



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2022; 4:1-14. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2022.2>
Artículo original. Recibido: 12/10/2021. Aceptado: 27/03/2022. Publicado: 05/05/2022. Clave: e2021-26.
<https://www.youtube.com/watch?v=vwAhbKS319E>

Implementación de mejoras técnicas para incrementar la eficiencia en la producción de biogás

Implementation of technical improvements to increase efficiency in biogas production

Ruiz-Almazán Ileana*¹ ID, Legarreta-González Martín**² ID, Briseño-García Arturo³ ID, Castruita-Esparza Luis⁴ ID, Rivas-Lucero Bertha⁴ ID

¹Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Estudiante de Posgrado del Programa de Maestría en Agronegocios, Cd. Delicias, Chihuahua, México. ²Professor Associate, University of Makeni (UniMak), Makeni City, Northern Province, Sierra Leone y Profesor Asignatura e Investigador, Universidad Tecnológica de la Tarahumara, Guachochi, Chihuahua, México. ³Profesor-Investigador, Facultad de Comercio y Administración Victoria, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. ⁴Profesor-Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua, Cd. Delicias, Chihuahua, México. *Autor responsable. **Autor para correspondencia: Legarreta-González Martín. E-mail: ileana_ra7@hotmail.com, mlegarreta@uttarahumara.edu.mx, abriseno.dca@gmail.com, lcastruita@uach.mx, brivas@uach.mx.

RESUMEN

Metodologías administrativas aplicadas a empresas agropecuarias permiten mejoras en sus procesos. Algunas de estas metodologías tienen un enfoque holístico de mejora continua que permiten integrar procesos técnicos con administrativos. Una preocupación de las empresas socialmente responsables es la contaminación ambiental proveniente de combustibles fósiles y desechos provenientes de sus procesos productivos. El objetivo de este estudio fue aplicar la metodología OSKKK, (observar a profundidad, estandarizar, Kaizen del flujo y proceso, Kaizen de equipo y Kaizen de diseño) permitiendo un proceso de mejora continua, facultando a la empresa, en donde se llevó a cabo el estudio, hacer uso de energías renovables para mitigar su impacto ambiental. Se optó por el uso de biogás para la producción de energía calorífica, se sugirieron mejoras técnicas y de seguridad en los biodigestores. Asimismo, se encontró que el factor más importante y significativo estadísticamente para controlar el volumen de biogás es el pH de la mezcla usada en su producción. La implementación de mejoras en este tipo de biodigestores impacta en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: OSKKK, mejoras técnicas, kaizen, seguridad.

ABSTRACT

Administrative methodologies applied to agribusinesses allow for improvements in their processes. Some of these methodologies have a holistic approach to continuous improvement that enables the integration of technical and administrative procedures. One concern of socially responsible companies is environmental pollution from fossil fuels and waste from their production processes. The objective of this study was to apply the OSKKK methodology (observe in-depth, standardize, Kaizen of flow and function, Kaizen of equipment, and Kaizen of design) that allows a process of continuous improvement, in this case, that enables the company where the study was carried out, to make use of renewable energies to mitigate its environmental impact. The use of biogas was chosen to produce heat energy, and technical and safety improvements were suggested for the biodigesters. It was also found that the most important and statistically significant factor in controlling the volume of biogas is the pH of the mixture used in its production. The implementation of improvements in this type of biodigester impacts the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: OSKKK, technical improvements, kaizen, safety.



INTRODUCCIÓN

El uso actual de los combustibles fósiles a nivel mundial tiene impactos contaminantes en los sistemas ecológicos del planeta, ya que se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO_2) estimado en un 81.2%, metano (CH_4) 10.6%, óxido nitroso (N_2O) 5.5% e hidrofluocarburos (HFCs) 2.5% (Parlamento Europeo, 2018), en contraste con las energías renovables las cuales presentan impactos limitados (Elías & Bordas, 2012). Al respecto, las energías renovables han tenido un papel importante en la mitigación de la contaminación, ya que son producidas a partir de elementos naturales, como la materia orgánica, entre otros (Delgado, 2014).

No obstante, las energías renovables han tenido inconvenientes para ser desarrolladas a lo largo de la historia, esto último por cuestiones tecnológicas o económicas. Pero con el paso del tiempo, se han superado los obstáculos. Sin embargo, en la actualidad se carece de políticas e incentivos para cambiar el sistema energético que promueve la seguridad en este aspecto para un país y la reducción de contaminación (Hernández, 2015).

En este contexto, una de las maneras con las que se puede obtener energía renovable o combustible, es mediante un proceso de fermentación biológica con ausencia de oxígeno llamado digestión anaeróbica, donde la materia orgánica genera biogás (Jarauta, 2014). La instalación de biodigestores tiene como finalidad ser una alternativa en el tratamiento de desechos orgánicos disminuyendo la contaminación, teniendo también como propósito mejorar las condiciones de saneamiento en la comunidad, además de producir gas combustible, que puede tener diversos usos (Madera *et al.*, 2005). La utilización de esta tecnología no es algo nuevo, sin embargo, en la actualidad es de gran interés como consecuencia de la crisis energética por el agotamiento de combustibles fósiles y que el aprovechamiento del biogás minimiza las emisiones de GEI principalmente del CH_4 , y, esto es relevante, ya que su potencial de calentamiento global es veintitrés veces mayor que el del dióxido de carbono (Rivas *et al.*, 2010).

