



## **Efecto de la hidrólisis en la digestión anaerobia en dos etapas de los residuos de frutas y verduras**

Omar García-Elías<sup>1\*</sup>, Oscar Marín-Peña<sup>1</sup>, Alejandro Alvarado-Lassman<sup>1</sup>, Norma A. Vallejo-Cantú<sup>1</sup>, Erik S. Rosas-Mendoza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852 Col. E. Zapata, 94320, Orizaba, Veracruz, México.

<sup>2</sup>CONACYT- Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852 Col. E. Zapata, 94320, Orizaba, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: [omgenral10@gmail.com](mailto:omgenral10@gmail.com)

Recibido 19 de mayo de 2020; aceptado 22 de junio de 2020

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo consistió en analizar la Digestión Anaerobia (DA) en dos etapas, utilizando la fracción líquida obtenida a partir de un pretratamiento mecánico precedente de la etapa de hidrólisis de los Residuos Sólidos Orgánicos Municipales (RSOM). El pretratamiento mecánico consistió en la trituración de los RSOM y su centrifugación para separar las fracciones sólida y líquida. La DA en dos etapas se llevó a cabo en dos biorreactores operados en semicontinuo, un Reactor Hidrolítico (RH) y un Reactor Metanogénico (RM), de 1200 L y 2700 L, respectivamente. Como parte de los resultados, se obtuvieron remociones de DQOt de 69 %, DQOs de 71 %, ST de 60 % y SV de 77 %. Se alcanzó una producción de 28.72 L/h de biogás para el RH, así como 104.96 L/h de biogás para el sistema completo. De este modo, se demostró que la alternativa propuesta del pretratamiento mecánico evita los problemas operativos como el estancamiento de materia en los reactores, incrustación en los sistemas hidráulicos,

taponamiento de filtros de bombas, entre otros, las remociones de los efluentes de alta carga orgánica, así como el acelerar las reacciones de DA.

**PALABRAS CLAVE:** Digestión anaerobia, Biogás, Residuos de frutas y verduras, Hidrólisis

#### ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the Anaerobic Digestion (AD) in two stages, using as a substrate the liquid fraction obtained from a mechanical pretreatment, preceding the hydrolysis stage of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW). The mechanical pretreatment consisted of crushing and centrifuging the OFMSW to separate the solid and liquid fractions. Two-stage AD in two semi-continuous bioreactors, a Hydrolytic Reactor (HR) and a Methanogenic Reactor (MR), of 1200 L and 2700 L, respectively was carried out. As part of the results, removal efficiencies of: total COD of 69%, soluble COD of 71%, TS of 60% and VS of 77% were obtained. A production of 28.72 L/h of biogas for the HR, as well as 104.96 L/h of biogas for the complete system were achieved. Thus, it was demonstrated that the proposed alternative using the mechanical pretreatment were avoided operational problems such as stagnation of organic matter in the reactors, fouling in the hydraulic systems, plugging of pump filters, among others, were avoided, the high removal efficiencies with a high-organic concentration, as well as rapid reactions in the AD process.

**KEY WORDS:** Anaerobic digestion, Biogas, Fruit and Vegetable Wastes, Hydrolysis

#### INTRODUCCIÓN

La generación de los RSOM resulta de la eliminación de los materiales que se desechan en las actividades domésticas, los productos que se consumen y los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos (DOF, 2003). Los RSOM son materiales heterogéneos que tiene diversas características según el origen y el sistema de

recolección. A pesar de la heterogeneidad se compone principalmente de desechos de alimentos y se caracterizan por un alto contenido de humedad y una alta biodegradabilidad (Alibardi y Cossu, 2015).

Son una clase muy importante de residuos porque se producen en grandes cantidades en todos los mercados mayoristas y en otras actividades en el mundo y al desecharlos en rellenos sanitarios, es bastante difícil su

correcta disposición debido a su alta facilidad de descomposición. La producción de RSOM aumenta los costos operativos de los mercados debido tanto a las pérdidas de ventas como a los costos de transporte y eliminación. (Viswanath et al., 1992; Viturtia et al., 2011).

