

E

EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS - FRACCIÓN ORGÁNICA - PRODUCIDOS EN CONDICIONES ANAERÓBICAS

Pettri Flores, M. D. / Reta, M. R. / Acuña, M. G. / Barboza, O. M. / Russo, H. R.

EVOLUTION OF THE LEACHATE QUALITY OF DOMICILIARY SOLID WASTES ORGANIC FRACTION PRODUCED IN ANAEROBIC CONDITIONS

ABSTRACT

The characteristics of the leachate generated during the process of anaerobic digestion of the Urban Solid Waste organic fraction, inoculated with rural biodigester effluent were studied in a batch, pilot scale reactor of 69 litres, during 434 days.

Quality indicators such as BOD₅, COD, TS, TVS, TFS, pH, Volatile Organic Acids and Conductivity, were analysed employing standard methods. The results obtained are in good agreement with the literature data. Correlations between the most important parameters were found. It was determined that pH with Volatile Organic Acids can be used together with any one of the following parameters: BOD₅, COD, Total Solids or Total Fixed Solids, to characterise the leachates generated in the conditions of the present work.

The selection of the parameter will be subject to the availability of equipment and materials, the degree of reliability and reproductibility of the adopted method and the cost involved.

KEY WORDS: leachate; anaerobic digestion; municipal solid waste; putrescible waste.

RESUMEN

Se estudiaron las características del lixiviado generado durante el proceso de digestión anaeróbica de la fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos inoculada con efluente de un biodigestor rural, en un ensayo tipo batch a escala piloto, llevado a cabo en un reactor de 69 litros, durante 434 días.

Se analizaron los indicadores de calidad tales como DBO₅, DQO, ST, STV, STF, pH, Ácidos Orgánicos Volátiles y Conductividad, empleando métodos estandarizados. Los resultados obtenidos concuerdan de manera general con los encontrados en la literatura específica.

Se hallaron las correlaciones existentes entre los parámetros más significativos y se demostró que el pH juntamente con los Ácidos Orgánicos Volátiles y cualesquiera de los siguientes parámetros, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de

Oxígeno, Sólidos Totales o Sólidos Fijos Totales, pueden ser utilizados para caracterizar a los lixiviados generados en las condiciones del desarrollo del trabajo. El parámetro seleccionado, estará sujeto a la disponibilidad de los equipamientos y materiales necesarios, al grado de confiabilidad y de reproductibilidad del método adoptado, además de los costos involucrados.

PALABRAS CLAVES: lixiviado; digestión anaeróbica; residuos sólidos domiciliarios; residuos biodegradables.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU), si no son eliminados en forma apropiada, constituyen fuentes seguras de contaminación.

En la mayoría de los municipios de la Provincia de Misiones, la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) generados, aún se realiza a cielo abierto, con las consecuencias ambientales que ello involucra: contaminación de aguas superficiales y subterráneas por los lixiviados producidos que llegan a ellas, del aire como consecuencia de la quema de los mismos y del suelo por la acción de los percolados infiltrados.

Asimismo, dichos basurales constituyen ambientes propicios para la proliferación de vectores y roedores, involucrando el conjunto de efectos negativos, un grave peligro para la salud de la población.

Las técnicas más comunes de disposición final de los residuos sólidos urbanos son las siguientes: compostaje, incineración y relleno sanitario. De las tres mencionadas y de acuerdo con los estudios realizados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el relleno sanitario es el más utilizado en América Latina y el Caribe por las ventajas que presenta frente a los otros métodos (1).

Sobre la base de la información señalada, en un estudio realizado acerca de la situación de la disposición de los RSU de la ciudad de Posadas que fuera encomendado por la OPS, se sugirió la técnica del relleno sanitario como la disposición más adecuada para los mismos.

El objetivo del presente trabajo es determinar las características del lixiviado producido por la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios, en condiciones anaeróbicas; como etapa previa para el análisis y adopción del tratamiento más adecuado para su estabilización; analizar el patrón de variación de los principales contaminantes en función del

tiempo y contribuir a seleccionar los parámetros más representativos para la elaboración de un plan de monitoreo de dichos líquidos en las condiciones de desarrollo del trabajo.

Con el fin de cumplir dicho objetivo se instaló un reactor discontinuo a escala piloto de 69 litros, teniendo en cuenta que un relleno sanitario puede ser convenientemente descrito mediante un ensayo de fermentación anaeróbica de tipo batch, en el que las variables involucradas se van modificando con el tiempo hasta que sea alcanzado el estado estacionario (2).

MATERIALES Y MÉTODOS

La operación se inició el 18/4/95 y concluyó el 2/7/96, totalizando 434 días.

