

FUNCIONAMIENTO E IMPACTO DE BIODIGESTORES EN SISTEMAS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL SURESTE DE MEXICO

[FUNCTION AN IMPACT OF BIODIGESTERS IN SMALL FARMERS SYSTEMS IN THE SOUTHEST OF MEXICO]

Wilbert Trejo Lizama^{1*} y Víctor Raúl López Briceño¹

¹Grupo de investigación: Sistemas de Producción de Alimentos Agroecológicos SISPAE. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Autor para correspondencia: (wtlizama@correo.uady.mx).

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo caracterizar el funcionamiento e impacto de biodigestores en sistemas de pequeños productores en el sureste de México. En los últimos años en Yucatán se han establecido sistemas de biodigestión anaerobia para el tratamiento de las aguas residuales porcinas (ARP) para pequeños productores, sin embargo, aspectos básicos de su funcionamiento y los impactos esperados han sido poco estudiados. Se hicieron entrevistas a usuarios de biodigestores y se identificaron los impactos en dimensiones: ambientales, energía, salud y fertilizantes. Se entrevistó al 25% de un total de 155 biodigestores tipo tubular instalados que tenían entre 1 a 3 años instalados, con capacidad para 4 m³ de ARP. Se elaboró estadística descriptiva para su análisis. El 47% de los biodigestores se encontraban en funcionamiento, instalados principalmente (89%) en el traspatio. El 51% de los usuarios no les daba un uso a las descargas de aguas residuales antes de la instalación del biodigestor. El 97% de los usuarios redujeron el uso de leña por el aprovechamiento del biogás. El 47% de los usuarios de las estufas con biogás observaron reducciones en enfermedades respiratorias relacionadas con el uso de leña para cocinar.

Palabras clave: Biodigestores, escala, impacto, pequeños.

ABSTRACT

The present study was made with the objective to characterize the function and impact of biodigester in small farmers systems in the southeast of Mexico. In the last years in Yucatan there have been build anaerobic biodigestion systems for pig slurry (PSLR) treatment in small farmers systems, however, few studies have been made about basic aspects of their function and their expected impacts. There were made interviews with biodigester users and impacts where identified in different dimensions: environment, energy, health and fertilizers. There were visited and interviewed 25% of the total 155 tubular biodigesters installed between 1 and 3 years with a capacity of 4 m³ of PSLR. With the information obtained a descriptive statistic was made for the analysis. The 47% of the biodigester were functioning, installed mainly (89%) in backyards. The 51% of the users were not using the PSLR before the build of the biodigester. The 97% of the users reduced the use of firewood instead of the use of biogas. The 47% of the biogas heaters users observed reductions in respiratory diseases related with the use of firewood for cooking.

Index words: Biodigester, scale, impact, small.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en la península de Yucatán, se han instalado sistemas de digestión anaerobia para el tratamiento de las aguas residuales porcinas (ARP) en sistemas de pequeños productores, en los traspacios principalmente, donde resalta su uso para la producción de biogás y el aprovechamiento de los

biofertilizantes, de manera que conocer el funcionamiento de los biodigestores y sus impactos esperados son fundamentales para continuar apoyando el desarrollo en esta área o identificar áreas de mejora para reorientar el apoyo en esta campo. López (2015) y Trejo *et al.* (2018) han documentado aspectos técnicos del funcionamiento estableciendo una línea base para estudios en condiciones controladas en estación experimental. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el funcionamiento e impacto de biodigestores en sistemas de pequeños productores en el sureste de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en comunidades de la península de Yucatán donde se encontraban instalados 155 biodigestores hasta el 2014. Se visitó y aplicó un cuestionario a los pequeños productores para evaluar el proyecto “Programa para la contribución al mejoramiento de la salud en las familias de Yucatán, México; a través de las instalaciones de biodigestores y de un programa para la construcción de capacidades sobre el manejo adecuado de desechos orgánicos” desarrollado por el Instituto Internacional de Instituto Internacional de Recursos Renovables AC. (IRRE).