En el Estado de Chihuahua, existen establos, cuyos administradores preocupados por el medio ambiente y por ahorrar recursos económicos reemplazando los combustibles fósiles, optaron por instalar biodigestores, teniendo como propósito principal utilizar el biogás para convertirlo en energía eléctrica. Sin embargo, dado que el biogás contiene ácido sulfhídrico (H_2S), los generadores eléctricos se corroían y los costos se elevaban demasiado para ellos.

En Productos Lácteos “Los Pinos” S.P.R. de R.L. de C.V. (Sociedad Productiva Rural, de Responsabilidad Limitada, de Capital Variable), se cuenta con un sistema de biodigestores, al cual se le suministra estiércol de ganado vacuno, residuos agrícolas, aguas residuales y restos de residuos orgánicos del área de producción generados en la



misma empresa. El objetivo fue incrementar la eficiencia técnica en la producción de gas. Para lograr esto, primero se realizó un análisis de la situación técnica actual de los biodigestores, seguido de propuestas para una mejora en su funcionamiento que optimizaron la producción de biogás, optimizando, así, su aprovechamiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en Productos Lácteos “Los Pinos” Sociedad Productiva Rural, de Responsabilidad Limitada, de Capital Variable. Es una empresa que trabaja con la filosofía de “Cadena de valor agregado”, compuesta por cuatro eslabones imprescindibles para su funcionamiento, los cuales son: (a) producción de forrajes, (b) ganado vacuno, (c) elaboración de quesos y (d) distribución del producto a los comercios. El producto final que se comercializa es el queso tipo cheddar “Los Pinos”. La empresa se encuentra ubicada en el Municipio de Saucillo, Chihuahua, en las coordenadas lon = -105.3304262, lat =28.030781 (Figura 1).



Fuente: Google maps.

Figura 1. Ubicación de la empresa

Como metodología y técnica de recolección de datos cualitativos, principalmente, se utilizó el método OSKKK, el cual por sus siglas significa observar a profundidad, estandarizar, Kaizen del flujo y proceso, Kaizen de equipo y Kaizen de diseño. El uso de



este método permitió la observación, diseño e implementación de los ajustes o mejoras técnicas al proceso, mediante las diferentes herramientas de la metodología. Al hacer uso de este método, se generan cambios y mejoras en un proceso (Lane, 2009). El orden de Kaizen se debe a la efectividad y al costo de implementarlo, ya que empieza por el menos costoso y termina con el de mayor costo, siendo usado, este último, sólo en caso necesario. Los primeros pasos son considerados por el experto, para conocer las causas y aportar soluciones iniciales, pero se requieren para realizar los siguientes pasos, y son la base para construir mejoras en el proceso, es decir, sirven para conocer las causas y dar soluciones. Este proceso se considera sin fin, por el hecho de que siempre se encuentra algo por mejorar. Una vez terminado el primer ciclo Kaizen, se requiere volver a observar y estandarizar.

Además de utilizar una metodología para desarrollar mejoras técnicas, se buscó la relación existente entre la producción de biogás y las variables que interfieren en el óptimo funcionamiento de los biodigestores, a través de un análisis de regresión lineal que, en este caso, fue cantidad de biogás como variable dependiente y, como variables independientes temperatura ambiental, temperatura interior de los biodigestores, cargas y pH. Para el análisis estadístico, se usó R Versión 3.6.1; (R Core Team, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

