO es muy significativa hasta los 48 días.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, digestión anaeróbica, pretratamiento aeróbico, lixiviados, asentamiento, relleno sanitario.

1. Introducción

El empleo de los rellenos sanitarios para la disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es una práctica muy generalizada en varias regiones del mundo. Al respecto,

estudios recientes informan que más del 80% de los desechos sólidos municipales se disponen en vertederos y en la mayoría de los casos sin pretratamiento alguno [13].

En este sentido, y para minimizar posibles impactos por la emisión de lixiviados y gases generados, se vienen implementando en los países desarrollados políticas con lineamientos claros, estableciendo una jerarquía en el diseño del sistema de gestión de residuos, donde los vertederos ocuparían el último lugar luego de agotar todas las instancias de reducción y tratamiento.

Dentro de las alternativas tendientes a reducir el volumen de residuos a depositar en un vertedero, se presenta el pretratamiento mecánico-biológico, que resulta de la combinación de procesos operativos mecánicos y biológicos, mediante los cuales los residuos no biodegradables son previamente separados, optimizando de esa forma dichos tratamientos. El residuo pretratado mecánico-biológicamente se caracteriza por una marcada reducción de volumen, contenido de agua, generación potencial de gases, una sensible mejora en la composición de los lixiviados y asentamientos [3].

Dentro del marco señalado en el párrafo anterior, en el año 1999 la GTZ ofrece desarrollar, en la provincia de Misiones, un Proyecto Sectorial denominado “Posibilidades del tratamiento mecánico-biológico de los desechos sólidos” y tomó contacto con docentes de la UNAM. Esto ha incentivado que el grupo de investigadores que integra el presente trabajo llevara a cabo a escala piloto dicha técnica en forma modificada, adaptada a los RSU de la ciudad de Posadas teniendo en cuenta la modalidad de gestión reinante en ese período: los residuos eran depositados en forma transitoria en un predio, donde los “cirujas” (segregadores) extraían materiales con valor económico y luego las fracciones restantes eran trasladadas al sitio de disposición final, consistente en un vertedero a cielo abierto.

La finalidad del trabajo fue aplicar dicho método a los residuos remanentes depositados en el vertedero, anticipando procesos de descomposición biológica que se desarrollarían en el mismo, considerando al cirujeo como parte integrante del tratamiento, y evaluar los resultados bajo estas circunstancias y las condiciones climáticas de la zona.

Se estableció como objetivo particular comparar en paralelo la cantidad y calidad de lixiviados generados por los RSU dispuestos en condiciones anaeróbicas, con y sin pretratamiento con aire.

También se evaluó el grado de estabilización biológica de la masa de los residuos y el grado de reducción de volúmenes, resultado de los asentamientos producidos.

2. Materiales y métodos

Actividades de campo

Se trabajó con muestras de RSU recolectadas de la Estación de Transferencia Provisoria (ETP) a cielo abierto, de la ciudad de Posadas, capital de la provincia de Misiones, en la República Argentina.

Se extrajeron en forma aleatoria bolsas y materiales sueltos de los residuos deposi-

tados en el predio, con los cuales se conformó una pila de aproximadamente 900 Kg, permitiendo posteriormente a los "cirujas" seleccionar los residuos con valor económico y así obtener la muestra de trabajo.

A continuación se realizaron cuarteos sucesivos para lograr una muestra representativa del total inicial. Sobre una parte de la misma (aproximadamente 60 Kg) se determinó la composición de la basura, separándola en sus distintas fracciones y pesándolas en campo; mientras que la parte destinada a los ensayos fue triturada-mezclada y de la misma se extrajeron 4 Kg para la caracterización físico-química y aproximadamente 100 Kg para la carga de los reactores.

Caracterización inicial de los residuos

La muestra de residuos previamente fue secada y homogeneizada; para ello se llevó a estufa a 45°C y luego se pasó por una procesadora y de la muestra así preparada se extrajeron porciones para las distintas determinaciones aplicando las técnicas analíticas de Kiehl [7]: Humedad en estufa a 105°C; Carbono Orgánico Total (COT) por calcinación a 550°C; Carbono Orgánico Fácilmente Oxidable por el método de oxidación húmeda; Nitrógeno Total por el método Kjeldahl (NTK); pH relación residuo/agua 1/5 y determinación potenciométrica; y Materia Orgánica Total (MOT), Materia Orgánica Fácilmente Oxidable y Demanda Química de Oxígeno (DQO) a partir de los valores de COT y CO Fácilmente Oxidable.

