

Generación de biogás mediante el residuo de la industria cárnica (tripa)

Recibido: 07-01-2021 Aceptado: 21-09-2021 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La generación de biogás a partir de residuos de la industria alimenticia es un área de oportunidad. El objetivo de la investigación fue comprobar experimentalmente, que en co-digestión con excreta bovina, el residuo de la industria cárnica conocido como "tripa" es capaz de producir biogás, con el fin de encontrar un uso a este residuo que en la industria de alimentos es catalogado como residuo sin un valor. Se realizaron experimentos de Digestión Anaerobia (DA), utilizando reactores herméticos, a temperatura ambiente con base en el método de potencial bioquímico de metano (BMP). Se observó que los pretratamientos realizados y el uso de inóculo adaptado, redujeron el tiempo de aclimatación e incrementaron la producción de biometano en el biodigestor experimental, propiciando una correcta disposición de este residuo. Los resultados BMP demuestran un incremento de 129.28 % en la producción de metano en comparación con el experimento sin pretratamiento. Se propone un modelo logístico, para describir la cinética del fenómeno de la producción del biogás, el cual puede ser útil para la proyección y el escalamiento de los sistemas DA.

Abstract

The generation of biogas from waste from the food industry is an area of opportunity. The objective of the research was to experimentally verify that in co-digestion with bovine excreta, the waste from the meat industry known as "casing" is capable of producing biogas, in order to find a use for this waste that in the meat industry food is listed as waste without a value. Anaerobic Digestion (DA) experiments were carried out, using hermetic reactors, at room temperature based on the biochemical methane potential (BMP) method. It was observed that the pretreatments carried out and the use of adapted inoculum reduced the acclimatization time and increased the production of biomethane in the experimental biodigester, promoting a correct disposal of this residue. The BMP results demonstrate a 129.28 % increase in methane production compared to the experiment without pretreatment. A logistic model is proposed to describe the kinetics of the biogas production phenomenon, which can be useful for the projection and scaling of DA systems.

Résumé

La génération de biogaz à partir des déchets de l'industrie alimentaire est un domaine d'opportunité. L'objectif de la recherche était de vérifier expérimentalement qu'en co-digestion avec des déjections bovines, les déchets de l'industrie de la viande appelés "boyaux" sont capables de produire du biogaz, afin de trouver une utilisation à ces déchets dans l'industrie alimentaire. Des expériences de digestion anaérobie (DA) ont été réalisées, à l'aide de réacteurs hermétiques, à température ambiante selon la méthode du potentiel biochimique du méthane (BMP). Il a été observé que les prétraitements effectués et l'utilisation d'inoculum adapté réduisaient le temps d'acclimatation et augmentaient la production de biométhane dans le biodigester expérimental, favorisant une élimination correcte de ce résidu. Les résultats du BMP démontrent une augmentation de 129.28 % de la production de méthane par rapport à l'expérience sans prétraitement. Un modèle logistique est proposé pour décrire la cinétique du phénomène de production de biogaz, qui peut être utile pour la projection et la mise à l'échelle des systèmes DA.

Isaac A. Anchondo Figueroa¹
Roxana A. Chaparro Gardea¹
Livan Israel Escobar¹
Antonino Pérez Hernández²
Héctor Alfredo López Aguilar^{1*}

Palabras clave: Adaptación, aclimatación, biomasa, digestión anaerobia, logístico.

Keywords: Adaptation, acclimatization, biomass, anaerobic digestion, logistic.

Mots-clés: Adaptation, acclimatation, biomasse, méthanisation, logistique.

Introducción

Asociado al crecimiento de la población, en los últimos años, los residuos alimenticios también se han incrementado. Se estima que el 33.3 % de los alimentos a nivel mundial se desperdician cada año, lo que es equivalente a 1.6 Giga toneladas. En términos económicos, esto representa 750 billones de dólares (Ma et al., 2018).

Por otro lado, la economía circular busca maximizar la utilidad de los recursos de manera indefinida, minimizando la producción de resi-

¹Universidad La Salle Chihuahua

²Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.

