

CODIGESTION DE ESTIERCOL VACUNO Y LODOS DE DEPURADORA: INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA

K. García¹, M. Perez².

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Rafaela. Ruta 34, Km. 227 (2300). Santa Fe, Argentina.

²Departamento de Tecnología Ambiental, Universidad de Cádiz, Campus Puerto Real. Puerto Real. Cádiz, España.

Tel 03492-440121 - Fax 03492-440114 - email: kgarcia@rafaela.inta.gov.ar

RESUMEN La intensificación de la ganadería, ha ocasionado el aumento en la generación y concentración de estiércol vacuno, potencialmente contaminante. A su vez, el continuo crecimiento de las poblaciones provoca que las estaciones depuradoras de aguas residuales generen mayor cantidad de lodos como consecuencia del propio tratamiento. Frente a esta situación, la codigestión anaeróbica se presenta como una posible solución a la problemática planteada. El objetivo de este trabajo fue determinar el rango de temperatura óptimo (mesofílico o termofílico) para la codigestión de estos residuos, en términos de producción de biogás. Se trabajó con una mezcla 25% estiércol y 75% lodos de depuradora, a 35 y 55 °C, utilizándose 8 reactores batch con agitación, durante 45 días. Los ensayos se realizaron por duplicado. Los resultados demostraron una producción de biogás mucho mayor en el rango termofílico, no así en lo que respecta a la reducción de la carga orgánica.

Palabras clave: codigestión anaeróbica, mesofílico, termofílico, producción de metano, estiércol vacuno, lodos de depuradora.

INTRODUCCION

La intensificación de la ganadería, ha provocado el aumento en la generación y concentración de estiércol vacuno, potencialmente contaminante. Esta intensificación de la producción animal se inició durante la década del cincuenta y, en esencia, implica la concentración de animales por unidad de superficie y el aumento en el uso de insumos (Upton 1997). Hasta 1980, en Europa tuvo lugar un incremento sostenido de la producción, que acompañó el aumento de la demanda de productos pecuarios, en particular de porcinos y de aves (EIPPCB 2001). Estados Unidos atravesó un proceso similar, con un incremento sostenido de los denominados “establecimientos de alimentación de animales en confinamiento” (Concentrated Animal Feeding Operations - CAFOs). Este nuevo escenario, a su vez, originó diversas reglamentaciones con el objeto de disminuir el impacto ambiental de estas nuevas prácticas al limitar el número de animales por superficie. En Argentina la situación es más reciente, y presenta algunas diferencias. La producción lechera, en particular, ha crecido notablemente en las últimas décadas, a pesar de las cíclicas contingencias económicas, políticas y sociales del país. El crecimiento de la producción primaria en el período 1993-2003 ha sido aproximadamente del 36% (15-20% durante 2004), comparable a Nueva Zelanda que creció en igual período un 31% (Taverna, 2004). En los últimos años, en las cuencas tradicionales de la región pampeana se intensificó la competencia por el recurso tierra, especialmente por una creciente demanda de la agricultura de escala (soja) y estos cambios están impactando en los sistemas lecheros. Del mismo modo que ha ocurrido en la mayoría de los países productores de leche, existe una marcada tendencia hacia una mayor concentración de la producción. La sostenida disminución en el número de instalaciones de ordeño es compensada por un mayor tamaño de los rodeos, por incrementos de las producciones individuales y, en definitiva, por mayores escalas productivas (la producción promedio por instalación de ordeño se cuadruplicó entre fines de los 80 y la actualidad). Entre los problemas ambientales que ocasiona el estiércol vacuno se encuentran la contaminación de suelos y filtraciones a acuíferos así como la contaminación atmosférica por emisión de gases de efecto invernadero y vertidos en el suelo a nivel superficial, además de la dudosa gestión, ya que no existe un control de la valorización como fertilizante agrícola pudiendo producir un excesivo aporte de nitrógeno en el terreno de cultivo.