Reactores y desarrollo experimental

Se construyeron dos reactores a efectos de simular el comportamiento de los residuos dentro de un vertedero, en proceso *batch* y con generación de lixiviados en forma discontinua. Uno de ellos para el ensayo sin pretratamiento (R1) y el otro para el ensayo con pretratamiento aeróbico (R2), empleando en ambos casos tanques de fibra de vidrio de 300 y 500 litros de capacidad, respectivamente.

Para la etapa aeróbica en R2 se conformó una cámara de aire, colocando el tanque de menor capacidad en el interior del otro tanque, apoyado sobre tacos de madera. La base del tanque de 300 litros fue perforada ($\phi = 4$ mm) para permitir el ingreso y distribución del aire dentro del reactor. Además, la tapa del mismo se mantuvo sin sellar para retirarla, mezclar los residuos y extraer muestras destinadas a los análisis de control del proceso.

El diseño y construcción de R1 fue similar a R2, salvo el dispositivo inferior para entrada de aire y la tapa del reactor, que en este caso se cerró y selló luego de la carga de los residuos, manteniéndose de esta forma hasta el final de la experiencia. En ambos reactores se cargaron 49 kg de residuos.

El control de temperatura se realizó mediante sensores termorresistentes tipo PT100, equipo Yokojawa multicanal; en cada reactor se colocó un sensor y en el exterior de los mismos se localizó un tercero para registrar la temperatura ambiente. Los datos emitidos por cada sensor fueron volcados en forma continua y automática a un grafo-registrador.

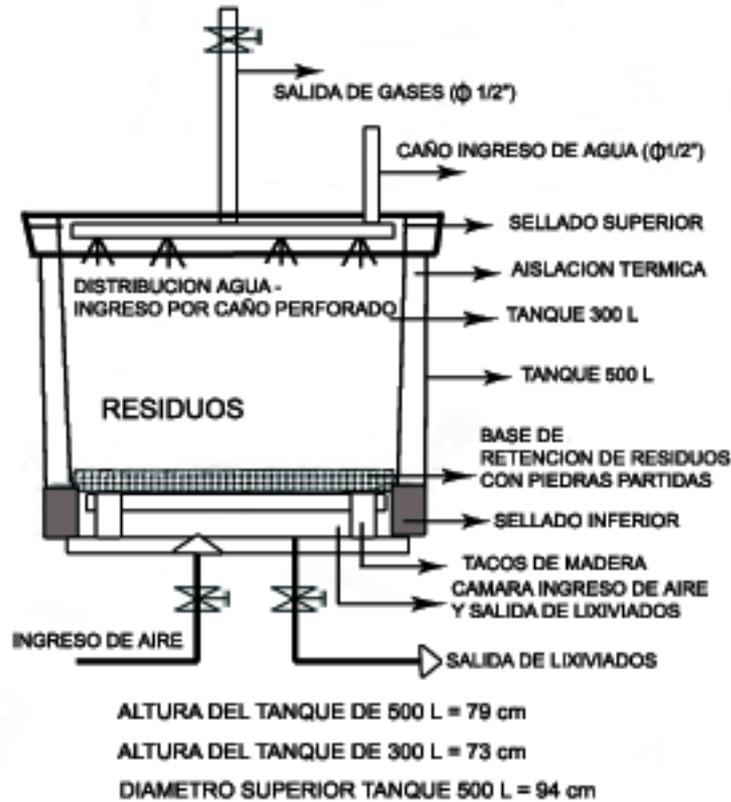


Figura 1: Esquema de detalles constructivos de reactores.

En la figura 1 se muestran las partes integrantes del sistema constructivo de los reactores.

La cantidad de aire requerida para el pretratamiento en R2 se determinó teniendo en cuenta el contenido de Materia Orgánica Fácilmente Oxidable de los residuos, de acuerdo con la metodología propuesta en Tchobanoglous [6]. El caudal total de aire calculado para dicho proceso se distribuyó en alícuotas entregadas durante las tres fases (mesofílica, termofílica y enfriamiento) de acuerdo con los requerimientos del tratamiento biológico [2]. El aire fue suministrado por un ventilador centrífugo y este pretratamiento se mantuvo durante 26 días.

El agregado de agua a los reactores se realizó conforme a los requerimientos de cada etapa. En R2 durante el pretratamiento con aire, se añadió agua destilada para mantener la humedad de los residuos entre 50 % y 60 %. Adicionalmente, el volumen de agua agregado en la etapa anaeróbica para ambos reactores, se estimó en función del agua de lluvia que ingresaría hipotéticamente por infiltración en vertederos con drenajes adecuados, asumiéndose que sería el 25 % del valor del registro de lluvia anual [5]. En función a ello y considerando que el promedio anual de lluvia en la provincia de Misiones es de 1.800 mm, se adicionó a los reactores la cantidad de 1 litro de agua cada dos días, resultando un volumen total de 270 litros para cada uno.

