

Reducción de los residuos sólidos orgánicos por procesos de biodigestión. Experiencia en escala laboratorio

Machalec, Jorge¹; Vicentini, Tomás¹; Moretton, Javier¹; Domingo Rimoldi, Ignacio José¹

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda,
Departamento de Ingeniería Química
Av Ramón Franco 5050, (1874) Villa Domínico, Provincia de Buenos Aires
jmachalec@fra.utn.edu.ar*

RESUMEN

Los residuos sólidos urbanos siguen siendo una preocupación debido al volumen de producción y principalmente a su disposición final. La reutilización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) en procesos de biodigestión surge como alternativa a la metodología de disposición tradicional en rellenos sanitarios, con la ventaja de recuperar el biogás y el abono producido. Es importante para ello, conocer la composición de los FORSU, como así también las variables que resultan determinantes en la optimización del proceso de biodigestión. La presente investigación indaga sobre la composición de la alimentación y el estudio de dos variables de proceso: humedad y relación carbono/nitrógeno en la producción de biogás para experiencias de escala laboratorio, con el objetivo de realizar aportes que permitan enriquecer la información disponible sobre el tema. Para la determinación de la composición de la fracción orgánica se han tomado muestras de residuos domiciliarios del Partido de Avellaneda y se procedió a la separación de la fracción reciclable, en tanto que la fracción orgánica fue disgregada en las siguientes categorías: vegetales, lácteos, farináceos y grasas, determinando la fracción másica en la muestra. La biodigestión de la muestra se realizó estableciendo relaciones Carbono/Nitrógeno (C/N) 16 y (C/N 30); estas dos relaciones se investigaron para condiciones operativas de base seca (BS) y base húmeda (BH) conteniendo 30 y 10% de sólidos respectivamente. La evolución del proceso de biodigestión se realizó por diferencia de pesada, estableciendo un cronograma de control de peso de frecuencia bisemanal. Los avances realizados en la investigación muestran dos condiciones de proceso seleccionables para la realización de un cambio de escala.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, composición, biodigestión

ABSTRACT

Municipal solid waste remains a preoccupation production volume and due mainly to its final disposal. Reuse of the organic fraction of municipal solid waste (MSW) biodigestion processes emerges as an alternative to the traditional methodology disposal in landfills, with the advantage of recovering biogas and compost produced. It is important therefore to know the composition of MSW, as well as variables that are critical in optimizing the bio-digestion process. This research investigates the composition of the feed and the study of two process variables humidity and carbon / nitrogen ratio in the production of biogas to experiences laboratory scale, in order to make contributions to enrich the information available on the theme. To determine the composition of the organic fraction have taken samples of household waste of Avellaneda and proceeded to the separation of recyclable fraction, while the organic fraction was broken up into the following categories: vegetables, milk, farinaceous fats and determining the mass fraction in the sample. Biodigestion of the sample was carried out by establishing relationships carbon / nitrogen (C / N) and 16 (C / N 30); these two relationships operating conditions were investigated for dry base (DB) and a wet basis (WB) containing 30 and 10% solids respectively. The evolution of the process was performed by weight difference, establishing a timetable for weight control biweekly frequency. Advances in research show two selectable process conditions for carrying out a change of scale

1- INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las sociedades modernas trae aparejado conflictos de diversa índole, desde el punto de vista ambiental cuenta como tema central el incremento del volumen de residuos domiciliarios [1] que constituyen un problema en todas las fases de gestión.

El tratamiento convencional de disposición final en rellenos sanitarios se presenta como un factor de presión sobre el medio ambiente y de allí emerge el estudio de tecnologías alternativas que en forma individual o integrada conforman las posibles soluciones a adoptar en torno al problema presentado. En el conjunto de posibles soluciones tecnológicas se encuentran los procesos de biodigestión para las fracción orgánica. Los procesos de biodigestión para la reducción de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), ofrecen diferentes variantes como ser la generación y recuperación de energía como el caso de biogás [2], así como también la producción de fertilizantes [3], además de ofrecer la posibilidad de realizar la reducción de los RSU en tiempos muchísimo más cortos que a través de su disposición en rellenos sanitarios.

Sin embargo esta alternativa tecnológica necesita ser desarrollada en forma adecuada al medio de aplicación considerando las características particulares de la materia prima, su composición y sus propiedades, elementos determinantes del funcionamiento y rendimiento del proceso [4]. Existen numerosas aplicaciones de biodigestores para la reducción de los FORSU, a pesar de ello estos no contemplan la amplia heterogeneidad en la composición de la alimentación, existiendo limitada información en este sentido.

2- OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son: generar información sobre la composición de la alimentación típica de un biodigestor y realizar el análisis de dos variables del proceso de biodigestión de los FORSU como son, humedad y relación C/N, determinando las condiciones óptimas para una escala de laboratorio.

3- MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación enfocado en la determinación de la composición de la fracción no reciclable implicó el análisis, en dos oportunidades, de distintas muestras de residuos sólidos urbanos, de ellos se separaron los reciclables y luego se procedió a desagregar la matriz orgánica estableciendo las siguientes categorías de productos: vegetales, farináceos, grasos, lácteos y cárnicos, y luego se determinaron las fracciones másicas porcentuales de cada una de las clases indicadas, Figura 1.

Establecida la composición de la fracción orgánica se procedió a determinar, por medio de técnicas analíticas homologadas, en el laboratorio de ensayos especiales del Departamento de Ingeniería Química de la UTN-FRA, los parámetros analíticos de la mezcla que se detallan en la Tabla 1:

Tabla 1. Parámetros y técnicas analíticas empleadas

Parámetro	Técnica analítica
Humedad	Standar methods 2540 B
Nitrógeno	Hacha 8075
Fósforo	Standar methods 4500C modificado
DBO	Manométrico Standar methods Merck
DQO	Standar methods 5220 D

Con los resultados obtenidos se determinó el contenido de carbono orgánico, hierro y calcio [5] por medio de correlaciones que se describen en la Tabla 2:

Tabla 2. Correlaciones utilizadas

Elemento	Correlación utilizada
Carbono	$\log(COT) = 1,176 \log MS - 0,708$
Calcio	$Ca = \log MS * 3,807 - 4,286$
Hierro	$Fe = \log MS * 289,6 - 318,4$

Donde:

(COT) Carbono orgánico total (g/Kg)

Ca: calcio (mg/kg)

MS: Materia seca (% P/P)

Fe: hierro (mg/kg)

Se acondicionaron recipientes de vidrio con trampas de gases, dotadas de sello hidráulico, para ser usados como biodigestores anaeróbicos. Los recipientes disponen de un volumen de reacción de 600 ml y un volumen libre de 100 ml, el cuerpo de los recipientes fue cubierto con recubrimiento sintético a fin de evitar el ingreso de luz, Figura 2.

Se establecieron dos condiciones operativas fijando la relación porcentual en peso de la relación carbono/nitrógeno (C/N), en 16 y 30 [6], en tanto se establecieron dos condiciones para la concentración de sólidos: base húmeda (BH) y base seca (BS) con 10% y 30% de sólidos respectivamente. Con estas cuatro condiciones operativas se procedió a la realización de las pruebas de laboratorio, fijando una temperatura en 37°C, fase mesófila, para la realización de las diversas experiencias, esta condición de temperatura se alcanzó en un baño termostatzado marca Vicking modelo Masson.

La producción de biogas se analizó registrando la pérdida de peso de cada uno de los frascos, utilizando para ello una balanza granataria OHAUS modelo PA 3102. En este sentido se estableció un plan de control de peso de frascos con intervalo de 3 días entre las mediciones.



Figura 1. Fracción orgánica



Figura 2. Equipo utilizado

4- RESULTADOS

4.1 Residuos

De las muestras de residuos se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 3 . Se destaca la amplia proporción de restos vegetales, superior al 86%.

Tabla 3. Composición de los residuos no reciclables

Composición de los RSU	Porcentaje
Vegetales	86,35%
Farináceos	12,45%
Grasos	0,93%
Lácteos	0,26%

Las determinaciones analíticas realizadas sobre las muestras de los residuos se muestran en la Tabla 4. Los resultados obtenidos reflejan una importante diferencia en los valores de parámetros analizados.

