

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LACTOSUERO: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOQUÍMICO METANOGÉNICO Y SU CINÉTICA



Estefanía Lopera Vásquez

Andrea Polo Muñoz

Estudiantes de Ingeniería Ambiental

estefanial@est.colmayor.edu.co / andreap@est.colmayor.edu.co



Problemática

Las industrias lácteas son una fuente impactante de contaminación sobre diferentes aspectos ambientales, principalmente por el lactosuero, un residuo que se produce durante la elaboración del queso. Su alta generación (9:1) excede las posibilidades reales de su aprovechamiento. Por la compleja composición química y nutricional que posee, al llegar a fuentes hídricas aumenta la DBO y DQO lo que lleva a desbalances fisicoquímicos por la pérdida de OD y una posible eutrofización, mientras que en los suelos provoca pérdida de fertilidad.

Metodología

Se utilizaron dos tipos de lactosuero provenientes de una industria lechera de San Pedro de los Milagros, los cuales provienen de la coagulación natural (lactosuero natural - LN) y de una coagulación con ácido acético (lactosuero ácido - LA). Para llevar a cabo el proyecto se emplearon reactores tipo batch de 1L que contemplaban un volumen de trabajo de 600 mL y 400 mL de cabeza libre para el almacenamiento de biogás, cargados con una mezcla de RIS = 2, un control positivo compuesto por celulosa y un control negativo por agua destilada. El inóculo utilizado proviene de una PTAR ubicada en la ciudad de Medellín. Tanto el sustrato como el inóculo fueron caracterizados para SV, ST y DQO. El lodo fue sometido durante 10 a 35 °C para liberar su gas endógeno. Dicho montaje se

hizo por triplicado, un control positivo para cada muestra y un control negativo en general. Después de la preparación de cada mezcla se ajustó el pH del sistema a 7,5.

Las botellas se sellaron durante 49 días a condiciones termófilas de 35°C (±), durante los cuales se midió el volumen de metano (CH₄) mediante el método manométrico y el uso de un caracterizador de gases que indica el porcentaje de CH₄ en el biogás. Los datos fueron analizados y graficados en Matlab para obtener la constante cinética de biodegradabilidad del lactosuero.

Resultados

Los lactosueros utilizados son el resultado de la elaboración de queso ricotta, sin embargo, el LA se produce por la adición de ácido acético (CH₃-COOH) al medio como coagulante y el LN tiene una técnica de coagulación natural donde solo se utiliza calor (95 °C).

Una de las pruebas más importantes en este proyecto es la determinación de los SV, ya que se relacionan directamente con la RIS. En la siguiente tabla puede verse la caracterización que se le dio:

Tabla 1. Caracterización del lactosuero.

Parámetros de caracterización inicial	Lactosuero ácido (LA)	Lactosuero Natural (LN)
DQO (mg/L)	92.222	78.889
Sólidos volátiles (g/mL)	0.0477	0.0451
pH	4.39	3.25

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1. Lactosuero después de mufla a 550 °C para prueba de SV
Fuente: Elaboración propia.

- Disminución de la carga contaminante

La digestión anaerobia sirve como un proceso mediante el cual se reduce la carga contaminante por el consumo de la materia orgánica y su transformación en biogás, por tanto, se tomaron datos de dicha carga a la mezcla (lodo + sustrato) al inicio y al final del DA, como puede verse en la tabla 2.

Tabla 2. Reducción de la carga contaminante después de la digestión anaerobia

Tratamientos	Inicio	Final	Eficiencia (%)
	Carga contaminante (mg)		
Lactosuero con ácido	118 889	62 750	33,76
Lactosuero natural	105 556	69 917	47,22

Fuente: Elaboración propia.

- Aportes energéticos

El metano tiene un Potencial de Energía Calórica (Pec) y Potencial de Energía Eléctrica (Pee), siendo la calórica la más aprovechada, puesto que solo se necesita hacer uso de la combustión, mientras que la eléctrica, aunque es viable, necesita transformadores de gas en electricidad y los que ofrece el mercado actual tienen rendimientos bajos. En concordancia con lo anterior, la tabla 3 muestra esos potenciales para los lactosueros trabajados.

Dando un contexto de los ahorros monetarios que pueden obtenerse, en la ciudad de Medellín, Colombia, un estrato 3 paga por electricidad en promedio 770 pesos por cada kW/h, así, con la producción de metano mediante DA de LA, son 15 539,29 pesos ahorrados y 26 064,78 pesos para LN.

Tabla 3. Potencial de energía calórica y eléctrica de LN y LA

Lactosuero	Pee (kW/h)	Pec (kW/h)
Natural	33,85	67,70
Con ácido acético	20,18	40,36

Fuente: Elaboración propia.

