

Análisis de la producción de biogás a partir de desechos agrícolas mediante la supervisión de las variables de temperatura, presión y pH en un Biodigestor Anaeróbico en la zona rural de Ocaña.

Analysis of biogas production from agricultural waste by monitoring the variables of temperature, pressure and pH in an Anaerobic Biodigester in the rural area of Ocaña.

MSc. Wilson Antonio Sánchez-Hernández¹, Esp. Jhon Arévalo-Toscano², Ing. Liceth Sánchez-Hernández³

¹ Universidad Popular de Cesar seccional Aguachica, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-0437-2767>, Email: wilsonsanchez@unicesar.edu.co

² Grupo de investigación GITYD, Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9153-1936>, Email: jarevalot@ufps.edu.co

³ Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0154-3835>, Email: lsanchezh@ufps.edu.co

Cómo citar: W.A. Sánchez-Hernández, J. Arévalo-Toscano y L. Sánchez-Hernández, "Análisis de la producción de biogás a partir de desechos agrícolas mediante la supervisión de las variables de temperatura, presión y pH en un biodigestor Anaeróbico en la zona rural de Ocaña", *Rev. Ingenio*, vol. 22, n°1, pp. 1-6, 2025, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.4212>

Fecha de recibido: 20 de marzo de 2024

Fecha aprobación: 2 de julio de 2024

RESUMEN

Palabras clave:

Biodigestor,
Cambio Climático,
Contaminación,
Instrumento Virtual.

Colombia enfrenta una problemática ambiental por el crecimiento poblacional, generando aumento de residuos agrícolas y orgánicos. La metodología de esta investigación se enfoca en un sistema de supervisión que permite identificar variables claves como son temperatura, presión y humedad contenidas en la producción de biogás, para determinar el análisis de estas variables se realiza un balance de energía en el biodigestor. El objetivo principal de este proyecto es regular la carga orgánica proveniente de componentes agropecuarios, que suele liberarse directamente en cursos de agua y campos al aire libre. El estudio permitió encontrar valores de presión que oscilaban entre 0,8 a 1 PSI, de acuerdo a la cantidad de biomasa contenida en el biodigestor, el pH oscila alrededor de 0,6 a 0,8 para mantener los microorganismos que producen el biogás y la temperatura aumenta por el tiempo de carga entre 35 a 40°C, contribuyendo a una mayor eficiencia y equilibrio de energía, en conclusión si se mantienen estos valores en la producción de biogás permite un impacto positivo en el medio ambiente y un gran aporte para el proceso de transición energética que se implementa en el País.

ABSTRACT

Keywords:

Biodigester, Virtual
Instrument, Climate
Change, Pollution.

Colombia faces an environmental problem due to population growth, generating an increase in agricultural and organic waste. The methodology of this research focuses on a supervision system that allows identifying key variables such as temperature, pressure and humidity contained in the production of biogas. To determine the analysis of these variables, an energy balance is carried out in the biodigester. The main objective of this project is to regulate the organic load from agricultural components, which is usually released directly into water courses and open fields. The study allowed finding pressure values that ranged between 0.8 to 1 PSI, according to the amount of biomass contained in the biodigester, the pH ranged around 0.6 to 0.8 to maintain the microorganisms that produce the biogas and The temperature increases due to the charging time between 35 to 40°C, contributing to greater efficiency and energy balance. In conclusion, if these values are maintained in the production of biogas, it allows a positive impact on the environment and a great contribution to the energy transition process that is implemented in the Country.

1. Introducción

Actualmente, el crecimiento poblacional, la expansión de las fronteras agrícolas, el aumento de la cantidad de residuos agrícolas y algunas técnicas de manejo disperso han llevado a la implementación de estrategias para la capacidad técnica y práctica de los productores agrícolas, que contribuyen a la mitigación del cambio climático. Hoy en día, Colombia está en un proceso de transición energética, una de las opciones que ha tomado mayor relevancia para disminuir el consumo

de combustibles fósiles son las tecnologías para generar bioenergía mejor conocidas como energías renovables. [1]

El biogás, que en general se refiere al gas generado en reactores por la digestión anaerobia de residuos orgánicos, es un medio prometedor para hacer frente a las necesidades energéticas mundiales y proporcionar múltiples beneficios ambientales. La generación de metano (CH₄) en el proceso de fermentación de materia orgánica, constituye pérdidas

Autor para correspondencia

Correo electrónico: wilsonsanchez@unicesar.edu.co (Wilson Antonio Sánchez-Hernández)



