

## 26. Energía

### **Producción de biogás a partir de estiércol bovino y suero lácteo de quesería**

Del Pópulo Grzona, Mariana; Grzona, Claudia Beatriz; Münnich, Kai

marianadpgr@gmail.com; claudiagrzona@gmail.com; k.muennich@tu-bs.de

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de San Luis

#### **Resumen**

El objetivo es estudiar el volumen de gas obtenido a partir de la co-digestión de mezclas de suero dulce (SD) y estiércol bovino (E) y, suero ácido (SA) y E, en diferentes proporciones, esto permitirá conocer la relación estiércol/suero que produce más biogás y la influencia del tipo de suero. Finalmente analizar la composición del biogás de aquellas más productivas.

Los ensayos batch se llevaron a cabo en recipientes de vidrio conectados a eudiómetros del mismo material. Las muestras se sumergieron en un baño de agua para la mantención de la temperatura. Las mezclas consistieron en 100%E, 75%E:25%SD/SA, 25%E:75%SD/SA y 50%E:50%SD/SA. Cada una por duplicado. La producción de biogás se midió diariamente. Se repitieron aquellas proporciones que mayor volumen de biogás generaron, pero aplicando agitación. Para acelerar el proceso de digestión se utilizó un inóculo proveniente de los lodos de depuración de una planta de tratamiento de residuos de la ciudad de Göttingen. El pH de cada mezcla se reguló a 8 al inicio del proceso. La temperatura de los biodigestores se mantuvo constante a 35°C. La caracterización química de la materia prima se realizó de acuerdo al sistema fotométrico LCK, de la empresa HACH. Se analizó el contenido de Fósforo, Sulfato, Nitrógeno, TOC y COD en el SD y E. Se midió el valor de COD en el SA y, relacionando el resultado con aquél medido en una muestra de SD, se calcularon los otros valores para el SA. La digestión anaeróbica se mantuvo durante 57 días, 27 días y 9 días en las experiencias con SA, SD y agitación respectivamente. Se concluyó que las muestras con SA fueron las que más produjeron biogás. Se analizó la composición del biogás de aquellas muestras con SA que mayor producción presentaron, indicando una óptima concentración de metano.

**Palabras clave:** biogás, estiércol, suero, digestión.

#### **Introducción**



La República Argentina siempre ha dispuesto de grandes posibilidades de desarrollo económico y social, gracias a la abundancia de sus recursos naturales e intelectuales. En los últimos años, la producción industrial se ha incrementado exponencialmente y consecuentemente, la demanda energética. Pero las inversiones actuales no son suficientes para suplir dicha demanda. El país afronta un importante déficit energético, incrementándose las compras de gas y petróleo al exterior sustancialmente. Este escenario, junto con la preocupación por el proceso de calentamiento global, ha movilizado a la Argentina a buscar soluciones que enfrenten y superen esta realidad, centrándose en las Energías Renovables (Tobares, 2012).

Durante los años 2015 y 2016, el INTI y Probiomasa llevaron a cabo un relevamiento de todos los proyectos de tratamiento de residuos orgánicos y producción de biogás. Existen 62 plantas de biodigestión en el país y 105 plantas de biogás, que se distribuyen en 16 provincias: Buenos Aires, Chubut, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Jujuy, La Pampa, Mendoza, Misiones, Neuquén, Río Negro, San Luis, Santa Fe, Santiago del Estero, Salta y Tucumán. El 49% de estos proyectos puestos en marcha son de pequeña escala, cuyo volumen máximo es de 80 m<sup>3</sup>, el 14% son de mediana

escala, cuyo volumen máximo es de 900 m<sup>3</sup> y el 37% son de elevada escala, cuyo volumen máximo es de 90.000 m<sup>3</sup>.

El 85% de los digestores se montaron exclusivamente para el tratamiento de residuos, mientras que sólo el 6% se utiliza para generar energía. Este dato refleja el enorme potencial que existe en el país para optimizar el uso de estas plantas y generar biogás (Cámara Argentina de Energías Renovables [CADER], 2017).

Diario Hoy (2018) indica que “la biomasa constituye el 0.005% de la matriz eléctrica nacional. El desarrollo de energías renovables no sólo volvería más barata la electricidad, sino que a su vez contribuiría a mejorar el medioambiente”.