El criterio aplicado para la finalización del pretratamiento con aire en R2 se basó en los valores de determinados parámetros medidos sobre los residuos sólidos, que permitieron inferir que la fase más activa de biodegradación aeróbica había culminado.

Caracterización de lixiviados

El control de los procesos anaeróbicos en ambos reactores se llevó a cabo a través de la calidad de los lixiviados medidos por: pH, Conductividad, Color, AOV, Alcalinidad Total, DQO, DBO, ST y STV. Los análisis fueron realizados según el manual de técnicas normalizadas de APHA, WPCF Y AWWA [4].

El plan de muestreo de los lixiviados se programó con frecuencia mensual, lo que no siempre se pudo cumplir dado que en determinadas oportunidades el lixiviado no drenó a través de la válvula de salida.

Estos ensayos se dieron por finalizados transcurridos 269 días, dados los bajos valores de DBO registrados en los últimos muestreos.

Se realizó el análisis estadístico de los resultados mediante: Test de Comparación de Muestras Apareadas, comparación de los parámetros de las curvas de regresión, Análisis de Varianza y Test de Rangos Múltiples, utilizando un software específico [12].

Mediciones y caracterización final de los residuos

Finalizados los ensayos, se calcularon los volúmenes de los RSU remanentes y se llevó a cabo la caracterización físico-química de los mismos.

3. Resultados y discusión

Muestreo y caracterización inicial de residuos

En la Tabla 3 se presentan las distintas fracciones componentes de los residuos empleados en el proyecto, expresados en % en peso y en la Tabla 3 la caracterización de su fracción orgánica.

Calidad y cantidad de lixiviados

Los resultados de la caracterización de los lixiviados generados en ambos reactores se presentan en las Figuras 3 a 10 y, en la Figura 11, los volúmenes acumulados de lixiviados en función de los días de desarrollo de la experiencia. Como puede observarse en la Figura 2, para los lixiviados de R1 la DQO varió entre 9.100 y 85,5 mg L⁻¹ y para R2 fue de 4.850 a 58 mg L⁻¹. Mientras que la DBO mostrada en la Figura 3, varió entre 5.216 y 2 mg L⁻¹ para R1 y para R2 desde 3.566 a valores inferiores al límite de detección de la técnica (2 mg L⁻¹). En cuanto a la relación DBO/DQO, en el primer control se obtuvieron valores de 0,57 para R1 y 0,74 para R2, indicando la existencia

Fracción	Kg	%
Plásticos	11,00	18,2
Papeles y cartones	8,00	13,3
Vidrios, lozas	1,00	1,7
Pañales descartables	5,50	9,1
Metales varios	1,00	1,7
Maderas	0,25	0,4
Trapos	0,50	0,8
Fracción orgánica (alimentos, podas, etc.)	32,00	53,1
Otros (env. multicapa, cueros, gomas, huesos)	1,00	1,7
Total	60,25	100,0

Tabla 1: Composición de los residuos (base húmeda).

Parámetros	Valores
pH (upH)	6,5
Humedad 105 °C (%)	56,0
NTK (%)	2,0
MOT (%)	66,0
COT (%)	2,0
C/N	26,2
MO Fác. Oxidable (%)	35,4
CO Fác. Oxidable (%)	19,7
DQO (%)	524,0

Tabla 2: Caracterización de la fracción orgánica de los residuos.

de compuestos con alta biodegradabilidad en ambos casos y en el último control dicha relación fue de 0,03 para ambos reactores, sugiriendo la existencia de compuestos de baja biodegradabilidad y por lo tanto la conveniencia de dar por finalizada la experiencia. Este resultado coincide con lo informado en la bibliografía especializada respecto a lixiviados observables en vertederos antiguos, cuya relación a menudo se encuentra en el rango de 0,05 a 0,2, debido a la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos de difícil degradación biológica [6, 8].

En la Figura 4, se aprecia que los rangos de AOV fueron para R1 de 8.973 a 5.632 mg L⁻¹ y para R2 los valores estuvieron entre 7.173 y 3.559 mg L⁻¹ y la Figura 5 muestra que la Alcalinidad Total fue de 1.050 a 605 mg L⁻¹ para R1 y 1.000 a 530 mg L⁻¹ para R2. Los valores de pH indicados en la Figura 6, estuvieron por encima de 6,8 hasta un máximo de 7,9 evidenciando que para ambos casos, los lixiviados se mantuvieron cercanos a la neutralidad, por lo que no existió una acumulación de AOV en los reactores, lo que sugiere la existencia conjunta de flora microbiana acetogénica y metanogénica que estuvieron co-actuando en el sistema, y además por los valores relativamente altos de alcalinidad que permitió mantener la capacidad buffer a pesar

de los altos niveles de AOV [8, 1].