La depuración de las aguas residuales urbanas consiste en la eliminación, mediante una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, de la mayor parte de la contaminación, tanto disuelta como en suspensión, presente en dichas aguas. Como consecuencia de la aplicación de tales procesos se obtiene un residuo semisólido (lodos, fangos de depuración o biosólidos). Estos lodos son materiales orgánicos ricos en nutrientes como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), y están constituidos en más del 60% por materia orgánica. También presentan trazas de metales y pequeñas cantidades de otros productos químicos, así como diferentes microorganismos. Esta generación de lodos en exceso constituye el principal problema al que se enfrentan las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Aproximadamente entre el 0.5 y el 2% del agua tratada se transforma en lodos que son necesarios gestionar, con un costo que supera el 50% de los costos de operación de la EDAR.

La valorización energética y agronómica de los citados residuos constituye uno de los principales retos científico-técnicos que se le plantean a la comunidad científica para hacer posible el concepto de desarrollo sostenible.

La digestión conjunta de estiércol vacuno y restos de alimentos, presenta las ventajas de compartir instalaciones de tratamiento; unificar metodologías de gestión; reducir costos de inversión y explotación y amortiguar las variaciones temporales de composición y producción de cada residuo por separado. Además, la codigestión de diferentes residuos orgánicos ha resultado una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como mesofílico, por lo que estas variantes serían aplicables a la codigestión de los mencionados residuos.

En la actualidad, la aplicación a escala real de los procesos de digestión anaeróbica termofílicos o mesofílicos convencionales podría resolver de forma sostenible este problema. Por un lado, la digestión anaeróbica mesofílica es la opción tecnológica más utilizada, a la vez que sostenible, para reducir el volumen de residuos y obtener energía en forma de gas metano (valorización). No obstante, la constante intensificación de esta actividad agropecuaria, junto con el desarrollo de las regulaciones ambientales, lleva a suponer, en un futuro no demasiado lejano, la necesidad estricta de contar con instalaciones de tratamiento eficientes, y, en este sentido, el rango termofílico de operación consigue una mejor capacidad de reducción de volátiles, una mayor generación de biogas y, al mismo tiempo, una mayor inactivación de patógenos, aspecto importante a la hora de definir la calidad del producto digerido y su aplicación agronómica según normativa EPA *Title 40 Code of Federal Regulations Part 503 (40CFR 503)*. Sin embargo, las condiciones termofílicas empeoran la calidad del efluente y la capacidad de deshidratación del lodo digerido final, siendo necesario, además, un aporte energético adicional para el mantenimiento de la temperatura. Además, la digestión termofílica es más sensible a las condiciones ambientales tales como fluctuaciones de temperatura, presencia de tóxicos y choques de carga orgánica.

El objetivo de este trabajo fue determinar el rango óptimo de temperatura (mesofílico o termofílico) para la codigestión anaeróbica de estiércol vacuno y lodos de EDAR, de manera que maximicen dicho proceso, en cuanto a la generación de biogás, para un determinado porcentaje de mezcla.

MATERIALES Y METODOS

El estiércol a codigerir se recogió de una granja ganadera (semi-intensiva) ubicada en la ciudad de Jerez (Cádiz). Los lodos mixtos proceden de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) de Arcos de la Frontera (Cádiz) de los cuales se utilizaron mezclas homogéneas al 50% de lodos procedentes del tratamiento primario y del secundario, simulando las condiciones de operación de la planta depuradora. Cabe mencionar que la depuradora no incorpora un punto de mezclado de ambas corrientes previo al espesador, por lo que esta operación de mezclado y homogeneización tuvo que hacerse en el laboratorio.

Inicialmente se caracterizaron ambos residuos por separado, realizando para ello los siguientes análisis físico-químicos: Sólidos Totales y Volátiles (ST y SV), Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK), Demanda Química de Oxígeno Total y Soluble (DQO_T y DQO_S) y Carbono Orgánico Total (COT).

Teniendo en cuenta los valores de caracterización obtenidos para cada residuo, como así también resultados de ensayos de mezclas previos (García y Pérez, 2010), se determinó el porcentaje de cada uno, que formaría parte de la mezcla. El proceso de codigestión se realizó en 2 baterías de 4 reactores cada una y con agitación, lo cual favorece el contacto biomasa-sustrato y, por tanto, beneficia la biodegradación. Los reactores utilizados presentaron un volumen útil de 1700 mL para el tratamiento mesofílico y 2700 mL para el tratamiento termofílico (**Tabla 1**). Los ensayos se desarrollaron por duplicado.