La variedad y dimensión de las actividades agroindustriales en la Argentina ofrece una amplia oportunidad para la instalación de plantas de biogás y generación de energías, ubicando numerosos proyectos en distintas regiones del país, impulsando la formación de un mayor número de empleos (Tobares, 2012).

A lo largo de los últimos años se han realizado numerosas investigaciones sobre el aprovechamiento de los desechos agrícolas y ganaderos, a fin de producir energía, reducir las emisiones que puedan perjudicar al medioambiente y disminuir la deposición de efluentes.

Numerosos estudios realizados por distintos autores han evaluado la producción de biogás a partir de la co-digestión anaeróbica de diferentes productos. Estas contribuciones han permitido la utilización más eficiente de los reactores anaeróbicos y una reducción de costos al procesar múltiples residuos en una única instalación. Por ejemplo, la co-digestión de lodo de aguas residuales y microalgas es una solución muy atractiva para el tratamiento de aguas residuales ya que además de utilizar las algas para la purificación del agua, también se obtiene una biomasa rica que puede ser dirigida a la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica, debido a que presenta elevadas velocidades de crecimiento y puede ser cultivada sin competir contra la producción de alimentos en áreas de cultivo (Thorin, Olsson, Schwede, y Nehrenheim, 2017). La co-digestión de estiércol vacuno y residuos de lignocelulosa es otra mezcla que ha aportado mayor ventaja que la fermentación de sólo estiércol, la presencia de lignocelulosa compensa la baja y desequilibrada relación Carbono/Nitrógeno (C/N), cumpliendo así los requerimientos de una adecuada digestión anaeróbica y aumentando el potencial de biogás (Neshat, Mohammadi, Najafpour y Lahijani, 2017).

Otro estudio compara la producción de biogás y metano entre diferentes combinaciones de materias primas y en distintas proporciones; ensilado de hierbas y suero, ensilado de hierbas y estiércol vacuno, ensilado de maíz y estiércol vacuno, ensilado de hierbas y estiércol porcino, ensilado de maíz y suero, y ensilado de maíz y estiércol porcino. Los investigadores llegaron a la conclusión que bajo condiciones mesofílicas, la mayor producción de biogás y metano se obtuvo a partir de las mezclas estiércol porcino y ensilado de maíz, y suero y ensilado de hierbas en una proporción 6:4 respectivamente. A pesar de su mayor producción, hubo períodos de inhibición en el proceso, lo cual lo hace impropio para una aplicación industrial. Aquellas mezclas de estiércol y ensilado con proporción 8:2 fueron las que menos produjeron biogás, pero no experimentaron ningún disturbio en el proceso. Todas las combinaciones probadas produjeron un biogás con contenido de metano mayor al 50%, el cual lo habilita para su aplicación como combustible en tractores agrícolas que disponen de motores a diésel con un sistema dual de suministro de combustible (Matuszewska et al. 2016)

Toda actividad industrial supone la producción de residuos, en nuestro país el impacto ambiental de los efluentes de la

industria quesera, sumado a las pérdidas económicas que el productor tiene al no tratarlos; degradación del suelo, contaminación del agua, transmisión de enfermedades, y a la motivación que supone participar en la matriz eléctrica produciendo bioenergía son motivos que impulsaron la realización de este estudio sobre la producción de biogás a partir de estiércol vacuno y suero lácteo. De esta forma, tratar de encontrar una solución viable respecto a los desechos típicos de la industria de producción de quesos en Argentina, teniendo en cuenta que hay un gran número de pequeños y medianos tambos en el país que poseen sus propias queserías. En base a las investigaciones mencionadas en la sección anterior, la fracción líquida del estiércol vacuno le aporta ventajas a la fermentación del suero lácteo. En el trabajo presente, se estudiará la co-digestión del suero lácteo ácido y suero lácteo dulce junto con el estiércol vacuno completo como la industria lo entregaría a la planta de tratamiento de efluentes, sin separación de fracción líquida y sólida.