La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Artículo bajo la licencia CC BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>)

de energía y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en presencia de los factores de consumo, composición, digestión y procesamiento del alimento. [2]

La finalidad del proyecto consiste en realizar un análisis mediante un instrumento virtual las variables de temperatura, presión y humedad de un prototipo de un biodigestor anaeróbico de forma experimental. El análisis de datos y variables de señales de los sensores se efectúan mediante paneles de control de gráficos en el instrumento virtual (VI), analizado en el Software LabVIEW integrado con el programa NI MAX, logrando la integración de parámetros de recolección de señales mediante la integración de comparaciones y funciones de interpretación de variables para la adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medidas y presentaciones de datos en una adquisición de datos que utiliza iconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones las cuales permiten desarrollar e implementar sistemas industriales y de producción a gran escala y personalizados, en la caracterización de sensores y control de motores implementados en el sistema de monitoreo.

2. Metodología

La metodología utilizada en el proyecto es de carácter cuantitativa y cualitativa en la cual se trabaja con datos reales y experimentales para desarrollar todo el análisis del sistema con el fin de supervisar las variables de temperatura, presión y humedad estudiadas en un instrumento Virtual (VI), para dicho experimento se construye un Biodigestor anaeróbico de forma con el fin de generar biogás para ser estudiado los parámetros mencionados. [3]

Las variables de temperatura, presión y humedad se determinan de forma experimental y analítica con sensores para la toma de datos y los comparativos con distintos autores en donde analizan el Biodigestor Anaeróbico con referencia a distintos materiales de materia orgánica, temperatura variante, entre otras. A continuación, se muestran los factores que influyen en el funcionamiento del biodigestor. [4]

- Temperatura y tiempo de retención:
Fermentación mesofílica (20 y 35°C en los 30 a 40 días de retención).
Fermentación termofílica (50 y 60°C en más de 8 días de retención).
- Relación C/N (carbono (C) y nitrógeno (N), con relación (C/N), esta debe de ser de 20:1 hasta 30:1 aceptable, aunque el valor ideal es de 16.).
- Niveles de amoníaco (por debajo de los 2000 mg/l).
- pH (Concentración de CO₂ en el gas, entre 6 y 8).
- Contenido de agua de la mezcla (La razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 Kg, de 1:3 o 1:4).

- Materiales orgánicos (biogás y bioabono).

A continuación, se muestran los procesos para la generación de la fermentación de Biogás (ver figura 1):

- Hidrólisis: Proporciona un sustrato orgánico para la digestión anaerobia. La hidrólisis de estas moléculas complejas se realiza bajo la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. [5]
- Acidogénesis: Fermentación, donde los compuestos solubles obtenidos en el paso anterior son fermentados y convertidos en ácidos grasos volátiles como el ácido propiónico, ácido butírico, dióxido de carbono, alcohol e hidrógeno. Esta fase del proceso se caracteriza por “su pH en el rango ácido de 5,1 a 6,8”. [6]
- Metanogénesis: En esta fase, estos últimos compuestos son captados por células de bacterias metanogénicas, que los convierten en metano y los expulsan de las células. Este es un período de digestión mejorada caracterizado por fermentación alcalina, digestión de sustancias resistentes, proteínas, aminoácidos y celulosa; caracterizado por la formación de sales de ácidos orgánicos y volúmenes gaseosos en una mezcla con alto contenido de metano, siendo el resto dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno. La descomposición se caracteriza por un olor a alquitrán, una pequeña cantidad de sustancia líquida y un valor de pH en la zona alcalina con un valor entre 6,9 y 7,4. [6]

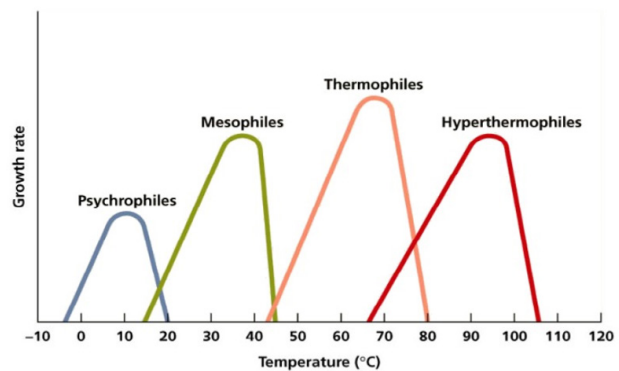


Figura 1. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica. Fuente. [4]