A partir de la base de datos de los beneficiarios del proyecto biodigestores ILRI, proporcionada por los administradores de dicho proyecto, se realizó la identificación al azar de los beneficiarios a visitar. Se consideró muestrear al 25% del total de beneficiarios con biodigestores funcionando. Se tomaron en consideración dos criterios para estratificar a los beneficiarios a muestrear: su ubicación geográfica y el tiempo de instalación y funcionamiento de los sistemas de biodigestores (de 1 a 3 años). Se utilizaron biodigestores tubulares de geomembrana plástica con capacidad de 4m³ y contenedores (pulmón) del mismo material para almacenar el biogás producido. Los resultados que se presentan en el presente estudio corresponden a los biodigestores funcionando, los cuales se consideraron como aquellos que estaban siendo utilizados por los beneficiarios, considerando que al momento de la visita estaban aplicando la excreta animal y produciendo biogás, con lo cual se obtendrían los datos para valorar los indicadores de ejecución e indicadores de resultados del proyecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el levantamiento de la información de los 37 beneficiarios programados, se realizó un total de 78 visitas. Considerando el total de visitas realizadas se alcanzó a visitar al 52% de los beneficiarios. El 100% de las biobolsas visitadas se encuentran debidamente instalados. En este proceso se encontró que el 47% de los beneficiarios utilizan la biobolsa y el 53% restante no utiliza la biobolsa. Esto representó el doble de visitas de las programadas para realizar el levantamiento de información de biodigestores funcionando. Las razones principales por las cuales no están utilizando el biodigestor al momento de la visita son: falta de animales (39%), desperfecto del biodigestor (27%), cambio en el manejo (7%), causas familiares y problemas de salud (5% c/u), por daños al biodigestor por animales (2%) y por otras causas (15%). En la mayoría de los casos se observó que la Biobolsa se encuentra en buenas condiciones. El tiempo que llevan los beneficiarios de no recargar oscila entre los 15 días hasta un año.

De los biodigestores que no se encontraban funcionando, el 46% corresponden a tres años de instalación y el 54% a 1 año de instalación. El 53% de los beneficiarios con biodigestores con 1 año de instalados no estaban funcionando debido a la falta de animales a diferencia de los instalados con 3 años con 32%. Las otras causas por las cuales no estaban en funcionamiento los biodigestores fueron muy similares entre años.

Características de los usuarios pequeños productores

El número de integrantes por familia de los beneficiarios del sistema Biobolsa en promedio es de 6 personas, el 50% son hombres y el otro 50% mujeres de los cuales hay 4 personas adultas y 2 en etapa de niñez. La gran mayoría de los beneficiarios 89 % tienen su Biobolsa en el solar o traspatio, le siguen los que lo tienen

en su granja 9% (tres beneficiarios) y finalmente el 3% que lo tiene en su parcela (1 beneficiario). La mayoría (78 %) de los beneficiarios de biobolsa se caracterizan por tener educación básica (27 % primaria y 51% secundaria) el 5% bachillerato, el 14% educación superior y el 3% no estudio. A continuación, los resultados de los cuatro principales impactos esperados de la instalación de biodigestores, en donde se agrupan los temas relacionados a cada uno de ellos.

Reducción en la emisión de Gases de efecto invernadero (GEI) por el tratamiento de desechos de ganado

La crianza animal genera desechos que generalmente no son utilizados, lo que representa un riesgo de contaminación, por un lado, la acumulación de los desechos de los animales crea las condiciones que generan gases de efecto invernadero (GEI), por otro lado, en estos lodos acumulados a cielo abierto, proliferan vectores como moscos y moscas, transmisores de diversas enfermedades. En la península de Yucatán la presencia de Dengue y recientemente de Sika y Chikungunya, representan una razón importante para el tratamiento de los desechos de ganado.

El 27% de los usuarios, utilizaba la excreta de los cerdos como abono, sin embargo, la gran mayoría 51% no lo usaba, lo que representaba una fuente de contaminación. El 16% no tenía cerdos antes de instalar su biodigestor y el 5% no mantenía en corrales a los animales. Trejo *et al.* (2018) reporta que cada productor contaba con ocho cerdos en promedio que representan 1.28 Unidades de producción animal (UPA), considerando el 51% de los productores que no utilizan las excretas, lo que significa que no se están tratando las excretas de 4 cerdos/productor o 0.64 UPA.

La instalación del biodigestor se realizó adecuándose a las condiciones del usuario y a las necesidades técnicas para su buen funcionamiento, lo que determina la forma en que se recarga o alimenta el biodigestor; la manera como quedó instalado permitió que una mínima parte de los beneficiarios (16%) cuente con la conexión directa del caño del corral al biodigestor. Sin embargo, los que no fueron instalados con dicha conexión directa (62 %), recogen las excretas y lo mezcla con agua para aplicarlo al biodigestor, lo que presentan las siguientes limitantes: 1. Uso de agua limpia para la alimentación de biodigestor. 2. Doble gasto de agua limpia por la limpieza y la alimentación del biodigestor. 3. Desperdicio del agua con el que se lavan los corrales y contaminación por mala disposición de dicha agua. El 19% de los usuarios lo recoge y lo aplica directamente y solamente el 3% lo recoge, almacena y aplica en el biodigestor.