### Objetivos

En este trabajo, el objetivo es estudiar el volumen de gas obtenido a partir de la co-digestión de mezclas de suero ácido y estiércol bovino y, suero dulce y estiércol bovino, en diferentes proporciones, esto

permitirá conocer la relación estiércol/suero que produce más biogás. También con los datos resultantes de las experiencias se podrá analizar la influencia del tipo de suero. Además, se repetirán aquellas proporciones que más biogás produjeron para aplicar agitación y analizar su influencia. Finalmente, hacer una selección de aquellas experiencias más productivas para someterlas a un análisis de la composición del biogás.

### Materiales y métodos

Para llevar a cabo la producción de biogás, se utilizó suero ácido de quesería (SA), suero dulce de quesería (SD) y estiércol bovino (E) de la raza “Holsteiner Milchkuh”

El SD se obtuvo por medio de la producción de quesos realizada por la M. Sc. Andrea Pfeiffer, del Instituto Abfall- und Ressourcenwirtschaft, y el SA fue adquirido en la quesería Bauer Banse que lo comercializan envasado en botellas de plástico reutilizables, con cierre inviolable y en ellas consta el tipo de suero y fecha de caducidad. El estiércol se retiró de la estación de ensayos del Instituto Friedrich-Löffler, perteneciente al Instituto Gubernamental de investigación para la salud animal, en un bidón plástico con cierre hermético.

Se realizó un análisis de la composición química del estiércol, evaluando

porcentaje de sólidos totales mediante el uso de una mufla, para medir el valor de pH se utilizó un medidor electrónico "Checker Hi 98103" de la marca Hanna. A través del sistema fotométrico LCK de la empresa HACH, se midió la concentración de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), nitrógeno total (TNb), demanda química de oxígeno (COD) y carbono orgánico total (TOC) de las muestras previamente filtradas.

A fin de evaluar diferentes condiciones, los substratos se mezclaron en las siguientes proporciones, 100%E, 75%E:25%S, 25%E:75%S y 50%E:50%S. Cada mezcla se hizo por duplicado. A cada mezcla se le añadió un inóculo proveniente de los lodos de depuración de una planta de tratamiento de residuos de la ciudad de Göttingen, de manera de activar más rápidamente los microorganismos, acelerar el proceso de digestión y obtener una producción en menor cantidad de días. El volumen de biomasa e inóculo cargado en cada recipiente se realizó en una relación 8:1. Los resultados que muestra la tabla 1 indican que el contenido de materia seca es muy bajo para ambos substratos, de manera que no es necesario el agregado de agua y además las mediciones se hicieron en base a volumen. Luego de armar cada mezcla en recipientes de vidrio, se midió el pH,

obteniéndose valores próximos a 7. Finalmente, antes de conectar los recipientes se elevó el pH de cada mezcla hasta un valor de 8 con NaOH para igualar las condiciones de cada una de ellas.

La figura 1 muestra los recipientes después del proceso de digestión anaeróbica. La numeración de los cuatro recipientes que se encuentran en la primera fila corresponden a: 35 (100% E); 37 (75% E); 41 (50% E) y 39 (25% E).

#### Equipo



Figura 1. Muestras después de la digestión

La figura 2 muestra el equipo utilizado para la co-digestión de los substratos. Para las mediciones de biogás, se utilizaron eudiómetros de vidrio, los recipientes con las mezclas fueron instalados bajo un baño térmico para la mantención de la temperatura a 35°C. Cada boquilla de los recipientes contenedores de las mezclas, se limpió rigurosamente y se untó una pequeña cantidad de vaselina, de manera



Figura 2. Eudiómetros

que, al conectarlos al tubo receptor del gas, se asegurara un buen sellado y así evitar pérdida de gas o ingreso de oxígeno. A estos tubos también se les colocó vaselina en las boquillas.

Los eudiómetros, a través de mangueras, se encontraban conectados a recipientes con agua.