3. Principio de funcionamiento

El sustrato se alimenta a través del tubo de entrada y ocupa la parte inferior de la bolsa, mientras que la parte superior actúa como contenedor del biogás producido con la presión. [7, 8]

El volumen del biodigestor se puede dividir entre la parte

que ocupa la fase líquida (el estiércol y agua junto con el consorcio bacteriano) y la parte que ocupa la fase gaseosa (donde se acumula el biogás generado). El volumen líquido del biodigestor es el que está relacionado con la carga diaria y el tiempo de retención. [9, 10]

La ecuación del volumen líquido respecto al tiempo de retención y la carga diaria es la siguiente:

$$V_L = TR * CD \quad (1)$$

• Donde:

VL = Volumen líquido (m3 o L)

TR= Tiempo de retención (días)

Cd= carga diaria (m3/d o L/d)

Este, el volumen líquido (VL), es el volumen que hay que considerar en los cálculos para el tiempo de retención, y no el volumen total. El volumen total (VT) del biodigestor será la suma del volumen líquido y volumen de biogás (VB). [9]

$$V_T = V_L + V_B \quad (2)$$

• Donde

VT = Volumen total (m3 o L)

VL = Volumen líquido (m3 o L)

VB = Volumen biogás (m3 o L)

4. Resultados

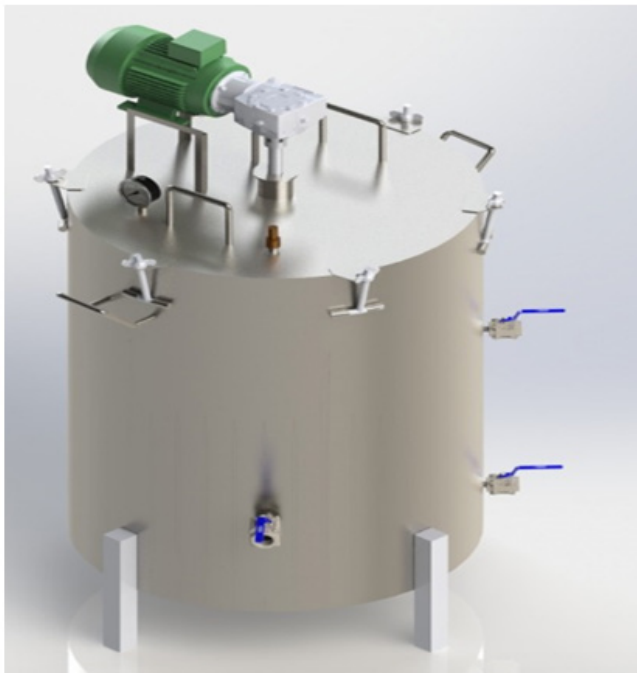


Figura 2. Diseño del Biodigestor

En la Figura 2 se presenta el diseño de un biodigestor, el cual sirvió como modelo para el análisis del instrumento virtual. Gracias al uso del software LABVIEW, se lograron determinar las variables de temperatura, pH y presión.

En el desarrollo del proyecto se consideró una carga inicial en el cual se analiza un tanque de 60 litros para el prototipo a realizar, se recomienda utilizar un 70% del tanque equivale a 42 litros para la carga inicial y un 30% para el almacenamiento del biogás, el volumen diario de biogás es de 3 litros por día.

Para la construcción del prototipo se requirieron una caneca plástica 60 litros, 2 Codos de 90° de 1/2", 3 adaptadores macho y hembra de 1/2", un adaptador macho de 2" con su respectivo tapón, una llave de 1/2" lisa, 50 cm de tubo de PVC sanitario de 2", una llave para gas de 1/2" metálica y un Manómetro digital como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Materiales Utilizados en el prototipo

En la prueba con estiércol de ganado, se tomó en cuenta la relación 1:1 para la carga inicial, siendo esta aproximadamente 21 kilos de estiércol y 21 litros de agua para cumplir con el 70% de nuestro biodigestor. Se instaló el 10 de mayo del 2023 en la universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.

