

Automatización del proceso de producción de biogás a partir de desechos orgánicos mediante un Biodigestor.**Automation of the biogas production process from organic waste using a Biodigester.***Gómez Peñafiel Joshue David, Estrella Quispe Alex Fabian.***INNOVACIÓN Y CONVERGENCIA:
IMPACTO MULTIDISCIPLINAR**

Enero - Junio, V°6 - N°1; 2025

- ✓ Recibido: 20 /02/2025
- ✓ Aceptado:25/02/2025
- ✓ Publicado: 30/06/2025

PAÍS

- Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas.

INSTITUCIÓN

- Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
- Instituto Superior Tecnológico Tsáchila

CORREO:

- ✉ joshuegomezpenafiel@tsachila.edu.ec
- ✉ alexestrella@tsachila.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0001-4709-855>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-3037-9069>

FORMATO DE CITA APA.

Gómez, J. Estrella, A. (2025). Automatización del proceso de producción de biogás a partir de desechos orgánicos mediante un Biodigestor. Revista G-ner@ndo, V°6 (N°1.). 1813 – 1823.

Resumen

La problemática acerca del desconocimiento sobre cómo usar estratégicamente desechos orgánicos para producir biogás y envasarlos en tanques presurizados como fuente de energía renovable para combatir problemas ambientales. Automatizar biodigestores, ajustándolos a condiciones locales, a los requerimientos del proceso productivo, puede optimizar recursos tecnológicos, aumentar la eficiencia y reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Este proyecto busca desarrollar tecnologías accesibles que impulsen el uso del biogás a partir de desechos orgánicos en comunidades rurales. La investigación cuantitativa, de enfoque experimental previamente realizado y aplicado, diseñó un biodigestor automatizado que usa múltiples sensores para controlar temperatura, presión, caudal, logrando estabilidad en el proceso de envasado. Los datos mostraron que los residuos animales producen más biogás orgánico que los vegetales. Además, el sistema redujo en un 40% la necesidad de supervisión manual y mejoró la eficiencia general en un 15%, promoviendo prácticas sostenibles como la economía circular. Este trabajo demuestra que la automatización puede optimizar los biodigestores, reducir la generación de residuos y contribuir a la producción de gases combustibles ecológicos y fertilizantes orgánicos. También destaca el impacto positivo de estas tecnologías en la transferencia de conocimientos y la formación técnica en comunidades rurales, fortaleciendo sus capacidades productivas mediante energías sostenibles. En resumen, este proyecto representa una solución práctica y adaptable para aprovechar los recursos locales y mitigar problemas ambientales.

Palabras clave: Biogas, biodigestor, automatización, presión, desechos orgánicos.

Abstract

The lack of knowledge on strategically utilizing organic waste to produce biogas and store it in pressurized tanks as a renewable energy source to combat environmental issues. Automating biodigesters by adapting them to local conditions and production requirements can optimize technological resources, increase efficiency, and reduce greenhouse gas emissions. This project aims to develop accessible technologies that promote biogas utilization from organic waste in rural communities. A previously conducted quantitative experimental study designed an automated biodigester equipped with multiple sensors to control temperature, pressure, and flow, ensuring stability in the packaging process. The data revealed that animal waste generates more organic biogas than plant waste. Additionally, the system reduced the need for manual supervision by 40% and improved overall efficiency by 15%, fostering sustainable practices such as the circular economy. This study demonstrates that automation can optimize biodigesters, minimize waste generation, and contribute to the production of eco-friendly combustible gases and organic fertilizers. It also highlights the positive impact of these technologies on knowledge transfer and technical training in rural communities, strengthening their productive capacities through sustainable energy solutions. In summary, this project presents a practical and adaptable solution to leverage local resources and mitigate environmental challenges.

Keywords: Biogas, biodigester, automation, pressure, organic waste.

Introducción

En Ecuador, la producción de biogás es una alternativa poco aprovechada debido a la falta de automatización en los sistemas de biodigestión. Este proceso, basado en la descomposición anaeróbica de materia orgánica, tiene el potencial de generar energía limpia y sostenible, reduciendo al mismo tiempo la contaminación ambiental. Sin embargo, la eficiencia del biogás producido varía significativamente en función de factores como temperatura, pH, tiempo de retención y composición del sustrato.