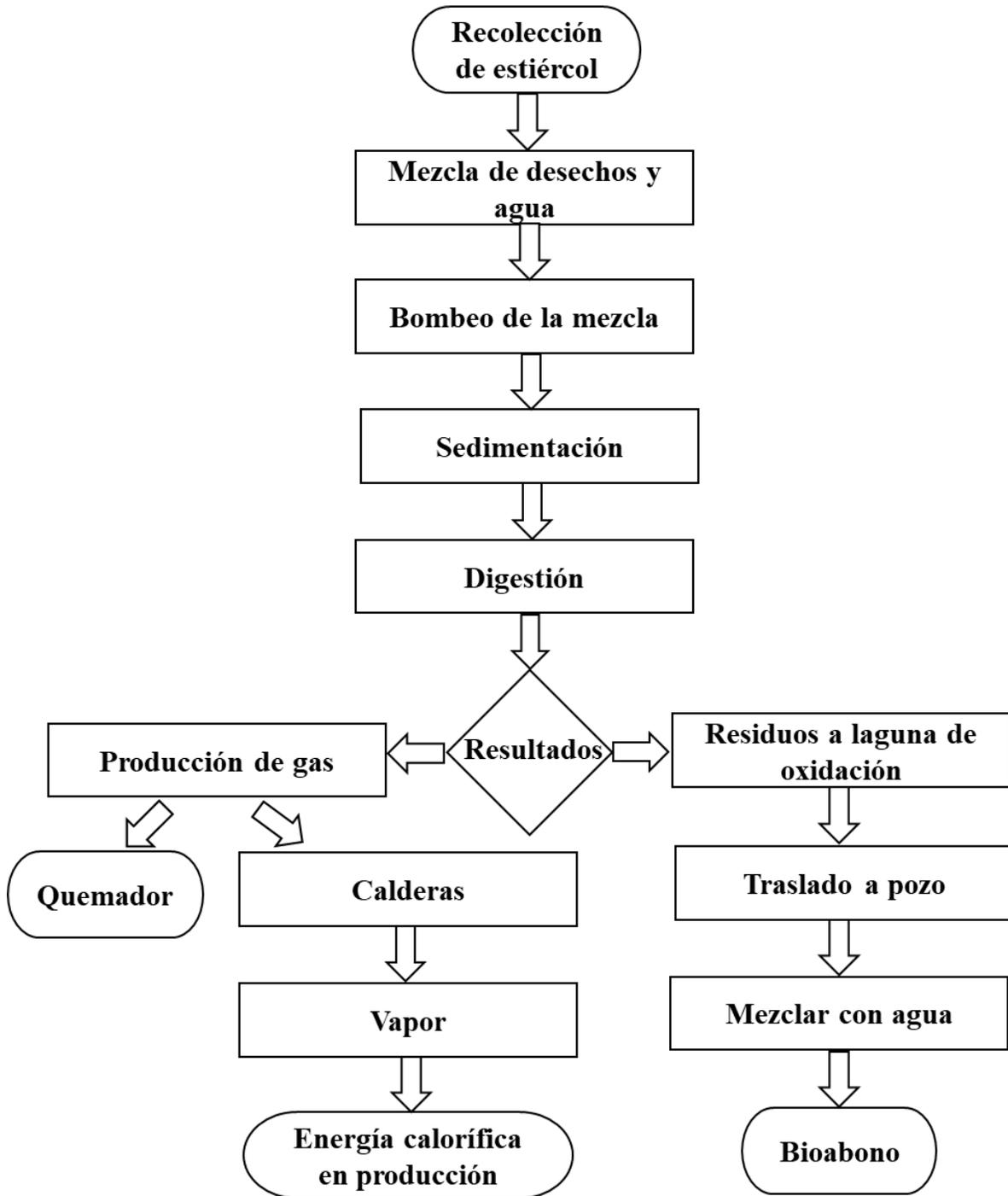
Los resultados obtenidos están vinculados a mejoras técnicas en los biodigestores, en especial en el proceso de suministro de material para la producción y el aprovechamiento del biogás.

En cuanto al proceso de suministro o alimentación de material para la producción de biogás, se observó que puede afectar fuertemente en la reacción al interior de los biodigestores y, como consecuencia, no generar una producción óptima. En el proceso es importante no permitir la entrada de materia inorgánica, así como objetos de gran tamaño que puedan obstruir, deshabilitar o dañar las válvulas de suministro en los biodigestores o que se produzca la acumulación de materia sólida inorgánica dentro de las bolsas, de manera que con el tiempo pueda interrumpir la generación y acumulación óptima de biogás.

Dado que el giro de la empresa es obtener, como producto final, queso cheddar, se presenta la oportunidad de hacer uso del biogás como energía calorífica. Al respecto la empresa decidió instalar la tubería necesaria para que el biogás sea conducido hacia el cuarto de calderas, con las cuales se calienta el agua que es usada en el área de producción y la sala de ordeña de las vacas. Actualmente el biogás es empleado como remplazo del combustible comúnmente usado, es decir, el gas LP, con el que se encienden los quemadores de las calderas. El biogás no puede ser acumulado por sus propiedades inflamables, por lo que es halado desde las calderas al momento de ser encendidas, por una conexión de tuberías, donde se incluyen trampas de agua.



Para lograr un aprovechamiento óptimo del biogás durante el proceso de producción como combustible en las calderas se diseñó un diagrama de flujo del proceso completo que se ilustra en la Figura 2.