Dentro de los resultados se tuvo en cuenta una carga inicial de 21 kilos de estiércol y 21 litros de agua para cumplir con el 70%, una temperatura promedio Ocaña de 22°C, un tiempo de retención de 30 días con una segunda carga de un kilo de estiércol y un litro de agua. Se tomaron los datos de forma práctica con el manómetro con la llave cerrada para verificar que se encuentre en 0 y se abrió, se obtuvo una presión de 0,8 psi y 0,9 psi. (ver Figura 3)



Figura 4. Resultados de Presión en el prototipo Posteriormente, se calculó la producción de

Biogás:

$$(ST) = Cd * 0.17 / VB \quad (3)$$

$$(ST) = 3.5l/d * 0.17 / 18l$$

$$(ST) = \text{Solidos totales} = 0.033$$

$$\text{Solidos volátiles (SV)} = ST * 0.7 \quad (4)$$

$$SV = 0.024$$

$$\text{Producción biogás} = 0.39 * SV \quad (5)$$

$$\text{Producción biogás} = 0.01m^3$$

Como resultados en el prototipo se obtienen los siguientes comparativos mostrados en la tabla 1 [11]:

Tabla 1. Presupuesto mensual.

1. Relación	2. UFPSO	3. Ecuador.
4. Peso de Estiércol	5. 21 (kg)	6. 67,32 (kg)
7. pH Estiércol	8. 6,5-7	9. 6
10. Agua	11. 21 (Litros)	12. 75,71 (Litros)
13. Temperatura ambiente	14. 22°C	15. 14,27°C
16. Presión	17. 9 (psi)	18. 12 (psi)
19. Tiempo retención	de 20. 30 días	21. 50 días
22. Producción biogás	de 23. 0,01 m3	24. 0,0488 m3

En el instrumento Virtual se utilizó el sensor de pH (SEN0161), el Transmisor De Presión Industrial (EPI 8287) y el sensor de temperatura (TERMO-K) para la transmisión de señales. En el diagrama de bloques del VI, se integró los comandos del Software LabVIEW con el programa NI MAX generando el control de las variables con cada sensor utilizado. Este análisis es mostrado en el panel frontal y recolectado en el formato de EXCEL, en comandos de entradas analógicas de calor y corriente, como se muestra en la Figura 5 y 6.

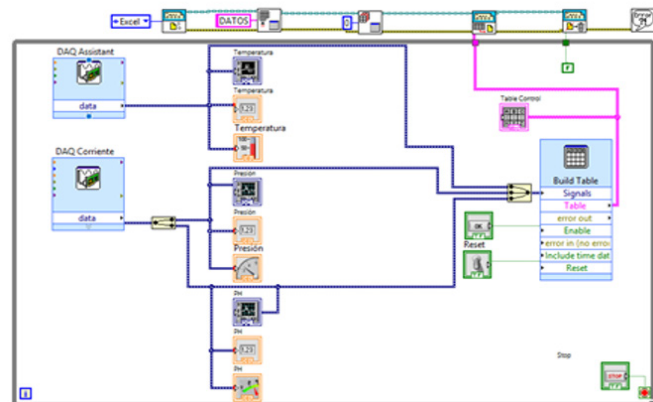


Figura 5. Diagrama de Bloques

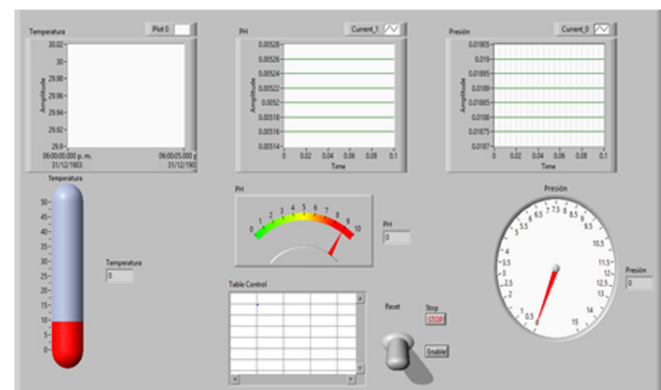


Figura 6. Panel Frontal

El instrumento virtual permitió analizar las variables que se presentan en las Figuras 7, 8 y 9 a través de gráficos de control, los cuales están ubicados en el panel frontal y de control.