Correspondencia:

*hector.lopez@cimav.edu.mx

duos. El aprovechamiento de la biomasa y la economía circular, se vinculan estrechamente en términos de productos materiales y producción de energía (Sherwood, 2020).

La tecnología de la Digestión Anaerobia (DA), utilizada para el aprovechamiento de la biomasa y la generación de biogás, es amigable con el medio ambiente ya que presenta menor impacto ambiental si se compara con otros procesos, como el almacenamiento bajo tierra de los residuos sólidos municipales o la incineración (Achmon et al., 2019). Así también, se ha identificado que en muchas ocasiones su implementación es económicamente rentable (Deublein y Steinhäuser, 2011). La DA presenta el potencial de ser un elemento clave para suplir de manera sustentable la creciente demanda energética (Aghbashlo et al., 2018). El biogás producido consiste en una mezcla compuesta principalmente de metano, dióxido de carbono, vapor de agua y cantidades traza de ácido sulfhídrico, hidrógeno y siloxanos (Mirmohamadsadeghi et al., 2019). El dióxido de carbono presente en el biogás, tanto por el porcentaje presente como su nulo aporte energético, reduce el poder calorífico del biocombustible. Y aun cuando generalmente la presencia del sulfuro de hidrógeno, es menor de 1 %, es un gas corrosivo y altamente tóxico. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) concentraciones de exposición por encima de 500 ppm (0.05 %) puede llegar a causar la muerte (Jones, 2014).

Se han desarrollado diversas técnicas, a escala de laboratorio, para evaluar la conversión de residuos orgánicos a biometano. La prueba del potencial bioquímico de metano (BMP), se ha utilizado para evaluar el potencial de una biomasa para ser biodegradada, calculando la biodegradabilidad del sustrato a partir de la producción de CH_4 por masa de sólidos volátiles. La cantidad de CH_4 producido puede variar al utilizar diferentes: 1) relaciones sustrato: inóculo (S:I); 2) al modificar las condiciones de temperatura; 3) pH; 4) tamaño de partícula del sustrato; 5) su agitación, entre otros (Sanchez-Reyes, 2016).

Se ha demostrado que el inóculo, es uno de los factores más importantes en la DA, su adecuada proporción puede derivar en un funcionamiento estable del proceso (Yan et al., 2019). La combinación de múltiples inóculos puede incrementar y mejorar la producción de biogás (Mirmohamadsadeghi, et al., 2019).

Así también, la humedad juega un papel importante en la DA, ya que esta es esencial para las actividades de los microorganismos. La DA se puede llevar a cabo en condiciones húmedas, cuando contiene entre un 10 y un 25 % de materia seca en el biodigestor (Náthia et al., 2018), su principal ventaja es que se necesita una cantidad menor de inóculo, un menor tiempo de retención y en la mayoría de las ocasiones se obtiene una mayor producción de metano (Li, Park, Zhu, 2011). Se ha demostrado un mayor rendimiento de metano en sistemas con una presencia de humedad en un rango de 60-80 % (Aghdam, Scheutz, Kjeldsen, 2017, Náthia et al., 2018).

Se considera como DA seca cuando existe en el biodigestor entre 30 y 40 % de materia seca, la principal ventaja que presenta es mayor facilidad de manejo del digestato, y un menor volumen del biodigestor (Náthia et al., 2018, Li et al., 2011).

Los residuos de la industria cárnica se caracterizan por contener grandes cantidades de materia orgánica (Ur Rahman, Sahar, Khan, 2014). Se ha identificado que la industria cárnica produce un subproducto el cual tiene una vida útil muy corta. Este residuo es conocido como tripa, el cual es un elemento esencial en la producción de salchichas, ya que permite integrar los ingredientes, darles la forma y definir su tamaño (Djordjevic et al., 2015). No se encontró información de la cantidad generada de este residuo a nivel nacional o regional. Este residuo contiene grandes cantidades de celulosa y agua residual del proceso de cocción. Se ha encontrado que al finalizar su vida útil la tripa puede convertirse en fibra dietética, para utilizarse como aditivo para alimentos (Gabiatti et al., 2020). Sin embargo, los autores del presente trabajo no encontraron investigaciones que demuestren un aprovechamiento de este residuo para la producción de biogás. Por lo que se pretende comprobar experimentalmente, si la tripa es un sustrato con potencial en la producción de biogás, a través de co-digestión anaerobia con excreta de vaca y generar una alternativa de disposición para este residuo de la industria de alimentos.