Para llevar a cabo la experiencia de fermentación biológica de residuos sólidos domiciliarios, se utilizó como sustrato una muestra extraída de la Base Operativa Zaimán (Estación Provisoria de Transferencia de Residuos) de la Municipalidad de la ciudad de Posadas. La muestra representativa del total de los residuos depositados en el lugar, fue obtenida siguiendo la técnica descrita por Tchobanoglous (3); para ello se seleccionaron en forma aleatoria tres camiones volcadores con Residuos Sólidos Urbanos de diferentes zonas de la ciudad, la cantidad separada de cada uno de ellos fue alrededor de 100 Kg., por lo cual la muestra inicial consistió en aproximadamente 300 Kg., se procedió a romper las bolsas y mezclar los contenidos sobre una lámina de polietileno (área de trabajo), luego mediante cuarteos sucesivos se logró una muestra de 99 Kg. la cual fue trasladada al Laboratorio del Programa Efluentes Industriales y Urbanos (PEIU) de la FCEQyN.

Se efectuó una clasificación de los componentes contenidos en los residuos y se determinó el porcentaje en peso de cada uno, los que figuran en Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Composición porcentual de la Basura	
Fracción	% (base seca)
Orgánica	82,93
Papeles	2,69
Plásticos	4,08
Pañales	5,75
Metales varios	1,12
Vidrios	1,27
Maderas	0,16
Piedras	0,49
Cueros y gomas	0,05
Huesos	1,32
Trapos	0,14

Se separó la fracción orgánica, con un peso de 33 Kg. resultante de la operación anterior, compuesta principalmente de restos de alimentos y follaje. Dicho material fue desmenuzado en trozos de 50 mm. aproximadamente -empleando una barra provista de un sistema de cuchillas en su parte inferior- y nuevamente a través de cuarteos adicionales se extrajo 300 gr. de muestra para los análisis fisicoquímicos y el resto fue inoculado con efluente generado por un biodigestor rural que opera con estiércol vacuno, situado en la loca-

lidad de Candelaria, Provincia de Misiones, con el propósito de asegurar un desarrollo satisfactorio del proceso de digestión [4, 5]. La mezcla de ambos materiales se efectuó en una proporción en peso de 3:1 (residuos sólidos: efluente biodigestor); relación generalmente utilizada en ensayos anaeróbicos de producción de biogas a partir de residuos sólidos (5). La caracterización fisicoquímica de los residuos orgánicos, del inóculo y de la mezcla de ambos que constituyó la carga inicial del digestor, se presenta en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Características fisicoquímicas de los residuos orgánicos, inóculo y mezcla de ambos			
Parámetros	Inóculo	Basura	Mezcla
pH (u pH)	6,27	4,57	5,14
Humedad relativa a 60°C (%)	92,27	22,21	22,21
Humedad a 100°C (%)	92,53	53,51	55,24
Sólidos Totales (%)	6,08	59,76	70,61
Sólidos T. Fijos (%)	1,87	13,79	16,89
Sólidos T. Volátiles (%)	4,21	45,97	53,72
Sólidos Suspendidos Volátiles (%)	0,021	—	—
Sólidos Suspendidos Fijos (%)	0,05	—	—
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /g)	903,24	963,49	1023,21
Carbono Orgánico Total (%)	38,24	42,68	42,15
Carbono Orgánico Fácilmente Degradable (%)	31,58	36,14	38,38
Carbono Orgánico Resistente a la Degradación (%)	6,66	6,54	3,77
Materia Org. Total (%)	68,91	76,88	75,98
Materia Org. Fácilmente Degradable (%)	64,09	65,05	69,08
Materia Org. Resistente a la Degradación (%)	4,82	11,82	6,87
N.T.K. (%)	1,87	2,04	2,18
N-Orgánico (%)	1,85	1,74	1,86
N-Amoniaco (%)	0,026	0,300	0,323
Fósforo Total (%)	1,52	2,15	2,96
C/N	20,45	20,92	19,33
C/P	25,15	19,85	14,24
Peso Específico (g/cm ³)	1,023	—	—

Se empleó una columna de PVC de 2,25 m de altura y 0,20 m de diámetro interior, cerrada en ambos extremos, provista de válvula para extracción de lixiviado en la parte inferior; válvulas para entrada de agua de lluvia, agregado de solución de álcali y salida de gases en el extremo superior. En un punto intermedio del cuerpo del reactor se instaló un termómetro encamisado para medición de temperatura de la masa contenida en el reactor.

Todo el equipo fue aislado con membrana de espuma de polietileno de 5 mm dispuesta en dos capas y membrana de fibra de vidrio de 40 mm de espesor, con el fin de proteger al sistema de posibles variaciones bruscas de la temperatura ambiente.

El agua de lluvia, almacenada en un tanque calefaccionado eléctricamente y con termostato, fue incorporada al reactor por gravedad en cantidades equivalentes a las precipitaciones pluviales, que fueron registradas durante el período de estudio por el Servicio Meteorológico Nacional - Aeropuerto Posadas.

