

# Digestión anaerobia de estiércol vacuno en un digester de flujo pistón: un acercamiento sostenible



## Anaerobic digestion of cow manure in a plug-flow digester: A sustainable approach

<https://cu-id.com/2177/v33n2e06>

<sup>①</sup>Carlos Antonio Méndez-Saavedra<sup>1</sup>, <sup>②</sup>Ania Cabrera-Díaz<sup>1</sup>,  
<sup>③</sup>Deny Oliva-Merencio<sup>1</sup>, <sup>④</sup>Ileana Pereda-Reyes<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” (CUJAE), Centro de Estudio de Ingeniería de Procesos (CIPRO), Marianao, La Habana, Cuba.

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” (CUJAE), Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Marianao, La Habana, Cuba.

**RESUMEN:** En este estudio, se operó un reactor de flujo pistón a escala piloto con un tiempo de retención hidráulica de 30 días con una concentración de sustrato de sólidos totales (7-10 %) a temperatura ambiente que oscilaba entre 25 y 38 °C, con un volumen de trabajo de  $1,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  durante 186 días. La remoción promedio de la demanda química de oxígeno (DQO) fue del 66,9 % operando a 1,7 kgVS/m<sup>3</sup>d. Por otro lado, la relación de la alcalinidad con respecto al carbono inorgánico total fue de 0,31, considerándose un valor adecuado para el control operativo del reactor. Además, se alcanzó el 65,1 % de remoción de Sólidos Volátiles Totales. Los rendimientos específicos de biogás y metano fueron de hasta 0,22 m<sup>3</sup>/kg VS y 0,25 m<sup>3</sup>/kg VS, respectivamente. La operación a largo plazo a escala piloto demostró el potencial tecnológico y la aplicación industrial del tratamiento del estiércol de ganado para la producción de biogás como contribución a la economía circular.

**Palabras clave:** biodegradabilidad, economía circular, desarrollo local.

**ABSTRACT:** In this study, a pilot-scale plug flow reactor has been operated at a hydraulic retention time of 30 d with substrate concentration of total solids (7-10 %) under room temperature ranging from 25-38 °C with a working volume of  $1.44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  during 186 days. The average chemical oxygen demand (COD) removal was 66.9 % operating at 1.7 kg<sub>VS</sub>/m<sup>3</sup>d. Moreover, the alkalinity to total inorganic carbon rated 0.31 being considered a proper value for the operational control of the reactor. In addition, 65.1 % of Total Volatile Solids removal was attained. The specific biogas and methane yields were up to 0.22 m<sup>3</sup>/kg VS, 0.25 m<sup>3</sup>/kg VS, respectively. Long-term operation in a pilot scale demonstrated the technological potential and industrial application of cattle manure treatment for biogas production as a circular economy contribution.

**Keywords:** Biodegradability, Circular Economy, Local Development.

### INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia (DA) ha demostrado ser un método apropiado para la estabilización de residuos en el que se generan subproductos de alto valor. La aplicación hoy en día abarca la generación de biogás para contribuir al concepto de granjas bioenergéticas (Manilal *et al.*, 2019). Por otro lado, los digestores de baja carga son tecnologías sostenibles para biodegradar agro-residuos líquidos y producir un

efluente líquido, que puede ser reutilizado en agricultura como biofertilizante (Juanpera *et al.*, 2022). Este concepto técnico ya establecido mundialmente, se aplica apoyando el concepto de economía circular, en contraste con la degradación del estiércol cuando se dispone de forma espontánea sin tratamiento, que provoca daños medioambientales y contribuye a las emisiones de metano y dióxido de carbono durante la fermentación.

\*Autor para correspondencia: Ileana Pereda-Reyes, e-mail: [ileana@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:ileana@mecanica.cujae.edu.cu)

Recibido: 05/12/2023

Aceptado: 13/03/2024

Numerosas ventajas y desventajas, han sido demostradas a lo largo de los años de práctica de la DA en América Latina. En términos de tecnologías a nivel local, el reactor anaerobio de flujo pistón (RAFP) es uno de los más utilizados. De acuerdo con los modelos de flujo ideal, en este caso la mezcla de sustrato y agua a lo largo de la degradación biológica se mueve a través de la sección longitudinal del reactor, expresando una variación de la tasa de carga orgánica de mayores a menores valores. En comparación con otras tecnologías locales, la eficiencia en la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO) es mayor y no se requiere un aumento adicional de la capacidad de tratamiento (Gómez et al., 2019).