En las Figuras 8 y 9 se observan los valores de Conductividad, ST y STV respectivamente y en la Figura 10 se dan los valores de Color, medidos en PtCo, que van disminuyendo con el tiempo, siendo mayor para los lixiviados de R2. Con respecto a la coloración R1 presentaba tonalidades verde-amarillentas y R2 predominio de tonalidades pardas. En la Figura 12, puede distinguirse esta diferencia en colores como una variación en tonos de gris, que corresponde a la última extracción de lixiviados.

En la Figura 11 se grafican volúmenes acumulados de lixiviados extraídos durante el tiempo en que ambos reactores operaron anaeróbicamente.

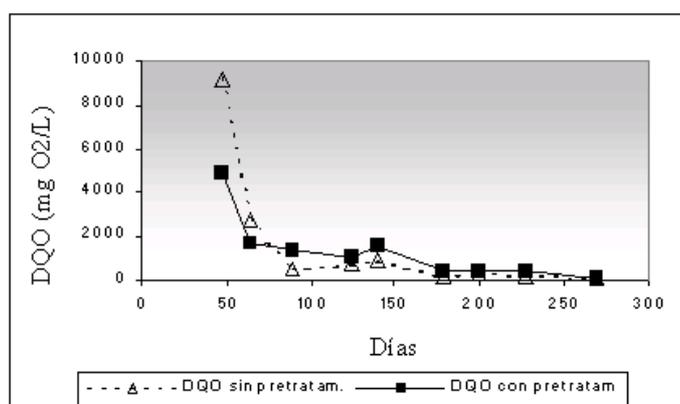


Figura 2: DQO en lixiviados.

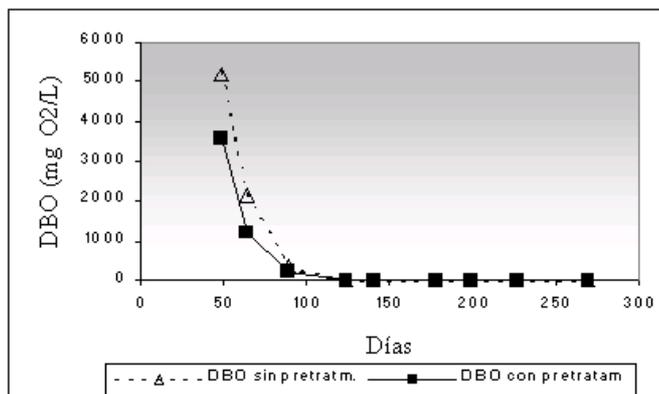


Figura 3: DBO en lixiviados.

En la Tabla 3 se presentan las ecuaciones de ajuste que explican la variación de cada parámetro y volúmenes de lixiviados acumulados extraídos en función del tiempo.

En todos los casos no se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) para las constantes a y b, en los valores de DBO, DQO y Conductividad, coincidiendo con lo hallado en el análisis de muestras apareadas. En el caso de DBO el Test de Rango

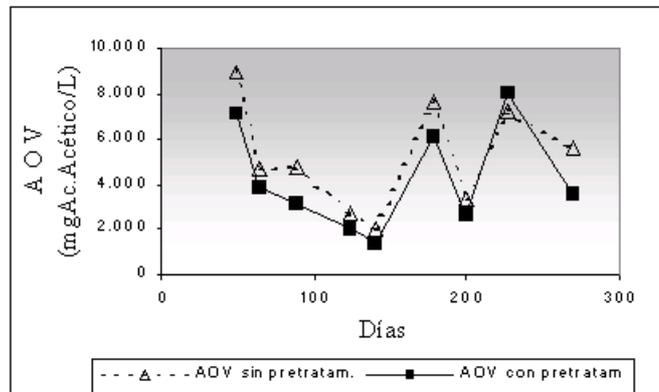


Figura 4: AOV en lixiviados.

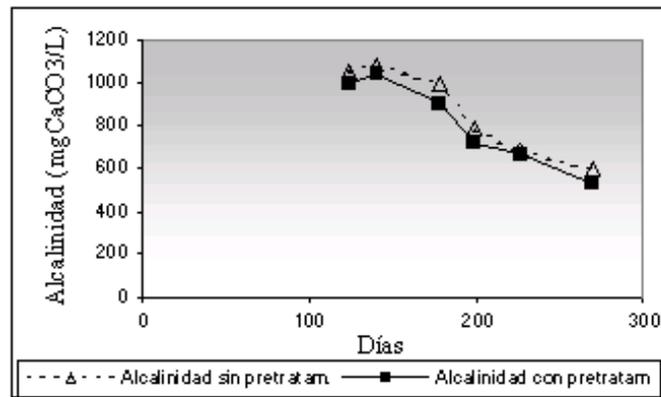


Figura 5: Alcalinidad en lixiviados.