Tabla 4. Resultados de los análisis de laboratorio

Determinaciones analíticas							
Parámetro	1° Análisis	2° Análisis	3° Análisis	4° Análisis	5° Análisis	6° Análisis	UNIDAD
Humedad	77,8	71,7	75,2	74,4	52,5	60	%
Nitrógeno	1,89	2,95	2,44	3,78	0,107	2,42	g/Kg
Fósforo	1,17	1,15	0,99	0,19	1,163	0,298	g/Kg
DBO	5000	2750	3000	2000	3750	2125	mg/L
DQO	11000	11960	4237	4990	6700	4250	mg/L

Los valores estimados de los componentes del sistema, de acuerdo a las correlaciones empleadas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores obtenidos de las correlaciones aplicadas

	En base al 1° Análisis	En base al 2° Análisis	En base al 3° Análisis	En base al 4° Análisis	En base al 5° Análisis	En base al 6° Análisis	UNIDAD
Materia Seca	22,2	28,3	24,80	25,60	47,50	40,0	%
COT	7,5	10	8,55	8,87	18,36	15,0	g/kg
Contenido Ca	0,8	1,2	1,02	1,08	2,10	1,8	mg/kg
Contenido Fe	71,5	102	85,43	89,43	167,17	145,6	mg/kg

Los enriquecimientos de la alimentación, para un volumen de reacción de 600 ml, a fin de mantener las condiciones operativas definidas para las relaciones C/N, demandaron el agregado de sacarosa, como fuente de carbono, en las experiencias que se enumeran a continuación en cantidades que se expresan en la Tabla 6.

Tabla 6. Enriquecimientos con carbono

Enriquecimiento con sacarosa:		1° Experiencia (g)	2° Experiencia (g)	3° Experiencia (g)	4° Experiencia (g)	6° Experiencia (g)
Relación C/N = 16	Base seca:	11,3	15,9	15,2	25,8	11,8
	Base húmeda:	3,8	5,3	5,1	8,6	3,9
Relación C/N = 30	Base seca:	24,6	33,6	32,3	52,2	28,8
	Base húmeda:	8,2	11,2	10,8	17,4	9,6

La experiencia N° 5 presentó un bajo contenido de nitrógeno, por lo tanto fue necesario realizar el agregado de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, a fin de sostener las condiciones definidas para las relaciones C/N Tabla 7.

Tabla 7. Enriquecimiento con nitrógeno

Enriquecimiento con sulfato de amonio		
Relación C/N = 16	Base seca:	0,12 g
	Base húmeda:	0,052 g
Relación C/N = 30	Base seca:	0,372 g
	Base húmeda:	0,156 g

Se muestran los resultados, Figura 3 y Figura 4, correspondientes al descenso de peso para un tiempo de retención hidráulica de 134 días.