Menos del 20% de los RSOM se trata adecuadamente mediante DA, compostaje o en rellenos sanitarios (Liu et al., 2012). Este residuo ha sido ampliamente considerado como un sustrato disponible para la producción de metano a través de DA. Sin embargo, la carga orgánica reportada máxima para un solo reactor es de 3.6 kg SV/ m<sup>3</sup> día para el tratamiento por DA de RSOM (Ganesh et al., 2014). La fracción orgánica incluye aproximadamente 75 % de azúcares y hemicelulosa, 9 % de celulosa y 5 % de lignina (Bouallagui et al., 2005). El producto principal del proceso de DA es una mezcla de gases (biogás) compuesta principalmente de metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se utiliza como combustible para la producción de energía y calor. Un producto secundario del proceso es un residuo de lodo activado (digestato) que puede usarse directamente como remediador del suelo y en diversos procesos (Tambone et al., 2010; Abubaker et al., 2012). La DA de RSOM

resulta una tarea difícil debido a su alto contenido de azúcares simples que promueven la rápida acidificación del medio con la inhibición resultante de la actividad de las bacterias metanogénicas.

En un sistema de dos etapas, la separación de fases del proceso de digestión anaeróbica se lleva a cabo mediante la realización de reacciones no metanogénicas (solubilización, hidrólisis y acidogénesis) y las reacciones metanogénicas en dos reactores separados que mejoran la estabilidad del proceso y la eficiencia general de la degradación bioquímica de RSOM que conducen a un alto porcentaje de generación de metano y un menor tiempo requerido para la estabilización de los residuos (White et al., 1989; Selvam et al., 2010; Singh et al., 2011; Xu et al., 2014; Yap and Nixon, 2015).

Los sistemas de dos etapas tienen la ventaja de aminorar los efectos de la formación de AGV's en la etapa de hidrólisis, permitiendo una alimentación más constante a la segunda etapa metanogénica (Ganesh et al., 2014). Con la separación de la hidrólisis / acidogénesis de la metanogénesis, la DA en dos etapas facilita el enriquecimiento de bacterias acidógenas y metanogénicas (Azbar y Speece, 2001). A pesar de estas ventajas, algunos autores que implementan la DA de la RSOM prefieren un proceso de una etapa sobre el sistema de dos

etapas porque el último sufre fallas técnicas más frecuentes en comparación con el sistema de una sola etapa, ya que el sistema se vuelve complejo al tratar de separar la fase sólida-líquida en el reactor de hidrólisis y se requiere un constante monitoreo y un periodo más prolongado de retención hidráulica en la fase de hidrólisis ya que los residuos con alto contenido de sólidos ralentizan esta etapa (Salomoni et al., 2011; Nasir et al., 2012).

El objetivo de esta investigación fue realizar la DA en dos etapas, realizando un pretratamiento físico de extracción sólido-líquido de los RSOM antes de iniciar la DA, a fin de utilizar únicamente la fracción líquida de los RSOM para así evitar los problemas comunes en estos sistemas de dos etapas, como son la interrupción del proceso. La fracción sólida podrá disponerse para líneas alternas de investigación para su aprovechamiento mediante generación de carbón orgánico y remediación de suelos agotados, dándole valor agregado y aprovechando la totalidad del proceso de tratamiento de los RSOM.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección del sustrato se realizó en un mercado municipal de la ciudad de Orizaba, Veracruz. Se recolecto 1 ton de RSOM a la semana. El sustrato este

compuesto en su mayoría por frutas y verduras de temporada. El residuo recibió un pretratamiento el cual consiste en la reducción de su tamaño para así pasar a su posterior trituración y finalmente a una centrifugación para extraer la fracción líquida. Posteriormente este sustrato líquido se almacenó. Se empleo un arreglo de 2 reactores, un RH de 1200 L de volumen total y un RM de 2700 L al cual se le llamó en conjunto como sistema RH-RM. Este proceso se llevó a cabo en modo semi continuo, es decir, el RH en modo Batch y el RM en modo continuo, con un caudal de alimentación de 200 L por día, siendo el influente del RM el efluente del RH y un ajuste del pH en la etapa hidrólisis a 4.5 – 5.5 y ajuste de pH en la etapa metanogénica de 6.5 a 7.5 con 8 horas de operación alimentación-recirculación al día para cada reactor.

Las muestras de biogás se midieron por medio de un sistema físico de desplazamiento de agua. Para su medición, el biogás es canalizado por un medidor en línea de flujo de biogás. Las muestras se analizaron por medio de la Demanda Química de Oxígeno Total (DOQt), Demanda Química de Oxígeno Soluble (DQOs), Sólidos Totales (ST) y Sólidos Volátiles (SV), mediante el método colorimétrico 5220 D Standard Methods y método Gravimétrico 2540 G Standard Methods.