- Constante cinética de biodegradabilidad

La cinética de los procesos biológicos tiene tres mecanismos importantes que son determinados según la velocidad de crecimiento de los microorganismos, la relación entre la tasa de crecimiento microbiano, la utilización del sustrato y el efecto del sustrato en los microorganismos. Dichas reacciones tienen diferentes órdenes, que se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Órdenes de cinética

ORDEN	DESCRIPCIÓN
0	Proceden con una velocidad independiente de la concentración de los reactivos o del sustrato.
1	Ocurren con una tasa directamente proporcional a la concentración del reactivo limitante (sustrato).
2	El sustrato (reactivo) limitante desapareció con una tasa proporcional al cuadrado de su concentración.

Fuente: Elaboración propia.

El lactosuero natural se ajustó al modelo Roediger siguiendo una constante cinética (k) de orden 1 con un coeficiente de correlación (r2) igual a 0,98131, lo que significa una correlación positiva; asimismo, el coagulado con ácido acético siguió el modelo Logístico con k de orden 1 y r2 igual a 0,98116.

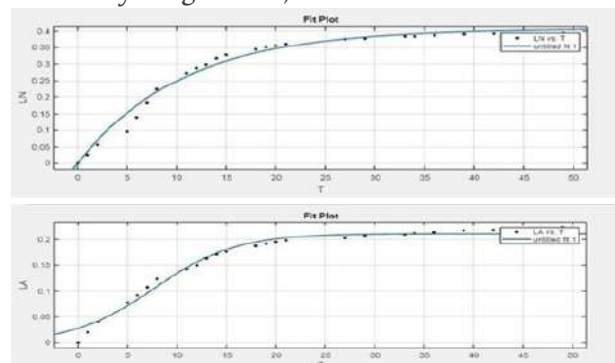


Figura 2. Análisis del ensayo número 1 y 2

Fuente: Elaboración propia.

Datos reportados antes, de estudios que usaron lactosuero como sustrato mediante la

digestión anaerobia, mencionaban que para una RIS de 2 se obtenía un PBM entre 0,058 y

0,066 L CH₄/g SV usando lodo biológico anaerobio de una PTAR como inóculo (Bolen, 2022); sin embargo, en otra investigación para esa misma RIS los valores de PBM estuvieron entre 0,51 y 0,60 L CH₄/g SV usando excretas bovinas en codigestión con el lactosuero (Escalante, 2017). Para este caso, el ensayo número 1 no alcanzó su PBM, puesto que culminó al día 15 por motivos ajenos al presente estudio, mientras que el ensayo número 2 alcanzó su PBM al día 49 siguiendo su desarrollo ideal.

Se puede analizar que el potencial bioquímico metanogénico de todos los ensayos superó los valores referenciados en el estudio previo (Bolen, 2022), pero está por debajo de los reportados en Escalante (2017), esto puede relacionarse con el hecho de que las excretas bovinas son grandes generadoras de metano, además brindan al sistema un amortiguamiento de pH puesto que proporciona alcalinidad (Escalante, 2017). Sin embargo, de forma general, el lactosuero coagulado mediante calor (LN) obtuvo los rendimientos más altos, esto puede deberse a que el lactosuero es un sustrato problemático por su tendencia a la acidificación (Bolen, 2022) y al coagularse con ácido acético se favorecería la baja de pH y con ello una posible inhibición de las bacterias metanogénicas cuyo pH es estricto para su

adecuada reproducción.

Conclusiones

El lactosuero es un sustrato con alto potencial de valoración y recuperación energética por medio del PBM, generando una alternativa sostenible para las industrias lecheras dado que podrían suplir sus necesidades energéticas, obteniendo ahorros promedio para energía eléctrica entre 16 000 y 26 000 pesos colombianos para el PBM obtenido en el presente estudio, mejorando así su cadena productiva. Sin embargo, este PBM dependerá del tipo de proceso con el que se lleve a cabo la elaboración del queso, ya que de esto depende el pH y la cantidad de materia orgánica y nutrientes en el medio.

Sumado a lo anterior, los valores obtenidos de la cinética son de gran utilidad para el diseño de un biorreactor a escala piloto.

Se recomienda a las industrias lácteas el fomento de técnicas naturales para la elaboración del queso si se pretenden implementar sistemas de digestión anaerobia para la valorización energética del lactosuero, ya que al agregar aditivos químicos ácidos se reduce de forma significativa la producción de metano.

Referencias

Escalante, H. C.-E. (2017). *Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for the dairy sector in developing countries*. New York: Waste management,.

Se recomienda a las industrias lácteas el fomento de técnicas naturales para la elaboración del queso si se pretenden implementar sistemas de digestión anaerobia para la valorización energética del lactosuero.