Se instaló un sistema para captación y medición de los gases que pudieran generarse durante el proceso, consistente en la medición del volumen de líquido por desplazamiento de los gases, conjuntamente con un manómetro de rama abierta para las medidas de presión.

El material sólido fue cargado al reactor en forma manual por el extremo superior, lográndose el grado de compactación por simple acción de la gravedad. El valor del peso específico alcanzado, resultó ser consistente con valores similares informados por otros investigadores (6).

Las condiciones iniciales de operación del reactor, son las que se presentan en la Tabla N° 3.

Una vez concluida la operación de carga, se procedió al cierre de la columna y a los 2 (dos) días de la puesta en marcha, se abrió parcialmente la válvula de extracción de lixiviado para eliminar los primeros líquidos producidos (fase aeróbica de

la digestión). Se mantuvo en esa condición hasta que el valor del pH presentó una pequeña tendencia a aumentar y la concentración de ácidos volátiles a disminuir.

ORIGEN DE LOS DATOS Y CONTROL DEL PROCESO

Durante el período de estudio se realizaron controles de diversos parámetros del sistema. Las variables controladas diariamente fueron la temperatura interna del reactor y la temperatura ambiente, mientras que semanalmente se midieron conductividad y pH sobre muestras de lixiviado y con una frecuencia mensual se procedió a la caracterización fisicoquímica del mismo. Los parámetros analizados fueron: DBO₅, DQO, Sólidos Totales, Sólidos Totales Fijos y Volátiles, Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno Orgánico y Amoniaco, Ácidos Orgánicos Volátiles, Alcalinidad, Conductividad y pH.

Al mismo tiempo fueron registradas las precipitaciones pluviales ocurridas, según informaciones del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Aeropuerto de la ciudad de Posadas.

Periódicamente, se efectuó el aforo de lixiviados, empleándose el método volumétrico para su cuantificación, mediante apertura de la válvula de salida de los mismos.

Las técnicas empleadas para las distintas determinaciones son las que se describen a continuación.

Las temperaturas del ambiente y del reactor fueron medidas con sendos termómetros de mercurio.

Tanto el pH como la conductividad de las muestras de lixiviados fueron determinadas en forma inmediata a la extracción de las mismas, mediante un peachímetro y un conductímetro respectivamente, este último provisto de celda de conductividad del tipo electrodo de níquel plati-

Tabla N° 3: Datos de operación del reactor

Masa total de residuos más inóculo (gr)	42.700
Humedad a 105°C (%)	55,24
Altura ocupada por los residuos (cm)	184
Volumen de la columna (cm ³)	69.000
Peso específico de los desechos inoculados (gr/l)	712

no, efectuándose las correcciones cuando la temperatura difería de 25°C, según se describe en el Manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (7).

Los demás parámetros DBO₅, DQO, Sólidos Totales, Sólidos Totales Fijos y Volátiles; Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno Orgánico y Amomiacal; Ácidos Orgánicos Volátiles; Alcalinidad y Fósforo Total, fueron analizados aplicando las técnicas descritas en el Manual indicado en el párrafo anterior (7).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un Test de Correlación, entre los parámetros determinados, utilizando el programa Estadístico STATGRAPHICS Plus, 1993 [8].

Las variables correlacionadas fueron: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales, Sólidos Totales Fijos, Ácidos Orgánicos Volátiles y pH.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El caso en estudio es un proceso de descomposición anaeróbica con sólidos en alta concentración, por lo que la influencia ejercida por los parámetros ambientales sobre el mantenimiento del equilibrio adecuado de la población microbiana involucrada en la generación de biogas, es mucho mayor que durante el proceso con sólidos en baja concentración [3].

Esto justifica los resultados obtenidos en el presente trabajo, en el que el proceso de descom-

posición de los residuos sólidos ha sido lento, no superándose las primeras fases del desarrollo de la degradación biológica, evidenciada por los bajos valores de pH del lixiviado y la presencia de trazas de metano en la composición de los gases producidos, detectadas por el método de Cromatografía Gaseosa-Espectrometría de Masas Modo SIM y, cualitativamente, por sus características organolépticas.

Con relación a las características del lixiviado generado y de acuerdo con los valores obtenidos de los parámetros seleccionados, se observa que concuerdan de manera general con los que figuran en la literatura especializada [2, 4, 9].

El pH, uno de los factores esenciales de la fermentación anaeróbica, registró los valores que se grafican en la Figura N° 1; fluctuó entre 4,30 y 6,00, mientras que en la etapa final el valor de 5,26 muestra una leve tendencia a disminuir. No se ha observado, por consiguiente, el valor indicativo del inicio de la fase metanogénica, superior a 6,5 [3, 4, 10].