También se midió el pH mediante el método potenciométrico 4500-H+B de Standard Methods.

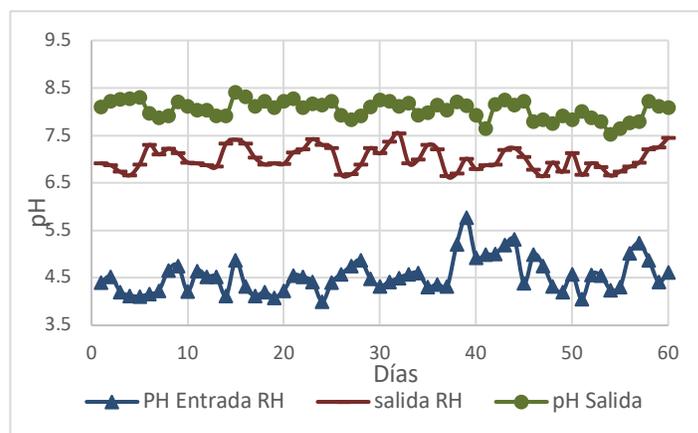
### RESULTADOS

Se caracterizó la fracción líquida inicial a la entrada del biorreactor para conocer la situación de entrada del RH, se mantuvo la operación de los biorreactores durante 60 días minimizando las interferencias externas y procurando tener condiciones óptimas de alimentación, recirculación y pH.

**Tabla 1.** Resultados de operación del RH y del sistema en dos etapas

Parámetro	Entrada RH	Salida Sistema RH-RM	Remoción (%)
DQO <sub>T</sub> (g/L)	30.21	9.31	69
DQO <sub>s</sub> (g/L)	26.15	7.58	71
ST (g/L)	12.86	5.15	60
SV (g/L)	7.82	1.8	77
pH	5.5	8.2	-

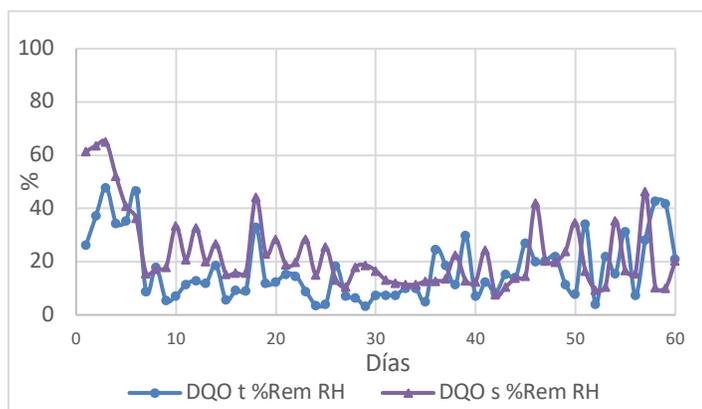
Los resultados obtenidos en la Tabla 1 muestran el resumen del comportamiento de salida del RH y del arreglo en conjunto RH-RM de los dos reactores tomando como alimentación del RM la salida del RH con emisiones de gas de 250 L para el RH y 900 L para el RM.



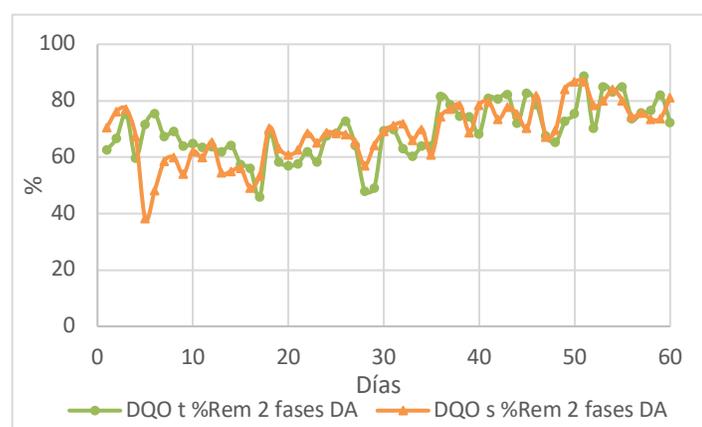
**Figura 2.** Comportamiento del pH en el proceso de digestión anaerobia en dos etapas

En la Figura 2 se aprecia el comportamiento del pH durante los 60 días de operación del RH y RH-RM, se tomó muestra de la alimentación del RH, la salida de este reactor y por último a la salida del conjunto RH-RM, en la entrada del RH se refiere al pH de la fracción líquida recuperada después del pretratamiento físico, esta es ligeramente más ácida debido a la abundancia de cítricos recolectados de los RSOM, el cual se estabilizó con la adición de Hidróxido de Sodio (NaOH). El comportamiento de la salida del RH se mantuvo en un rango neutro de pH, mientras que el pH del sistema RH-RM fue el comportamiento esperado en un rango de pH 7.8 a 8.4.

