

CODIGESTIÓN ANAEROBIA DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA Y LODOS RESIDUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE EFLUENTES Y BIOGÁS

(García Vargas Karla (1), (Bernal Martínez Arodí (2))

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [karla.garciavargas@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [karla.garciavargas@ugto.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [arodiberna@ugto.mx]

Resumen

En este proyecto se tiene la finalidad de evaluar las eficiencias de eliminación de un codigestor anaerobio de aguas residuales lácteas por medio de la eliminación de nutrientes, la producción de biogás y la generación de biosólidos. El codigestor anaerobio fue alimentado con aguas residuales lácteas y lodos primarios a una Carga Orgánica de 1.6 gDQO/L*d. El sistema presentó un 80% de eliminación de la DQO soluble y un 65% de los SSV. La producción de biogás fue de 2.5 L por día, los patógenos (Coliformes totales, fecales y salmonella) son eliminado en un 90 por ciento. El biosólido generado puede ser aplicado como biofertilizante, ya que es tóxico para las plantas.

Abstract

This project aims to evaluate the removal efficiencies of an anaerobic codigestor of dairy wastewater through nutrient removal, biogas production and the generation of biosolids. Anaerobic codigestor was fed dairy wastewater and primary sludge to an organic load of 1.6 gCOD / L * d. The system showed a 80% removal of soluble COD and 65% of the SSV. Biogas production was 2.5 L per day, Pathogens (total coliforms, fecal coliforms and salmonella) are removed by 90 percent. The biosolids generated can be applied as biofertilizer, as it is toxic to plants.

Palabras Clave

Codigestión; Anaerobio; Biogás; Biosólido; Aguas residuales lácteas

INTRODUCCIÓN

La agroindustria quesera (AIQ) mexicana se enfoca a la producción de quesos frescos, siendo las empresas queseras más importantes en México, aquellas que se ubican en el norte y en los estados de Jalisco y Guanajuato, alrededor del 40% de estas empresas cuentan con procesos artesanales [1]. El suero lácteo por sí solo, es el efluente resultante de la fabricación de queso que se origina después de separar la leche, la caseína y las grasas mediante coagulación. El suero constituye aproximadamente el 90% del volumen de la leche y contiene la mayor parte de sus componentes solubles en agua (retiene aproximadamente el 55% de los nutrientes de la leche), por lo que, este líquido es producido en grandes cantidades por las industrias que se dedican a la fabricación de dicho alimento. El suero lácteo en conjunto con otras sustancias como ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes y otros productos de limpieza para aparatos y maquinas conforma las Aguas Residuales Lácteas (ARL), y debido a las características que posee, ocasionan un serio problema ambiental, ya que en ocasiones este efluente es dispuesto de manera inadecuada [2] a cuerpos de agua y drenajes municipales sin tratamiento previo, lo que conlleva a la alteración de las propiedades fisicoquímicas de los ecosistemas con los que entra en contacto. Actualmente, el suero lácteo se puede utilizar para fabricar alimentos para el ganado, deshidratarlo y convertirlo en leche en polvo para consumo humano e incluso en la fabricación de algunos fertilizantes. La digestión anaerobia de ARL es una opción económica y viable para el tratamiento de las mismas, sin embargo este tipo de sustrato puede ser un problema para el desarrollo óptimo en un digestor. Es por ello, que la codigestión es el tratamiento anaerobio, donde una mezcla de dos o más residuos orgánicos de diferente origen y composición, mejora el balance de nutrientes y las características fisicoquímicas del sustrato, y por lo tanto ayuda a una mejor estabilización del digestor y asimismo a una mayor producción de biogás y a la generación de biosólidos de una mejor calidad. El objetivo de este trabajo fue determinar las eficiencias de eliminación de contaminantes, la producción de biogás y los biosólidos generados en un codigestor anaerobio de aguas residuales lácteas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento del objetivo planteado, esta investigación se dividió en tres etapas: la primera fue el muestreo y caracterización fisicoquímica de las Aguas residuales lácteas y lodos primarios, la segunda etapa fue el control y seguimiento de un codigestor anaerobio a escala laboratorio y la tercera etapa fue la realizado un bioensayo de toxicidad sobre los biosólidos generados.