En la Figura N° 2 se indican los valores de DBO₅, DQO y la relación DBO₅/DQO, en función del tiempo. Como puede apreciarse, la DBO₅ y la DQO alcanzan altos valores de: 90.000 mg/lit y 98.060 mg/lit respectivamente, correspondiendo a una elevada carga orgánica del lixiviado, para luego presentar una tendencia a decrecer con el transcurso del tiempo.

La razón DBO₅/DQO, indicativa del carácter orgánico de un lixiviado, al inicio de la experiencia fue de 0,9, (correspondiendo a una alta biodegradabilidad de la materia orgánica) decre-

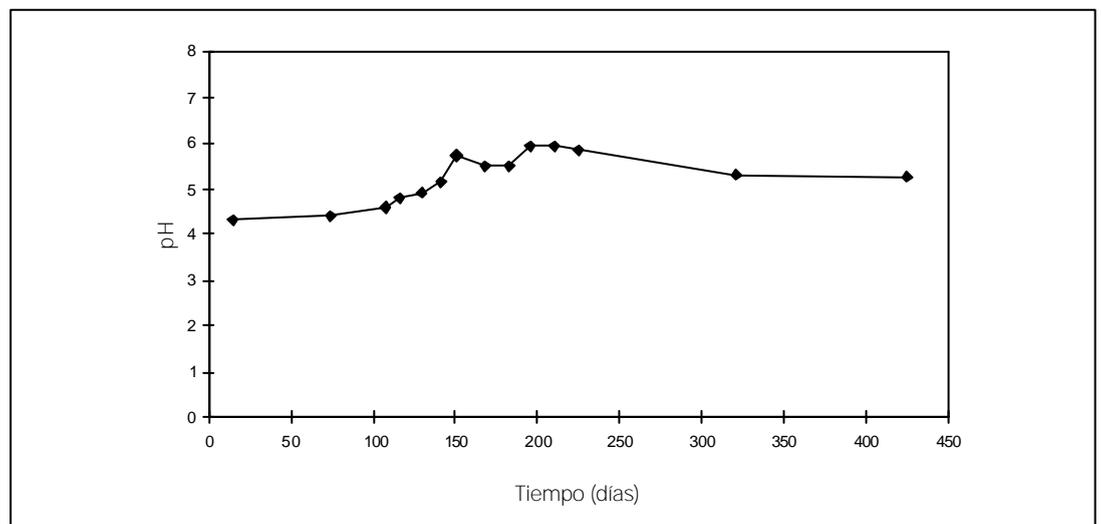


FIGURA N° 1: Evolución del pH en función del tiempo.

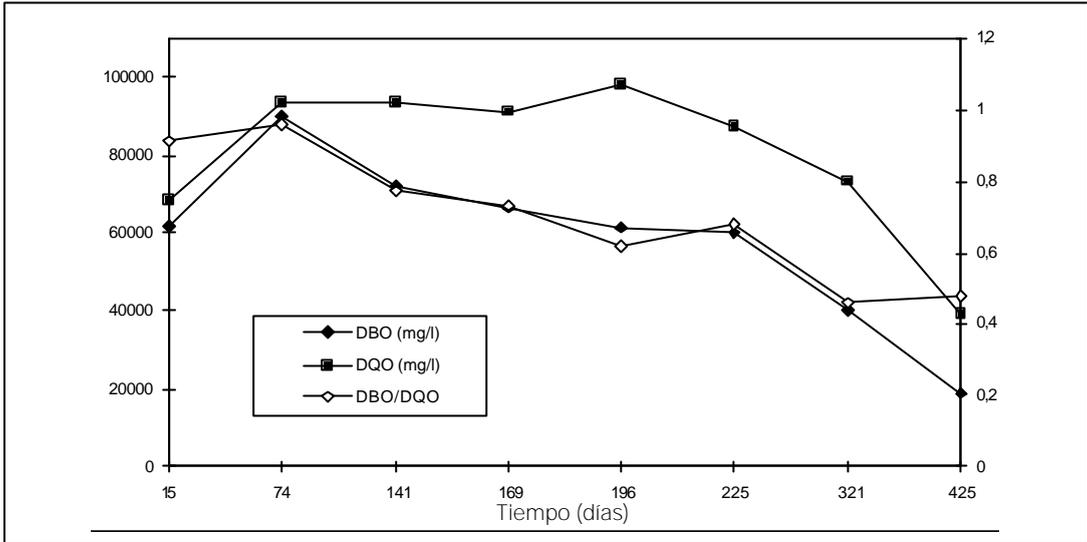


FIGURA Nº 2 Evolución de DBO5, DQO y razón DBO5/DQO en función del tiempo.

ciendo posteriormente con el tiempo hasta un valor de 0,48 al finalizar los ensayos (característica de un lixiviado de biodegradabilidad media) [9].

