

Difusión de biodigestores tubulares de pequeña escala por medio de curso-talleres en universidades mexicanas

Estudio de caso



Edwin Alfonso Zelaya-Benavidez 

Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR)
Unidad Oaxaca. México.

edwinzelayab@gmail.com

Resumen

El objetivo del presente estudio es describir las experiencias en difusión de biodigestores tubulares por medio de curso-talleres en universidades mexicanas y así promover su uso como herramienta didáctica en la enseñanza-aprendizaje de diversas disciplinas relacionadas con esta, dar a conocer sus beneficios en las comunidades y formar futuros instaladores. Se realizaron cuatro eventos entre mayo de 2021 y febrero de 2022. Se capacitó a 157 asistentes y se instalaron cuatro biodigestores. El plan temático incluyó los principios de funcionamiento de los biodigestores, así como los pasos para su instalación y manejo en campo. La adopción de esta tecnología tiene más probabilidades de éxito en entornos donde la necesidad sea mayor, ya sea para investigación como para capacitación en temas relacionados con las energías renovables, biotecnología y ciencias agropecuarias.

Palabras clave:

Adopción tecnológica;
Biogás; Digestión
anaeróbica;
Capacitación.

Diffusion of tubular small scale digesters through course-workshops in mexican universities

Abstract

The aim of this study is to describe the experiences in diffusion of tubular biodigesters through course-workshops in Mexican universities to promote its use as a didactic tool in the teaching-learning of various disciplines related to it, publicize its benefits in the communities and train future installers. Four events were held between May 2021 and February 2022. A total of 157 attendees were trained and four digesters were installed. The thematic plan included the operating principles of the biodigesters, as well as the steps for their installation and management in the field. The adoption of this technology is more likely to be successful in environments where the need is greater, whether for research or training in topics related to renewable energy, biotechnology, and agricultural sciences.

Keywords:

Technological
adoption; Biogas;
Anaerobic digestion;
Training.

Forma de citar: Zelaya-Benavidez, E. A. (2022). Difusión de biodigestores tubulares de pequeña escala por medio de curso-talleres en universidades mexicanas. RedBioLAC, 6(1), 16-20.

Introducción

Los biodigestores son aparatos que permiten el manejo adecuado de desechos; además, de obtener biogás como fuente de energía renovable y biofertilizante para la agricultura. Con ello generan beneficios económicos, sociales y ambientales (Aguilar & Botero, 2006). Sin embargo, el avance para la adopción de esta tecnología ha sido más lento de lo esperado; esto puede ser debido a la relativa complejidad de la tecnología, a que se requiere capacitación especializada, y a los costos de implementación (Mukeshimana *et al.*, 2021; Putra *et al.*, 2019).

Una alternativa para impulsar su difusión es mediante curso-talleres donde se utiliza el modelo de biodigestor tubular de polietileno, que debido a su relativa facilidad de fabricación, instalación y bajo costo es el de mayor difusión en Latinoamérica y el Caribe (Garfi *et al.*, 2016). Sin embargo, el polietileno es frágil y de corta vida útil (Martí-Herrero *et al.*, 2014). El uso de materiales más resistentes como la geomembrana de PVC representa una alternativa para asegurar la durabilidad de los biodigestores (Martí-Herrero, 2019), sin que dicho cambio afecte negativamente su funcionamiento (Pedraza *et al.*, 2002). Por otro lado, la capacitación tanto teórica como práctica para su implementación a través de las universidades, representa una oportunidad para contribuir a la difusión de esta tecnología como herramienta didáctica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de disciplinas relacionadas con la digestión anaeróbica y a la formación de profesionales, quienes serán los futuros instaladores y promotores de biodigestores en sus comunidades.

El presente estudio de caso describe experiencias del autor en la implementación de curso-talleres sobre fabricación, instalación y mantenimiento de biodigestores tubulares de pequeña escala en universidades mexicanas. La propuesta sugiere elementos para tener en cuenta en el contenido temático de eventos similares en otras regiones. También,

ofrece una comparación del costo de la implementación del biodigestor tubular con diferentes materiales.