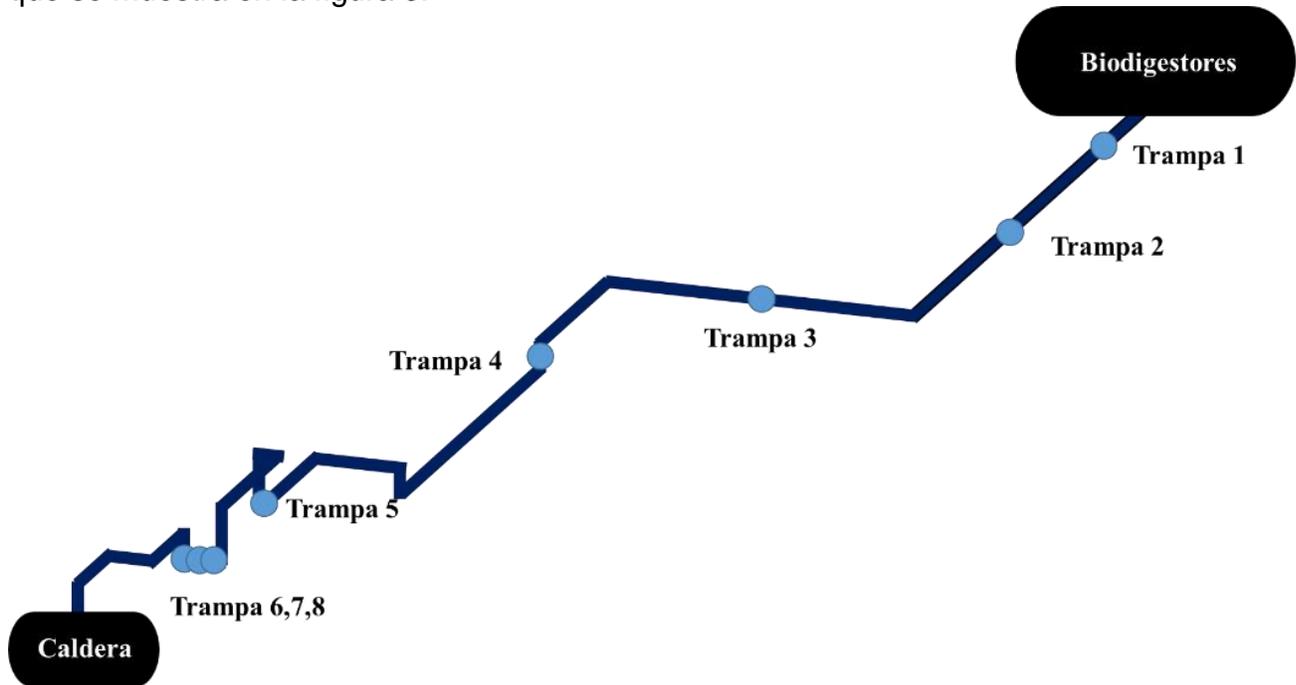


Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Diagrama de flujo para la producción de biogás



La tubería que dirige el biogás desde los biodigestores hasta las calderas sigue la ruta que se muestra en la figura 3.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Diseño de tuberías biodigestores- calderas

Las calderas ya se encontraban instaladas en la planta. No obstante, su funcionamiento era a base de gas LP. Debido a que el biogás presenta características corrosivas por su contenido de H_2S , se realizaron adecuaciones a las calderas para poder desarrollar de mejor manera el proceso.

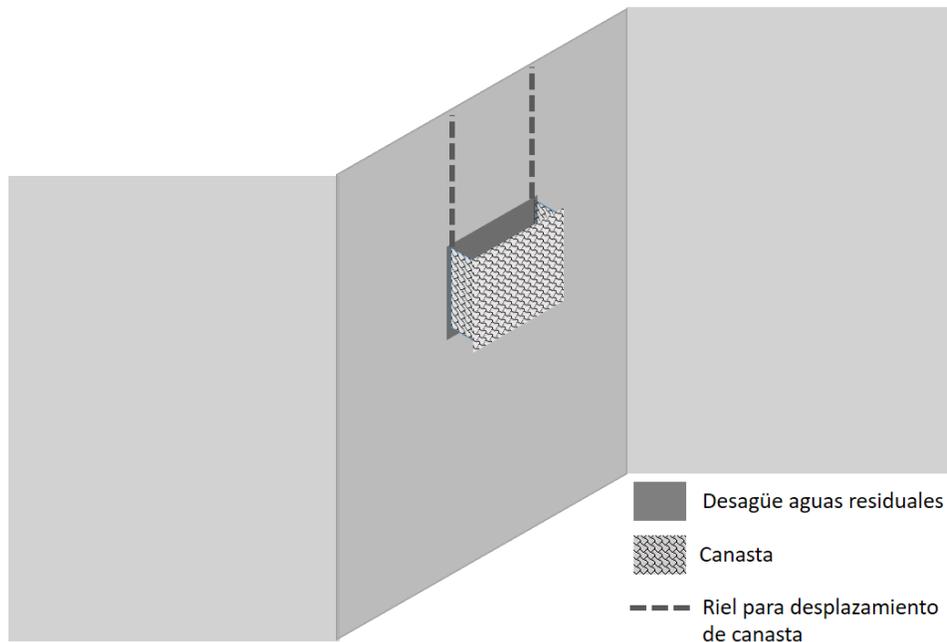
Una de las modificaciones es que el usuario tiene la opción de trabajar con gas LP o biogás, ya que la caldera cuenta con un controlador que se puede operar de manera manual o automática, para hacer el cambio a gas LP cuando la producción de biogás es insuficiente o los biodigestores requieren mantenimiento.

