

## EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE UN INÓCULO ANAEROBIO PRETRATADO TÉRMICAMENTE

Hernández-Vásquez L.A., Vallejo-Cantú N.A., Alvarado-Lassman A.<sup>1</sup>, Reyes-Rosas S.

<sup>1</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba  
Oriente 9, Emiliano Zapata Sur C.P. 94320 Orizaba, Ver.

Tel./Fax. (272) 72 5 70 56 / 724 4096.

lassman@prodigy.net.mx

Recibido: 28 de Septiembre 2019, Aceptado: 18 de Noviembre 2019.

### Resumen

La industria citrícola produce una cantidad considerable de residuos sólidos y líquidos, los cuales en su mayoría son desaprovechados. La digestión anaerobia de los lodos residuales es una opción atractiva ya que puede producir combustibles en forma de gas metano. Sin embargo, la presencia de compuestos orgánicos complejos y microorganismos patógenos dificulta considerablemente la eficacia de este proceso. El objetivo de este trabajo es la selección de una fuente de inóculo libre de microorganismos patógenos mediante un pretratamiento térmico y de esta manera sea propicio para el tratamiento de Lodos residuales provenientes de la industria Citrícola. El inóculo fue tomado de un reactor de geomembrana el cual utiliza estiércol de ganado bovino como sustrato. Se realizaron 6 cinéticas de biodegradabilidad, variando la relación sustrato-inóculo, tres de ellas con Inóculo sin pretratamiento y otras tres con tratamiento, todos bajo condiciones mesofílicas. Se determinaron parámetros SV, pH, y la producción de biogás.

*Palabras clave: Digestión anaerobia, Inóculo anaerobio, lodos residuales, biodegradabilidad*

### Abstract

The citrus industry produces a considerable amount of solid and liquid waste, which are mostly wasted. Anaerobic digestion of sewage sludge is an attractive option as it can produce fuels in the form of methane gas. However, the presence of complex organic compounds and pathogenic microorganisms significantly hinders the effectiveness of this process. The objective of this work is the selection of a source of inoculum free of pathogenic microorganisms by means of a thermal pretreatment and in this way is conducive to the treatment of residual sludge from the Citrus industry. The inoculum was taken from a geomembrane reactor which uses cattle manure as a substrate. 6 biodegradability kinetics were performed, varying the substrate-inoculum ratio, three of them with inoculum without pretreatment and another three with

treatment, all under mesophilic conditions. SV parameters, pH, and biogas production were determined.

*Keywords: Anaerobic digestion, Anaerobic inoculum, residual sludge, biodegradability*

## Nomenclatura

S.V.	Sólidos Volátiles,
I.A.S.	Inóculo Anaerobio Sin tratamiento
I.A.P.	Inóculo Anaerobio Pretratado
L.R.C.	Lodo Residual Citrícola

## Introducción

La industria citrícola se caracteriza por un consumo elevado de agua durante el proceso de elaboración, el cual tiene que ser tratado por procesos físicos o químicos, generando lodos residuales. (Coelho et al., 2011). Los lodos residuales en su mayoría tienen una disposición final incorrecta produciendo elevados índices de contaminación. Anteriormente, la eliminación de los lodos se ha llevado a cabo a través de métodos tradicionales, como la incineración, relleno de tierra o confinamiento. Sin embargo, esto no disminuye el impacto medioambiental, y en algunos casos no se cumplen con las leyes, dando lugar a otras opciones como la eliminación por métodos biológicos, es decir, el compostaje aeróbico y la digestión anaerobia. (Semblante et al., 2015; Chang et al., 2011).

La digestión anaerobia está influenciada por diferentes factores, en donde la relación sustrato-inóculo (S/I) es un factor clave para la optimización del proceso. Parra-Orobio y col., (2015). Mencionan que es necesario emplear un cultivo bacteriano viable que contenga un amplio espectro de microorganismos, ya que el inóculo se reproduce hasta alcanzar una población microbiana lo suficientemente importante como para poner en óptimo funcionamiento el proceso de digestión anaerobia. Sin embargo, la presencia de compuestos orgánicos complejos, microorganismos patógenos, sustancias poliméricas extracelulares, y diversos compuestos inhibidores dificulta considerablemente la eficacia del proceso de digestión anaerobia de lodos residuales (Anjum et al., 2016). Mediante la aplicación de un tratamiento térmico se puede generar un lodo rico en nutrientes disponibles, los cuales pueden ser aprovechados con mayor facilidad en los procesos anaerobios (Yamaguchi et al., 2006). El tratamiento térmico permite la solubilización de la materia orgánica y facilita la fase de hidrólisis, que es la tasa de limitación (Coelho y col., 2011).