Sin embargo, el tiempo de vida del RAFP es más corto que el de las tecnologías de mezcla completa. El uso de materiales de polietileno de alta densidad como material de construcción del RAFP ha reducido la rotura del reactor, pero la acumulación de sólidos al final del proceso sigue siendo un problema sin resolver. Se han desarrollado numerosos esfuerzos para resolver este tema, centrados en promover la degradación de los componentes lignocelulósicos recalcitrantes del estiércol de vaca (EV) con buenos resultados en la codigestión y los pretratamientos químicos (Li et al., 2021). Sin embargo, se reportan pocos resultados dirigidos al proceso de separación inicial en la entrada. Por este motivo, el objetivo de este trabajo es evaluar el tratamiento anaerobio del estiércol de vaca en un reactor de flujo pistón a escala piloto a concentración variable de sustrato de sólidos totales aportados desde diferentes cámaras receptoras antes de la entrada al reactor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de los sustratos

Como sustrato se utilizó estiércol vacuno (EV) suministrado por la Cooperativa Agropecuaria "Santiago", ubicada en Marianao (La Habana, Cuba). El EV fue homogeneizado manualmente con la ayuda de una pala, y luego colocado en tres recipientes que actuaron como cámaras receptoras, conectadas entre sí a través de cavidades internas. Las cámaras fueron diseñadas para eliminar manualmente los sólidos de menor densidad en el nivel superior del líquido en

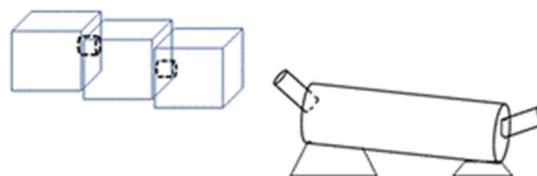
cada una. Sólo el líquido de la tercera cámara podía utilizarse como sustrato. El sustrato EV se refrigeró y se sustituyó cada dos días. Las características físico-químicas monitoreadas por método gravimétrico de acuerdo a los estándares (APHA-AWWA-WEF, 2012) (Carranzo, 2012), para la materia prima fueron contenido total de sólidos (ST), sólidos volátiles (SV), humedad y cenizas.

La demanda química de oxígeno (DQO) se determinó mediante el método estándar de flujo cerrado. Los métodos y equipos se resumen en la [Tabla 1](#).

### Ensayo experimental

El proceso anaerobio se llevó a cabo en un reactor de flujo pistón a escala de laboratorio en régimen de alimentación semi-continua, con un tiempo de retención hidráulica de 30 días. Las características generales del reactor son 1440 mL de volumen efectivo, 260 mL de cámara de volumen de gas, 42 cm de longitud y 7,62 cm de diámetro.

El reactor tiene una relación longitud/diámetro de aproximadamente 1/6. Sobre este aspecto no existe mucha literatura al respecto, sin embargo, se considera que una relación de 1/6 a 1/12 está dentro del intervalo que maximiza la conversión de sólidos volátiles y la generación de metano (Juanpera et al., 2022). La fracción de sólidos totales del sustrato varió de 7 a 10 %. El RAFP se operó a temperatura ambiente entre 25 y 38 °C durante 186 días. El volumen de biogás se midió por desplazamiento de líquido en columnas llenas de una solución ligeramente ácida. El esquema del RAFP se muestra en la [Figura 1](#).



**FIGURA 1.** Esquema de la instalación experimental del reactor anaerobio de flujo pistón y las cámaras de separación.

**TABLA 1.** Descripción del método y el equipamiento utilizado para la caracterización de parámetros físico-químicos

Parámetro	Método	Equipo
Potencial de hidrógeno	Potenciométrico	Fisher Scientific Accumet AB150
DQO	Espectrofotómetro UV-Vis	Thermo Scientific - Evolution 60S
ST, SF y SV	Gravimétrico	Memmert D-91126
Relación AGV/Alc	Potenciométrico/valoración	Fisher Scientific Accumet AB150
Composición del biogás	Medidor de gases	Multitec @545

## Puesta en marcha del proceso

El reactor se inoculó con estiércol de vaca tamizado y pre-tratado procedente de la misma granja. El proceso de puesta en marcha se desarrolló con un procedimiento de alimentación por lotes durante 15 días hasta alcanzar el volumen efectivo. Durante los 20 días siguientes se produjo un proceso de desgasificación y se alcanzaron condiciones estables de pH (6,8-7,6) y AGV/CIT (0,18-0,34). El proceso anaerobio se consideró iniciado cuando se alcanzaron las condiciones de estado estacionario.