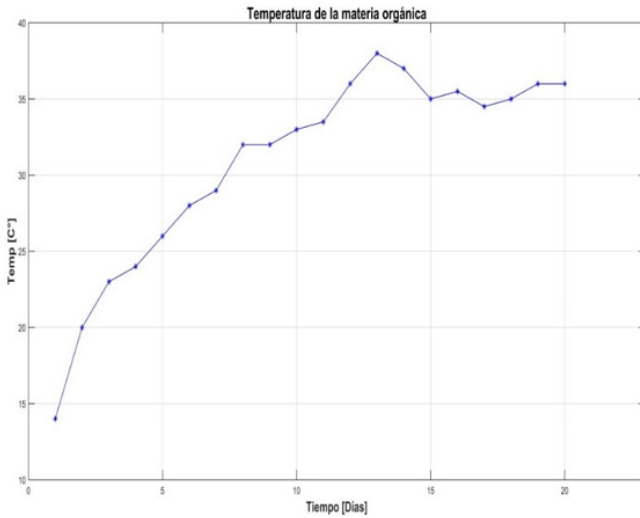


Figura 7. Temperatura VS Tiempo

En este gráfico de control de temperatura vs el tiempo, permite monitorear y controlar la variación con respecto a la fermentación de microorganismo.

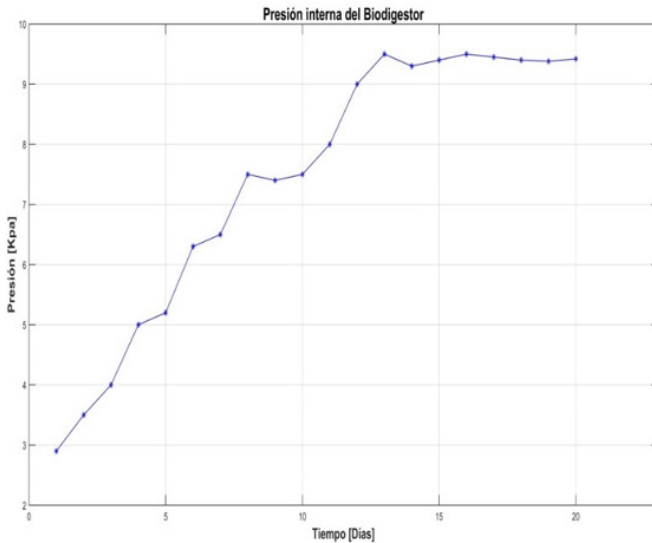


Figura 8. Presión VS Tiempo

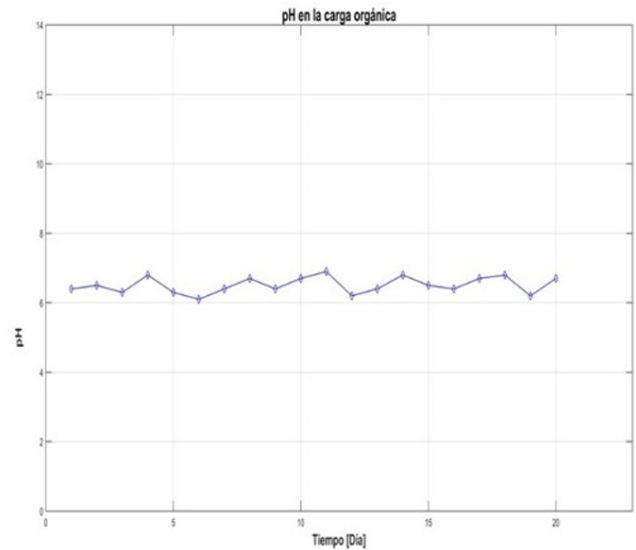


Figura 9. pH VS Tiempo

El pH se comporta en un intervalo de 6-7, el sistema internamente experimenta la liberación y extracción de gases, lo que influye en la humedad a lo largo del proceso de fermentación.[11,12]

5. Conclusiones

Se demostró un aumento en los valores de presión con respecto al tiempo de retención y carga diaria de 0.8 a 0.9 psi, dentro de la digestión anaerobia se concluyó que se puede utilizar para tratar residuos con un alto contenido orgánico, en especial para fincas que cumplan con la carga diaria mínima respecto a su necesidad.

Los biodigestores no solo producen el biogás, también se obtiene un fertilizante llamado digestato que es rico en nutrientes, mediante estos sistemas se reduce la acumulación de heces.

El sistema de supervisión de variables, que abarca la temperatura, presión y humedad y que se encuentra integrado en el Software LabVIEW junto con el programa NI MAX, proporciona la capacidad de visualizar gráficas para cada una de estas variables. Los resultados obtenidos a lo largo del proyecto nos permiten concluir que este sistema de monitoreo de variables tiene un impacto positivo en la reducción de costos asociados a la obtención de gases.

La obtención de datos experimentales a través del software permite compararlos con los valores estándar del sistema, lo que a su vez permite extraer el gas combustible óptimo del proceso. Además, el análisis de la producción de la materia prima y el tipo de flujo al final del proceso contribuye a la reducción de los efectos ambientales relacionados con la actividad agrícola.