Los valores mencionados concuerdan con los resultados encontrados para lixiviados y percolados de rellenos sanitarios y de ensayos de producción de biogas a escala laboratorio [2, 9].

En la Figura Nº 3, se representan los datos de Sólidos Totales, Sólidos Totales Fijos y Volátiles obtenidos en la experiencia.

Los mayores valores, se registraron a los 108 días de iniciada la experiencia, (72.160 mg/l para ST; 22.220 mg/l y 49.940 mg/l para STF y STV respectivamente); disminuyendo con el transcurso del tiempo hasta alcanzar los valores mínimos,

de 15.944 mg/l (ST); 5.948 mg/l (STF) y 9.996 mg/l (STV) al final del ensayo.

Los valores de alcalinidad presentaron su máximo valor de 10.153 mg/l a los 196 días, coincidente con el máximo valor del pH observado en la Figura Nº 1, para luego disminuir con el tiempo hasta la finalización de los estudios; como puede apreciarse en la Figura Nº 4.

En concordancia con esta tendencia decreciente de los valores de alcalinidad, se ha verificado igual comportamiento para los valores de pH, lo que podría indicar que el tenor de alcalinidad fue insuficiente para evitar que aquéllos decayeran, impidiendo alcanzar los niveles mínimos necesarios para iniciar la etapa metanogénica.

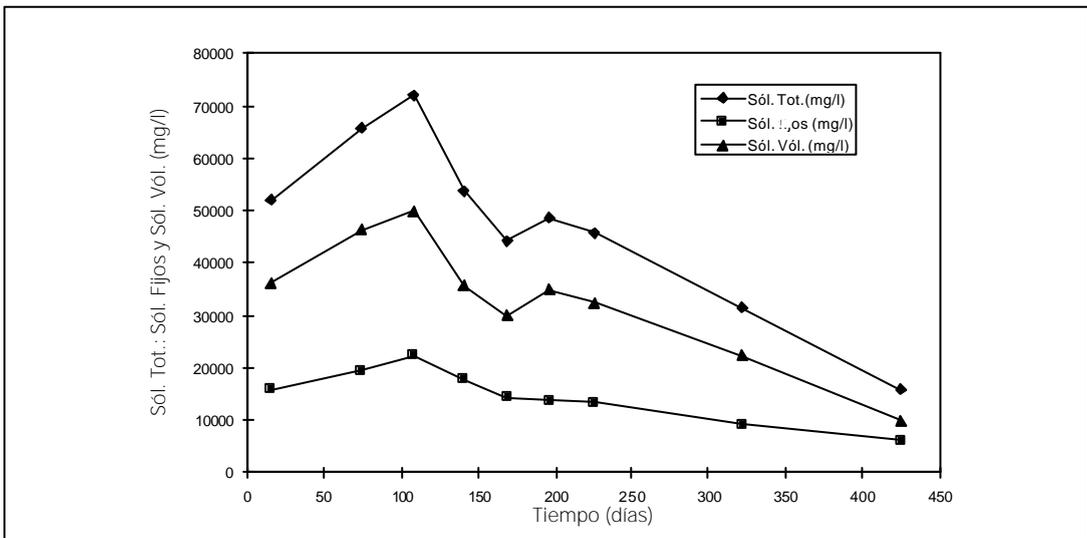


FIGURA Nº 3 Evolución de Sólidos Totales; Sólidos Totales Fijos y Sólidos Totales Volátiles en función del tiempo.