El combustible es demandado desde el área de producción. Las calderas son encendidas diariamente. Al momento de encenderlas, el piloto debe dar chispa usando el gas LP, debido que el biogás no tiene la suficiente fuerza para encender la chispa del piloto. El H_2S ha sido prácticamente eliminado durante el proceso de combustión. Sin embargo, el vapor resultante aun contiene remanentes de este ácido, por lo que el material de las chimeneas tuvo que ser cambiado por acero inoxidable, estimando una vida útil de aproximadamente un año.

Para evitar la entrada de materia inorgánica, sólidos u objetos de gran tamaño que puedan obstruir el funcionamiento adecuado de las válvulas, bombas o de los mismos biodigestores, se propuso la fabricación e instalación de rejas o mallas de acero



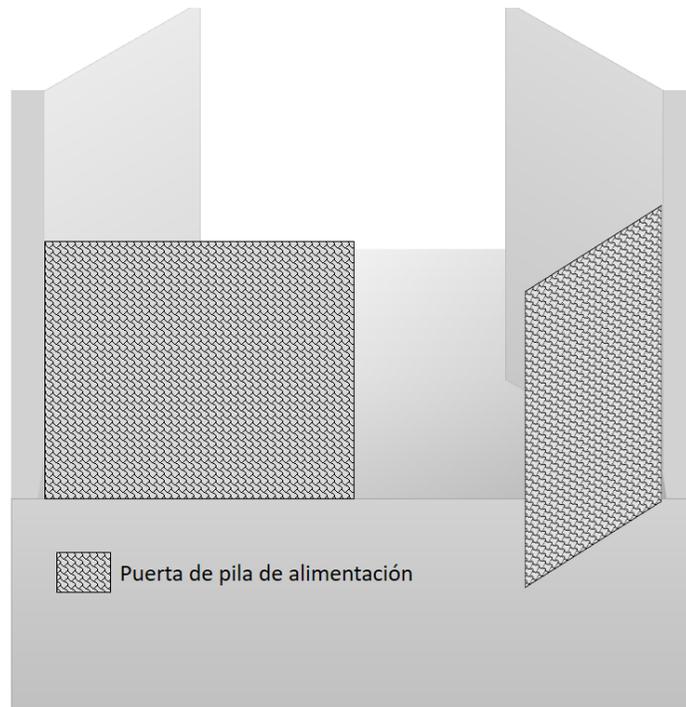
inoxidable. Al respecto, las aguas residuales caen por un desagüe que es conectado desde el resto de las áreas de la empresa. Por éste ingresa basura inorgánica como residuos sólidos, entre ellos objetos de plástico como botellas, jeringas, guantes u otros objetos, que no deben entrar a los biodigestores. Por lo que se diseñó una canasta de acero inoxidable como se muestra en la figura 4, que debe quedar de manera externa y así evitar la acumulación de materia inorgánica dentro del conducto y, de esta forma, facilitar su limpieza.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Canasta para evitar acumulación de materia inorgánica

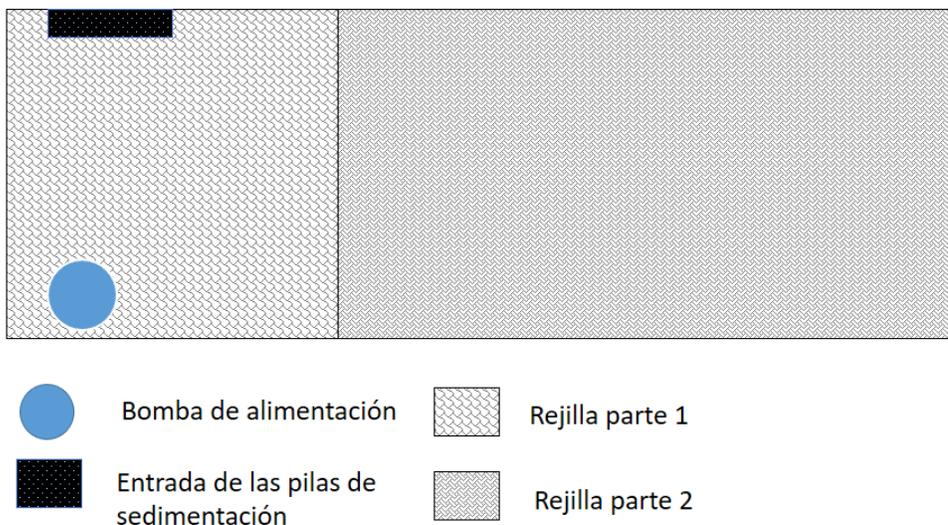
En la entrada de la pila de alimentación, el estiércol es colocado en esta por medio de trascabos. El estiércol, comúnmente, contiene elementos sólidos como piedras, podómetros, aretes, pezuñas o cuernos del mismo ganado, por lo que se diseñó una puerta de acero inoxidable como se muestra en la figura 5.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Puerta de entrada para pila de alimentación

Otra de las propuestas de mejora, es la instalación de una parrilla de acero inoxidable en el cárcamo de alimentación a los biodigestores, dado que, de las pilas de alimentación y por la acción del viento, cae basura inorgánica, así como piedras y arena, las cuales afectan el funcionamiento del resto del equipo (figura 6).