Luego de ubicar las mezclas en el baño térmico, se introdujo una cierta cantidad de nitrógeno gaseoso para expulsar el oxígeno y se conectaron rápidamente a los tubos. En su extremo superior, se halla una válvula para permitir el escape del gas, cuando la producción superara la capacidad del tubo. Mediante esta válvula, se fijó el nivel de agua en los tubos a 25

mL, luego de la conexión con los recipientes. De esta forma, al producirse gas, este empujaba el agua en los tubos, almacenándose en el extremo superior y retornando el agua al recipiente. Así, se llevaron a cabo las lecturas de volumen de gas producido durante los días que duraron las experiencias.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las experiencias anteriores, se decidió repetir aquellas proporciones que produjeron la mayor cantidad de biogás, de manera de hacer una comparación de las mismas muestras, pero aplicando agitación

Tanto el método como la toma de datos y el procedimiento fueron los mismos. En este caso, los eudiómetros se instalaron dentro de una estructura con la forma de una heladera, disponiendo dentro de esta, un termostato para poder regular la temperatura a 35 °C.

La agitación se llevó a cabo a través de imanes (figura 3), los cuales se sumergieron dentro de cada recipiente que contenía las muestras a evaluar y agitadores magnéticos, debajo de cada recipiente, como se observa en la figura 4.



Figura 3. Imán

Mendoza | Argentina

17,18 y 19 de octubre de 2018

A



Figura 4. Equipo con agitación

partir de todos estos resultados, se repitió aquellas proporciones que mayor volumen de biogás generaron. Se tomaron muestras periódicas para el análisis de contenido de metano, dióxido de carbono y nitrógeno. El procedimiento consistió en liberar el biogás producido después de los dos primeros días de haber comenzado la nueva experiencia. Debido a que normalmente esa primera cantidad está conformada casi completamente por CO<sub>2</sub> y una pequeña fracción de oxígeno remanente. La figura 5 muestra el estilo de bolsas utilizadas.

La toma de muestra se llevó a cabo conectando estas pequeñas bolsas de aluminio con picos para asegurar una conexión bien sellada con la salida

superior del tubo. Al abrir la válvula superior se llenaron las bolsas con el



Figura 5. Bolsas de aluminio

biogás hasta que el nivel de agua en el tubo alcanzara nuevamente 25 mL.

## Resultados y Discusión

En la tabla 1 se puede observar los valores resultantes del análisis químico realizado en el estiércol, suero dulce y los valores calculados para suero ácido. Considerando que COD, TOC, TNb, PO<sub>4</sub> y SO<sub>4</sub> se representan en mL/g y %ST equivale a porcentaje de sólidos totales.

Tabla 1.  
Caracterización química de los substratos

Test	Substratos		
	Suero dulce	Estiércol	Suero ácido
<b>COD</b>	74800	7100	67200
<b>TOC</b>	22750	2457,5	20438,5*
<b>TNb</b>	1210	496,5	1087*
<b>PO<sub>4</sub></b>	510	186,5	458*
<b>SO<sub>4</sub></b>	150	88	134*
<b>pH</b>	6,33	7,51	5,14
<b>%ST</b>	6,03	1,63	5,21

En las figuras 6 y 7 se representa el volumen acumulado de biogás producido por volumen de biomasa vs el tiempo. Los valores en cada curva son el promedio aritmético de los duplicados de cada mezcla. Cada volumen fue ajustado a la presión y temperatura estándar y a la producción de una muestra estándar. Esta muestra fue preparada con 50 mL de inóculo, 1 gramo de Celulosa y adición de agua destilada hasta un volumen total de 300 mL.

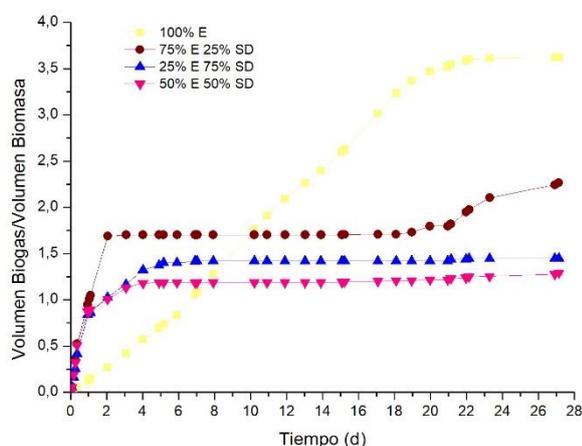


Figura 6. Producción biogás – E y SD

Como se observa en la figura 6, el proceso de biodigestión del estiércol y el suero dulce se realizó durante un poco más de 27 días, tiempo en el cual se generó un volumen de biogás en relación al volumen de biomasa cargada de 3.62, 2.26, 1.45, 1.29, valores correspondientes a las mezclas 100% E, 75% E, 25% E y 50% E respectivamente.