La Figura 3 muestra los resultados de remoción de DQO<sub>T</sub> y DQO<sub>s</sub> en el RH, en la cual, se aprecia que el promedio de remoción para esta etapa es de 20 %.

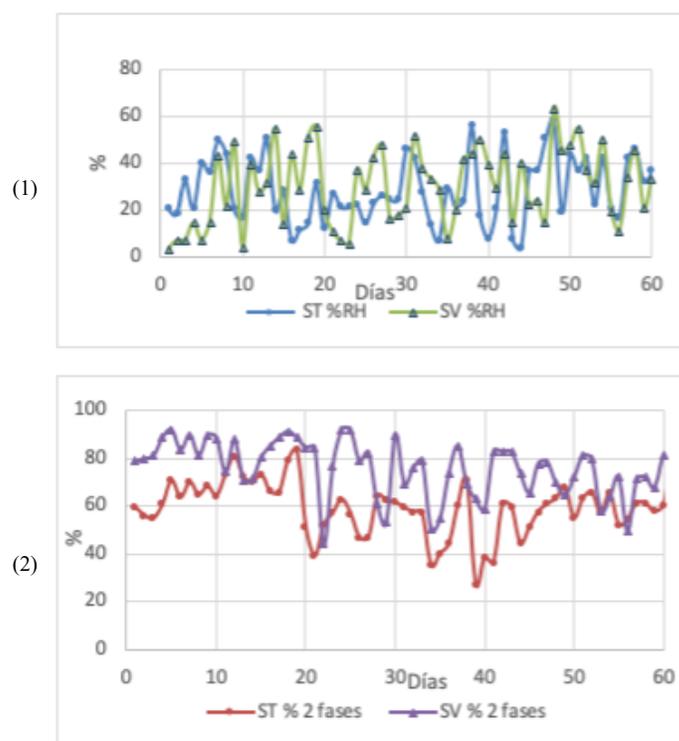


**Figura 3.** Remoción de DQO<sub>T</sub> y DQO<sub>S</sub> en RH



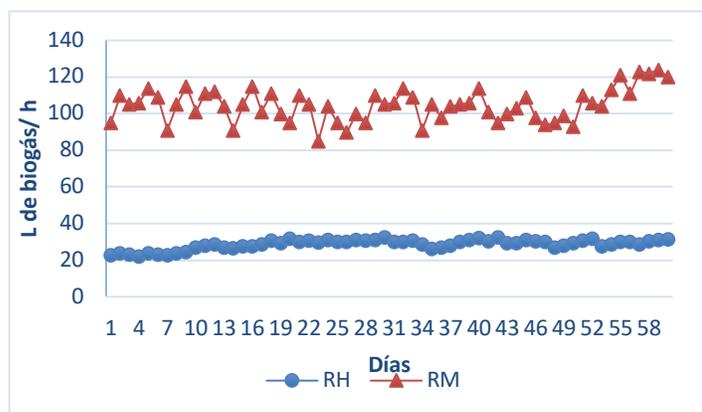
**Figura 4.** Remoción de (1) DQO<sub>T</sub> y (2) DQO<sub>S</sub> en el sistema RH-RM

Los datos en la Figura 4 corresponden al comportamiento obtenido por 60 días de monitoreo al conjunto RH-RM, se puede apreciar una considerable mejora en la remoción al conjunto, llegando a obtener remociones de hasta 85 por ciento en DQO<sub>T</sub> y DQO<sub>S</sub> para ambos reactores, resaltando una estabilización observada a partir del día 30.



**Figura 5.** Remoción del sistema RH-RM en (1) ST y (2) SV

En la Figura 5 se pueden observar la remoción de ST y SV presentes en el sistema, cabe resaltar que los ST y SV nos muestran la materia orgánica sólida presente en nuestras muestras por lo que en la Figura 5 (1) podemos observar un comportamiento continuo de hasta 55% de remoción de material orgánico y en la Figura 5 (2) se muestran remociones de SV más altas llegando a obtener hasta un 91% en el sistema RH-RM correspondiente al día 25.