## Metodología

### 2.1 Procedencia del inóculo

El Inóculo anaerobio sin tratamiento (IAS) fue tomado de un biodigestor de geomembrana, el cual trabaja con un sustrato de excretas de ganado bovino. Posteriormente se tomaron muestras y se colocaron en matraces Erlenmeyer sellados, para posteriormente llevarlos a un baño termostático durante una hora a temperatura y presión constante de 90 °C y 1 ATM respectivamente. Rodríguez de la luz (2018) demuestra que estas condiciones de pretratamiento térmico inactiva micro organismos patógenos como *salmonella spp* y coliformes fecales.

### 2.2 Regeneración de la actividad metanogénica

Una vez obtenido el Inóculo Anaerobio Pretratado (IAP) se procedió a realizar una reactivación de la actividad metanogénica esto con el fin de que la comunidad bacteriana no se viera afectada después del pretratamiento térmico, para ello el IAP fue alimentado con un sustrato simple que fue glucosa, este al ser un sustrato fácil de digerir, logró que la comunidad bacteriana se pudiera reproducir rápidamente y para ello el IAP se dispuso en matraces Erlenmeyer de 500 mL, se aisló del oxígeno para que el medio estuviera en condiciones anaerobias, se colocó en constante agitación y a una temperatura de 35 ±2 °C.

### 2.3 Pruebas de biodegradabilidad

Para evaluar la biodegradabilidad se montaron 6 cinéticas, todas utilizando como sustrato Lodo residual cítrico (LRC), pero se varió la relación Sustrato-Inóculo (S/I). Por otra parte, se evaluaron 3 periodos de residencia, como se muestra en la Tabla 1. De la cinética 1 a la 3 son con IAS y de la 4 a la 6 con IAP.

Para dichas pruebas se colocaron las muestras en matraces Erlenmeyer de 500 mL totalmente sellados, colocados en un agitador orbital y dentro de un cuarto a temperatura controlada de 35 ±2 °C, se determinaron SV por el método estándar 2540 G S.M., pH utilizando un potenciómetro CONDUCTRONIC pc 18 y la producción de Biogás se midió por medio de desplazamiento de agua.

Tabla 1. Formulación de los tratamientos

Relacion S/I (%)	10 (S) - 90 (I)	30 (S) - 70 (I)	50 (S) - 50 (I)
Tiempo de residencia (días)	10	10	10
	15	15	15
	20	20	20

Por último, para evaluar las mejores condiciones para el desarrollo del inóculo anaerobio pretratado se aplicó un diseño experimental factorial 3<sup>2</sup>, utilizando el software de análisis estadístico NCSS 2007.

## Resultados y discusión

### 3.1 Pruebas de biodegradabilidad

El comportamiento para IAS se muestra de la cinética 1 a la 4, donde se puede observar que existe un ligero incremento en el contenido SV, pero a medida que transcurre el tiempo se estabiliza, esto es similar a lo presentado por ZahidGaur y Suthar (2017).

Para el IAP el comportamiento es semejante a lo presentado por Wang et al. (2010) y Li et al. (2017) quienes evaluaron el efecto del pretratamiento térmico en la remoción de SV logrando observar un incremento en la remoción de estos, similar a lo presentado en este trabajo.

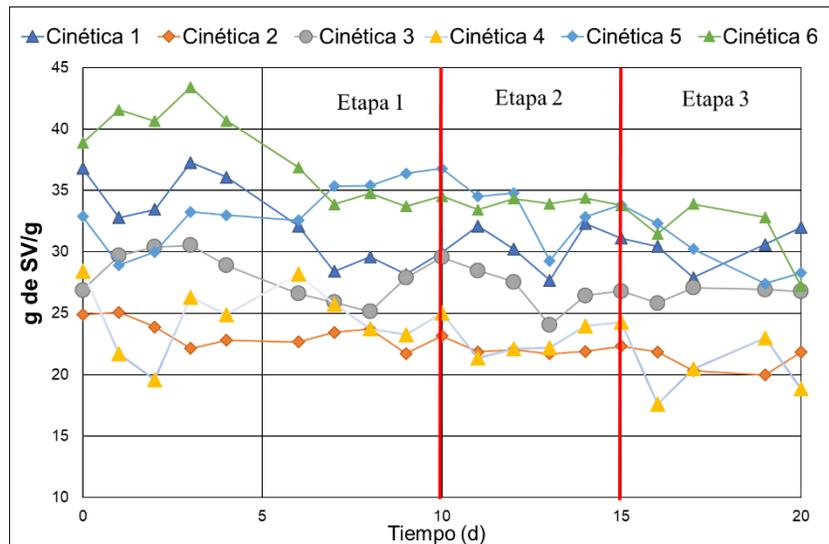


Figura 1. Contenido de SV en cinéticas de biodegradabilidad

En la Figura 2 se muestra el pH, se observa que existe una tendencia de mantenerse dentro de los rangos de neutralidad, sin embargo, es notable un ligero incremento conforme avanza el tiempo esto es similar a lo presentados por Luis-Garcez (2015) quien evaluó la codigestión de excretas bovinas con residuos de la industria citrícola obteniendo un pH ligeramente elevado a medida que transcurre el tiempo, esto sin causar inhibición en el proceso.