Reducción en la emisión de Gases de efecto invernadero (GEI) por la sustitución de uso de combustibles (leña y gas LP)

El 97% de los usuarios de los biodigestores biobolsa, manifestaron la reducción en el uso de leña. La mayoría de los beneficiarios (68%) manifestó disminuciones de entre el 75 al 50% en el uso de leña en sus domicilios, los demás beneficiarios (32%) manifestaron reducciones del uso de leña de hasta el 50%. Lo que representa ahorros en promedio de \$325 (pesos mx) al mes, este valor se calculó con los beneficiarios (n=30) que reconocieron el consumo de leña y el costo del tercio de leña en su localidad.

La mayoría de los beneficiarios (81%) manifestaba utilizar la leña cada segundo día o diariamente, lo que da cuenta de la importancia de esta fuente de energía para los beneficiarios del proyecto de las comunidades rurales y del alto impacto positivo del proyecto en la sustitución del uso de leña por biogás. La disminución del uso de leña, se considera uno de los impactos positivos más importantes del proyecto de instalación de biodigestores, tanto por la disminución de emisiones de GEI como por otros beneficios en la salud, como lo señala Preston (2005). Los testimonios de los usuarios del biogás, aprecian la importancia de tener una fuente de energía térmica alterna, que les permita cocinar sus alimentos de manera rápida y sin contratiempos, como es el caso cuando se presentan lluvias continuas que hacen difícil ir a cortar leña y por

estar húmeda la dificultad de encenderla. Los impactos positivos encontrados en el presente estudio coinciden con lo reportado por Castillo y Valdés (2011), aunque lo encontrado en el impacto en la disminución del uso de leña fue mayor en el presente estudio, ya que la baja producción de biogás en el estudio de Castillo y Valdés (2011) debido al sustrato utilizado para fermentar en el biodigestor y las bajas temperatura en regiones más frías como en Chile hacen difícil la producción de biogás por fermentación anaerobia.

El 100% de los beneficiarios están satisfechos con sus estufas y con el uso de biogás y dispuestos a adquirir otra estufa si se les diera la oportunidad ya que logran notar el ahorro que tienen. El uso de leña para cocinar representa un riesgo para la salud por la emisión de gases que dañan el sistema respiratorio, en particular en personas sensibles o con enfermedades respiratorias crónicas como asma; por otro lado la exposición prolongada por muchos años en las personas que realizan las labores del hogar provoca enfermedades cuyas medidas para contrarrestar su sintomatología hacen necesario la disminución de la exposición a dichas fuentes que lo causan como es el caso del humo de la leña en enfisemas pulmonares. Naranjo (2010) señala que el aire contaminado en el interior de las viviendas crea problemas respiratorios como EPOC (enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, por ejemplo, bronquitis crónica o enfisema), problemas de irritación en ojos y cataratas, además aumenta el riesgo de neumonía y otras afecciones agudas en las vías respiratorias inferiores. El uso de carbón duplica el riesgo de cáncer de pulmón, en particular en mujeres. También, se ha relacionado la exposición al humo en el interior de las viviendas con asma, tuberculosis, resultados adversos en el embarazo, en particular el peso bajo al nacer, cardiopatía isquémica, enfermedad pulmonar intersticial y cáncer nasofaríngeo y laríngeo. Así como inflamación de las vías respiratorias y los pulmones y deteriorar la respuesta inmunitaria.

El 47% de los usuarios de las estufas con biogás manifestaron en buena medida observar reducciones en enfermedades relacionadas con el uso de leña para cocinar, uno de los aspectos relevantes fueron mejorías muy importantes en niños con asma, otro que resulto importante fue la posibilidad de regresar a preparar las tradicionales tortillas hechas a mano en el hogar por las abuelitas, que habían sido diagnosticadas con problemas respiratorios por cocinar con leña por muchos años, que con la presencia de la estufa con biogás pudieron reintegrarse a realizar dicha actividad en sus hogares. La leña puede sustituirse, mediante el tratamiento de las excretas de los cerdos por medio de biodigestores (Figuras 1 y 2). Además, el biogás es seguro y de bajo riesgo de acuerdo a Muvhiiwa *et al.* (2017), ya que su concentración de metano es menor comparado con otras fuentes de gas como el gas LP.

Reducción de la contaminación por desechos de animales y los riesgos asociados por la reproducción de patógenos y propagación de enfermedades

Algunos aspectos relacionados con la contaminación se pueden observar a través de las prácticas de manejo de los residuos y en particular de las excretas de los animales, la ausencia de dichas prácticas de manejo se puede reflejar en la acumulación de lodo, presencia de vectores, malos olores, entre otros. En el 88% de los usuarios de biobolsa se observó ausencia de acumulación de lodo, presencia de vectores, malos olores. Esto significa una contribución sustancial para disminuir las fuentes de contaminación que representa el manejo y crianza de animales en los solares o traspatios. En especial en los últimos años la presencia de nuevas enfermedades en la región como el Sika y el Chinkunguya ha incrementado la presión en la observancia por parte de las autoridades de salud pública de prácticas de manejo para evitar la proliferación de vectores como el mosquito que transmite las enfermedades citadas y de otras relacionadas como el dengue. Cabe señalar que la falta de conexión entre los corrales y la biobolsa, como se mencionó anteriormente, representan una parte de agua residual que requiere atender para disminuir esta descarga o colectarla para depositarla en el biodigestor.