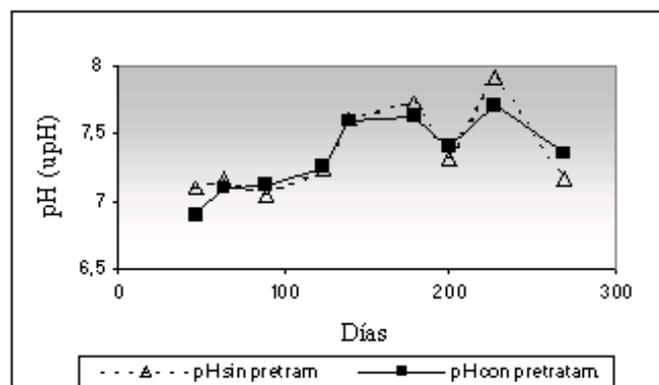


Figura 6: pH en lixiviados.

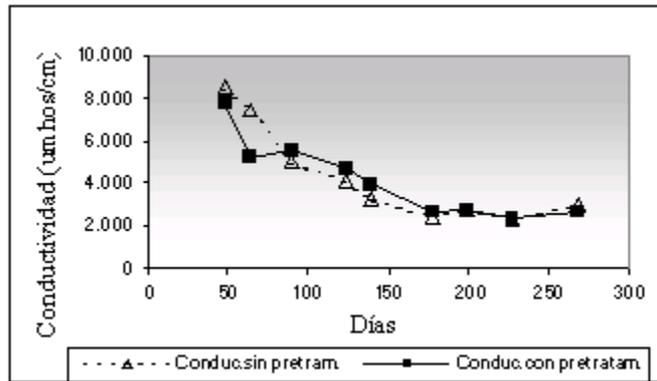


Figura 7: Conductividad en lixiviados.

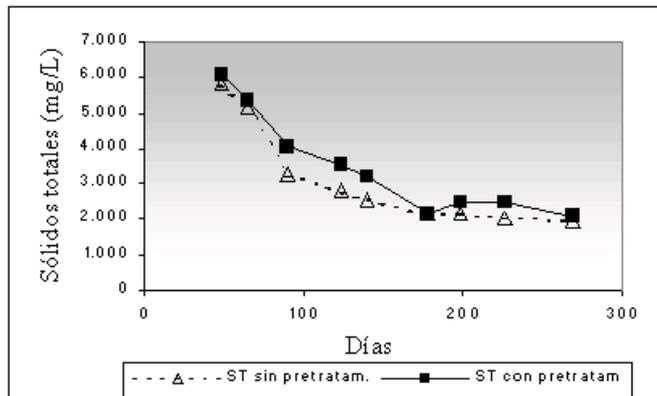


Figura 8: ST en lixiviados.

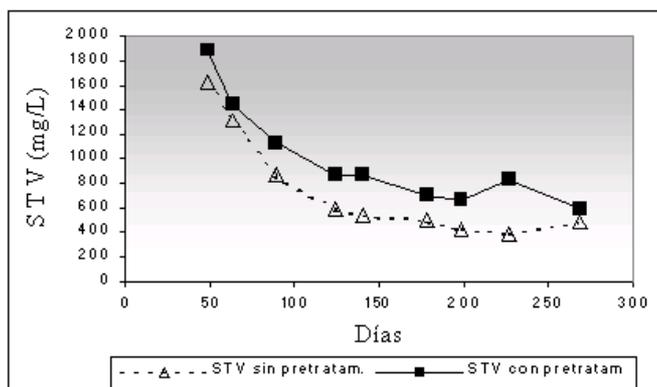


Figura 9: STV en lixiviados.

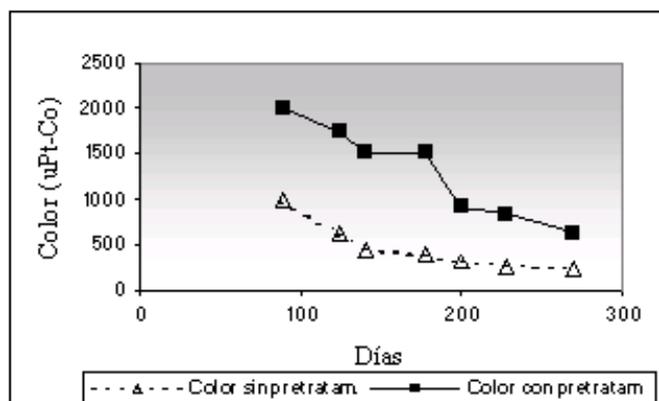


Figura 10: Color en lixiviados.

