

## DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS FRIGORÍFICOS Y URBANOS

**Costamagna, Stefanía**

*Grupo de Procesos Biológicos en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas UNL, Ciudad Universitaria, Santa Fe, Argentina*

*Director/a: Morero, Betzabet del Valle*

*Codirector/a: Seluy, Lisandro Gabriel*

Área: Ingeniería

Palabras claves: Codigestión, RSU, residuos frigoríficos.

### INTRODUCCIÓN

En Argentina, un 35,3 % de la población enfrenta una gestión inadecuada de residuos urbanos. Desde la Ley 27191 de 2015, la generación de energía a partir de biomasa, especialmente mediante biogás, ha ganado importancia. La digestión anaeróbica (DA) se destaca por su capacidad para convertir residuos orgánicos en energía, contribuyendo a la transición energética y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Este trabajo analiza el potencial de producción de metano en la Provincia de Santa Fe, evaluando residuos de la industria frigorífica y urbanos, evaluando diferentes modelos cinéticos para predecir la producción de metano y determinar parámetros clave para la simulación y modelado del proceso.

### OBJETIVOS

- Evaluar distintos modelos matemáticos para estudiar el comportamiento de la digestión anaeróbica.
- Determinar los parámetros cinéticos de los modelos analizados para la co-digestión de diversas mezclas de residuos de la industria frigorífica y residuos sólidos urbanos

Título del proyecto: Sistemas integrados anaerobios - aerobios para el tratamiento y valorización de efluentes industriales.

Instrumento: PROYECTO CAI+D 2020 PI TIPO I

Año convocatoria: 2020

Organismo financiador: UNL

Director/a: Seluy, Lisandro Gabriel

### METODOLOGÍA



## Residuos e Inóculo

Los sustratos que se utilizaron en las diferentes experiencias incluyeron residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de un establecimiento frigorífico ubicado en la ciudad de Nelson (Santa Fe). Los RSU contienen restos de alimentos, cáscaras de frutas y verduras, etc., y fueron generados dentro del grupo de trabajo. Los residuos del frigorífico incluyeron las corrientes roja y verde. La primera se refiere a los residuos de sangre y otros fluidos corporales de los animales sacrificados. La corriente verde comprende los residuos estomacales y digestivos de los animales. Para los ensayos de codigestión, se construyeron dispositivos con frascos de borosilicato de 500 mL conectados a un sistema de captura por desplazamiento volumétrico para medir el biogás producido. El reactor se conectó directamente a este sistema por lo que el volumen desplazado equivale al volumen de biogás generado (Figura 1). Los ensayos se realizaron con 400 mL de mezcla, una concentración de sólidos totales del 7,5% m/v y una relación de 2:1 (v/v) de inóculo a residuos. Se realizaron 2 ensayos con diferentes mezclas de residuos para evaluar la eficiencia en la producción de biogás, incluyendo un reactor control en el cual el residuo se reemplazó por agua, como referencia. Los ensayos se llevaron a cabo en condiciones mesófilas (35-37°C) durante 30-40 días, cuantificando diariamente el biogás producido. Los biodigestores se agitaron manualmente cada día para asegurar la adecuada dispersión de microorganismos, nutrientes y la liberación de gas atrapado.



Figura 1. Sistema de colección de biogás

## Modelos cinéticos

Luego de una extensa búsqueda de bibliografía, se observó que los modelos cinéticos que mejor representan la producción de biogás, son el Modelo de Gompertz y el Modelo de función logística. La ecuación de modelo de Gompertz se muestra a continuación:

$$Y = a * \exp(-b * \exp(-c * x)) \quad (1)$$

Por su parte, la ecuación del modelo de función logística, es la siguiente:

$$Y = \frac{a}{1+b*\exp(-c*t)} \quad (2)$$

Utilizando estas ecuaciones, se determinaron las constantes cinéticas que permitieron la mejor representación de los resultados experimentales obtenidos para las combinaciones de residuos,

utilizando el programa R.

### Caracterización de sustratos

Para cuantificar los sólidos totales (ST) de los sustratos (Eaton, 1995), se filtraron 5 ml de residuos mediante filtros Watman de 0,45  $\mu\text{m}$  bajo vacío. El sólido retenido en el filtro se secó a 100°C hasta alcanzar un peso constante, eliminando la humedad residual, y luego se pesó con una balanza analítica para determinar el SST, expresado en gramos por litro (g/L). Para cuantificar los sólidos volátiles (SV), el filtro seco se llevó a 550°C en una mufla durante 15 minutos. El peso final obtenido representó los sólidos suspendidos fijos; la diferencia entre ST y fijos corresponde a los SV.

Los RSU presentaron un contenido de ST del 92,05% en masa, de los cuales el 63,32% eran SV. El inóculo contenía un 6,76% en masa de ST, de los cuales el 92,47% eran SV. El residuo rojo mostró un 93,26% en masa de ST, con un 80,11% de SV. Por otro lado, el residuo verde, una vez seco, presentó un 99,85% en masa de ST, de los cuales el 87,22% eran SV. En base en los valores de ST obtenidos, se determinaron las cantidades de residuos a agregar según las siguientes proporciones para cada mezcla: 100% Rojo (M1), 100% Verde (M2), 8% Rojo, 74% Verde, 18% RSU (M3), 7% Rojo, 63% Verde y 30% RSU (M4) y 10% Rojo y 90% Verde (M5).