A nivel mundial, el biogás se ha convertido en una solución clave para la transición energética, con aplicaciones en la generación de electricidad, calefacción y biocombustibles. En países como Alemania, Brasil y Colombia, la integración de tecnologías automatizadas ha permitido mejorar el rendimiento de los biodigestores. En Ecuador, la necesidad de optimizar estos procesos se vuelve crucial para garantizar un uso eficiente de los recursos y fomentar la adopción de energías renovables en comunidades rurales. Este estudio se enfoca en la automatización del proceso de producción de biogás mediante la implementación de sensores y sistemas de control, con el objetivo de mejorar la eficiencia del biodigestor, reducir la intervención manual y aumentar la estabilidad del proceso.

En el Ecuador la baja utilización de un recurso tan accesible como lo es el uso del biogás deja en evidencia la falta de conocimiento que se le puede dar a los desechos orgánicos, en su gran mayoría estos residuos se llegan a ocupar desechar como basura provocando impactos negativos, siendo los principales: emisión de malos olores, destrucción del medio ambiente y capa de ozono, etc. Esta realidad resalta la importancia de crear sistemas automatizados que no solo optimicen la producción de biogás, sino que también se conviertan en herramientas educativas, permitiendo el aprendizaje práctico y facilitando la transferencia de tecnología en las comunidades locales.

El proceso de creación de biogás a partir de desechos orgánicos mediante biodigestores es una respuesta importante a la necesidad de encontrar alternativas sostenibles a la creciente demanda energética y a los problemas medioambientales asociados a la gestión de residuos. Aprovechar estos recursos no sólo brinda la oportunidad de producir energía limpia, adicional a este proceso también es importante destacar la disminución de gases de efecto invernadero en países como Ecuador. Por este motivo, es fundamental desarrollar tecnologías adaptadas a las condiciones y necesidades locales. El biogás ofrece una valiosa oportunidad para diversificar nuestras fuentes de energía, reduciendo nuestra dependencia de los combustibles fósiles y promoviendo un enfoque más sostenible. Todo el proceso puede hacerse más eficiente mediante la automatización y un mejor control de los factores clave del proceso productivo.

El biogás es una forma de energía renovable que se produce cuando se descompone material orgánico, como los desechos de alimentos, los desechos agrícolas, la paja y los lodos de la planta de tratamiento sin oxígeno. Además de biogás, el proceso también produce un subproducto llamado digestato, que se puede utilizar como fertilizante orgánico. El metano es el principal componente del biogás, que es un gas inflamable que puede utilizarse para generar electricidad. Aun así, el uso de biogás es más sostenible que liberar metano directamente en la atmósfera, lo que la hace favorable para el medio ambiente debido a sus beneficios para bajar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Métodos y Materiales

La investigación se realizó de forma cuantitativa, ya que se centra en investigar los beneficios de la instalación de un sistema que automatice el proceso de producción de biogás, las variables físicas que deben controlarse en cada etapa el proceso con sus valores específicos de operación denominados set points (valores de referencia), para analizar los beneficios y evaluar los impactos que generan.

El presente proyecto tomó vida a través de un enfoque experimental y aplicado en función de investigaciones previamente realizadas por otros investigadores sobre las variables a controlar del proceso, buscando aprovechar al máximo los desechos orgánicos para producir biogás de manera eficiente. La idea central fue automatizar un biodigestor, integrando sensores que monitorearan variables esenciales como la temperatura y el pH, asegurando condiciones óptimas para el proceso.

El nivel de investigación será descriptivo y explicativo, al usar fuentes bibliográficas realizadas anteriormente para su sustentación teórica. Donde se describirán los posibles problemas y alternativas para solucionarlos como también parámetros como lo económico y el tiempo que llevaría la implementación de un sistema de automatización para el proceso de generación de biogás. De igual forma el alcance será explicativo, por lo que se describirá cada una de las etapas del proceso en el estudio de factibilidad.