Descripción del caso

En este estudio de caso se describen experiencias en la realización de curso-talleres como metodología para la difusión de biodigestores tubulares en cuatro universidades de México, en el periodo entre mayo de 2021 y febrero de 2022. La promoción de los eventos fue pública y se llevó a cabo por medio de las redes sociales de Facebook y WhatsApp con videos y carteles digitales; así como por invitación directa a los estudiantes de las carreras relacionadas. Se denomina curso-taller debido a que consta de una parte teórica dictada en línea por medio de plataformas digitales como Zoom, Microsoft Teams o Google meet; y una parte práctica presencial. En la primera parte, se abordaron los aspectos técnicos relacionados con el funcionamiento, diseño, fabricación e instalación de los biodigestores mediante el uso de diapositivas, fotos y videos de casos reales; además se abrieron sesiones de preguntas y respuestas para reforzar el aprendizaje. También, se presentaron ejercicios prácticos para determinar el tamaño del biodigestor y el de la carga orgánica a utilizar para su manejo. Se realizó una evaluación diagnóstica al inicio y otra al concluir la parte teórica mediante un formulario de Google. En la segunda parte, se enseñó la fabricación de biodigestores tubulares con geomembrana de PVC y con polietileno tubular. Bajo la supervisión del facilitador se organizaron grupos de trabajo para realizar diferentes actividades como medir, cortar, amarrar, pegar, etc. Al finalizar el curso-taller, se pidió a los participantes que por medio de un cuestionario comentaran sobre lo aprendido.

Plan temático:

En la [Tabla 1](#) se presenta el plan temático, este se desarrolló en 20 horas distribuidas en tres días, con 6 horas de clase teórica el primer día y 14 horas de clase práctica en los dos días restantes. Durante este periodo se llevó a cabo el taller para la fabricación e instalación de los biodigestores.

Tabla 1 | Plan temático del curso-taller.

Tema	Subtemas
Introducción al tema	Antecedentes de la tecnología, contexto global para el biogás
Conceptos básicos	Biomasa y digestión anaeróbica, ¿Qué es un biodigestor?, funcionamiento de los biodigestores, sustratos y parámetros utilizados para su caracterización, ¿Qué es el biogás y cuáles son sus usos?, biometano, digestato o biofertilizante, remoción de carga contaminante.
Diseño y dimensionamiento	Tipos de biodigestores, dimensionamiento de los biodigestores, variables por considerar (carga orgánica, tiempo de retención, temperatura).
Fabricación e Instalación	¿Cómo construir un biodigestor de bajo costo?, pasos para fabricar biodigestores con termofusión, fabricación e instalación de biodigestores de geomembrana de PVC.
Operación y mantenimiento	Mantenimiento de los biodigestores, consideraciones para tomar en cuenta en la operación y mantenimiento.

El modelo de biodigestor utilizado fue el tubular de 5 m³, o tipo bolsa como es conocido en México. La instalación de este se presenta en la [Figura 1](#) en esta se muestra que se incluyó la excavación de una trinchera de acuerdo con las medidas utilizadas por [Chará y Pedraza \(2009\)](#).

Resultados y lecciones aprendidas

En los eventos de capacitación se instruyeron 157 participantes entre estudiantes, docentes y personal de apoyo a la educación, y se desarrollaron en las siguientes universidades: Universidad Tecnológica de Valles Centrales de Oaxaca (UTVCO) con 54 participantes en modalidad virtual y 43 en presencial; Universidad Autónoma Comunal de Oaxaca, Centro universitario de San Andrés Solaga (UACO) con 51 participantes, únicamente en modalidad virtual; Universidad Autónoma de Baja California Sur

(UABCS) con 30 participantes en ambas modalidades; y Universidad Interserrana del Estado de Puebla, Ahuacatlán (UIEPA) con 22 participantes en ambas modalidades. En la [Figura 2A](#) se muestra la instalación de los biodigestores en las diferentes universidades. En la UTVCO se instaló un biodigestor de polietileno de 2 m³, en la UABCS se instalaron tres unidades de 5 m³, con geomembrana de PVC, en la UIEPA fueron dos unidades de 5 m³ cada una, una de geomembrana de PVC y otra de polietileno tubular; sin embargo, en esta última no se lograron instalar durante el taller debido al mal clima y falta de maquinaria para hacer la excavación. Al finalizar los eventos de capacitación se pidió a los participantes comentar sobre lo que aprendieron. En la [Figura 2b](#) se muestra el resumen de las palabras clave de los comentarios hechos por los participantes del taller realizado en la UABCS, que en este caso fueron recopilados por medio de un cuestionario.