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Figura 2 se muestra el volumen acumulado de biogás en relación a los gramos de sólidos volátiles iniciales, en función del tiempo.

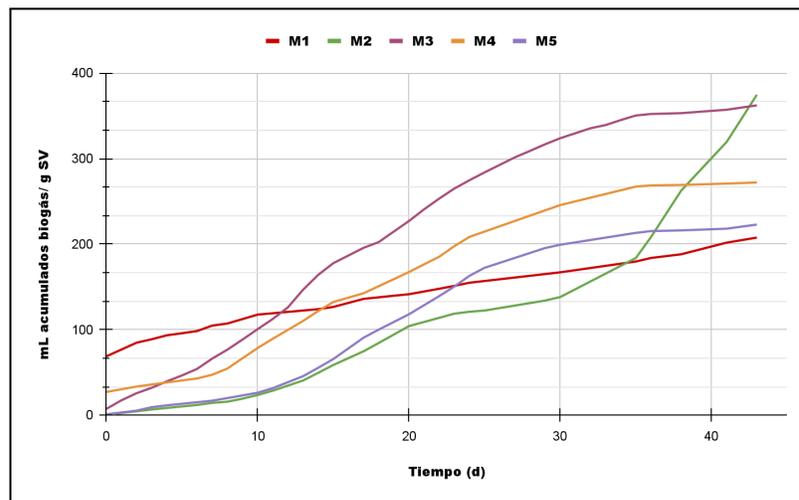


Figura 2: Producción acumulada de biogás en los distintos ensayos de codigestión.

Con respecto a los modelos cinéticos utilizados para representar la producción de biogás, el modelo de Gompertz mostró una muy buena aproximación ya que captura la desaceleración del crecimiento a medida que una población se acerca a su capacidad máxima. Por su parte, el modelo de función logística también fue preciso ya que considera que la tasa de producción de biogás es proporcional a la cantidad de biogás ya producido, a la tasa máxima de producción y a la capacidad máxima de producción de biogás (Donoso-Bravo et al., 2010). Las constantes cinéticas de ambos modelos, para las distintas mezclas ilustradas en la Figura 2, se detallan en la Tabla 1.

Como se observa en la Figura 2, la Mezcla 2 mostró una alta capacidad de producción de biogás (375 mL biogás/ g SV), reflejada en los altos valores de los coeficientes de ambos modelos, lo que indica una considerable producción potencial de metano. Asimismo, las pruebas revelaron que las mezclas específicas de residuos, especialmente aquellas con un porcentaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), tuvieron un rendimiento notable en la producción de biogás (362 mL biogás/ g SV). La presencia de RSU mejora la biodisponibilidad de nutrientes y sustratos para los microorganismos, facilitando una mayor producción de metano.

Tabla 1. Parámetros cinéticos. Modelo de función logística.

MODELO FUNCIÓN LOGÍSTICA					
Parámetros	m1	m2	m3	m4	m5
coeficiente a	239.832	123,936.800	220.611	363.265	282.746
coeficiente b	2.072	6,884.704	65.429	15.271	12.512
coeficiente c	0.053	0.068	0.207	0.157	0.142
R <sup>2</sup>	0.990	0.970	1.000	0.997	0.998
MODELO DE GOMPERTZ					
coeficiente a	270.544	564,768.300	233.855	388.936	308.793
coeficiente b	1.269	10.591	9.026	3.830	3.346
coeficiente c	0.033	0.008	0.126	0.096	0.084
R <sup>2</sup>	0.992	0.971	0.997	0.999	0.996

## CONCLUSIONES

La codigestión de residuos frigoríficos y urbanos es una estrategia efectiva para la producción de biogás. Los residuos verdes (M2), debido a su alto contenido de SV, demostraron un gran potencial para la generación de metano. Los modelos cinéticos evaluados (Gompertz y Función logística) permitieron predecir de manera precisa la producción de biogás, contribuyendo a la optimización del proceso. Estos hallazgos subrayan la importancia de continuar investigando en la optimización de la digestión anaerobia para mejorar la gestión de residuos y avanzar en la transición hacia energías renovables.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Çetinkaya A, Yetilmezsoy K. 2021.** Evaluation of anaerobic biodegradability potential and comparative kinetics of different agro-industrial substrates using a new hybrid computational coding scheme. Editorial: Elsevier.
- Eaton, A., Clesceri, L., Greenberg, A.E., M.A.H, F. 1995.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. 1995.
- Sales Morais N, Coelho M, et al. 2021.** Biochemical potential evaluation and kinetic modeling of methane production from six agro-industrial wastewaters in mixed culture. Editorial: Elsevier.
- Quelal O, Hurtado D. 2023.** Anaerobic Fermentation of Slaughterhouse Waste—Codigestion with Wheat Straw to Determine Methane Biochemical Potential and Kinetic Analysis. Editorial: Fermentation.