## Modelo cinético

El diseño y la optimización de los procesos de digestión anaerobia para la producción de biogás, pueden mejorarse mediante modelos matemáticos desarrollados a partir de estudios mecanicistas que conducen a una comprensión profunda de los fenómenos de transporte muy complejos, la cinética bioquímica microbiana y las relaciones estequiométricas asociadas con la digestión anaerobia. Los digestores anaerobios a menudo presentan problemas de estabilidad, que pueden evitarse sólo mediante estrategias de control apropiadas. Tales estrategias requieren en general, el desarrollo de modelos matemáticos apropiados, que reflejen adecuadamente los procesos clave que tienen lugar (Shete y Shinkar, 2013).

El modelado cinético es un enfoque generalmente aceptado para definir los parámetros específicos del rendimiento del sistema. Los resultados de la modelación cinética podrían utilizarse, además, para estimar la eficacia del tratamiento y las características del sistema de los reactores a escala real que funcionan en condiciones similares. El éxito de cualquier planta de tratamiento biológico radica en la cinética del proceso, ya que determina las dimensiones de la unidad y dicta los parámetros de control y los valores de operación.

Para cuantificar el rendimiento de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales, es necesario desarrollar relaciones para evaluar el efecto de las variables de operación como la carga orgánica volumétrica (COV) y el tiempo de retención hidráulico (TRH) sobre la utilización de sustratos, la biomasa y la formación de productos o metabolitos principales (Aslanzadeh *et al.*, 2014). La modelación de un proceso complejo como la DA requiere de una buena comprensión de los factores asociados con el rendimiento del sistema y la estabilidad del proceso. Algunos de estos factores incluyen la composición del sustrato, los compuestos inhibidores y el crecimiento microbiano. La composición del sustrato influye en la desintegración/hidrólisis y el rendimiento de metano. La biodegradabilidad del sustrato determina la tasa de producción de metano.

La inhibición provoca la reducción de la velocidad de reacción de los microorganismos creando condiciones desfavorables del reactor. Dentro de los principales inhibidores están los bajos valores de pH, la acumulación de AGV, hidrógeno y amoníaco. En algunas ocasiones, la acumulación de productos intermedios que se forman durante el proceso de DA también pueden impedir la reacción biológica. La forma de vida de los microorganismos en un reactor, ya sea en suspensión en el líquido o adheridos al sustrato, marca una diferencia significativa en la eficiencia de la DA (Manchala *et al.*, 2017). Los sistemas de crecimiento de biopelículas son más efectivos para mejorar la hidrólisis y la cooperación sinérgica entre las comunidades microbianas de la DA. Por lo tanto, también se han establecido modelos específicos para los procesos de DA basados en biopelículas.

Además, el modo de funcionamiento del reactor también desempeña un papel importante en el rendimiento de un proceso DA. Por último, pero no por ello menos importante, la concentración de sólidos totales (ST) en el proceso de DA afecta significativamente su efectividad, pues a altas concentraciones de ST, los procesos difusivos se limitan contribuyendo a la complejidad del modelo.

De forma general, los modelos cinéticos no estructurados son los que se utilizan con más frecuencia para modelar sistemas microbianos, porque son simples pero lo suficientemente buenos para los fines técnicos (Gavala *et al.*, 2003). De los diversos modelos cinéticos disponibles en la literatura, el de Monod, el de Grau de segundo orden, el de Stover-Kincannon modificado y el de primer orden son los que más se emplean para determinar la cinética de remoción del sustrato. Los mismos se verifican comparando los datos experimentales con los predichos cuando se disminuye el tiempo de retención hidráulico.

En este caso la cinética del proceso se aproximó utilizando el modelo Stover-Kincannon modificado. Este modelo asume la tasa de remoción del sustrato como función de la tasa de carga del sustrato. Aunque originalmente el término de carga orgánica estaba referido al área del reactor de biodisco (reactor original para el que se planteó el modelo), el simple cambio de área por volumen permitió ampliar su uso, derivándose en el actualmente denominado Modelo de Stover-Kincannon modificado (Sathyamoorthy, 2019).