Análisis de Resultados

Para la recopilación de datos en esta investigación, se emplearon técnicas mixtas, combinando métodos cualitativos y cuantitativos. Entre los principales instrumentos utilizados se encuentran:

Revisión documental: Se analizaron estudios previos sobre la automatización de biodigestores, tanto a nivel nacional como internacional. Estas técnicas permitieron obtener datos precisos y verificables, asegurando la validez de la investigación. Se logró diseñar un sistema automatizado que incluye sensores para monitorear la temperatura, el pH y la presión del biodigestor en tiempo real. Los datos recopilados permitieron identificar patrones de funcionamiento óptimos.

Tabla 1
Detalles de los resultados

Variable	Definición	Indicador	Medición
Producción de biogás	Cantidad de biogás generado en el biodigestor.	Volumen de biogás producido (m ³ /día).	Medidor de flujo de gas.
Calidad del biogás	Proporción de metano y otros gases en la mezcla obtenida	% de metano (CH ₄) y dióxido de carbono (CO ₂).	Sensor de gases.
Eficiencia del biodigestor	Capacidad del sistema para transformar materia orgánica en biogás.	% de conversión de residuos en biogás.	Análisis de la composición del biogás.
Temperatura interna	Rango de temperatura dentro del biodigestor.	Temperatura en °C.	Sensor de temperatura.
PH del sustrato	Nivel de acidez o alcalinidad del material en digestión	Escala en pH.	Sensor de pH

Las variables como la temperatura, la presión y el pH se evalúan mediante la recopilación de datos. Diversos estudios realizados por distintos investigadores han analizado el funcionamiento de los biodigestores anaeróbicos considerando diferentes tipos de materia orgánica, variaciones en la temperatura y otros factores que influyen en el proceso.

Tabla 2
Variables fundamentales en el proceso

Parámetro	Rango optimo	Efecto en el biogás	Consecuencias fuera del rango
Temperatura	35 - 38 °C (mesofílica) 50 - 55 °C (termofílica)	Influye en la actividad de las bacterias metanogénicas, optimizando la producción de biogás.	Menor producción de biogás, posible inhibición de bacterias anaeróbicas.
PH	6.5 - 8.0		pH ácido (<6.5) inhibe la metanogénesis. pH alcalino (>8.0) afecta

		Mantiene un ambiente estable para la digestión anaeróbica.	la estabilidad del proceso.
Presión	10 - 30 kPa	Permite un almacenamiento eficiente del biogás y evita fugas.	Presión baja reduce la acumulación de biogás. Presión alta puede causar fugas o fallas estructurales.

En las investigaciones realizadas con anterioridad por los autores citados se observaron variaciones en la producción de biogás dependiendo del tipo de residuo orgánico utilizado. El estiércol, especialmente de cerdos y aves, suele ser el más eficiente, ya que posee un alto contenido en materia orgánica y una composición favorable que permite generar una mayor cantidad de biogás con menores volúmenes de residuo.

Tabla 3

Tabla comparativa de la producción de biogas

Tipo de desecho orgánico	de	Kilos necesarios para producir 1 Kg/peso de biogás	Observaciones
Estiércol vaca	de	20-30 kg	Alto contenido de agua y fibra(celulosa), requiere largos tiempo de digestión.
Estiércol cerdo	de	15-20 kg	Mayor contenido de proteínas que el de vaca, moderado en fibra.
Estiércol pollo/gallina	de	10-20 kg	Alto en nitrógeno y amoníaco, requiere mezcla con otros residuos para equilibrar.
Bagazo de caña de azúcar	de	12-18 kg	Fibroso y bajo en nitrógeno, necesita co- digestión con estiércol.
Residuos de coco(cascara)	de	15-25 kg	Muy fibrosas y lignificadas, bajo rendimiento sin trituración
Residuos alimenticios		4-8 kg	(frutas, verduras, restos de cocina)

En este apartado se realizó el algoritmo de operación para la automatización del biodigestor.