Metodología

La determinación de sólidos volátiles (SV), de las biomásas se obtuvieron atendiendo la Standard Method 2540 E (APHA, 2005), empleando una mufla de laboratorio Felisa y una balanza analítica con sensibilidad

Tabla 1. Condiciones experimentales de los biodigestores.

Muestra		Tripa	Inóculo	Excreta	Agua	Relación S:I
E0	Cantidad (g)	-	1900	1000	4000	0.53:1
	Porcentajes de Masa (%)	-	28	14	58	
	Porcentaje de Humedad (%)	-	93	3	100	
	Humedad total (%)	-	25.61	0.43	57.97	
E1	Cantidad (g)	650	150	500	500	7.66:1
	Porcentajes de Masa (%)	36	8	28	28	
	Porcentaje de Humedad (%)	23.54	93	3	100	
	Humedad total (%)	8.50	7.75	0.83	27.78	
E2	Cantidad (g)	1000	1900	1000	4000	1.05:1
	Porcentajes de Masa (%)	13	24	13	51	
	Porcentaje de Humedad (%)	23.54	93	3	100	
	Humedad total (%)	2.98	22.37	0.38	50.63	
E3	Cantidad (g)	500	4000	1500	4000	0.5:1
	Porcentajes de Masa (%)	5	40	15	40	
	Porcentaje de Humedad (%)	23.54	93	3	100	
	Humedad total (%)	1.18	37.2	0.45	40	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Análisis Próximo de biomásas.

Parámetro	Tripa	Inóculo	Excreta
Porcentaje de Humedad	23.54	93	3
Porcentaje de Sólidos Volátiles	33.16	5	90
Porcentaje de Ceniza	41.52	2	7

Fuente: Elaboración propia.

de 0.1 mg marca Precisa. Se utilizaron 25.6, 5 y 17.10 gramos de tripa, inóculo y excreta, respectivamente. Las temperaturas utilizadas para calcular el porcentaje de humedad fueron de 110 °C, para SV's 550 °C y 900 °C para ceniza.

Se llevó a cabo un proceso de pretratamiento mecánico para reducción del tamaño de la materia tripa usando un rotomartillo Milwaukee, al cual le fue adaptado un aspa de licuadora para funcionar como un triturador.

Se utilizaron como sistemas biodigestores, depósitos HDPE (High Density Polyethylene) con capacidad de 20 litros, los sistemas contaron con un manómetro el cual permitió conocer la presión generada por la acumulación de gases. La DA se llevó a cabo en ambiente exterior y la caracterización de los gases generados se realizó durante 80 días utilizando una Sonda Landtec 5000, se midieron las concentraciones de los gases: Metano (CH₄), Dióxido de Carbono (CO₂), Oxígeno (O₂) y Ácido Sulfhídrico (H₂S), se utilizó un medidor de volumen de gas tipo diafragma KG2. En la tabla 1 se presentan los componentes y las proporciones usadas en cada experimento.

Con base en los datos obtenidos del monitoreo se desarrolló una curva experimental que representa el fenómeno de la generación de biogás en los sistemas DA. Se utilizó el software CurveExpert Professional 2.6.5. para realizar el ajuste de curva a un modelo sigmoïdal que describa el comportamiento cinético de la producción de biometano.

Resultados y discusión

Análisis Próximo

Los porcentajes de humedad, SV y ceniza del análisis próximo de las biomásas se presentan en la tabla 2.

Los porcentajes de humedad de los biodigestores experimentales fue de 44.86 % (E1), 76.35 % (E2), 78.82 % (E3) y 84.01 % (E0), de acuerdo con lo señalado por Náthia et al. (2018), todos los experimentos se realizaron en condiciones húmedas a excepción del experimento E1.