Este modelo se despliega partiendo de asumir la variación en la concentración de sustrato, en función de la carga orgánica aplicada y eliminada, tal como se muestra en la [ecuación 1](#):

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{A}(S_0 - S_e) \quad (1)$$

donde:

dS/dt- tasa de eliminación de sustrato,

So y Se- concentración de sustrato al inicio y en el efluente ( $\text{kg m}^{-3}$ ),

Q- flujo volumétrico de residual ( $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ ),

A- área transversal al paso del flujo volumétrico (área del reactor) ( $\text{m}^2$ ).

De esta forma se relaciona la velocidad de eliminación del sustrato  $dS/dt$  ( $\text{kg/m}^3\text{d}$ ) con la tasa de utilización máxima del sustrato ( $U_{\text{máx}}$ ) y la constante de saturación ( $K_B$ ), ambas expresadas en  $\text{kg/m}^3\text{d}$ , de acuerdo a la [ecuación 2](#).

$$\frac{dS}{dt} = \frac{U_{\text{máx}}(QS_O/A)}{K_B + (QS_O/A)} \quad (2)$$

Sustituyendo  $QS_O/A$  por  $QS_O/V$ , donde V es el volumen efectivo del reactor, y linealizando la ecuación, se tiene:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{K_B}{U_{\text{máx}}} \cdot \frac{V}{QS_O} + \frac{1}{U_{\text{máx}}} \quad (3)$$

Si el proceso biológico verifica de forma satisfactoria con este modelo, se puede afirmar que su comportamiento sigue una dinámica microbiana que permite su crecimiento, mantenimiento y retención bajo las condiciones de operación del reactor RAFFP.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del sustrato

Las principales características de la excreta vacuna utilizada durante la experimentación se muestran en la [Tabla 2](#).

**TABLA 2.** Caracterización química de a excreta vacuna empleada en a la experimentación

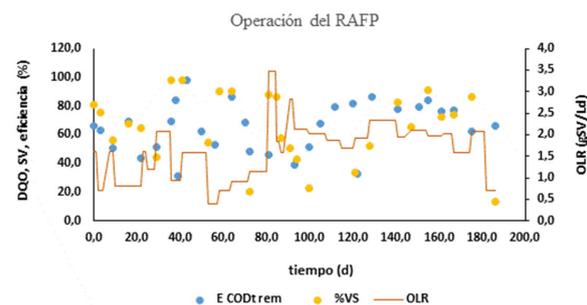
Parámetros	EV
ST (%)	22,20
SV en base seca (%)	62,64
SV/ST	0,62
Cenizas (%)	8,39
Humedad (%)	77,80

Se puede observar que el contenido de ST del estiércol es del 22,2 % similar a los resultados reportados por ([Xu et al., 2019](#); [Franqueto et al., 2020](#)). Por el contrario, el contenido de SV fue del 62,4 %, lo que se corresponde con otros autores ([Zhao et al., 2018](#); [Li et al., 2021](#)). Los valores de SV del sustrato evidenciaron el alto contenido de materia orgánica disponible para ser utilizada en el proceso de digestión anaerobia, lo cual es deseable desde el punto de vista económico en relación a la producción de metano.

### Desempeño de la digestión anaerobia de excreta vacuna en el reactor anaerobio de flujo pistón

La biodegradabilidad de los residuos se determinó a partir del comportamiento de la eliminación de la

DQO y de los sólidos volátiles (SV). Los resultados de la operación del RAFFP se muestran en la [Figura 2](#).



**FIGURA 2.** Comportamiento del proceso anaerobio de la excreta vacuna en el reactor de flujo pistón.

Como se explica en Materiales y métodos, el afluente del proceso se pretrató en un sistema de cámara en el que se mantuvo el sustrato hasta su uso. Las fibras sobrenadantes de la fracción lignocelulósica del estiércol de vaca se eliminaron manualmente y no se utilizó ningún dispositivo de rejilla. Las cámaras actúan como una etapa de prehidrólisis, simulando las condiciones habituales aplicadas en una granja lechera, antes de que los residuos líquidos se canalicen directamente al suelo.

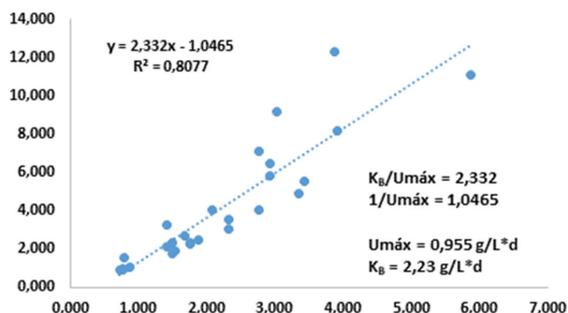
En general, los resultados de la DA de la EV en el presente trabajo concuerdan con los reportados en la literatura. Las eficiencias de eliminación de DQO y SV variaron a lo largo del proceso con una media de 66,9 y 65,1 % respectivamente. La relación promedio entre ácidos grasos volátiles (AGV) y carbono inorgánico total (CIT) fue 0,31 y los valores de pH fue de 7,03 mostrando que el proceso fue estable ([Gómez et al., 2019](#)).