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Parrilla de acero inoxidable para el cárcamo de alimentación



Se analizaron las variables: cantidad de biogás, misma que osciló de $(0.51\text{m}^3 \pm 0.19)$, temperatura ambiental con valores de $(15.31^\circ\text{C} \pm 6.21)$, y la temperatura interna de los biodigestores con un estimado de $(25.14^\circ\text{C} \pm 2.99)$, cargas y pH (5.67 ± 0.90) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis descriptivo de variables analizadas.

Variable	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Cargas	1.88	1.51	0.00	4.50
Temperatura ambiental	15.31	6.21	0.00	28.00
Temperatura interna de los biodigestores	25.14	2.99	18.00	30.00
Ph	5.67	0.90	4.00	8.00
Biogas	0.51	0.19	0.05	1.00

Se realizó una regresión lineal múltiple para predecir la cantidad de biogás, ello, basado en la temperatura ambiental, temperatura interior de los biodigestores, cargas y el pH de los biodigestores, resultando únicamente este último estadísticamente significativo ($F(1, 146) = 9.67$, $p = 0.00$, con una R^2 de 0.06. La producción de biogás en m^3 es igual a $0.73 - 0.05 * \text{pH}$, es decir, la cantidad de biogás disminuye en 0.05 m^3 de biogás por cada unidad que se incrementa el pH. (Cuadro 2). Es relevante mencionar que la finalidad es el controlar la producción de biogás ya que un exceso podría provocar la ruptura de la membrana.

Cuadro 2. Relación entre producción total de biogás y pH

Coefficientes del modelo final	β	IC 95%	$t(146)$	p
Intercepto (β_0)	0.73	[0.57, 0.90]	8.76	<.001
PH (β_1)	-0.05	[-0.07, -0.02]	-3.11	.002

En la región de estudio, los establos que cuentan con biodigestores, los adquirieron con el propósito de producir energía eléctrica y con ella, tener una producción que les permitiera ser autosostenibles en este aspecto. Sin embargo, dado que el biogás contiene H_2S , los costos de mantenimiento y reparación de los generadores de electricidad son más altos que el ahorro que se tiene en el pago de energía eléctrica, por lo que se ha dejado de hacer uso del biogás para producirla.

En el país, se han instalado diversos biodigestores que son usados con restos de vegetales o animales utilizando el biogás como reemplazo del gas LP, leña o como



energía eléctrica (FIRCO & SAGARPA, 2018). En algunas zonas rurales de México, se instalaron biodigestores que han obtenido como resultado, evitar la emisión de aproximadamente 123 toneladas de CO₂, disminuir la tala de árboles y la propagación de enfermedades (EXCELSIOR, 2018). Sin embargo, la mayoría de los biodigestores instalados en el país, así como los moto-generadores en granjas, se encuentran fuera de servicio (Gutiérrez, 2018). De acuerdo con Pacheco (2017), en Milpa Alta, se instaló el primer biodigestor en México que permite la generación de energía eléctrica, pero es alimentado con nopal y otros desechos vegetales, por lo que el contenido de H₂S es mucho menor al biogás producido a través de estiércol animal.

Para emplear el uso de la materia orgánica es necesario separar los sólidos y líquidos (Pérez, 2006). Por lo que, una de las mejoras es tratar las aguas residuales o restos de estiércol en granjas a través de su reciclaje, lo cual serviría de suministro para los biodigestores, permitiendo maximizar la recuperación de los nutrientes y, además, reducir la contaminación.

De acuerdo con Ríos (2012), quien afirma que el cribado es un proceso que se emplea para separar sólidos después de que la mezcla de la materia orgánica se torna a un color café oscuro y su nivel de humedad es de máximo un 30%. Después de pasar por la criba, las partículas que se filtran son de un tamaño entre 5 y 7 mm de diámetro. Así mismo, Merlos *et al.*, (2018) proponen implementar la instalación de cribas para evitar la entrada de materia inorgánica al biodigestor, en ese caso, plásticos y trozos de zacate grandes, debido a que provocan problemas en su funcionamiento, ocasionando una producción por debajo de lo óptimo.

Dentro de las instalaciones donde se ubican los biodigestores, se cuenta con una criba cuyos orificios son de diámetro reducido, la cual está localizada en lo alto de una plataforma, diseñada con el principal propósito de filtrar la fibra de la mezcla. Sin embargo, fue utilizada por muy poco de tiempo ya que no funcionó adecuadamente al dejar toda la materia sólida en la parte superior de la criba, y lanzar solo líquido hacia los canales que se dirigen al cárcamo lo cual provocaba una baja producción de biogás.