**Figura 6.** Generación de biogás por del (1) RH y (2)

RH-RM

En la Figura 6 se puede ver el comportamiento de la generación promedio de biogás del RH y RH-RM por hora, obteniéndose valores de 28.7 L de biogás/h en el RH generando así 228.7 L de biogás en las 8 h de tratamiento y 115 L de biogás/h en promedio, correspondientes a la emisión del sistema RM con un total de 900 L de biogás en sus 8 h de operación del sistema.

## CONCLUSIONES

El pretratamiento mecánico de los RSOM utilizado en la DA de dos etapas ayuda a la transformación más rápida y eficiente de la materia, mejorando la eficiencia global en el proceso. Se obtuvieron remociones de DQOt de 69%, DQOs de 71%, ST de 60% y SV de 77%; con producción de biogás de 229.78 L /d para el RH y 900 L/d para el RM. Comparado este valor con 860 L/d

totales reportado en literatura (Ganesh et al., 2014; Nixon, 2015). El pretratamiento de los RSOM permitió que el proceso de DA en dos etapas pudiera llevarse a cabo en modo semi continuo, evitando interrupciones y baja eficiencia de operación en el RH al intentar separar la fase sólida-líquida dentro de este reactor. Se puede mejorar el sistema de pretratamiento para poder obtener una mejor fracción líquida para mejorar la eficiencia de los biorreactores y evitar problemas operativos de estos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abubaker, J., Risberg, K., & Pell, M. (2012). Biogas residues as fertilisers—Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*, 99; 126-134.
- Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Composition variability of the organic fraction of municipal solid waste and effects on hydrogen and methane production potentials. *Waste Management*, 36; 147-155.
- Azbar, N., & Speece, R. E. (2001). Two-phase, two-stage, and single-stage anaerobic process comparison. *Journal of Environmental Engineering*, 127(3); 240-248.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R. B., & Hamdi, M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic

- digestion of fruit and vegetable wastes. *Process biochemistry*, 40(3-4); 989-995.
- De, c. U. O. Y. A. (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos.
- Ganesh, R., Torrijos, M., Sousbie, P., Lugardon, A., Steyer, J. P., & Delgenes, J. P. (2014). Single-phase and two-phase anaerobic digestion of fruit and vegetable waste: comparison of start-up, reactor stability and process performance. *Waste management*, 34(5), 875-885.
- Liu, D., Liu, D., Zeng, R. J., & Angelidaki, I. (2006). Hydrogen and methane production from household solid waste in the two-stage fermentation process. *Water research*, 40(11), 2230-2236.
- Nasir, I.M., Tinia, I., Ghazi, M., Omar, R., (2012). Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: a review. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 95; 321–329.
- Salomoni, C., Caputo, A., Bonoli, M., Francioso, O., Rodriguez-Estrada, M. T., & Palenzona, D. (2011). Enhanced methane production in a two-phase anaerobic digestion plant, after CO<sub>2</sub> capture and addition to organic wastes. *Bioresource technology*, 102(11); 6443-6448.
- Selvam, A., Xu, S. Y., Gu, X. Y., & Wong, J. W. (2010). Food waste decomposition in leachbed reactor: role of neutralizing solutions on the leachate quality. *Bioresource technology*, 101(6); 1707-1714.
- Singh, R. P., Tyagi, V. V., Allen, T., Ibrahim, M. H., & Kothari, R. (2011). An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9); 4797-4808.
- Viswanath, P., Devi, S. S., & Nand, K. (1992). Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production. *Bioresource technology*, 40(1); 43-48.
- Viturtia, A. M., Mata-Alvarez, J., & Cecchi, F. (1995). Two-phase continuous anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Resources, conservation and recycling*, 13(3-4); 257-267.
- White, T. E., Malecki, D. J., & Jewell, W. J. (1988). Anaerobic treatment of apple pomace and wastewater. In *Proceedings of the Industrial Waste Conference*, Purdue University (USA).
- xu, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V., Salati, S., & Adani, F. (2010). Assessing

amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere*, 81(5); 577-583.

Xu, S., Selvam, A., & Wong, J. W. (2014). Optimization of micro-aeration intensity in acidogenic reactor of a two-phase anaerobic digester treating food waste. *Waste management*, 34(2); 363-369.

Yap, H. Y., & Nixon, J. D. (2015). A multi-criteria analysis of options for energy recovery from municipal solid waste in India and the UK. *Waste management*, 46; 265-277.