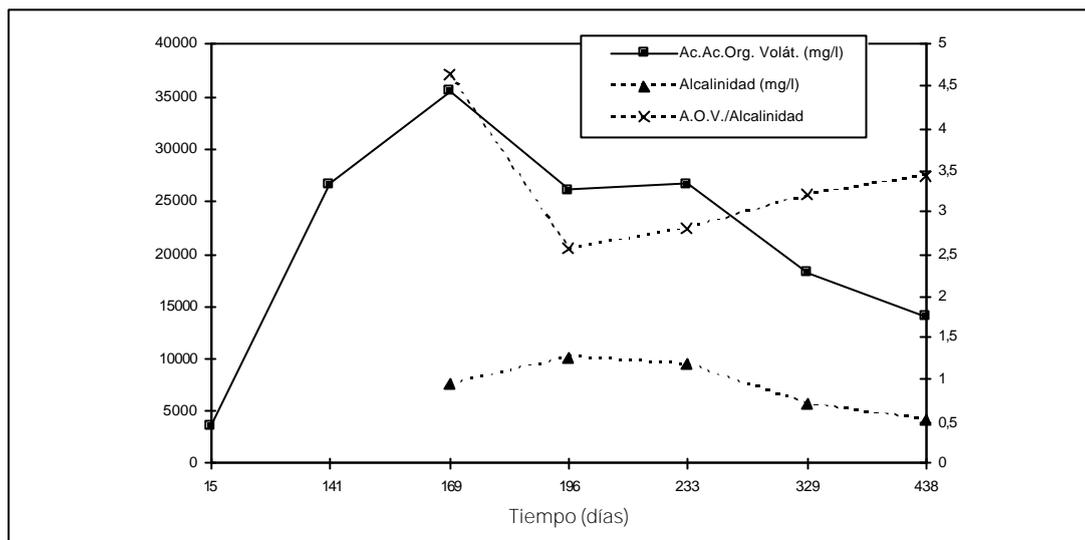


FIGURA N° 4: Evolución de la alcalinidad, del contenido de Ácidos Orgánicos Volátiles y la razón Ácidos Orgánicos Volátiles/Alcalinidad en función del tiempo.

Los valores de Ácidos Orgánicos Volátiles y de la razón Ácidos Orgánicos Volátiles/Alcalinidad en función del tiempo, también se grafican en la Figura N° 4.

Como puede observarse, el mayor valor alcanzado fue de 35.652 mg/l a los 169 días de iniciados los ensayos, mostrando posteriormente una tendencia a disminuir.

Para la relación de ácidos orgánicos volátiles/alcalinidad se obtuvieron valores que varían en el rango de 4,65 a los 169 días de la digestión y 2,57 a los 196 días, siendo éste el mínimo obtenido; incrementándose a 3,43 al finalizar los ensayos.

Ehrig, H.J. [2] menciona que la fase meta-norgénica se inicia con una relación ácido acético/

alcalinidad $\geq 0,8$ de acuerdo con mediciones efectuadas en rellenos sanitarios en operación, correspondiéndose con aumento de los valores de pH a partir del mencionado valor.

En la Figura N° 5, se presenta la evolución de NTK; N-NH₄ y N-Orgánico en función del tiempo, donde se observan valores máximos de 2.198 mg/l para NTK y 1.414 mg/l para N-Orgánico a los 141 días de la puesta en marcha del digestor con posterior disminución de los mismos.

En cambio para N-NH₄ se observa un máximo de 889 mg/l a los 329 días de operación, período en que coincidentemente se verifica leve disminución del pH.

En la Figura N° 6, se representan los valores de

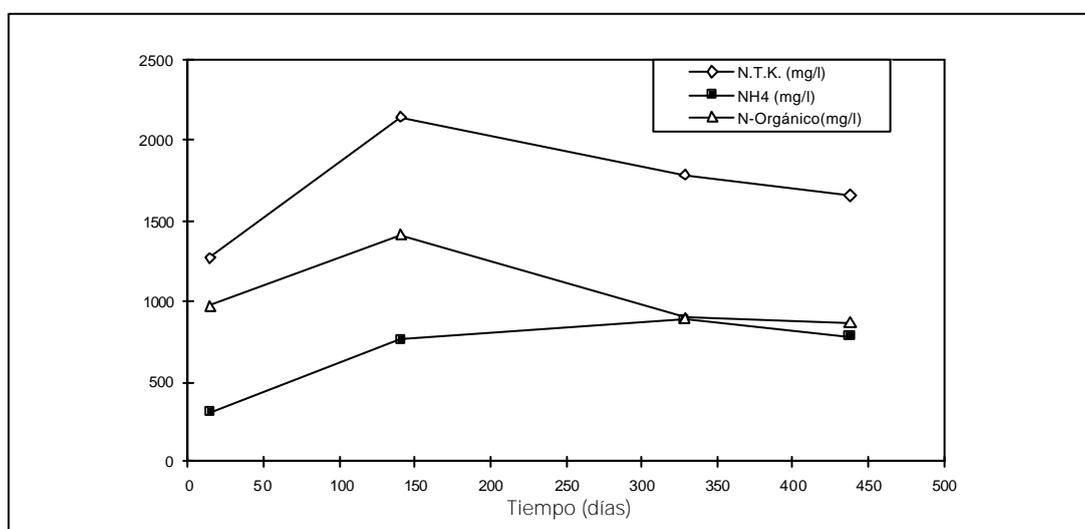


FIGURA N° 5: Evolución del contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitrógeno amoniacal y Nitrógeno orgánico en función del tiempo.