Etapa 1. Muestreo y caracterización fisicoquímica de los cosustratos

El ARL fue muestreada de la empresa ubicada en Silao, Gto. y los LP provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales de JAPAMI en la ciudad de Irapuato, Gto. Los sustratos fueron caracterizados fisicoquímicamente de acuerdo a los métodos estándar [3] y los parámetros determinados para cada uno de los sustratos fueron: DQO, Sólidos en todas sus formas, Conductividad, pH, alcalinidad, Ácidos grasos volátiles (AGV).

La mezcla de sustratos (influyente), se ajustó a un pH dentro de un rango de 6.75-7 con NaOH•5N. Una vez que se realizó la caracterización, el efluente recibió un tratamiento, a fin de eliminar los sólidos gruesos que podrían ocasionar daños en el sistema hidráulico, y de esta manera obtener el biosólido.

Etapa 2. Implementación del bioproceso anaerobio

La codigestión anaerobia se operó a nivel laboratorio, mediante un reactor discontinuo de vidrio de borosilicato de 3 L, enchaquetado previsto de un agitador magnético para brindar al sistema una mezcla completa y un termómetro de vidrio para el registro de la temperatura. Este reactor fue alimentado con una mezcla 1:1 de los sustratos (ARL: LP).

En el sistema se evaluó la Carga Orgánica (CO): de 1.6 gDQO/L*d y un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 22 días.

Diariamente se registró el volumen de biogás producido, a través del desplazamiento de líquido en una columna de agua. Finalmente se llevó a cabo un estudio microbiológico (Coliformes Totales, Fecales y Salmonella).

Etapa 3. Bioensayo de toxicidad

Se realizaron bioensayos de toxicidad para evaluar el potencial de germinación de semillas de lechuga con los biosólidos generados. Los lodos fueron secados y evaluados en tres relaciones de Biosólido: Suelo. Para cada una de las mezclas se determinó el pH, conductividad; materia orgánica y nitrógeno total. Las relaciones de %BS:%S en la prueba de bioensayo fueron: 100 BS, 75:25, 50:50, 25:75, 100 S.

El bioensayo se realizó en cajas petri de 5.5 cm, en cada caja se depositaron 10 g suelo en peso seco y se colocaron 10 semillas de lechuga (*Lactuca Sativa L.*). A los cuatro días, una vez que las semillas habían germinado se realizó una trasplante y las semillas germinadas se colocaron nuevamente en cajas petri las cuales contenían 10 g de la muestra (triplicado), este procedimiento se llevó a cabo para acelerar el crecimiento de la radícula durante un periodo de 15 días con la finalidad de estimar el índice de germinación (Fórmula 1).

$$IG = \frac{G \times L}{G_e \times L_e}$$

Fórmula 1: Índice de Germinación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa 1. Muestreo y caracterización fisicoquímica de los cosustratos.

En la tabla 1 se observa que ambos sustratos (ARL y LP) presentaron una DQOt elevada, 50.54 y 48.01 g/L respectivamente, sin embargo en el valor de la DQOs se observa una diferencia muy marcada, siendo el ARL el sustrato que aporta la mayor cantidad de material soluble. En cuanto a pH, 3.7 para ARL y 6.96 para el LP por lo que, la alcalinidad para amortiguar los cambios de pH dentro del sistema es aportada por este sustrato. Asimismo, el valor de DQOt en el cosustrato se mantuvo en un valor de 51.31 g/L en promedio.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de los sustratos y el cosustrato

Parámetro	ARL	LP	Cosustrato
DQOt(g/L)	50.54±1.47	48.01±0.8	51.31±0.29
DQOs(g/L)	32.49±0.94	3.99±0.04	8.09±0.02
SST(g/L)	3.74±0.05	119.68±10	61.04±10.38
AGVs(mg/L)	556.25±12	1287.5±72	1823.28±487.65
Conductividad (mS/cm)	4.41±0.02	8.77±0.38	9.19±0.71
pH	3.7±0.21	6.96±0.68	6.86±0.01
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	NA	920±43.6	532.17±320.46

Etapa 2. Implementación del bioproceso anaerobio

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el proceso durante los 30 días de operación.