Se ha encontrado que los valores de los SV no deben de superar de 25-30 % de la carga total del biodigestor ya que un aumento de estos podría llevar a la inhibición (Al-Addous et al., 2019). Bajo las condiciones experimentales E2, E3 y E0, los SV's se encuentran entre valores de 14 y 17 %, mientras que el experimental E1 supera el 37 %. En el caso de la ceniza se ha comprobado que su presencia en el digestato puede ayudar a generar un mejor biofertilizante (Abelenda et al., 2020).

Sistemas experimentales DA

En proyectos de nivel industrial las relaciones sustrato inoculo (S:I) que se utilizan suelen ser bajas, con el propósito de evitar fallas en la DA, a escala de laboratorio las relaciones S:I de 2 a 6 son las más utilizadas. En esta investigación, de acuerdo con Motte et al. (2013) se encontró que mayores relaciones S:I son poco eficientes en los primeros días de la DA. Así también, se demostró que utilizar un inóculo aclimatado al sustrato y las condiciones de operación es beneficioso para la DA, ya que de acuerdo con Kong et al. (2016) se presenta una mayor biodegradabilidad y una mayor producción de metano.

Experimento E1: En los primeros 10 días se encontró una concentración de H_2S mayor a 8500 ppm y ausencia de metano. A los 80 días se generaron $12.899 \text{ cm}^3 \text{ CH}_4/\text{gSV}$, (ver la Figura 1).

Experimento E2: Durante todo el periodo de 80 días no se generó la cantidad de biogás necesaria para realizar la toma de datos, esto podría estar asociado a la falta de pretratamiento de reducción de tamaño del material tripa de este experimento.

Se ha encontrado que el rendimiento de la DA puede ser mejorado si se utilizan métodos de pretratamiento de la biomasa (Pramanik et al., 2019; Liu, Lendormi, Lanoisellé, 2019; Almomani y Bhosale, 2020). Uno de los pretratamientos de la biomasa más efectivos para la producción de biogás es reducir el tamaño de partícula, ya que al llevarse a cabo este proceso las bacterias metanogénicas tienen un mejor contacto con el sustrato, se ha demostrado que

incrementa la tasa de degradación, mejorando el rendimiento de la producción de biogás (Kumar y Samadder, 2020; Kainthola, Kalamdhad y Goud, 2019). La reducción del tamaño de partícula puede ser llevada a cabo por procesos de picado y molienda (Gallagos et al., 2017).

Experimento E3: Presentó generación de metano durante los primeros 10 días, se observaron 3.14 veces menores niveles de H_2S y 40.57 % mayores de metano en menor tiempo a comparación del biodigestor E1. A los 80 días se generaron $29.57 \text{ cm}^3 \text{ CH}_4/\text{gSV}$, 129.28 % más que lo generado en el E1 (ver la Figura 1).

El tiempo que tarda en generar metano el sistema DA es conocido como zona lag, el cual está relacionado con las altas cantidades de acidificación, entre mayor sea esta concentración mayor será la zona lag. Una zona lag más corta se asocia a un mayor potencial de la DA (Zhao et al., 2019). La región lag del experimento E3 disminuyó 9 días en comparación al experimento E1 (ver la Figura 1).

De acuerdo con Okoro-Shekwaga et al. (2020) se encontraron mejoras en el rendimiento del metano al reducir el tamaño de partícula como la disminución del tiempo de arranque o zona lag de la DA.

En los primeros 10 días el sistema experimental E0, demostró una generación de 32.4 % de metano con niveles de 4280 ppm de H_2S , aproximadamente a 50 % menor con respecto a los presentados en la primera medición del experimento E1. En la Figura 1 no se presenta la curva de ajuste del experimento E0 ya que los datos experimentales no se ajustaron al