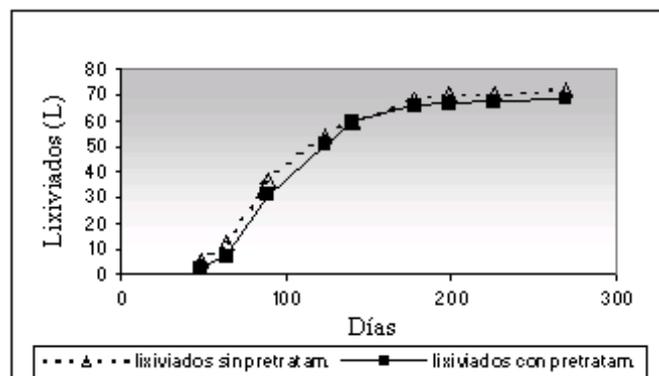


Figura 11: Volúmenes acumulados de lixiviados.

Múltiple indica que existe diferencia significativa entre las medias correspondientes a los 48 días de tratamiento y a partir de los 64 días no se registran diferencias. Para DQO los resultados estadísticos son similares, solo que a los 124 días ya no se presentan diferencias, tiempo en que la relación DBO/DQO presenta valores de 0,008 para R1 y 0,004 para R2, indicando lixiviados de escasa a nula biodegradabilidad.

Para Color, al efectuar la comparación de sus constantes se observó que presentaban diferencias en la ordenada al origen, coincidiendo con lo hallado en muestras apareadas, lo que significa que las muestras partieron de diferentes colores. No se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las pendientes, por lo tanto la velocidad con que se modifican los valores del color en función de los días es similar en ambos tratamientos.

Para ST y STV, al realizar las comparaciones apareadas se encontraron diferencias significativas con mayores valores para el pretratamiento, lo que podría deberse a un mayor asentamiento observado en los residuos y la consecuente salida de materias en el lixiviado. Al comparar las constantes de regresión para ST, se encontró que no

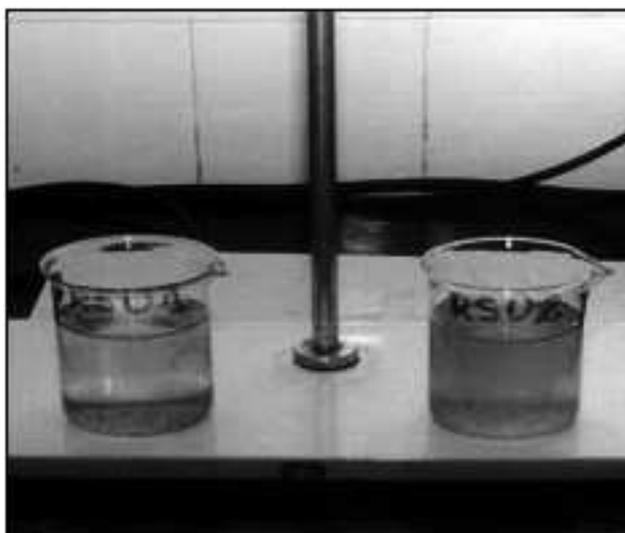


Figura 12: Color en lixiviados: RSU1 = R1; RSU2 = R2.

Parámetros	Ecuación	R ²
DQO sp	exp (9,00 - 0,020 * tiempo)	84
DQO cp	exp (8,94 - 0,015 * tiempo)	87
DBO sp	exp (8,74 - 0,037 * tiempo)	76
DBO cp	exp (8,21 - 0,037 * tiempo)	75
AOV cp	sin ajuste	
AOV sp	sin ajuste	
pH sp	sin ajuste	
pH cp	sin ajuste	
Cond. sp	860 + 381532/tiempo	96
Cond. cp	1500 + 295036/tiempo	90
ST sp	920 + 241971/tiempo	97
ST cp	1288 + 242095/tiempo	97
STV sp	72 + 74816/tiempo	97
STV cp	351 + 71559/tiempo	97
Color sp	1145 - 3,9*tiempo	79
Color cp	2708 - 8,0*tiempo	93
Alcalinidad sp	1543 - 3,6*tiempo	91
Alcalinidad cp	1499 - 3,6*tiempo	94
Volumen Lix R1	exp (2,2 + 0,01*tiempo)	66
Volumen Lix R2	exp (1,5 + 0,013*tiempo)	63

Tiempo [días].sp: sin pretratamiento; cp: con pretratamiento

Tabla 3: Ecuaciones de regresión entre distintos parámetros.

existían diferencias significativas entre ambos tratamientos y para STV al efectuar la comparación de sus constantes, se observó que presentaban diferencias significativas en

la ordenada al origen pero no entre las pendientes, por lo cual la velocidad con la que se modificaban los valores fue similar en ambos tratamientos.