	Reactores Mesofílicos	Reactores Termofílicos
Volumen Total Reactor (mL)	2000	3000
Volumen Útil Reactor (mL)	1700	2700
Inóculo (mL)	170 (10% volumen útil)	270 (10% volumen útil)
Estiércol (mL)	382,5 (25% volumen restante)	607,5 (25% volumen restante)
Lodos Mixtos (mL)	1147,5 (75% volumen restante)	1822,5 (75% volumen restante)
Blancos (mL)	850 (50% volumen útil)	1350 (50% volumen útil)

Tabla 1: Volúmenes de residuos e inóculos utilizados para el montaje de los reactores.

Una vez preparada la mezcla (25% de estiércol y 75% de lodos de EDAR) se llenaron los reactores y se los colocó dentro de los baños termostáticos a 35 °C y 55 °C (tratamientos mesofílico y termofílico respectivamente) (**Imagen 1**). Cabe aclarar que para el caso del estiércol se aceptó una densidad media de 800 kg/m³, (Caballero de la Calle, 2002) y se pesaron las cantidades correspondientes para obtener los volúmenes en cuestión, ya que con este material es más preciso trabajar con peso que con volumen. El porcentaje de inoculación fue, en todos los casos, del 10% del volumen útil. Los ensayos fueron de tipo Batch y se desarrollaron por duplicado incorporando, además, cuatro blancos constituidos por inóculo mesofílico y termofílico respectivamente (50% del volumen útil de cada reactor), los cuales proceden del efluente de sendos reactores en funcionamiento del Grupo de Investigación de Tecnología Ambiental de la UCA. Antes de la puesta en marcha, se recirculó nitrógeno gaseoso en cada reactor para desplazar el posible oxígeno presente en el medio y de esta forma inertizarlo.

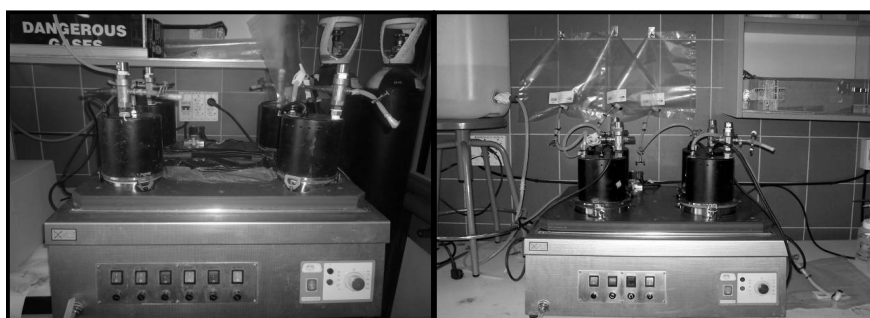


Imagen 1: Batería del baño mesofílico (izquierda) y termofílico (derecha) utilizados para el ensayo de biodegradabilidad.

A la salida de cada reactor se incorporó una bolsa Tedlar para recoger el biogás producido y facilitar su muestreo. Los análisis de volumen y composición del gas se realizaron cada 24 horas, utilizándose un caudalímetro de gases para la determinación del volumen generado, y un cromatógrafo de gases para el análisis de la composición del mismo.

A fin de evitar la inhibición de los microorganismos metanogénicos, el pH del caldo en digestión fue controlado diariamente, corrigiéndolo con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0,2 N en los casos necesarios, para mantener el mismo, en un rango cercano a la neutralidad (pH 7) hasta alcanzar la estabilidad del proceso.

Se realizó un seguimiento temporal del proceso degradativo involucrado, mediante la determinación de algunos parámetros los cuales permiten detectar cualquier anomalía o falla del proceso. Los análisis realizados periódicamente fueron los siguientes: pH, Sólidos Totales y Volátiles (ST y SV), Sólidos Suspendedos Totales y Volátiles (SST y SSV), Carbono Orgánico Total (COT), Demanda Química de Oxígeno Total y Soluble (DQO_T y DQO_S), Amonio (NH₄) y Ácidos Grasos Volátiles (AGV). Cabe aclarar que la periodicidad de los análisis fue cada 48 horas al inicio del ensayo, disminuyendo la frecuencia de los mismos a medida que el proceso se estabilizaba, finalizando con un análisis semanal. Las técnicas analíticas utilizadas corresponden a las descritas en los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA; AWWA; WPCF; 1989)

El ensayo tuvo una duración de 45 días, día en el cual se desmontaron los reactores y se procedió al análisis de todos los parámetros medidos inicialmente, determinando las variaciones que sufrieron cada uno de los mismos durante el transcurso del proceso.