Las muestras con contenido de SD tuvieron una gran producción al inicio de la experiencia, teniendo ambas curvas

una gran pendiente y después del 9 día se detiene la producción de biogás, presentando la mezcla con 75% de E una pequeña producción a los 23 días. Tanto mezcla de partes iguales como la de menor cantidad de E, se mantuvo prácticamente sin producción hasta el final de la experiencia. La muestra con estiércol solamente, presentó una producción progresiva hasta los 23 días, después no se reportó mayor producción. Al inicio, la generación de biogás fue lenta, a diferencia de las demás muestras que contenían suero, alcanzando el mismo volumen de producción que las demás después de los 9 días aproximadamente. Es posible que el comportamiento de alta producción al inicio de las co-digestiones de las muestras con contenido de suero pueda atribuirse a una etapa de producción de CO<sub>2</sub> y la producción de metano se incrementa pasada esta etapa.

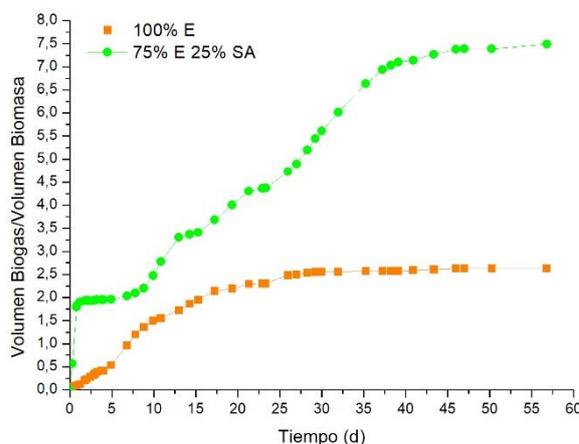


Figura 7. Producción biogás – E y SA

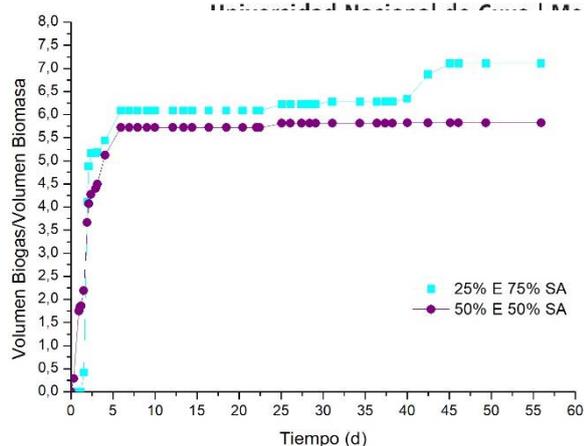


Figura 8. Producción biogás – E y SA

En las figuras 7 y 8 se presenta el proceso de biodigestión del estiércol y suero ácido, el cual se realizó durante 57 días, tiempo en el cual se generó un volumen de biogás en relación al volumen de biomasa cargada de 2.62, 7.49, 7.10 y 5.82, valores correspondientes a las mezclas 100% E, 75% E:25% SA, 25% E:75% SA y 50% E:50% SA respectivamente.

Las muestras con mayor contenido de SA tuvieron una gran producción al inicio de la experiencia, teniendo ambas curvas una gran pendiente. Después del séptimo día se detiene la producción de biogás, presentando la mezcla con mayor contenido de suero una producción mayor después de los 40 días, y la mezcla de partes iguales prácticamente no produjo más biogás desde ese máximo en la curva. Como se contempla en la ilustración 12, la muestra con estiércol solamente presentó una pequeña producción hasta el día 25, de forma lenta, sin reportar producciones posteriores. La

mezcla con 75% de estiércol mantuvo producciones a lo largo de casi los 57 días con variaciones de pendientes y períodos de pequeña o nula producción. Es posible que, como en la experiencia anterior, el comportamiento de alta producción al inicio de las co-digestiones de las muestras con contenido de suero pueda atribuirse a una etapa de producción de  $\text{CO}_2$  y la producción de metano se incrementa pasada esta etapa.