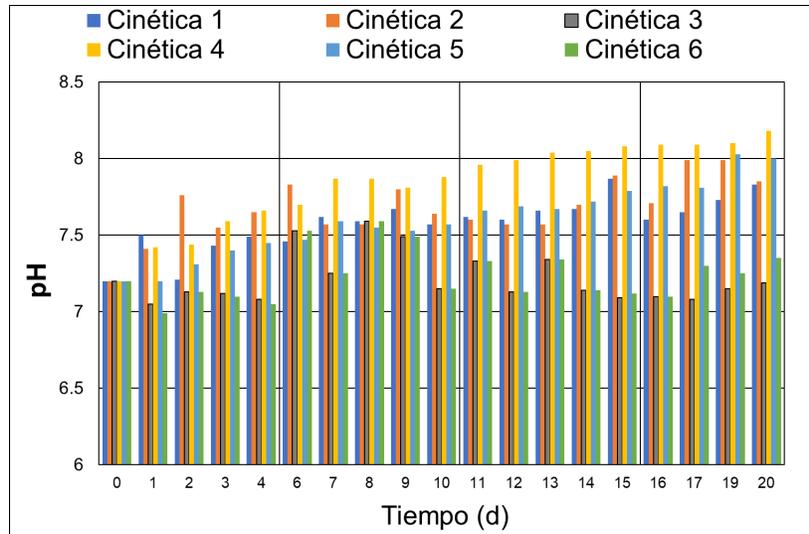


Figura 2 Perfil del pH en cinéticas de biodegradabilidad

Los resultados mostraron que la producción total de biogás de la digestión de L.R. es superior para las cinéticas que utiliza el IAS, similar a lo obtenido por Roa-Rosas et al. (2015) quien utilizó de la misma manera excretas de ganado bovino como inóculo para el proceso de digestión anaerobia. Sin embargo no se encuentra información de estudios utilizando este inóculo de estiércol pretratado termicamente.

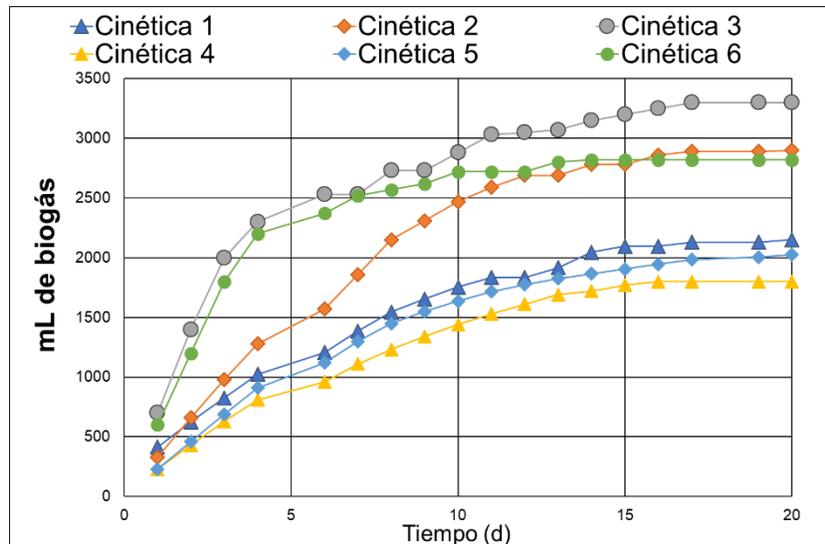


Figura 3 Producción de Biogás en cinéticas de biodegradabilidad

### 3.2 Análisis estadístico de la biodegradabilidad del IAP

El Análisis de varianza muestra que el tiempo de residencia tiene mayor influencia para las cinéticas de biodegradabilidad. En cuanto a la relación Inóculo-sustrato se muestra que los experimentos con una proporción de 90 % IAP tiene mejores remociones.