Los principales parámetros que determinaron el buen funcionamiento del reactor fueron los siguientes: Temperatura constante de 35°C, DQO total de 35.66 g/L para el influente y 12.83 g/L en el efluente. La DQO soluble fue de 8.30 g/L en el influente y 1.8796 g/L para el efluente. La conductividad obtenida para el influente fue de 8.0225 mS/cm y 11.3925 mS/cm en el efluente, el pH fue de 6.87 y 8.37 respectivamente, la alcalinidad de 532.5 mgCaCO₃/L para el influente y 810 mgCaCO₃/L para el efluente. El Potencial Redox (ORP) fue de -418 mV y -458.3 mV respectivamente y los Ácidos grasos volátiles (AGV) fueron de 502.5 mg/L para el influente y 122.5 mg/L para el efluente.

DQO total y soluble

En la imagen 1 se observa un porcentaje de eliminación de DQOt promedio de 60.29%, teniendo una concentración en la entrada de 35.66 g/L y en la salida 12.8355 g/L. En los procesos de digestión anaerobia, se reportan porcentajes de eliminación del 50 al 70% [4].

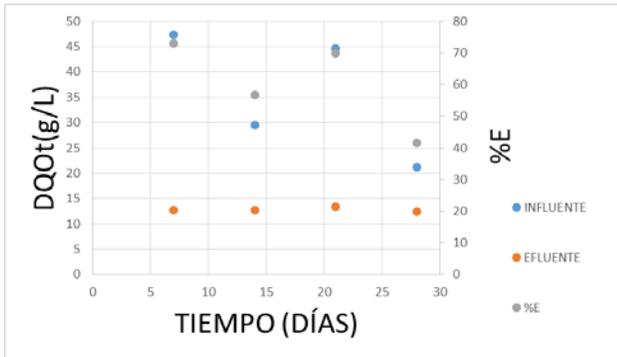


IMAGEN 1: Comportamiento de la DQO total

En cuanto a la DQOs (imagen 2) representó un % de eliminación de 77.35%, esto indica que la digestión anaerobia funcionó correctamente en la toma de material soluble.

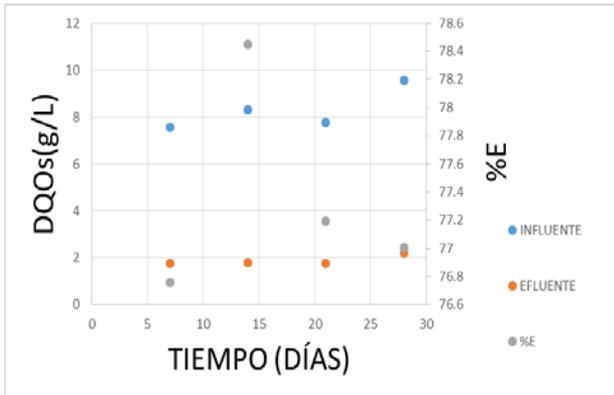


IMAGEN 2: Comportamiento de la DQO soluble

Sólidos suspendidos volátiles El porcentaje de eliminación de los SSV fue del 63.7%. Cabe destacar que los porcentajes de eliminación de SSV en los procesos de digestión anaerobia se encuentran entre 40-60 % y 67-81%

Tabla 3: Porcentajes de eliminación para los SSV

CO (gDQOt/L*d)	Influyente	Efluente	%E
1.6	23.85	8.66	63.68

Coliformes totales, fecales y Salmonella

En el bioproceso antes descrito no sólo se lleva a cabo la eliminación de parámetros fisicoquímicos, sino que también se reducen de manera considerable algunos patógenos, estos son:

Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y Salmonella los cuales presentaron un % de eliminación del 92.8 %.

Producción de Biogás

En la imagen 3 se muestra la producción de biogás diario producido. (28 días).

La producción de biogás diario fue en aumento conforme pasaban los días. Se puede observar que durante los primeros 11 días se producían alrededor de 2 L diarios, más sin embargo los días siguientes se producían cerca de 3 L al día. La producción promedio de biogás por día fue de 2397.5 L.