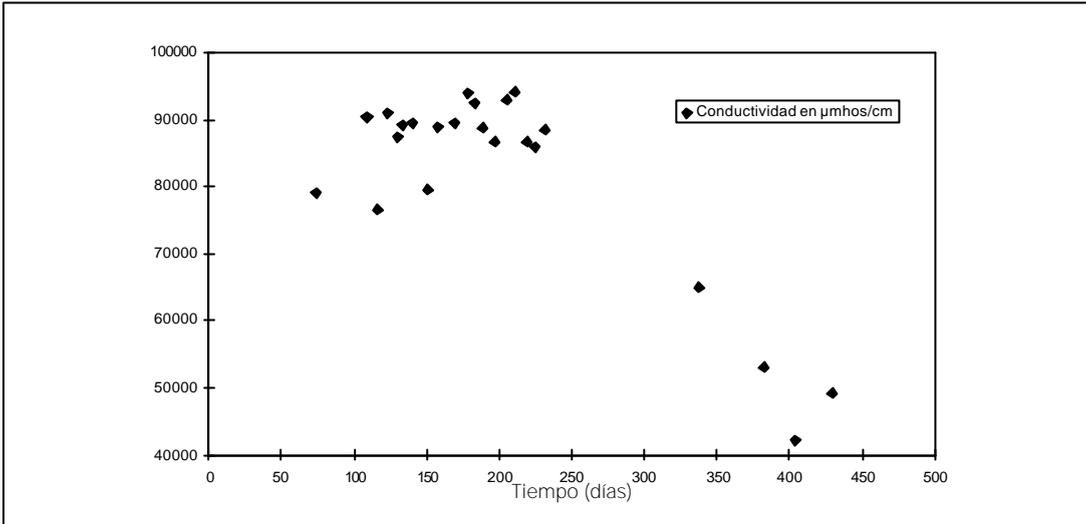


FIGURA N° 6: Evolución de la conductividad en función del tiempo.

conductividad -corregida a 25°C- y su evolución en el tiempo y en la Figura N° 7, los valores registrados de las temperaturas del digestor y del ambiente.

Puede observarse que la temperatura del reactor sólo alcanzó valores $\geq 30^{\circ}\text{C}$, el 5,3% de los valores totales medidos, notándose que en ningún caso se registró una temperatura de 35°C correspondiente al valor óptimo para la obtención de biogas en un proceso de digestión anaeróbica (2, 10).

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE ALGUNOS PARÁMETROS

A partir de los datos obtenidos para los parámetros determinados sobre muestras de lixivias

dos, en el período considerado, se realizó un análisis de posibles correlaciones entre los mismos.

Los parámetros correlacionados fueron: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (ST), Sólidos Fijos Totales (SFT), Ácidos Orgánicos Volátiles (AOV) y pH. Los valores de dichos parámetros figuran en la Tabla N° 4.

En la Tabla N° 5 se transcribe la matriz de coeficientes de correlación calculada para un nivel de significación del 95% de confianza.

De la matriz se deduce que existe correlación significativa ($P < 0.05$) entre DBO_5 , DQO, Sólidos Totales y Sólidos Totales Fijos, no exhibiendo correlación con el contenido de Ácidos Orgánicos Volátiles ni con los valores de pH.

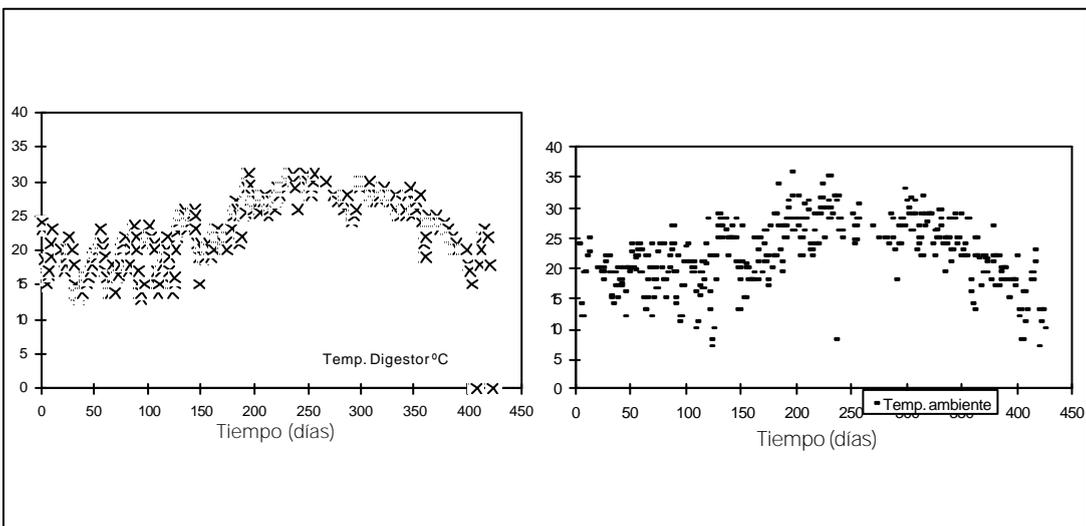


FIGURA N° 7: Evolución de las temperaturas del digestor y del ambiente en función del tiempo.