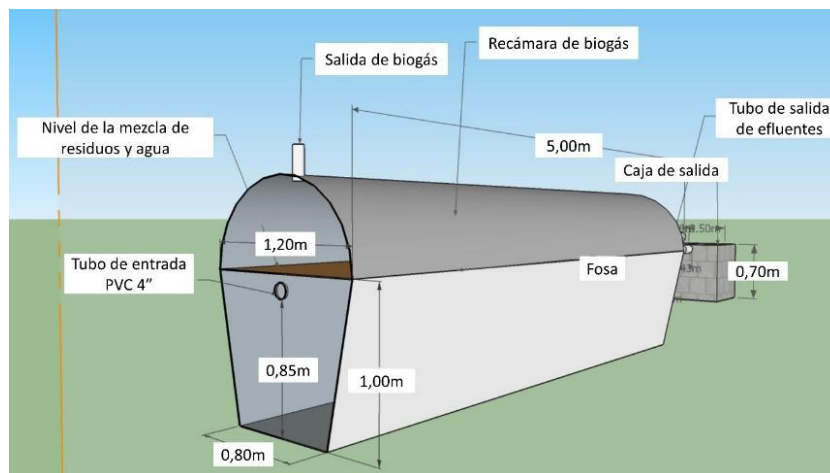


Figura 1 | Esquema del biodigestor tubular de 5 m³. Elaboración propia con base en lo propuesto por Chará y Pedraza (2009).



Figura 2 | a) Biodigestores tubulares fabricados en la UTVCO (1), UABCS (2) y UIEPA (3). b) Resumen de palabras clave obtenidas de los comentarios al final de uno de los curso-talleres implementado. Archivo personal.

El manejo posterior a la instalación en los tres casos presentó contratiempos importantes de considerar. Por ejemplo, en el de polietileno tubular se presentó una ruptura de la bolsa externa por causa de la mordedura de un perro, esto debido a que no se instaló una cerca para protegerlo, lo cual se atendió posteriormente. Por otra parte, la carga diaria de materia orgánica se hizo una vez por semana durante el semestre escolar, esto se puede resolver adecuando la cantidad de residuos a cargar a la frecuencia semanal. También, se presentó inhibición de la digestión anaeróbica por la presencia de antibióticos en las heces, esto se resolvió agregando agua por

la entrada del biodigestor para evacuar la mayor cantidad de sustrato y se volvió a cargar estiércol fresco.

Presupuesto para la fabricación e instalación de biodigestores tubulares

En esta sección se hace una descripción de los costos de un biodigestor de geomembrana de PVC y uno de polietileno tubular, ambos de 5 m³. En la [Tabla 2](#) se muestra que el costo del biodigestor de PVC fue 1,6 veces más alto que el de polietileno tubular del mismo tamaño.

Tabla 2 | Presupuesto para la fabricación e instalación de dos biodigestores de 5 m³ cada uno: uno de geomembrana de PVC y otro de polietileno tubular.

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario (MXN\$)	Costo total (MXN\$)	Costo total (USD)
Biodigestor de geomembrana				11 935	584,2
Bolsa o cuerpo del biodigestor				5375,0	263,1
Geomembrana de PVC	m ²	25	215	5375	263,1
Tubos de entrada y salida de residuos				317,0	15,5
Tubo de PVC de 4"	m	2.6	95	247	12,1
Codos de 45 grados de PVC de 4"	unidad	2	35	70	3,4
Válvula de salida del biogás				80,0	3,9
Adaptador macho de PVC de 1"	unidad	1	15	15	0,7
Adaptador hembra de PVC de 1"	unidad	1	15	15	0,7
Rondanas o arandelas metálicas de 1"	unidad	2	20	40	2,0
Rondanas o arandelas de hule para empaque	unidad	2	5	10	0,5
Conducción y uso del biogás				1863,0	91,2
Manguera de 1"	m	30	25	750	36,7
T de PVC de 1"	unidad	1	25	25	1,2
Tubo de PVC de 1"	m	1	30	30	1,5
Válvula de pase de PVC de 1"	unidad	1	92	92	4,5
Adaptador para manguera de 1"	unidad	3	15	45	2,2
Abrazaderas metálicas de 1"	unidad	4	15	60	2,9
Frasco de pegamento para PVC 240 mL	unidad	1	125	125	6,1
Neumático o cámaras de hule para amarre	unidad	2	298	596	29,2
Quemador para biogás	unidad	1	95	95	4,7
Niple o tubo de hierro galvanizado para quemador de ½" por 12"	unidad	1	45	45	2,2
Fabricación				200,0	9,8
Mano de obra para fabricación	horas	4	50	200	9,8
Instalación				4100,0	200,7
Excavación con maquinaria	horas	2	800	1600	78,3
Instalación	evento	1	2500	2500	122,4
Biodigestor de polietileno tubular				7453,0	364,8
Bolsa o cuerpo del biodigestor				910,0	44,5
Polietileno tubular de 1.25 m diámetro	m	14	65	910	45
Tubos de entrada y salida de residuos				450,0	22,0
Tubo de PVC de 4"	m	4	95	380	18,6
Codos de 45 grados de PVC de 4"	unidad	2	35	70	3,4
Válvula de salida del biogás				80,0	3,9
Conducción y uso del biogás				1863,0	91,2
Fabricación				50,0	2,4
Mano de obra para fabricación	horas	1	50	50	2,4
Instalación				4100,0	200,7