Si bien con el Test de Muestras Apareadas los valores AOV y Alcalinidad presentaron diferencias significativas con el pretratamiento, la relación entre ambos no la presenta, lo que explica el mantenimiento del sistema tampón durante la experiencia, evidenciado por los niveles de pH que tampoco presentaron diferencias significativas.

Tanto los valores de AOV como los valores de pH no se ajustaron significativamente a modelos lineales ni polinómicos.

Aplicando a cada reactor un análisis estadístico de correlación entre todos los parámetros, se encontró que para R2 el Color correlaciona con DQO, Conductividad y ST, en relación directa y para R1 el Color correlaciona con DBO, Conductividad, ST y STV al 95 % del nivel de confianza. La correlación entre Color y DQO en forma directa, podría deberse a la presencia de ácidos húmicos, de difícil biodegradación, que pudieron haberse originado con el pretratamiento en las condiciones de la experiencia [10].

La cantidad de lixiviados corresponde a los volúmenes acumulados de lixiviados extraídos, durante el tiempo de operación anaeróbica. Los volúmenes extraídos del R2, fueron siempre menores que los de R1. Las tasas de generación de lixiviado fueron de $169,9 \text{ L m}^{-2}$ para el R1 y $161,9 \text{ L m}^{-2}$ para R2 equivalente a tasas anuales de 230 L m^{-2} y 220 L m^{-2} respectivamente.

Se observó una reducción (aproximadamente 5%) del volumen total de lixiviado extraído para el caso de los residuos sólidos con pretratamiento, comparado con el de los residuos sin pretratamiento.

Residuos sólidos

La Figura 12 muestra la evolución de temperatura en ambos reactores y la temperatura ambiente durante un período de tan solo 85 días, por problemas imprevisibles y de difícil resolución ocurridos en el equipo registrador.

Puede apreciarse en la Figura 13 que durante la etapa anaeróbica, la temperatura en ambos reactores varió dentro del rango de 42°C y 27°C , temperaturas que podrían haber favorecido el desarrollo de flora microbiana acetogénica y metanogénica [6, 14].

El desarrollo de la temperatura durante el pretratamiento en R2 siguió en general la curva típica de un compostaje aeróbico, en la que se distinguió un estadio termofílico seguido de un mesofílico, en que la temperatura fue disminuyendo hasta alcanzar la temperatura ambiente que oscilaba alrededor de los 30°C con tendencia decreciente, indicando el ingreso de la digestión a una fase de maduración del material [11], por cuanto se dio por finalizado el pretratamiento (C/N 13 y Materia Orgánica Fácilmente Oxidable 16 %). Se extrajeron muestras representativas de residuos de ambos reactores para la caracterización de los mismos. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Finalmente se compararon los volúmenes de las masas y contenidos de Materia Orgánica correspondientes a los residuos remanentes en ambos reactores. En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de reducción referidos a las condiciones iniciales.

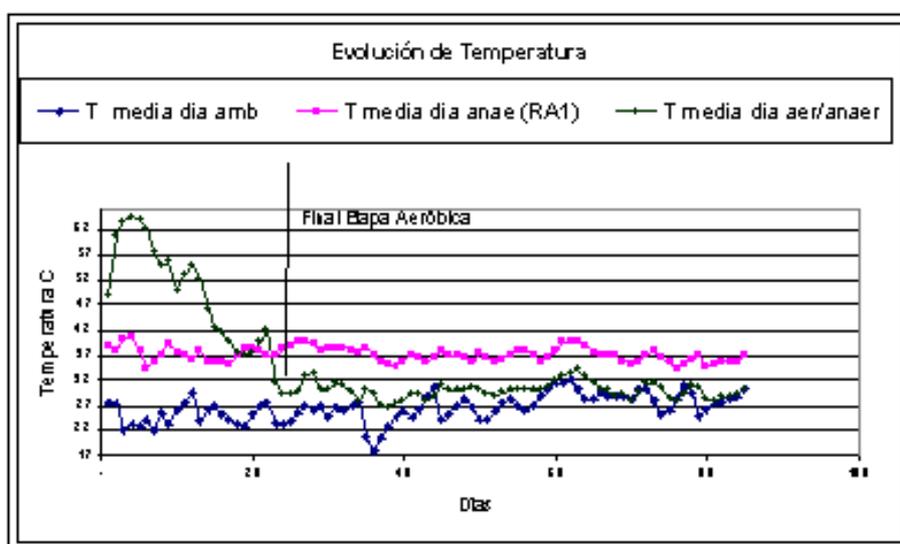


Figura 13: Evolución de temperatura ambiente y en reactores.