Tabla N° 4					
DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	Sólidos Fijos Totales (mg/l)	Acidos Orgánicos Volátiles (mg/l)	PH (u pH)
62000	68417	52026	15718	3666	4.31
72316	93600	53780	17870	26742	5.13
66492	91200	44157	14341	35652	5.50
61240	98060	48452	13682	26105	5.92
59880	87544	45809	13332	26645	5.86
39962	73206	31408	9067	18190	5.29
18670	39053	15944	5948	14000	5.26

Tabla N° 5: Matriz de correlación entre parámetros de lixiviado de la fracción orgánica de residuos sólidos (*)						
	DBO ₅	DQO	ST	SFT	PH	AOV
DBO ₅	1.0000 (0.0000)	0.8761 (0.0097)	0.9693 (0.0003)	0.9689 (0.0003)	0.0122 (0.9792)	0.4301 (0.3355)
DQO		1.0000 (0.0000)	0.8109 (0.0269)	0.7572 (0.0487)	0.4318 (0.3333)	0.6861 (0.0888)
ST			1.0000 (0.0000)	0.9709 (0.0003)	-0.0953 (0.8389)	0.2279 (0.6231)
SFT				1.0000 (0.0000)	-0.1751 (0.7073)	0.2621 (0.5702)
pH					1.0000 (0.0000)	0.7556 (0.0495)
AOV						1.0000 (0.0000)

(*) Los números entre paréntesis corresponden a los niveles de significación; mientras que los otros a los coeficientes de correlación.

Por otro lado el tenor de Ácidos Orgánicos Volátiles y los valores de pH presentan correlación significativa ($P < 0.05$) únicamente entre ambos.

CONCLUSIONES

El estudio realizado permite arribar a las siguientes conclusiones:

Del análisis de correlación efectuado entre los parámetros utilizados para determinar la calidad del lixiviado, puede inferirse que deben ser medidos el pH y el contenido de Ácidos Orgánicos Volátiles juntamente con uno de los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, ST o STF, quedando la selección de cualquiera de ellos, sujeta a la disponibilidad de equipos y materiales, a la estandarización de la técnica empleada, como también de los

costos que involucren el desarrollo de la misma.

Posible inhibición de metanogénesis por elevada concentración de Ácidos Orgánicos Volátiles.

El rango de temperaturas del digester estuvo por debajo de las temperaturas mesofílicas, favorables para alcanzar la etapa metanogénica caracterizada por alto porcentaje de metano en la composición del biogas. •

PETTRI FLORES, M. D.; RETA, M. R.; ACUÑA, M. G.; BARBOZA, O. M.; RUSSO, H. R. / Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por los Ingenieros Químicos: C. Kruzolek en la construcción e instalación del digestor, M. Schmalko en el análisis estadístico de los resultados, y al personal del laboratorio del PEIU en las determinaciones analíticas efectuadas. Se hace mención al aporte de la Fundación Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales de la UNaM.

REFERENCIAS

1. ZEPEDA, F. El Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe. OPS/OMS - División de Salud y Ambiente. Serie Ambiental N° 15. Washington D.C. 1995.
2. EHRIG J. Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate; Waste Management & Research. I, p. 53-68. 1983.
3. TCHOBANOUGLOUS, G.; THEISEN, H. y VIGIL, S. Gestión Integral de Residuos Sólidos; McGraw-Hill-Interamericana de España S.A. II; p. 755 - 806. 1994.
4. MANSUR AISSE, M. y BOLLMAN, H.A. Estudio do Potencial Energético (Biogás) dos Resíduos Sólidos Urbanos. Relatório Final. Instituto de Saneamiento Ambiental. PUCA. Curitiba. PR. Brasil. Agosto 1987.
5. SCHMIDELL, W.; CRAVEIRO, A. M.; SCHVARTZ PERES, C.; et al. Digestão Anaeróbica de Resíduos Sólidos Urbanos. Escola Politécnica da U.S.P. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. São Paulo, SP. Brasil. 1986.
6. CHLEBNICEK T.; SANCHA, A. M.; CASTILLO, G. et al. Líquidos Percolados de Rellenos Sanitarios Simulados. Informe Preliminar. XV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria. Buenos Aires, Argentina. 1976.
7. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ed. Díaz de Santos S.A., Madrid, España. 1992.
8. STATGRAPHICS PLUS (VERSIÓN 7 FOR DOS). STATGRAPHICS User Manual. Manugistics, Inc. Rockville, Maryland. U.S.A. 1993.
9. ARELLANO J.; ALEGRÍA O. X. y RIHM S. A. Estudio de Generación y Manejo de Líquido Percolado Aplicado a una celda tipo del relleno sanitario Lo Errazuriz en Santiago de Chile. XXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Buenos Aires, Argentina. 1994.
10. TAIGANIDES, E. P. BIOGAS, recuperación de energía de los excrementos animales. Ed. Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L. Montevideo, Uruguay. 1980.