Los rendimientos específicos de biogás y metano fueron de hasta  $0,22 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg SV}$ ,  $0,25 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg SV}$ , respectivamente (datos no mostrados). Los valores de rendimiento de metano fueron similares a los obtenidos mediante la evaluación del potencial de biometano y coinciden con los comunicados por [Lahboubi et al. \(2020\)](#) en sus estudios con sustratos lignocelulósicos similares. Sin embargo, son ligeramente inferiores a los estudiados por [Li et al. \(2016; 2017\)](#) que obtuvieron resultados en el rango de  $0,278$  hasta  $0,322 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg SV}$ .

### Evaluación cinética

La evaluación cinética se desarrolló utilizando el modelo Stover-Kincannon propuesto por ([Sathyamoorthy, 2019](#)) y otros autores en la literatura. Este modelo fue utilizado previamente en reactores biológicos de alta tasa como lodos activados y filtros. Sin embargo, al ajustar este modelo bajo las condiciones de operación del RAFFP, se puede comprobar que el sistema opera de manera similar a las configuraciones de alta tasa. No se ha reportado la

aplicación de este modelo cinético en reactores de flujo pistón. Los resultados se exponen gráficamente en la [Figura 3](#).



**FIGURA 3.** Evolución cinética del proceso anaerobio desarrollado en el reactor de flujo pistón tratando excreta vacuna.

De acuerdo con los resultados representados en la [Figura 3](#) se puede concluir que el modelo Stover-Kincannon se puede utilizar para aproximarse a la cinética del proceso continuo. A pesar de las diferencias entre el funcionamiento del RAFP y aquellas configuraciones de alto rendimiento, la operación del sistema permitió alcanzar resultados adecuados y se puede establecer que la biomasa activa se retiene adecuadamente en el interior del RAFP. Tal como se dijo anteriormente, hasta donde se conoce, esta aproximación nunca se ha realizado para una configuración RAFP.

### CONCLUSIONES

El funcionamiento del sistema de cámaras es un mecanismo operativo para la separación de sólidos de baja densidad. El desempeño del reactor anaerobio de flujo pistón para tratar el estiércol de vaca con presencia de sólidos, demuestra que es un bioproceso eficaz. La eliminación promedio de la demanda química de oxígeno (DQO) alcanza el 66,9 % con un 65,1 % de eliminación de sólidos volátiles totales funcionando a 1,7 kgVS/m<sup>3</sup>d. Los rendimientos específicos de biogás y metano son de hasta 0,22 m<sup>3</sup>/kg VS y 0,25 m<sup>3</sup>/kg VS, respectivamente. El funcionamiento a largo plazo a la escala de estudio demuestra el potencial tecnológico y la aplicación industrial del tratamiento del estiércol bovino para la producción de biogás como contribución a la economía circular.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASLANZADEH, S.; RAJENDRAN, K.; TAHERZADEH, M.J.: "A comparative study between single-and two-stage anaerobic digestion processes: Effects of organic loading rate and hydraulic retention time", *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95: 181-188,

2014, ISSN: 0964-8305, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.008>.

CARRANZO, I.V.: "Standard Methods for examination of water and wastewater", En: Anales de hidrología médica, Ed. Universidad Complutense de Madrid, vol. 5, p. 185, 2012, ISSN: 1887-0813.

FRANQUETO, R.; DA SILVA, D.J.; STARICK, K.E.; JACINTO, S.C.F.: "Anaerobic codigestion of bovine manure and banana tree leaf: the effect of temperature variability on biogas yield in different proportions of waste", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(5): 1444-1458, 2020, ISSN: 1611-8227, e-ISSN: 1438-4957, DOI: [10.1007/s10163-020-01033-2](https://doi.org/10.1007/s10163-020-01033-2).

GAVALA, H.N.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B.K.: "Kinetics and modelling of anaerobic digestion process", *Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology*, 81: 57-93, Springer, Berlin, Heidelberg, 2003, ISSN: 1616-8542, p-ISSN: 0724-6145, DOI: [https://doi.org/10.1007/3-540-45839-5\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-45839-5_3).