RESULTADOS

Los valores obtenidos para la caracterización inicial de cada uno de los sustratos que fueron codigeridos se presenta en la **Tabla 1**, en la cual puede observarse la notable diferencia que existe entre los contenidos de C y de N para cada uno de los sustratos, haciendo que la relación C/N de cada uno difiera notablemente entre ambos. Por lo tanto, la codigestión de estos residuos permite mejorar esta relación, llevándola a valores más cercanos del rango óptimo (Hedegaard y Jaensch, 1999).

PARAMETRO	ESTIERCOL VACUNO		LODO EDAR	
	VALOR PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	VALOR PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
ST (%)	18,24	0,54	1,43	0,29
SV (% ST)	83,37	0,49	69,73	3,67
NTK (% s/peso seco)	1,82	0,09	8,59	1,18
DQO _T (g O ₂ /L)	98,21	3,62	15,71	2,34
DQO _S (g O ₂ /L)	64,15	13,81	0,59	0,30
COT (ppm)	19235,00	975,81	117,99	8,12
Relación C/N	26,57	nd	4,71	nd

Tabla 2: Caracterización del estiércol vacuno y de los lodos de EDAR.

En la **Tabla 3** se resumen los principales resultados obtenidos al finalizar el ensayo. Dichos resultados están basados no solo en el rendimiento en producción de metano, sino también en la reducción de aquellos parámetros que, directa o indirectamente, demuestran que existe una disminución en el contenido de materia orgánica, principal constituyente de los residuos evaluados.

Parámetro	MESOFILICO	TERMOFILICO
Producción acumulada de CH ₄ (L)	1,41	9,05
Eficiencia en CH ₄ (L CH ₄ /kg DQOc)	28,6	320,7
Producción específica de CH ₄ (L CH ₄ /kgSVrem.)	56,3	215,4
Tiempo de arranque (días)	5	3
% Remoción SV	23,4	22,9
% Remoción DQOs	54,7	50,0
% Remoción COT	43,6	23,7

Tabla 3: Principales resultados obtenidos en condiciones mesofílicas y termofílicas.

La **Tabla 3** muestra que la temperatura tiene una fuerte influencia en los procesos de digestión. Se obtienen resultados muy diferenciados, de acuerdo al rango de temperatura con el que se trabaja. En cuanto a la eficiencia del tratamiento desde el punto de vista de la reducción de carga orgánica, no se obtuvieron diferencias significativas entre ambos tratamientos, aunque pueden observarse valores de remoción ligeramente mayores para el tratamiento mesofílico. Sin embargo, el tratamiento termofílico superó ampliamente al mesofílico en todos los parámetros referentes a la producción de biogás.

Puede verse claramente, la marcada diferencia que existe en el volumen de metano generado en condiciones termofílicas, frente a las mesofílicas (**Gráfico 1**), resultando el primero mucho más eficiente, no solo en volumen producido, sino también en el tiempo de arranque del proceso.

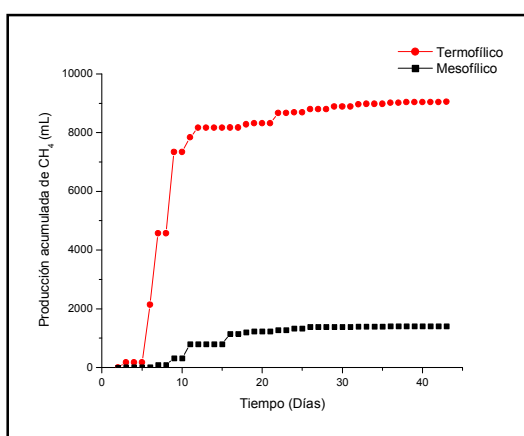


Gráfico 1: Producción acumulada de CH₄ durante todo el ensayo para ambos tratamientos.