Las piedras, arena o los sólidos inorgánicos como los plásticos, no deben ingresar a los biodigestores debido a que ocasionan problemas técnicos a corto, mediano y largo plazo. Entre los más graves el azolve que provocaría poca producción de biogás, lo que hace necesario separarlas antes de que la mezcla entre, mediante sedimentación o flotación. Adicionalmente, Kasapgil *et al.* (2001), refiere que el establecimiento y uso de membranas o mallas incorporadas a la instalación externa de los biodigestores permite un aumento relevante en la generación de biogás, siendo una medida fácil y económica de implantar antes de entrar a los biodigestores. En este contexto, Roy Brusi & Navaz (2015), afirman que otra forma de filtrar la mezcla, es mediante la elaboración o uso de un biofiltro, en el cual se eliminan los compuestos inorgánicos realizando una función similar a los procesos de sedimentación, filtración y biodegradación de la materia orgánica. En un proceso similar al empleado en esta investigación en una granja porcina



de Zamorano en Honduras, las aguas residuales de la fosa y estiércol porcino pasan por un separador de sólidos donde se obtiene un volumen líquido de estiércol. El aprovechamiento del biogás que se produce, en esta granja, es empleado en un calentador térmico y en un generador eléctrico donde se obtiene una reducción de USD 996.45 por año (Zepeda 2017).

Según Sánchez Góngora *et al.*, (2016) el digestor estudiado tenía forma rectangular y además contaba con cuatro cámaras. La primera de ellas tiene la función de sedimentador principal, facilitando que ahí se acumulen los sólidos y, en la cuarta cámara, se termina el proceso de sedimentación para continuar con la biodigestión, observando que las características de la materia orgánica no cambiaron fuertemente en relación con la cámara anterior pero sí existieron alteraciones en materia orgánica, nutrientes y oxígeno en comparación con el efluente que entra en la primera cámara por consecuencia de la micro flora.

Al respecto, en los biodigestores de la empresa, se emplea el proceso de sedimentación donde se encuentran tres pilas que permiten que la materia se sedimente y pase el líquido de una manera fácil. Sin embargo, ingresa a los biodigestores materia inorgánica contenida en el estiércol vacuno, en las aguas residuales o traída por el viento, la cual perjudica su funcionamiento ya que, en ocasiones, se requiere dar mantenimiento a las bombas y válvulas por encontrarse material que las obstruyen o porque pueden desfavorecer la producción de biogás a largo plazo. De acuerdo a lo anterior, se propuso la instalación de barreras elaboradas de acero inoxidable para evitar la corrosión y prolongar su tiempo de vida, siendo estas mallas usadas para la filtración de materia sólida inorgánica que puede afectar al funcionamiento y eficiencia de los biodigestores.

De acuerdo con González (2016), se intentó realizar un estudio de las variables que interfieren en la producción de biogás en seis establos porcinos en el estado de Colima, México. Las variables que se planearon usar son la temperatura, pH, demanda bioquímica y química de oxígeno y algunos agentes inhibidores. Sin embargo, ninguna de las granjas contaba con el equipo suficiente para realizar la medición de las variables, por lo que se decidió analizar la relación de las temperaturas de las diferentes granjas, encontrando como temperatura promedio de una de las granjas 32°C y en otra 25°C, pero en ninguno de los casos la temperatura influye en la producción de biogás. En el presente estudio, se realizó un análisis donde se contemplaron cuatro variables tomadas en el cárcamo de alimentación de los biodigestores, las cuales fueron las cargas, el pH, la temperatura exterior e interior. En este caso, la variable que influye en la producción óptima de biogás es el pH.

Existen grandes ventajas al hacer uso del biogás como reemplazo de combustibles fósiles, en el caso de esta empresa, se decidió usarlo en lugar de hacer uso de gas LP, ya que éste último, era uno de los gastos requeridos con mayor impacto en las finanzas de la empresa, cabe mencionar que las actividades realizadas por la empresa permiten la aplicación del biogás como combustible calorífico. Éstas mejoras benefician, la



situación tanto financiera, técnica y ambiental de la empresa. El detectar e implementar mejoras para una mayor eficiencia de los biodigestores en la producción de biogás es una opción técnica, económica y ambientalmente redituable, ya que se incrementa la rentabilidad, se fomenta el ahorro y se efectúa la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero con efecto directo sobre la mitigación de cambio climático a nivel local y regional.

CONCLUSIÓN

La aplicación de la metodología OSKKK permitió desarrollar un proceso de mejora continua en los biodigestores anaeróbicos y con ello, hacer uso de energía renovable, con ello, mitigando el impacto ambiental y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Si bien, no se incrementó la producción de biogás, la eficiencia final con las mejoras propuestas permitió tener una producción estable de biogás sin llegar a saturar los biodigestores. El factor más importante a controlar para la producción de biogás fue el pH.

Agradecimientos

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Productos Lácteos “Los Pinos” Sociedad Productiva Rural, de Responsabilidad Limitada, de Capital Variable.