GÓMEZ, D.; RAMOS, J.L.; FERNÁNDEZ, B.; MUÑOZ, E.; TEY, L.; ROMERO, m; HANSEN, F.: "Development of a modified plug-flow anaerobic digester for biogas production from animal manures", *Energies*, 12(13): 2628, 2019, ISSN: 1996-1073.

JUANPERA, M.; FERRER, L.; DIEZ, R.; FERRER, I.; CASTRO, L.; BARRETO, H.O.; GARFÍ, M.: "A robust multicriteria analysis for the post-treatment of digestate from low-tech digesters. Boosting the circular bioeconomy of small-scale farms in Colombia", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166: 112638, 2022, ISSN: 1364-0321.

LAHBOUBI, N.; KERROU, O.; KAROUACH, F.; BAKRAOUI, M.; SCHÜCH, A.; BARILLAS, K.E.; STINNER, W.; ARAGÓN, H.; ESSAMRI, A.: "Methane production from mesophilic fed-batch anaerobic digestion of empty fruit bunch of palm tree", *Biomass Conversion and Biorefinery*, : 1-10, 2020, ISSN: 2190-6815, 2190-6823.

LI, C.; LIU, G.; NGES, I.; DENG, L.; NISTOR, M.; LIU, J.: "Fresh banana pseudo-stems as a tropical lignocellulosic feedstock for methane production", *Energ Sustain Soc.*, 6: 27, 2017.

LI, C.; LIU, G.; NGES, I.A.; DENG, L.; NISTOR, M.; LIU, J.: "Fresh banana pseudo-stems as a tropical lignocellulosic feedstock for methane production", *Energy, Sustainability and Society*, 6(1): 1-9, 2016, ISSN: 2192-0567.

LI, Y.; ZHAO, J.; KROONEMAN, J.; EUVERINK, W.: "Strategies to boost anaerobic digestion

- performance of cow manure: Laboratory achievements and their full-scale application potential”, *Science of The Total Environment*, 755: 142-940, 2021, ISSN: 0048-9697,1879-1026, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142940>.
- MANCHALA, K.R.; SUN, Y.; ZHANG, D.; WANG, Z.W.: “Anaerobic digestion modelling”, *Advances in Bioenergy*, 2: 69-141, 2017, ISSN: 2468-0125, DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2017.01.001>.
- MANILAL, V.B.; CHITRAJIT, B.; NATH, R.S.D.: “Advanced Anaerobic Digestion and Associated Process for Zero Discharge Biowastes Treatment”, *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 4(5), 2019.
- SATHYAMOORTHY, G.: “Substrate removal kinetics for anaerobic hybrid reactor (AHR) treating dairy industrial wastewater”, *Int J Recent Technol Eng*, 7(4S): 234-240, 2019.
- SHETE, B.S.; SHINKAR, N.P.: “Comparative study of various treatments for dairy industry wastewater”, *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 3: 42-47, 2013, ISSN: 2250-3021, p-ISSN: 2278-8719.
- XU, L.; PENG, S.; DONG, D.; WANG, C.; CAO, Y.; HUANG, F.; WANG, J.; YUE, Z.: “Performance and microbial community analysis of dry anaerobic co-digestion of rice straw and cow manure with added limonite”, *Biomass and Bioenergy*, 126: 41-46, 2019, ISSN: 0961-9534, 1873-2909, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.026>.
- ZHAO, Y.; SUN, F.; YU, J.; CAI, Y.; LUO, X.; CUI, Z.; HU, Y.; WANG, X.: “Co-digestion of oat straw and cow manure during anaerobic digestion: Stimulative and inhibitory effects on fermentation”, *Bioresource technology*, 269: 143-152, 2018, ISSN: 0960-8524, 1873-2976, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.040>.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

**Conceptualización:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ileana Pereda-Reyes. **Curación de Datos:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ania Cabrera-Díaz. **Análisis Formal:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ania-Cabrera Díaz. **Investigación:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ania Cabrera-Díaz, Ileana Pereda-Reyes, Deny Oliva-Merencio. **Metodología:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra. **Supervisión:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ania Cabrera-Díaz, Deny Oliva-Merencio. **Escritura - Borrador Original:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ileana Pereda-Reyes, Deny Oliva-Merencio. **Escritura-Revisión y Edición:** Carlos Antonio Méndez-Saavedra, Ileana Pereda-Reyes, Deny Oliva-Merencio.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)