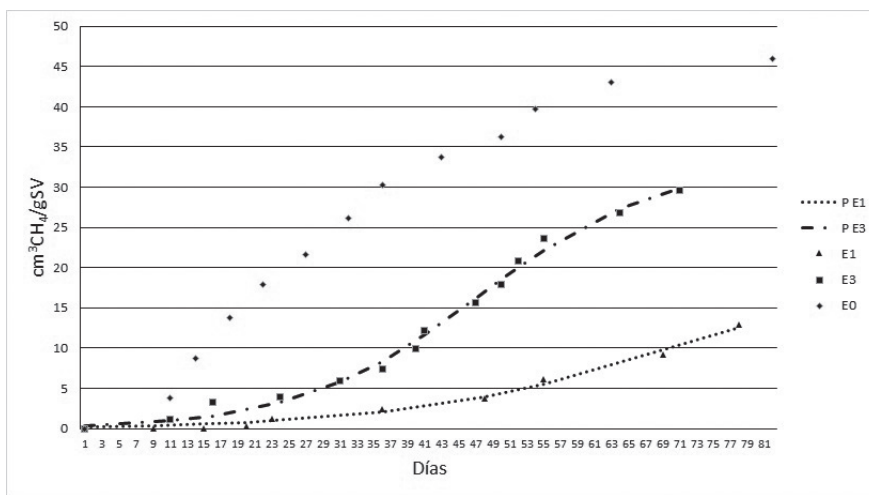


Figura 1. Valores experimentales DA y curvas BMP.

Fuente: Elaboración propia.

modelo logístico utilizado en esta investigación. El experimento E0 produjo 46.024 cm³ CH₄/gSV al día 80, 55.61 % mayor producción al generado por el E2 (ver la Figura 1). Sin embargo, los resultados encontrados fueron bajos comparados con los encontrados por Moset et al. (2015) quienes determinaron en laboratorio valores BMP para las biomásas: celulosa, ensilado de maíz, paja de trigo y excreta de ganado de 333.9, 283.8, 246.3 y 210.9 cm³ CH₄/gSV, respectivamente (Moset, Al-zohairi y Møller, 2015). Por su parte, Almomani et al. determinaron una producción de 297.99 cm³ CH₄/gSV en la co-digestión anaerobia de residuos sólidos agrícolas y excreta de vaca. Las diferencias encontradas podrían estar asociadas a las condiciones experimentales.

Modelación matemática

A partir del análisis de los datos experimentales de la producción de biometano del BMP se identificó un comportamiento sigmoidal en la cinética de los experimentos E1 y E3 por lo que, se realizó el ajuste de un modelo sigmoidal logístico utilizando la ecuación (1).

$$y(t) = \frac{a}{1 + be^{-ct}} \quad (1)$$

Donde a corresponde al valor máximo de la producción de metano que puede alcanzar la curva, en base a la información experimental, b está relacionada a las condiciones experimentales y c a la tasa de crecimiento o velocidad a la que sucede el fenómeno de producción de metano.

En la Tabla 3, se presentan los valores de las constantes obtenidas por el ajuste de los datos experimentales para las condiciones E1 y E2, que se ajustaron al modelo logístico.

La cinética del experimento E0, sin tripa como sustrato, no se ajustó al modelo logístico ya que presentó un comportamiento sigmoidal distinto, como se observa en la Figura 1. Los resultados experimentales del caso E0 se ajustaron a un modelo Weibull con un coeficiente de ajuste del 99 %.

Las curvas de los modelos cinéticos predictivos para los biodigestores PE1 y PE3 y los resultados experimentales E0, E1 y E3 de la producción de biometano se presentan en la Figura 1.

Los experimentos E3 y E0 presentaron generación de biometano en menor tiempo que el E1, se observa

Tabla 3. Constantes del modelo logístico.

Parámetros	E1	E3
a	20.6722	33.0101
b	82.1599	81.2913
c	0.06316	.09475

Fuente: Elaboración propia.

que el E1 presentó una zona lag de 19 días, mientras el E3 y E0 la superaron en 10 días. Además, debido a los pretratamientos utilizados, en el E3 se alcanzaron mayores niveles de producción de biometano comparado al E1 (129.28 % mayor), mientras el sistema E0 presentó la producción más alta del experimento, 256.78 % mayor al E1 y 55.61 % al E3.