Se evaluó la generación de biogás de aquellas muestras que contenían ambas materias primas y que más produjeron en las experiencias anteriores. El proceso de biodigestión duró 9 días, en el cual se generó un volumen de biogás/volumen de biomasa cargada de 2.46 y 2.18, valores correspondientes a las mezclas 75% E:25% SD y 75% E:25% SA,

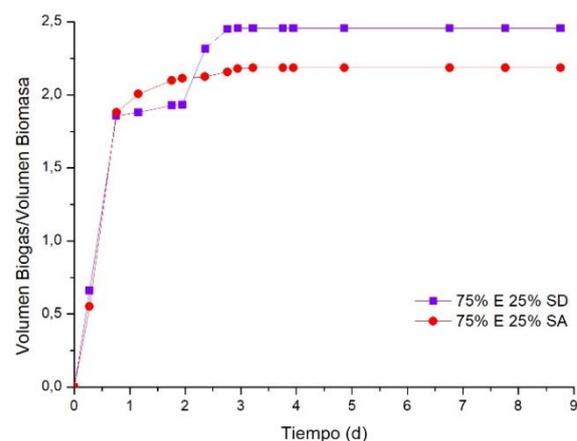


Figura 9. Producción biogás – Agitación respectivamente.

En ambos casos, como se observa en la figura 9, inicialmente hubo una elevada

producción hasta el tercer día, y luego no se presentó una mayor generación. La muestra 25% SD presenta dos máximos en la curva resultando finalmente en una producción levemente mayor que la otra mezcla.

A partir de estos resultados se decidió repetir las muestras de co-digestión que presentaron mayor producción, es decir, aquellas cuyas proporciones fueron 75% E:25% SA y 25% E:75% SA, para analizar la composición del biogás generado.

En la tabla 2, se puede observar el resultado del análisis;

Tabla 2.

*Composición del biogás*

Análisis de gases			Concentración en % Vol.		
Nº	Prop.	Fecha	2/6	11/6	20/6
38	25% E	CH <sub>4</sub>	47		
	75% SA	CO <sub>2</sub>	26		
		N <sub>2</sub>	27		
39	25% E	CH <sub>4</sub>	42		
	75% SA	CO <sub>2</sub>	25		
		N <sub>2</sub>	33		
36	75% E	CH <sub>4</sub>	44	52	59
	25% SA	CO <sub>2</sub>	27	30	32
		N <sub>2</sub>	29	18	9
37	75% E	CH <sub>4</sub>	41	54	61
	25% SA	CO <sub>2</sub>	25	32	37
		N <sub>2</sub>	34	14	2

La nueva experiencia se evaluó por 23 días. Pasados los dos primeros días, se liberó el gas producido porque está

conformado mayormente por CO<sub>2</sub>. Luego se tomó las primeras muestras de biogás de cada mezcla. Las muestras 38 y 39 no produjeron un volumen de biogás significativo a partir del tercer día como para poder realizar el análisis. Podría deberse a que la materia prima utilizada fue la misma que en la primera experiencia, y debido al tiempo transcurrido entre una y otra, haya ocurrido una gran parte de la digestión anaeróbica en alguno de los substratos almacenados. Las muestras de 75% E:25% SA sí continuaron produciendo e incluso el contenido de metano fue óptimo al final de la experiencia.

Se puede notar que a medida que el proceso de biodigestión avanzaba, la concentración de metano en el biogás aumentó, llegando a un promedio del 60% en la muestra 25% SA. La concentración de dióxido de carbono también aumentó hasta el final de la generación, como se suponía, ya que aproximadamente el 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, con el desprendimiento de CO<sub>2</sub>. No sólo se debe a eso su continua elevación de concentración en el biogás, sino también, a la descomposición de los AGCL en la etapa acetogénica para dar H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. La composición del nitrógeno disminuye a medida que avanza la fermentación.

En la tabla 3 se expone los valores de pH de cada muestra antes y después del proceso de fermentación;

Tabla 3.