Revisión del biogás

El algoritmo se implementa para gestionar de forma automática-manual y segura el trasvase y envasado del biogás, asegurando que el proceso de digestión se encuentre estable. Para ello, se mantiene una temperatura constante entre 35 °C y 38 °C controlada por un sistema PID con lecturas cada 15 minutos y se realizan verificaciones de presión cada 30 segundos antes de proceder a cada etapa. Asimismo, se comprueba que todas las conexiones, tuberías de cobre y sensores estén correctamente instalados y calibrados antes de iniciar con el proceso.

Activación del sistema

Cuando el biodigestor alcanza aproximadamente el 90% de su capacidad (18 kg de biogás) y se registra una presión interna en el rango de 27 a 28 kPa (equivalente a 3.9 a 4.1 psi, con un margen de error de ± 0.3 psi) de forma estable durante 30 segundos, el sensor de presión envía la señal para activar el compresor. Este compresor, operando en ciclos de 15 segundos, genera el vacío necesario para impulsar el biogás hacia el tanque de mayor capacidad. En caso de anomalías en las mediciones, se activa un modo manual mediante selector para asegurar la continuidad del proceso.

Activación del primer sensor

Al alcanzar la capacidad máxima del biodigestor (20 kg), el sensor, calibrado con un margen de error del $\pm 5\%$, detecta que la presión interna ha sobrepasado los 28 kPa (aproximadamente 4.1 psi). En ese instante, se envía la señal a la electroválvula para iniciar la transferencia controlada del biogás hacia el tanque de almacenamiento. El sistema permite liberar entre 1 y 2 kg de biogás por ciclo, con cada ciclo de trasvase teniendo una duración

aproximada de 15 segundos, lo que ayuda a evitar picos de presión y asegura un flujo gradual y seguro.

Proceso de mayor almacenamiento

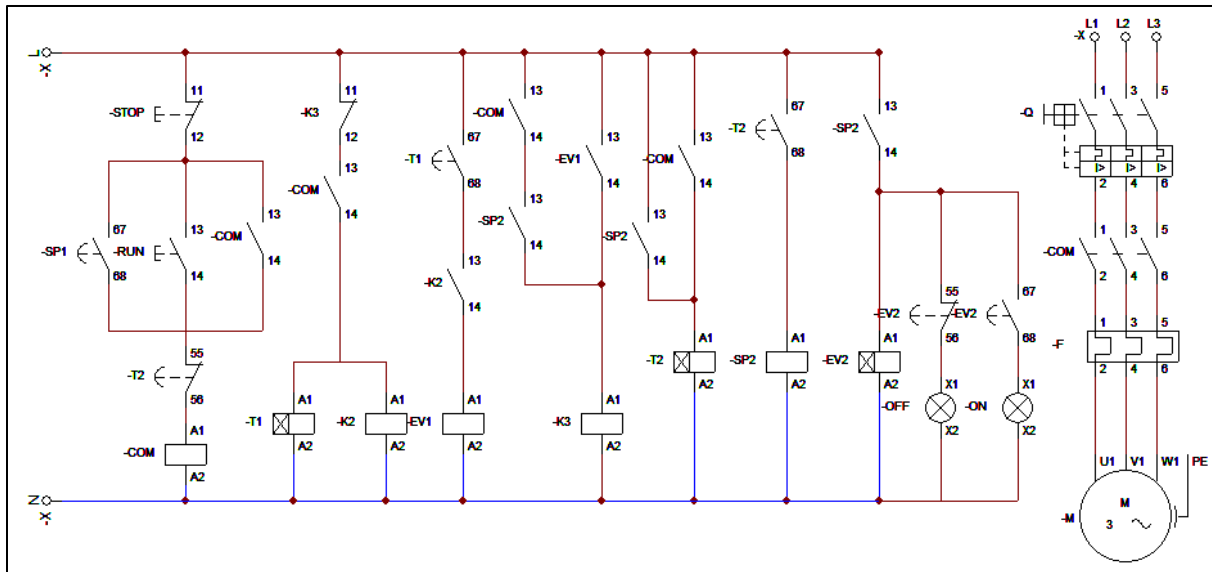
El biogás transferido se acumula en un tanque con capacidad de 100 kg. Un sensor de alta precisión monitorea continuamente la presión interna. Cuando el tanque alcanza alrededor del 95% de su capacidad (95 kg) y la presión registrada se aproxima a 30 kPa (4.35 psi), el sensor envía la señal para cerrar la electroválvula y desactivar el compresor. Se incorpora un margen de seguridad de 0.3 a 0.4 psi para evitar sobrepresiones y garantizar la integridad estructural del tanque. Las lecturas en este caso se actualizan cada 20 segundos para un control constante.