En esta experimentación se encontró la mejor producción de metano en una relación S:I de 0.53:1 en el experimento E3, contrario a Theresia et al. (2017) quienes encontraron que la mejor combinación entre la materia prima, desechos orgánicos y estiércol de vacas, para producir biometano se presentó en la relación 3:1.

Conclusiones

El propósito de la experimentación fue comprobar la viabilidad de la co-digestión entre el residuo de la industria cárnica, tripa, y excreta de vaca. Se comprobó que por medio del proceso de co-digestión anaerobia el residuo tripa es capaz de producir metano, lo cual se presenta como una oportunidad de aprovechamiento de este residuo que se genera en grandes cantidades en la industria cárnica.

Se observó una mejora en el tiempo de aclimatación y en el aumento de biometano generado, y una reducción en la presencia de sulfuro de hidrógeno cuando se utilizó un inóculo adaptado y se aplicó el pretratamiento de reducir el tamaño de partícula del sustrato.

En el experimento con pretratamientos se mejoró la zona lag casi en la mitad de tiempo, además se produjo más del doble de biometano y se obtuvieron concentraciones más bajas de sulfuro de hidrógeno cerca de 314.56 % menores.

La condición experimental E2, demostró que el pretratamiento de reducir el tamaño de los pedazos de tripa y el uso de inóculo adaptado, se identifican como factores que reducen el tiempo de la zona lag en la producción de biometano, tanto por aumentar la superficie expuesta de la tripa como por la presencia de consorcios biológicos aclimatados.

Se recomienda evaluar la digestión anaerobia como un método de tratamiento de la tripa previo a su disposición al relleno sanitario, así también se debe de evaluar el digestato para identificar si puede ser utilizado como alimento para ganado, mejorador de suelos o para la producción de papel.