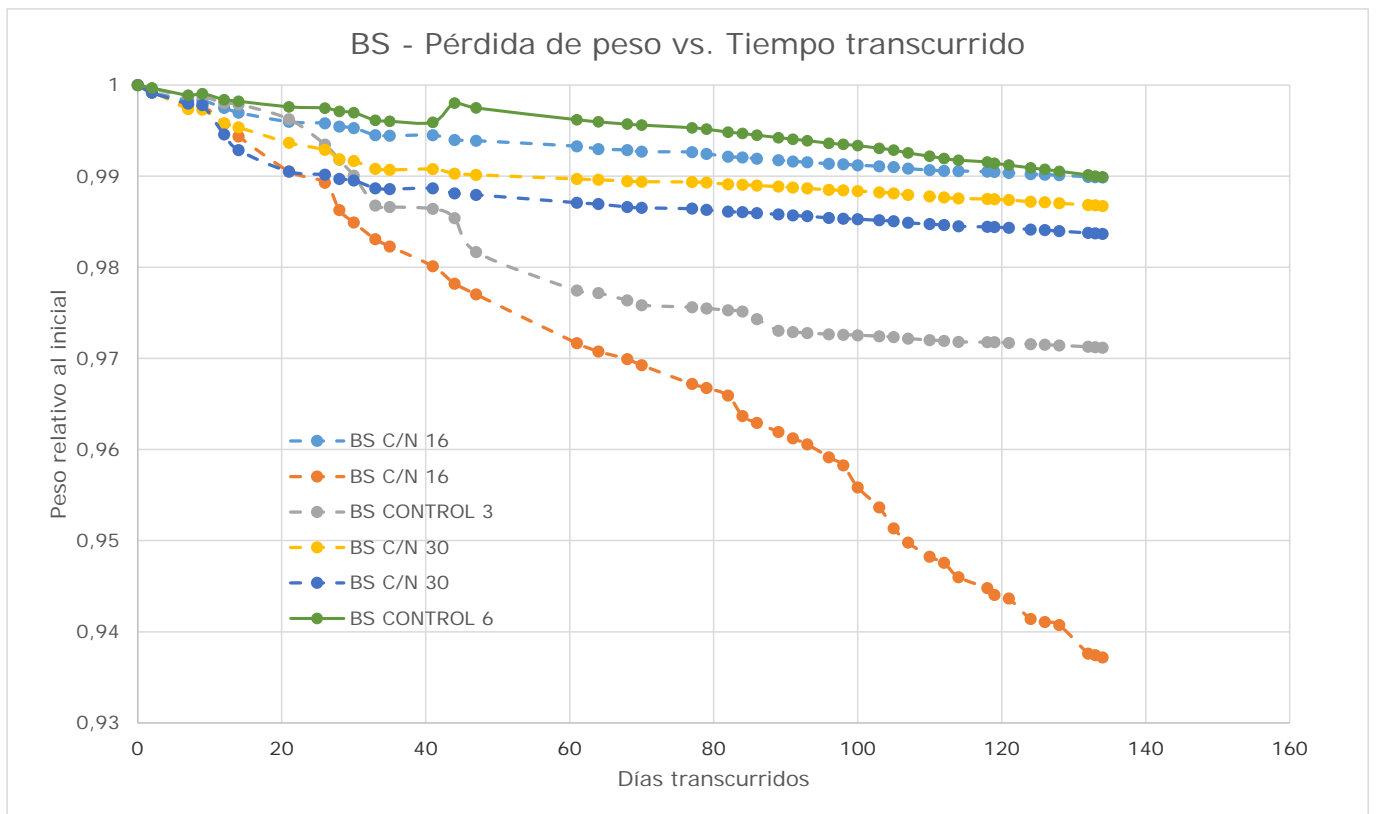


Figura 3. Evolución en la pérdida de peso de los biodigestores para la condición base seca