Valores de pH

N° recip.	Proporción	pH antes	pH después
<b>Primera experiencia: E y SD</b>			
34	100% E	8,08	7,61
35	100% E	8,02	7,51
36	75% E y 25% SD	8,08	6,55
37	75% E y 25% SD	8,04	5,21
38	25% E y 75% SD	8,1	3,22
39	25% E y 75% SD	8,01	3,23
40	50% E y 50% SD	8,06	3,82
41	50% E y 50% SD	8	3,84
<b>Segunda experiencia: E y SA</b>			
34	100% E	8,07	7,5
35	100% E	8,03	7,5
36	75% E y 25% SA	8,24	7,6
37	75% E y 25% SA	8,04	7,6
38	25% E y 75% SA	8,16	4,2
39	25% E y 75% SA	8,23	4,2
40	50% E y 50% SA	8,14	4,4
41	50% E y 50% SA	8,13	4,7
<b>Tercera experiencia: con Agitación</b>			
6	75% E y 25% SD	8,03	5,11
8	75% E y 25% SD	8	5,16
7	75% E y 25% SA	8,01	5,38
2	75% E y	8,01	5,37

25% SA			
<b>Cuarta experiencia: Para analizar gases</b>			
36	75% E y 25% SA	8	6,39
37	75% E y 25% SA	8	6,55
38	25% E y 75% SA	8	4,99
39	25% E y 75% SA	8,06	5,02

Los valores del análisis muestran que las co-digestiones con mayores proporciones de suero al final del proceso exponen pH más ácidos. Mientras que en el caso de la digestión de sólo estiércol no se observa una variación significativa del pH.

### Conclusiones

El propósito de este trabajo fue obtener biogás a partir de dos desechos de la industria láctea. Las experiencias permitieron comprobar que la co-digestión de estos desechos es una buena alternativa para obtener bioenergía. Los resultados obtenidos permitirán estimar dimensiones potenciales de biodigestores para aprovechar los efluentes producidos en las queserías argentinas y así generar bioenergía aprovechable por la misma planta láctea.

A pesar de que la experiencia con SD se estudió durante menos tiempo que la de SA, si se compara la producción de biogás alcanzado hasta los 25 días aproximadamente, es claro que los mayores volúmenes de biogás se

generaron en la segunda experiencia, es decir, aquellas con SA. Esto indicaría a que este tipo de suero tiene una mayor disponibilidad de nutrientes para el proceso de digestión anaeróbica.

Otro punto notorio es que la producción de biogás de la muestra de sólo estiércol en la primera experiencia fue mayor que en la segunda. Teniendo en cuenta que se trataba del mismo lote, el resultado indica que durante el almacenamiento se produjeron variaciones en el sustrato que luego afectaron al proceso de biodigestión, confirmando la importancia de controlar los parámetros necesarios para evitar estos cambios. En ambos casos, los pH después de la experiencia fueron aproximadamente iguales. Podría suponerse que, aunque no haya habido un decaimiento del pH, es decir, un no alejamiento de las condiciones óptimas para la fermentación, el detenimiento en la producción del biogás puede deberse al consumo de los nutrientes disponibles para su producción.

En las primeras dos experiencias, las muestras con proporciones equitativas de ambos sustratos mostraron el mismo comportamiento; inicialmente una elevada producción y después de esto ningún otro aporte de biogás. Probablemente se detiene la producción debido al decaimiento del pH, parámetro importante a tener en cuenta para la normal actividad

de los microorganismos. El alejamiento de las condiciones óptimas de pH inhibe el proceso fermentativo. Lo mismo se observó para la muestra con un contenido de 25% E:75%S.

En la tercera experiencia, el comportamiento fue muy similar y el volumen de biogás generado próximos entre sí. Pero, la gran diferencia con respecto a las demás experiencias fue la baja duración del proceso fermentativo. Luego de la inicial elevación en la producción del biogás, cada vez que se hacía lectura del volumen, era siempre menor. Es decir, el nivel de agua en el eudiómetro, en vez de descender, ascendía. Esto puede deberse a que el equipo completo se encontraba dentro de una estructura y todo se mantenía a 35 °C, al abrir la puerta para hacer las lecturas, el equipo se enfrentaba a la temperatura del ambiente exterior, menor a 35 °C. Ese cambio de temperatura podría ocasionar esa disminución de volumen. Sucesos similares ocurrieron con algunas muestras de las experiencias previas, sin agitación. Esta reducción del nivel de gas, ocurre tanto por una diferencia de temperatura entre la mezcla que se encuentra dentro del baño térmico y la temperatura del agua dentro del recipiente en contacto con el ambiente, como también, por la reacción que ocurre entre el H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para dar metano y agua,

produciendo un cambio en la densidad del gas.