Bibliografía

- Abelenda, A. M., Semple, K. T., Lag-Brotons, A. J., Herbert, B. M., Aggidis, G., Aiouache, F. (2020). Effects of Wood Ash-Based Alkaline Treatment on Nitrogen, Carbon, and Phosphorus Availability in Food Waste and Agro-Industrial Waste Digestates. *Waste and Biomass Valorization Journal*. 6(12): 3355-3370.
- Achmon, Y., Claypool, J. T., Pace, S., Simmons, B. A., Singer, S. W., Simmons, C. W. (2019). Assessment of biogas production and microbial ecology in a high solid anaerobic digestion of major California food processing residues. *Bioresource Technology Reports*. (5): 1-11.
- Aghbashlo, M., Mandegari, M., Tabatabaei, M., Farzad, S., Soufiyan, M. M., Görgens, J. F. (2018). Exergy analysis of a lignocellulosic-based biorefinery annexed to a sugarcane mill for simultaneous lactic acid and electricity production. *Energy (Oxford)*. (149): 623-638.
- Aghdam, E. F., Scheutz, C., Kjeldsen, P. (2017). Assessment of methane production from shredder waste in landfills: The influence of temperature, moisture and metals. *Waste Management*. (63): 226-237.
- Al-Addous, M., Saidan, M. N., Bdour, M., Alnaief, M. (2019). Evaluation of biogas production from the co-digestion of municipal food waste and wastewater sludge at refugee camps using an automated methane potential test system. *Energies*. 12(1): 32.
- Almomani, F., Bhosale, R. (2020). Enhancing the production of biogas through anaerobic co-digestion of agricultural waste and chemical pre-treatments. *Chemosphere*. (255): 1-13.
- Deublein, D., Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. Munich, Germany: John Wiley & Sons.
- Djordjevic, J., Pecanac, B., Todorovic, M., Dokmanovic, M., Glamoclija, N., Tadic, V., Baltic, M. Z. (2015). Fermented sausage casings. *Procedia Food Science*. (5): 69-72.
- Federation, W. E., American Public Health Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association (APHA)*: Washington, DC, USA.
- Gabiatti Jr, C., Neves, I. C., Lim, L. T., Bohrer, B. M., Rodrigues, R. C., Prentice, C. (2020). Characterization of dietary fiber from residual cellulose sausage casings using a combination of enzymatic treatment and high-speed homogenization. *Food Hydrocolloids*. (100): Article 105398.
- Gallegos, D., Wedwitschka, H., Moeller, L., Zehnsdorf, A., Stinner, W. (2017). Effect of particle size reduction and ensiling fermentation on biogas formation and silage quality of wheat straw. *Bioresource technology*. (245): 216-224.
- Jones, K. (2014). Case studies of hydrogen sulphide occupational exposure incidents in the UK. *Toxicology Letters*. 231(3): 374-377.
- Kainthola, J., Kalamdhad, A. S., Goud, V. V. (2019). A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques. *Process Biochemistry*. (84): 81-90.
- Kong, X., Xu, S., Liu, J., Li, H., Zhao, K., He, L. (2016). Enhancing anaerobic digestion of high-pressure extruded food waste by inoculum optimization. *Journal of Environmental Management*. (166): 31-37.
- Kumar, A., Samadder, S. R. (2020). Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. *Energy*. (197): Article 117253.
- Li, Y., Park, S. Y., Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and sustainable energy reviews*. 15(1): 821-826.
- Liu, X., Lendormi, T., Lanoisellé, J. L. (2019). Overview of hygienization pretreatment for pasteurization and methane potential enhancement of biowaste: challenges, state of the art and alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*. (236): Article 117525.
- Ma, C., Liu, J., Ye, M., Zou, L., Qian, G., Li, Y. Y. (2018). Towards utmost bioenergy conversion efficiency of food waste: Pretreatment, co-digestion, and reactor type. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (90): 700-709.
- Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M. (2019). Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*. (7): Article 100202.
- Moset, V., Al-zohairi, N., Møller, H. B. (2015). The impact of inoculum source, inoculum to substrate ratio and sample preservation on methane potential from different substrates. *Biomass and Bioenergy*. (83): 474-482.
- Motte, J. C., Escudie, R., Bernet, N., Delgenes, J. P., Steyer, J. P., Dumas, C. (2013). Dynamic effect of total solid content, low substrate/inoculum ratio and particle size on solid-state anaerobic digestion. *Bioresource technology*. (144): 141-148.
- Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G., Mussatto, S. I., Forster-Carneiro, T. (2018). Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 15(9): 2033-2046.
- Okoro-Shekwa, C. K., Suruagy, M. V. T., Ross, A., Camargo-Valero, M. A. (2020). Particle size, inoculum-to-substrate ratio and nutrient media effects on biomethane yield from food waste. *Renewable Energy*. (151): 311-321.
- Pramanik, S. K., Suja, F. B., Zain, S. M., Pramanik, B. K. (2019). The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresource Technology Reports*. (8): Article 100310.
- Sánchez-Reyes, C., Patiño-Iglesias, M. E., Alcántara-Flores, J. L., Reyes-Ortega, Y., Pérez-Cruz, M. A., Ortiz-Muñoz, E. (2016). Determinación del potencial bioquímico de metano (PBM) de residuos de frutas y verduras en hogares. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 32(2): 191-198.
- Sherwood, J. (2020). The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology*. (300): Article 122755.
- Theresia, M., Priadi, C. R. (2017). Optimization of methane production by combining organic waste and cow manure as feedstock in anaerobic digestion. In A.G. Shard (Ed.), *AIP Conference Proceedings* 1826, 020030. (pp. 1-8). AIP Publishing.
- Ur Rahman, U., Sahar, A., Khan, M. A. (2014). Recovery and utilization of effluents from meat processing industries. *Food Research International*. (65): 322-328.
- Yan, M., Fotidis, I. A., Tian, H., Khoshnevisan, B., Treu, L., Tsapekos, P., Angelidaki, I. (2019). Acclimatization contributes to stable anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste under extreme ammonia levels: focusing on microbial community dynamics. *Bioresource technology*. (286): Article 121376.
- Zhao, T., Chen, Y., Yu, Q., Shi, D., Chai, H., Li, L., He, Q. (2019). Enhancement of performance and stability of anaerobic co-digestion of waste activated sludge and kitchen waste by using bentonite. *PloS one*. 14(7): e0218856.