Parámetros	R1	R2
pH (upH)	7,50	7,70
Humedad (%)	75,00	67,00
NTK (%)	1,65	1,48
MOT (%)	44,30	36,30
C/N	14,90	13,60
MO Fác. Oxidable (%)	10,90	2,66
DQO mg g ⁻¹	162,00	39,20

Tabla 4: Caracterización de residuos remanentes.

	% Reducción R1	% Reducción R2
Volúmenes	37	44
MOT	33	45
MO Fác. Oxidable	69	93

Tabla 5: Porcentajes de reducciones.

Se observa mayor grado de reducción en los volúmenes de los residuos pretratados, valores que concuerdan con lo informado en otros trabajos [13]; esta reducción podría ser atribuida a un asentamiento de tipo secundario relacionado con la biodegradación de materiales fácilmente oxidables [9].

Como se aprecia en la Tabla 3 la Materia Orgánica Fácilmente Oxidable ha sido estabilizada prácticamente en su totalidad, lo que indica que el pretratamiento con aire ha favorecido la estabilización de estos materiales.

4. Conclusiones

Trabajando con RSU de la ciudad de Posadas bajo las condiciones de desarrollo de la experiencia, donde se introdujeron modificaciones al método mecánico-biológico adaptándolo a la modalidad de tratamiento y disposición final del municipio, se concluye que con el pretratamiento aeróbico:

- existe reducción de carga orgánica en el lixiviado medida en términos de DBO hasta los 64 días, luego estadísticamente las diferencias no son significativas y para DQO hay una reducción muy importante en los primeros 48 días y a partir de los 124 días ya no se presentan diferencias.
- se observa reducción de volumen de lixiviados generados, pero tan sólo de aproximadamente 5%.
- se favorece la estabilización de materiales orgánicos fácilmente oxidables y se contribuye a una reducción de volúmenes de residuos a ser dispuestos en un vertedero.

5. Agradecimientos

Se agradece a la Dra. María Cristina Area y al M.Sc. Miguel E. Schmalko por el apoyo brindado en la parte estadística.

Referencias

- [1] L. Borzacconi, I. López, E. Arcia, L. Cardelina, Alvaro Castagna, y M. Vi as. *Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviados de relleno sanitario*. Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo-Uruguay., 2005.
- [2] H.W. Dalzell, A.J. Biddlestone, K.R. Gray, y K. Thurairajan. *Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. Boletín de suelos de la FAO 56., Roma, 1991, 178 pp.
- [3] Cuadernos del CER N° 1. Situación presente y futura de los vertederos en la unión europea. [http://www.tecnociencia.es/especiales/residuos/6,htm](http://www.tecnociencia.es/especiales/residuos/6.htm) (acceso: marzo 2003), Noviembre 2002.
- [4] Madrid Ediciones Díaz de Santos S.A., editor. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17 Edición*. WPCF APHA,AWWA., 1992.
- [5] H.J. Ehrig. <http://www.cepis.ops-oms.org> (acceso Julio 2000).
- [6] Brage García. *Gestión Integral de Residuos Sólidos 1° Edición*. McGraw-Hill España S.A, Madrid, 1994.

- [7] E. Kiehl. *Fertilizantes Orgânicos*. pp. 414-457. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Pablo, Brasil, 1985.
- [8] Aisse Mansur y A. H. Bollman. *Estudo do potencial energético (biogás) dos resíduos sólidos urbanos*. Instituto de Saneamiento Ambiental-Pontificia Universidade Católica do Paraná, 66 pp., Agosto 1987.
- [9] I. Lopez Moreda. *El asentamiento en un relleno sanitario y su relación con la biodegradación*. Congreso Interamericano de Engenharia Sânitaria e Ambiental. AIDIS-ABES. Porto Alegre. Região Rio Grande do Sul., 3 al 8 diciembre 2000.
- [10] Grupo Noriega, editor. *Fundamentos de Ingeniería Ambiental*. Editorial Limusa, S.A. de C.V., México, 1° edición, 2001.
- [11] Dos G. Peixoto. Opção para o manejo orgânico do solo. *R.T. COMPOSTAGEM*, Fundação Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil, pp. 38, Setembro, 1988.
- [12] U.S.A. Rockville, Maryland, editor. *STATGRAPHICS PLUS Versión 7 for DOS*. STATGRAPHICS user Manual. Manugistics, Inc, 1993.
- [13] R. Stegman y K. Leikman. *AIDIS ARGENTINA.*, pp 29, 60–67, 1996.
- [14] E.P. Taiganides. *BIOGAS-Recuperación de energía de los excrementos animales*. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L., 37 pp., Montevideo, Uruguay, 1980.