El VI desarrollado en el software LabVIEW almacena los datos recopilados en un formato compatible con Microsoft Office Excel, lo que simplifica su procesamiento y análisis posterior. Este sistema de supervisión de variables se enfoca en proyectos futuros donde se busca correlacionar el comportamiento de las variables medidas con su impacto en la viabilidad del uso de sensores integrados en el biodigestor. Esto ayudará a monitorear los parámetros utilizados para determinar los tiempos requeridos en la generación de biogás en el proceso final.

La integración de LabVIEW y NI MAX permite al usuario aprovechar una amplia gama de características, como la adquisición de datos, el control de instrumentos, la automatización industrial, el diseño de controles, el procesamiento de señales, la visualización de gráficas con datos dinámicos, la comunicación con otras aplicaciones, la inclusión de imágenes, el control de movimiento en tiempo real y la sincronización precisa. Además, el nuevo diagrama de bloques facilita la obtención de la variación de los sensores en relación con el voltaje y la corriente aplicada, así como el análisis de las variables junto con sus unidades de magnitud correspondientes.

6. Agradecimientos

Queremos aprovechar esta oportunidad para expresar mi más sincero agradecimiento a la Revista Ingenio y a la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, por su apoyo continuo y su contribución para la presentación de este artículo. Su compromiso con la excelencia académica y científica ha sido una fuente constante de inspiración para nosotros.

7. Referencias

- [1] E. Espinel-Blanco, E. N. Florez-Solano y J. E. Barbosa-Jaimes, "Estudio para la generación de energía por un sistema con paneles solares y baterías," *Revista Ingenio*, vol. 17, n.º 1, pp. 9–14, 2020, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2392>,
- [2] J. A. Gómez-Camperos, F. J. Regino-Ubarnes y H. Yulady-Jaramillo, "Desarrollo de un sistema de monitoreo para las variables de temperatura, presión y pH en un biodigestor anaeróbico," *Revista Ingenio*, vol. 19, n.º 1, pp. 22–27, 2022, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.3035>
- [3] A. K. Lizcano-Pulido, A. C. Morales-Toscano, W. Naranjo-Lourido y J. E. Martínez-Baquero, "Diseño y Simulación de Control de temperatura y pH para el inicio de un biorreactor tipo Batch," *Vinculos Ciencia, Tecnología y Sociedad*, p. 14, vol. 18, n.º 2, 2021.
- [4] M. Kabyanga, B. Balana, J. Mugisha, P. Walekhwa, J. Smith y K. Glenk, "Economic potential of flexible balloon biogas digester among smallholder farmers.," *Rev. Renewable Energy*, may 2018, pp. 392–400, vol. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.103>.
- [5] S. N. Mejía Rodríguez, "Evaluación Técnico - Financiera de un Biodestor para el aprovechamiento de los desechos orgánicos caninos en criadero Pandora Colombia," *Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química*, Bogotá, 2020.
- [6] Y. O. Arboleda y L. O. G. Salcedo, "Fundamentos para el diseño de biodigestores.," *Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira*, 2009.
- [7] E. Barrera Cardoso, L. Odales Bernal, A. Carabeo Pérez y A. Yasmani, "Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural," *Revista Tecnología Química*. 2 de 2020, vol. 40, n.º 2, pp. 303-321, 2020.
- [8] M. Ávila-Hernández, R. Campos-Rodríguez, L. Brenes-Peralta y M. F. Jiménez-Morales, "Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago," *Revista Tecnología en Marcha*. Vol. 31, n.º 2, Abril-Junio 2018, vol. doi: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i2.3633>.
- [9] J. Marti Herrero, *Biodigestores tubulares, guía de diseño y manual de instalacion*, Ecuador: Creative Commons, ISBN: 978-9942-36-276-6, 2019.
- [10] Z. Sidartha Roa, J. Mendoza Corba, S. Gonzales Muñoz, F. Kaiser Caldera y A. Gebauer, *Guía de Biogas para el sector porcigricola de Colombia, Colombia: El ambiente es de todos*, Minambiente, ISBN 978-958-52236-2-2, 2020.
- [11] M. T. Varnero Moreno, *Manuel del biogas*, Santiago de Chile: Gobierno de Chile, Ministerio de Energía, ISBN 978-95-306892-0, 2011.
- [12] B. Campos Cuni, "Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino.," 2019.