Tipo de cambio a 28/02/2022 equivale a \$20,43 pesos mexicanos (MXN) por dólar estadounidense (USD) (Fuente: banxico.org.mx); para el presupuesto del biodigestor de geomembrana de PVC no se consideró la inversión inicial de una termofusora de aire caliente necesaria para la fabricación de la bolsa, cuyo costo actual es de \$14 500 pesos mexicanos (MXN) (USD 709,7). En ambos casos se omitió el costo de inversión en herramientas para la medición y corte debido a que son de uso recurrente; sin embargo, tanto los equipos como las herramientas, deben ser incluidas en el presupuesto de la inversión inicial para emprender talleres prácticos. Para el biodigestor de polietileno, la válvula de salida, la conducción y la instalación son los mismos elementos que para el de geomembrana.

Lecciones aprendidas:

Las universidades pueden servir como centros de difusión de los biodigestores por medio de curso-talleres debido a la vocación natural para la formación de personal capacitado en temas específicos. En universidades que ofrecen carreras afines a energías renovables, agricultura, desarrollo sostenible, etc., el interés por adoptar esta tecnología es mayor debido a que desean dar a conocer los beneficios de la tecnología y su uso como herramienta didáctica para la enseñanza de principios de otras disciplinas relacionadas con la digestión anaeróbica. La ejecución de los talleres prácticos potencializa la adopción y transferencia tecnológica debido a que demuestra la capacidad de autonomía tecnológica, tanto de las universidades como de los estudiantes que se involucran. El facilitador debe juntar los materiales necesarios para la ejecución del taller, de manera que cumplan con las especificaciones técnicas y facilite la gestión de los equipos de las universidades; sin embargo, estas deben invertir en el costo de los materiales y de la capacitación para asegurar mayor involucramiento de la comunidad.

Conclusiones y recomendaciones

Los curso-talleres representan un método de difusión de los biodigestores entre la comunidad de futuros profesionales que impulsarán su adopción. La difusión de la tecnología debe fortalecer la generación de capacidades locales para garantizar la autonomía y soberanía tecnológica. Se debe seleccionar a los participantes que estén interesados en implementar la tecnología, que posean habilidades de buena comunicación y de liderazgo para potenciar el alcance de los talleres; además de utilizar las plataformas de capacitación en modalidad virtual para facilitar el acceso a la información y disminuir los costos de traslado de los facilitadores y/o participantes de los talleres.

Referencias

- Aguilar, F., & Botero, R. (2006). Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás Utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo. *Tierra Tropical*, 2(1), 15–25.
- Chará, J. D., & Pedraza, G. X. (2009). Instalación y mantenimiento de biodigestores plásticos. In J. D. Chará (Ed.), *Biodigestores plásticos de flujo continuo: investigación y transferencias en países tropicales* (2nd ed., Vol. 1, pp. 79–112). CIPAV.
- Garfi, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., & Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599–614. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.01.071>
- Martí-Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación* (RedBioLAC, Ed.).
- Martí-Herrero, J., Chipana, M., Cuevas, C., Paco, G., Serrano, V., Zymala, B., Heising, K., Sologuren, J., & Gamarra, A. (2014). Low-cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia. *Renewable Energy*, 71, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.036>
- Mukeshimana, M. C., Zhao, Z. Y., Ahmad, M., & Irfan, M. (2021). Analysis on barriers to biogas dissemination in Rwanda: AHP approach. *Renewable Energy*, 163, 1127–1137. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.051>
- Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., & Giraldo, L. (2002). Evaluation of polyethylene and PVC tubular biodigesters in the treatment of swine wastewater. *Livestock Research for Rural Development*, 14(1). <http://www.lrrd.org/lrrd14/1/Pedr141.htm>
- Putra, A. R. S., Pedersen, S. M., & Liu, Z. (2019). Biogas diffusion among small scale farmers in Indonesia: An application of duration analysis. *Land Use Policy*, 86, 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.035>