Envasado en bombonas

En la etapa final, el biogás se dirige hacia bombonas mediante un panel de control. El flujo se regula a una tasa constante de aproximadamente 0.5 kg por minuto, de manera que cada bombona (con capacidad de 20 kg) se llena de forma uniforme y precisa. Se configuran alertas que se activan cuando cada bombona alcanza el 98% de su capacidad nominal, momento en el cual la válvula de llenado se cierra automáticamente para evitar pérdidas. Este proceso se sincroniza en intervalos de 10 segundos para confirmar de forma segura el llenado de cada unidad.

Ilustración 1

Algoritmo de operación del sistema automatizado CadeSimu



Conclusiones

La investigación permitió desglosar y comprender detalladamente cada una de las fases involucradas en la producción de biogás dentro de un biodigestor y el proceso de envasado. Este entendimiento permite optimizar el proceso, asegurando una mayor eficiencia en la generación de biogás.

Se analizaron diversas tecnologías de automatización aplicables a las diferentes etapas del biodigestor. La implementación de estas herramientas permite el monitoreo y control en tiempo real, lo que incrementa la eficiencia y estabilidad del proceso de digestión anaeróbica. Se determinó que las instalaciones eléctricas deben ser con material anti explosivo.

La presente investigación dio como paso verificar la factibilidad técnica, económica y ambiental de un sistema de recolección de materia prima, producción, almacenamiento y envasado de biogás en comunidades locales. A través del análisis de cada uno de estos

aspectos, enfocados en una producción específica de 1 kg/ peso de biogás generado se pudo constatar que la implementación de este sistema es viable en nuestra región por la existencia de los recursos de materia prima requeridos y puede contribuir significativamente a la sostenibilidad energética y ambiental de nuestras comunidades.

Referencias bibliográficas

- Martí Herrero, J. E. (21 de Enero de 2025). *Experiencias latinoamericanas en la democratización de los biodigestores: Aportes a Ecuador*. Obtenido de DuraSpace: http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/352
- Paolini, V. P. (2018). *Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. Journal of Environmental Science and Health*. Obtenido de Part A, 53(10), 899–906.: <https://doi.org/10.1080/>
- Rojas, P. &. (2022). Gestión de residuos orgánicos en Ecuador: Impacto de la producción de biogás en la reducción de emisiones de metano. *Revista Ecológica*, 29(3), 80-92.
- Roldán Reascos, G. M. (2023). *Construcción de un biodigestor para generar energía renovable a partir de desechos orgánicos en el camal de Pacto - Ecuador*. Obtenido de Esferas, 3, 134–153.: <https://doi.org/10.18272/esferas.v3i1.2426>
- Sánchez, R. &. (2021). *Tecnologías emergentes en el almacenamiento y compresión de biogás en América Latina. Journal of Renewable Energy*. 34(2), 45-60.
- Soto Valencia, K. R. (2024). Diseño y simulación de un biodigestor mediante PLC y pantalla HMI. *DSPACE*, 10-82.
- Torres, D. &. (2021). Mitigación de problemas ambientales mediante la conversión de residuos orgánicos en biogás en Ecuador. *Energía y Sostenibilidad*, 18(4), 50-67.
- Valencia, K. R. (2024). *Diseño y simulación de un biodigestor mediante PLC y pantalla HMI*. GUAYAQUIL, ECUADOR: DSPACE.
- Verdezoto del Salto, L. V. (2023). *Implementación de biodigestores tubulares anaeróbico, como herramienta de auto sustentabilidad para la producción de biogás y biol en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, Ecuador*. Obtenido de Tesla Revista Científica 3(1), e98.: <https://doi.org/10.55204/trc.v3i1.e98>
-