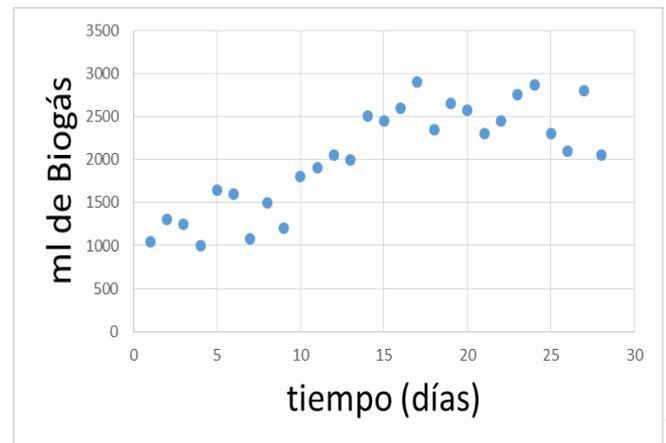


IMAGEN 3: Producción diaria de biogás en el biodigestor

Etapa 3. Bioensayo de toxicidad

Los índices de germinación obtenidos se muestran en la imagen 4, como se puede observar el índice de germinación se encuentra por encima de 40%, y por tanto; se puede decir que el biosólido no causa efectos negativos sobre las plantas. [5]

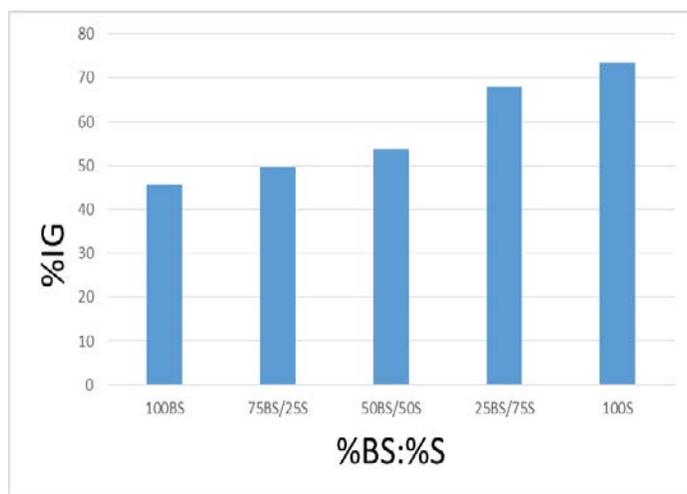


IMAGEN 4: IG obtenido en el bioensayo

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica realizada a cada una de las proporciones del bioensayo, se puede observar que a medida que la cantidad de biosólido, aumentan los parámetros medidos: pH, conductividad; %MO y NT, más sin embargo cabe destacar que el mayor porcentaje de MO le corresponde a la proporción 100 BS y el índice de germinación de este es bajo, lo cual puede deberse a la relación de nutrientes que aportan los sustratos.

Tabla 4: Caracterización fisicoquímica de las relaciones LD:S

Parámetro	100 BS	75:25	50:50	25:75	100 S
pH	8.78	7.93	7.59	6.71	5.8
Conduct. (µS/cm)	1684	1355	1145	682	62
%MO	12.57	12.3	12.03	11.75	5.92
NT(mg/LN)	350	250	200	100	0

CONCLUSIONES

- 1) Las características fisicoquímicas de los sustratos demuestran que ambos se complementan y que cada uno aportó una característica adecuada y por lo tanto el desarrollo de este bioproceso se llevó a acabo de manera favorable.
- 2) Respecto a la carga orgánica utilizada, se puede concluir que fue eficiente ya que los

porcentajes de remoción expresados en la DQO total y soluble así como de SSV fueron por arriba del 60%.

- 3) En cuanto al bioensayo, los índices de germinación de las plántulas se mostraron eficientes, con ello el biosólido generado es considerado no tóxico, pues no presento efectos negativos sobre las mismas.
- 4) La producción de biogás es aceptable y se puede concluir que este bioproceso es una buena alternativa ecológica para la producción de energía y uso de tecnologías enfocadas a la sustentabilidad del medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Pomeón, T. y Cervantes F., "El sector lechero y quesero en México de 1900 a 2009: entre lo global y local", Universidad Autónoma Chapingo (CIESTAAM), 2010.
- [2] Álvarez, J., y Rodríguez E. "Eficiencia de remoción de los parámetros de control para un biofiltro anaerobio utilizado en el tratamiento de agua residual doméstica", Kuxulkab, Vol. XV, No. 28, p. 21-27, 2009.
- [3] APHA, AWWA & WPCF. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th edition. Washington, D.C.
- [4] Kavacik, B. & Topaloglu, B. "Biogas production from codigestión of a mixture of cheese whey and dairy manure", Art. Biomass and bioenergy, No. 34, p 1321-1329, 2010.
- [5] Sobrero M., Ronco A. "Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (Lactuca sativa)" Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de Aguas, Ottawa, Canadá, Ed. Castillo, p 71-79, 2004.