Tabla 2. Análisis de varianza

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F-Ratio	Nivel de probabilidad	(Alpha=0.05)
TRH	2	714.89	357.45	67.73	<b>0.000823*</b>	0.997
Porcentaje de IAP	2	176.22	88.11	16.69	<b>0.011445*</b>	0.924
S	4	21.11	5.28			
Total (Ajustado)	8	912.22				
Total	9					

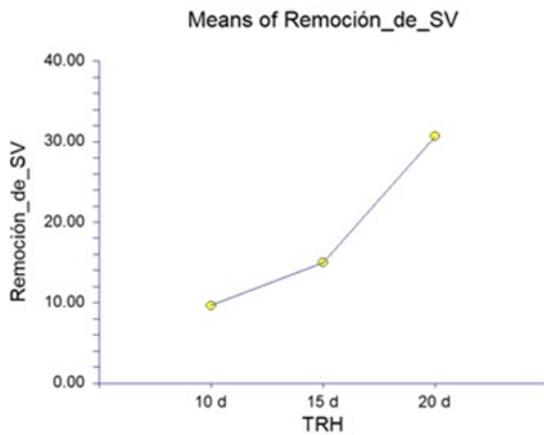


Figura 4. Medias Remoción- TRH

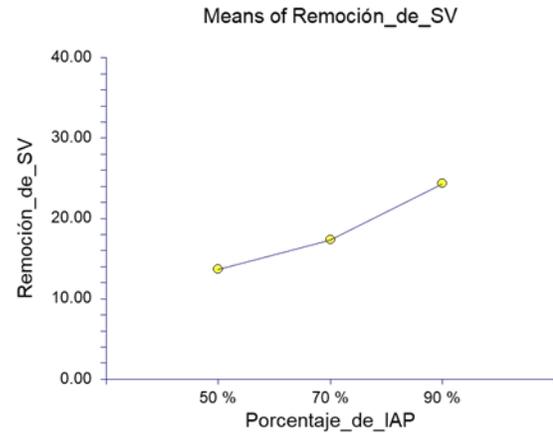


Figura 5. Medias Remoción- IAP

## Conclusiones

Se demostró la posibilidad de tratar por digestión anaerobia los Lodos Residuales Citrícolas con un Inóculo tratado térmicamente. Obtenidos valores del potencial en la producción de biogás (por encima de 2,500 mL de biogás). Por otra parte, se demostró que la cinética de IAP removi6 mayor contenido de S.V. siendo la cinética 90 IAP – 10 LR el que logr6 alcanzar mayor remoci6n. De la misma manera se demostr6 que la etapa 3 despu6s de 15 d6as tiene una mayor remoci6n. Por todo lo anterior los resultados son alentadores y alternativa para el uso de esta tecnolog6a a mayor escala con fines energ6ticos.

## Referencias

Anjum, M. N., H. Al-Makishah y M. A. Barakat, 2016. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. *Process. saf. environ.* **102**:615–632.

Chang, T. C., S. You, R. A. Damodar y Y. Chen. 2011. Ultrasound pre-treatment step for performance enhancement in an aerobic sludge digestion process. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* **42**: 801–808.

- Coelho, N. M. G., R. L. Droste y K. J. Kennedy. 2011. Evaluation of continuous mesophilic, thermophilic and temperature phased anaerobic digestion of microwaved activated sludge. *Water Research*. **45**(9):2822-2834.
- Luis-Garcez, A. L. 2015. Codigestión de residuos sólidos de la industria citrícola en un digester anaeróbico a nivel piloto. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Orizaba, México.
- Li, Y., Y. Jin, J. Li, H. Li, Z. Yu, y Y. Nie. 2017. Effects of thermal pretreatment on degradation kinetics of organics during kitchen waste anaerobic digestion. *Energy*. 118: 377-386.
- Roa-Rosas, J.U., A. Alvarado-Lassmann, N. A. Vallejo-Cantú y J.M. Méndez-Contreras. 2015. Cinéticas de degradación anaerobia de excretas bovinas para la producción de bioenergéticos. *CIM*. **3**:697-704.
- Rodriguez de la luz, M., N. A. Vallejo-Cantú, A. Alvarado-Lassmann y J.M. Méndez-Contreras. 2018. Obetencion de un inóculo especilizado apartir de excretas bovinas con inactivación de microorganismos patógenos. *CIM*. **6**:8102.
- Semblante, G. U., F.I. Haia, X.Huangb, A.S. Ball, W. E. Price y L. D Nghiema. 2015. Trace organic contaminants in biosolids: impact of conventional wastewater and sludge processing technologies and emerging alternatives. *J. Hazard. Mater.* **300**:1-17.
- Wang, W., H. Hou, S. Hu, X. Gao. 2010. Performance and stability improvements in anaerobic digestion of thermally hydrolyzed municipal biowaste by a biofilm system. *Bioresour. Technol.* **101**:1715-1721.
- Yamaguchi, T., Yao Y., Khiara Y. 2006. Biological sludge solubilisation for reduction of excess sludge production in stewater treatment process, *Water Sci. Technol.* **54**(5), 51-58.
- ZahidGaur, R., y S. Suthar. 2017. Anaerobic digestion of activated sludge, anaerobic granular sludge and cow dung with food waste for enhanced methane production. *J. Clean. Prod.* **164**:557-566.