Respecto a la experiencia final, en todos los procesos de digestión anaeróbica, aumentó la concentración de metano hasta el final, como era de esperar. Aquellas mezclas que sólo se pudo tomar una muestra para analizar el biogás, su pH resultó muy bajo. Esta condición debe haber detenido el proceso de fermentación, por estar lejos del rango óptimo para operar. También eran estas muestras más susceptibles de que esto ocurriese porque eran las que mayor cantidad de SA contenían. La baja producción de biogás puede estar relacionada a la vejez de los substratos afectando una buena disponibilidad de nutrientes.

En el caso de la disminución continua de la presencia de nitrógeno en la mezcla es porque inicialmente su elevada concentración se debe a la inyección de  $N_2$  para retirar el aire de los recipientes previo a la conexión con los eudiómetros. A lo largo del proceso, el nitrógeno comienza a reaccionar para dar compuestos nitrogenados que permanecen en el digestato y sólo una parte queda en la mezcla gaseosa, que es la que se obtuvo en el análisis.

Se determinó que la mayor cantidad de biogás acumulado cuando se utiliza SA y SD en relación al volumen de biomasa

cargada se obtuvo con la muestra 75% E. La agitación provoca una aceleración del proceso fermentativo, no así en el volumen final de biogás generado. Además, a partir del análisis del biogás, se confirma que el porcentaje de metano producido en el biogás es óptimo, y que el mayor rendimiento al final de la experiencia lo obtuvo la muestra con el de 75% E. A pesar de que la muestra con 25% E presentó inicialmente una mayor concentración de metano respecto a la muestra con 75% E, no se pudo hacer un análisis posterior debido a la inhibición del proceso fermentativo. Estos resultados confirman la gran posibilidad del aprovechamiento de estos desechos de la industria láctea.

Los resultados obtenidos con los distintos sueros y distintas proporciones indicaron que el tipo de suero va a influir en la determinación de la relación (Suero/Estiércol) en la alimentación al biodigestor.

Queda por analizar la producción de biogás a partir de la mezcla de los tres substratos, considerando que la diversidad de quesos producidos en las industrias lácteas argentinas genera habitualmente tanto el suero dulce como el suero ácido. Además, es de importancia verificar si es necesario implementar tratamientos de depuración para reducir riesgos en la salud, corrosión en los

equipos y emisiones nocivas a la atmósfera.

### **Bibliografía**

Tobares, L. (2012) *La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. Trabajo seleccionado en el 3er. Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación.* Recuperado de [http://www.petrotecnica.com.ar/1\\_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf](http://www.petrotecnica.com.ar/1_2013/Petrotecnica/PdfsSinPublic/LaImportancia.pdf)

Cámara Argentina de Energías Renovables (2017) *2017 el año de las energías renovables.* Recuperado de <http://www.cader.org.ar/informe-anuario-2016-documento-de-analisis-del-mercado-de-las-energias-renovables/>

*Diario Hoy.* (2018) La Argentina, lejos del autoabastecimiento energético. Recuperado de <https://diariohoy.net/politica/la-argentina-lejos-del-autoabastecimiento-energetico-115423>

Thorin, E., Olsson J., Schwede, S., Nehrenheima, E. (mayo, 2017) Biogas from Co-digestion of Sewage Sludge and Microalgae. *Energy Procedia*, volumen 105, 1037 – 1042. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.449

Neshat, S. A., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., Lahijani, P., (noviembre, 2017) Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volumen 79, 308-322. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.137

Matuszewska, A., Owczuk, M., Zamojska-Jaroszewicz, A., Jakubiak-Lasocka, J., Lasocki, J., Orłowski, P. (octubre, 2016) Evaluation of the biological methane potential of various feedstock for the production of biogas to supply agricultural tractors. *Energy Conversion and Management*, volumen 125, 309-319. doi: 10.1016/j.enconman.2016.02.072

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Ministerio de Educación de la Nación, al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), a la Universidad Nacional de San Luis y a la Universidad Técnica de Braunschweig.