CONCLUSIONES

La eficiencia de los procesos de digestión anaeróbica, depende estrechamente del rango de temperatura en el que se trabaje. Así, para el caso de la codigestión de estiércol de vaca y de lodos de depuradora, el tratamiento termofílico resultó mucho más eficiente que el mesofílico para la producción de metano, alcanzándose producciones mayores a casi un orden de magnitud (9,05 L vs. 1,41 L). Sin embargo, ambos tratamientos, termofílico y mesofílico, fueron similares en lo que respecta a la reducción de carga orgánica.

Por lo tanto, la temperatura de trabajo más apropiada para este proceso depende del objetivo con el cual se desarrolla la codigestión anaeróbica. En el caso de que solo se desee el tratamiento de residuos, el rango mesofílico resulta más apropiado, ya que se alcanzan reducciones significativas de materia orgánica y no requiere de grandes cantidades de energía para su desarrollo. En cambio, si el objetivo es la obtención de energía, el rango termofílico es la mejor opción, ya que se alcanzan valores tres veces mayores a los obtenidos en condiciones mesofílicas para todos los parámetros asociados con la producción de biogás.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF (1989). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Editorial Días De Santos, S.A. Edición en Español (1992).
- Balasubramanian, P. R. y Kasturi Bai, R. (1992). *Evaluation of Nutrient Recovery After Anaerobic Digestion of Cattle Dung in a Family Size Biogas Plant (Short Communication)*. Biomass and Bioenergy. Vol 3, No. 5, pp. 377-380.
- Caballero de la Calle, J. R. y Alcobendas Cobo, P. J. (2002) *Cebadero industrial de terneros en Villaluenga de la Sagra (Toledo)* (Proyecto) – Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola – Universidad de Castilla – La Mancha. Ciudad Real.

- Callaghan, F. J.; Wase, D. A. J.; Thayanithy, K. y Forster, C. F. (1998). *Co-digestion of waste organic solids: batch studies*. Bioresource Technology 67 (1999) 117-122.
- De Baere, L. A.; Devockt, M.; Assche, P.; Verstraete, W.O. (1984). *Influence of high NaCl SALT levels on the anaerobic digestion process*. Water Research 18, 543-548.
- EIPPCB 2001. *Integrated pollution prevention and control (IPPC) reference document and best available techniques for the intensive rearing of poultry and pigs*. European IPPC Bureau, Seville, Spain. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/> [URL consultado en octubre de 2008].
- García, K. y Pérez, M. (2010). *Codigestion of raw sludge and cattle manure: influence of temperature conditions and substrate composition*. Ecwatech-2010 International Water Forum. (ISBN 978-5-9900677-9-0), Moscú 2-4 Junio de 2010.
- Hedegaard, M. and Jaensch, V., 1999, *Anaerobic co-digestion of urban and rural wastes*, Renewable Energy, 16: 1064–1069.
- Misi, S. N. y Forster, C. F. (2001). *Batch co-digestion of two-component mixture of agro-wastes*. Institution of Chemical Engineers. Trans IChemE, Vol 79, Part B.
- Taverna, M.; Charlón, V.; Panigatti, C.; Castillo, A. y Serrano, P. (2004). *Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño*. INTA (ed.). Rafaela, Argentina. Pp 75.
- Upton, M. 1997. *Intensification or extensification: which has the lowest environmental burden?* WAR/RMZ. N° 88. FAO. Roma, Italia.
- Webb, A. R.; Hawkes, F. R. (1985). *The anaerobic digestion of poultry manure: variation of gas yield with influent concentration and ammonium-nitrogen levels*. Agricultural Wastes 14, 135-156.

ABSTRACT The intensification of livestock has caused an increase in the generation and concentration of cow manure potentially contaminating. In turn, the continued growth of populations causes the wastewater treatment plants generate greater amount of sludge as a result of treatment itself. The anaerobic codigestion is presented as a possible solution to the problems mentioned. The aim of this work was to determinate the most appropriate temperature range (mesophilic or thermophilic) for anaerobic codigestion of cattle manure and raw sludge, in order to maximize this process, in terms of biogas generation. The work was carried out in 8 anaerobic batch reactors with agitation, during a period of 45 days. The proportion of cow manure and raw sludge used was 25%-75% respectively. The experiments were carried out in duplicate. The results showed a much higher biogas production in the thermophilic range, but not in regard to the reduction of organic load.

Keywords: anaerobic codigestion, mesophilic, thermophilic, yield methane, cow manure, raw sludge.