LITERATURA CITADA

DELGADO-TARDÁGUILA R. 2014. La biomasa como recurso energético. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HwGaAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA23&dq=DELGADO->

[TARD%C3%81GUILA+R.+La+biomasa+como+recurso+energ%C3%A9tico.+Salamanca,+Espa%C3%B1a:+Ediciones+Universidad+de+Salamanca,+2014.&ots=TF2Wja7jAd&sig=JPGgqQaExnSYduDXEd9v1KrZzXs#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HwGaAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA23&dq=DELGADO-TARD%C3%81GUILA+R.+La+biomasa+como+recurso+energ%C3%A9tico.+Salamanca,+Espa%C3%B1a:+Ediciones+Universidad+de+Salamanca,+2014.&ots=TF2Wja7jAd&sig=JPGgqQaExnSYduDXEd9v1KrZzXs#v=onepage&q&f=false)

EXCELSIOR. 2018. De desechos orgánicos a gas; biodigestores en zonas rurales. EXCELSIOR- Medio Ambiente. México. <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/de-desechos-organicos-a-gas-biodigestores-en-zonas-rurales/1276833>

FIRCO-SAGARPA. 2018. Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México. México. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Diagnostico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf>



GONZÁLEZ-FARÍAS B A. 2016. Monitoreo de las variables en la operación de biodigestores en el estado de Colima. Villa de Álvarez, Colima, México.

<https://dspace.itcolima.edu.mx/jspui/bitstream/123456789/155/1/PROYECTO%20FINAL%20BIODIGESTORES%20FINAL.pdf>

GUTIERREZ JP. 2018. Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México hacia 2024 y 2030. Red mexicana de Bioenergía A.C.

<http://rembio.org.mx/newsite/wp-content/uploads/2020/11/Situacion-actual-y-escenarios-para-el-desarrollo-del-biogas-en-Mexico.pdf>

HERNÁNDEZ F. 2015. Producción de biogás con suero. Buenos Aires, Argentina.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2W2gBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA4&dq=HERNANDEZ+F.+Producci%C3%B3n+de+biog%C3%A1s+con+suero.+Buenos+res,+Argentina,+2015&ots=49V01t4c4Z&sig=MvL3gn5eap4gnW1yu3nutagAW5o#v=onepage&q&f=false>

JARAUTA L. 2014. Las energías renovables. Barcelona, España: UOC.

<https://www.kobo.com/us/es/ebook/las-energias-renovables-1>

KASAPGIL B, Ince O, Anderson G, Arayici S. 2001. Assessment of biogas use as an energy source from anaerobic digestion of brewery wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution*. 239-251.

https://www.researchgate.net/publication/226928108_Assessment_of_Biogas_use_as_an_Energy_Source_from_Anaerobic_Digestion_of_Brewery_Wastewater

LANE G. 2009. Mr. Lean Buys and Transforms a Manufacturing Company. The True Story of Profitably Growing an Organization with Lean Principles.

<https://www.routledge.com/Mr-Lean-Buys-and-Transforms-a-Manufacturing-Company-The-True-Story-of/Lane/p/book/9781439815168>

MADERA Carlos A, Silva Juan P, Peña Miguel R. 2005. Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico-filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. *Ingeniería y Competitividad*. 7(2):5-10.

<https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478001.pdf>

MERLOS R, Altamirano O. 2018. Modelo de operación eficiente de biodigestor en Caluco para generación de energía eléctrica. USAID.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8596376>



OBARA S, Wilburn D. 2012. Toyota by Toyota: Reflections from the inside leaders on the techniques that revolutionized the industry. Florida, USA: CRC Press.

PACHECO S. 2017. El primer generador de electricidad a partir de desechos orgánicos en México. Expansion.mx. México. <https://expansion.mx/empresas/2017/05/26/el-primer-generador-de-electricidad-a-partir-de-desechos-organicos-en-mexico>

PARLAMENTO EUROPEO. Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía). Noticias Parlamento Europeo, 07 de 03 de 2018. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emision-es-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>

PÉREZ-ESPEJO R. 2006. Granjas porcinas y medio ambiente. Michoacán: PLAZA Y VALDES. <http://ru.iiec.unam.mx/1960/>

R Core Team. 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>

RÍOS-CERÓN J. 2012. Propuesta teórico-práctica de modernización en restaurantes utilizando el control y automatización. México, D.F. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11485/1/1.pdf>

RIVAS-SOLANO O, Vargas MF, Guillén-Watson R. 2010. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en marcha*. 39-46. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/132/131

ROY-BRUSI E, Navaz N. 2015. Informe técnico para la construcción de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de residuos de café. Perú: Ingeniería sin fronteras. <https://docplayer.es/26752239-Biodigestores-biofiltros-y-pulperos-informe-tecnico-para-la-construccion-de-sistemas-de-tratamiento-y-aprovechamiento-de-residuos-del-cafe.html>

ZEPEDA SA. 2017. Estimación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a partir de la implementación en la granja porcina de Zamorano. Honduras: Agrícola Panamericana, Zamorano. <http://hdl.handle.net/11036/6198>