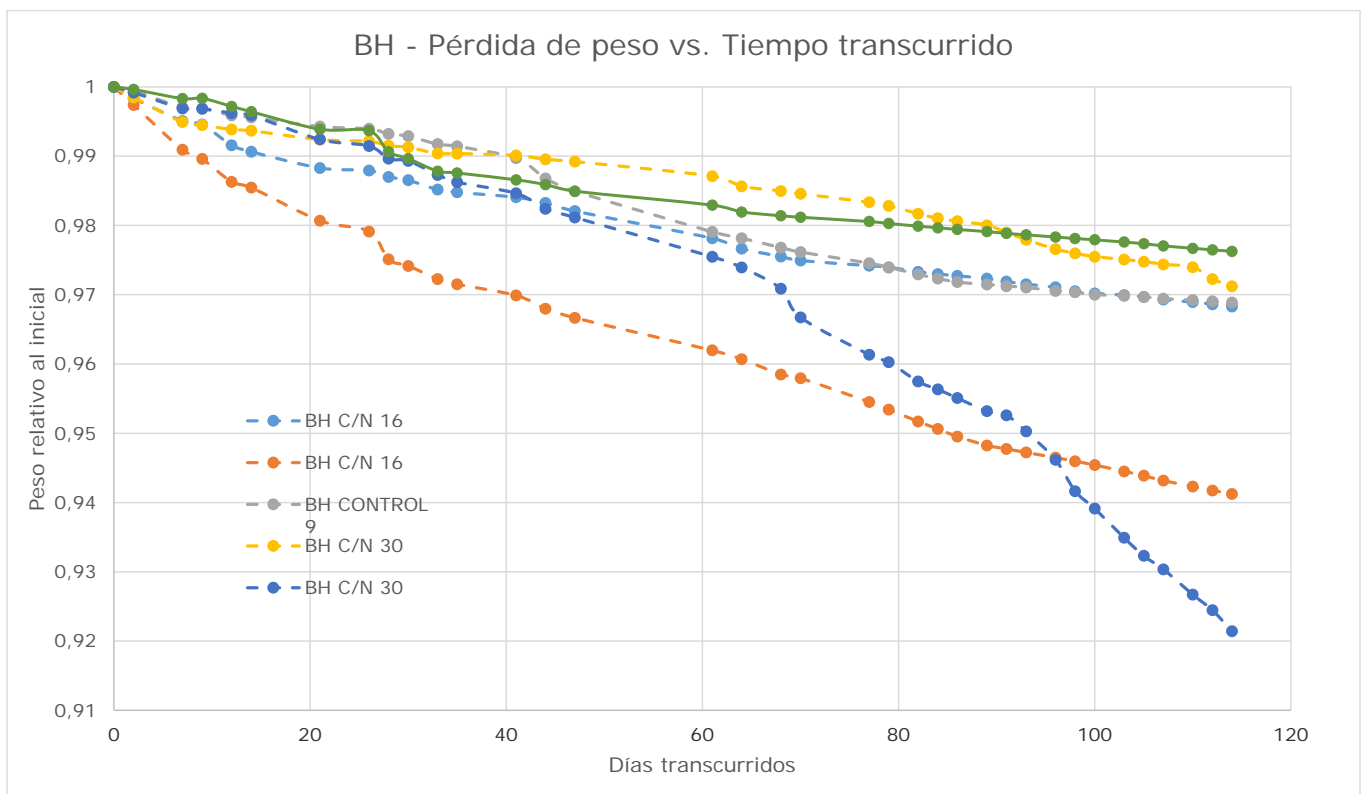


Figura 4. Evolución en la pérdida de peso de los biodigestores para la condición base húmeda

5- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se pudo determinar la composición de la fracción orgánica de los RSU, que permite caracterizar una muestra típica. A pesar de la variabilidad en la composición de cada una de las fracciones establecidas, se vislumbran ciertas similitudes reflejadas en los resultados de los análisis de laboratorio que será necesario verificar en próximas determinaciones.

Se aprecia un elevado contenido de humedad en las muestras, que encuentra sustento en el alto contenido de vegetales, superior al 86%. Esta condición justifica el uso de la fracción orgánica de los RSU en procesos de biodigestión, ya que su degradación por medio de procesos termoquímicos implicaría la utilización de gran cantidad de energía.

La composición de los RSU indica que la concentración de N en niveles de 0,19% y 0,29% respectivamente para los ensayos realizados se encuentren asociados, presumiblemente, a la presencia de restos de productos lácteos como cáscara de quesos que se evidenciaron en las muestras de residuos. Ello demandó el enriquecimiento con sacarosa a fin de mantener las relaciones C/N indicadas para la realización de las experiencias.

El análisis en la evolución de la pérdida de peso de los biodigestores por producción de biogás, muestra diversas variantes para las cuatro experiencias realizadas.

Transcurridos 134 días se observa que la producción de biogás en las experiencias de base seca, para la relación C/N 16, produce una evolución desigual del descenso de peso en las dos experiencias realizadas, esta relación indica las mejores condiciones para la producción de biogás cuando el contenido de sólidos es del 30% en peso. Para las relaciones C/N 30 el descenso en la pérdida de peso resulta ser semejante en las dos experiencias, mostrándose un descenso de peso paulatino en los biodigestores.

Las experiencias en base húmeda muestran comportamientos distintos para las relaciones C/N. Para la relación C/N 16, el descenso de peso resulta ser sostenido y óptimo para un tiempo de retención hidráulico menor a 90 días, transcurrido este tiempo, la relación C/N 30 muestra un descenso de peso mucho más importante.

Las condiciones indicadas como BS C/N 16 y BH C/N 16 con tiempo de retención hidráulico menor a 90 días y BH C/N 30 para tiempo de retención hidráulico superior a 90 días muestran las mayores producciones de biogás, de verificar esta condición en nuevas experiencias deberán ser consideradas como las condiciones de proceso para un cambio de escala del equipo a fin de comprobar similar comportamiento con vistas a la conformación de un proceso en escala piloto.

Referencias

- [1] Tchobanoglous, G.; Theissen, H.; Eliassen, R. (1982) "Desechos sólidos. Principios de ingeniería y administración". *Ambiente y los Recursos Naturales Renovables*.
- [2] Cuesta Santianes, M., J.; Sánchez, F. M.; Crespo, G.V.; Villar Fernández, S. (s.f) "Informe de vigilancia tecnológica. Situación actual de la producción de biogás y su aprovechamiento". Fundación Madrid para el conocimiento.
- [3] Burkman, M.; Butti, M.; Cardozo, F.; Huerga I.R.; Venturelli L. (2012). "Construcción participativa de biodigestores familiares en Escuelas Agrarias.". *I Congreso Santafesino de Agroecología*. Rosario. Argentina.
- [4] Forster-Carneiro, T.; Fernández, L.A.; Pérez García, M.; Romero García, L.I.; Álvarez Gallego C.J.; Sales, D. (s.f). "*Biometanización de la fracción orgánica del residuos sólido urbano: proceso Sebac*". Dept. de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos, y Tecnologías del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz.
- [5] Bernal Calderón, M.P.; Albuquerque Méndez, J.A.; Bustamante Muñoz, M.A.; Carrillo, R.C. (2011). "Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización". CSIC
- [6] Silva Vinasco, J.P. (s.f). "*Tecnología del biogás*". Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.