Figura 1. Corral rustico con biodigestor instalado aledaño al corral, la falta de conexión directa del corral al biodigestor dificulta su manejo.



Figura 2. La producción de biogás a partir de la excreta de los animales puede disminuir o sustituir el uso de leña.

Sustitución de fertilizantes químicos por el uso del biol

La composición de los efluentes de los biodigestores como es el caso del biol de biobolsa contiene elementos nutritivos para las plantas que le confieren las características de fertilizantes orgánicos. El uso de fertilizantes orgánicos es una práctica agroecológica que permite sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos. En un trabajo realizado por Trejo *et al.* (2020), la aplicación de biol en el cultivo de maíz duplicó el crecimiento y la producción de biomasa. Este cambio introduce un elemento de la agricultura sustentable al permitir cerrar ciclos en el manejo de los recursos, de manera que se logre hacer un uso eficiente de los recursos, minimizando las pérdidas en cada eslabón del proceso y reutilizando los residuos. El 68% de los beneficiarios utilizan el biol como fertilizante orgánico, sin embargo, el 32% restante no lo utiliza y las causas por las cuales no lo utilizan fueron por: 1. Falta de conocimiento de las cualidades del material. 2. Falta de conocimiento acerca del volumen a aplicar y la manera. 3. Mala experiencia anteriormente por intoxicación y muerte de plantas.

Aunque un considerable número de beneficiarios utiliza el biol como fertilizante orgánico, esto no se reflejó considerablemente en el desplazamiento o sustitución de fertilizantes inorgánicos, ya que solo el 33% manifestó dicha disminución en el uso de fertilizantes químicos. Esto se debe a que solo el 22% refirió utilizar fertilizantes inorgánicos. En la mayoría de los casos los beneficiarios asociados a la escuela de Agricultura Ecológica Uyitska'an por principios de producción Ecológica no los utilizan. Considerando a los que manifestaron utilizar fertilizantes inorgánicos, se puede observar que el 40% si ha sustituido el uso de fertilizantes inorgánicos, lo que representa un impacto positivo del proyecto; sin embargo, el otro 60% no ha dejado de utilizarlos o realiza la combinación del uso de biol y fertilizantes inorgánicos.

El biofertilizante obtenido del tratamiento de aguas residuales por biodigestores puede tener diferentes patógenos que pueden representar un riesgo de contaminación a la salud humana (Lugo, 2009; Masse *et al.* 2011; Lopez, 2015). Lo que se puede disminuir utilizando un sistema de biodigestores interconectados (Masse *et al.*, 2011) o incrementar el tiempo de retención hidráulica (Lopez, 2015). Con el adecuado tratamiento de las ARP consideradas desechos y fuentes de contaminación, sería posible obtener beneficios económicos, lograr cuidados ecológicos y sociales; al disminuir los costos de producción (al disminuir el agua de lavado y por consiguiente el tamaño del biodigestor), reducir las fuentes de contaminantes entre ellos los patógenos (Masse *et al.*, 2011; Lopez, 2015).y malos olores que afectan a los trabajadores y a la población que vive de los alrededores, lo que también se puede traducir en disminución de la presión de contaminación de los mantos acuíferos subterráneos, por otro lado la producción de energía alternativa como el biogás que permita su uso como fuente de energía para los hogares y la disminución del uso de energía fósil o de leña.. Es necesario resaltar la importancia del adecuado tratamiento de las aguas residuales, ya que Lugo (2009) señala los riesgos sanitarios que se pueden estar enfrentando la salud humana al manejar ARP que no han sido adecuadamente tratados y su contenido de diversos patógenos convencionales y emergentes. Para alcanzar los impactos esperados en Latinoamérica como en otras regiones del mundo como Asia y África, se necesita de acompañamiento técnico y asesoría a los pequeños productores, como lo menciona Thu *et al.* (2012) en un estudio realizado en Vietnam.

CONCLUSIONES

El funcionamiento de los biodigestores tiene aspectos técnicos y de impacto que apenas se están valorando sus alcances en México y en lugares donde se está incrementando el uso de esta tecnología de tratamiento de aguas residuales. Los beneficios del tratamiento de aguas residuales mediante biodigestores a escala de un domicilio en zonas rurales y sus dimensiones ambientales, sociales, culturales y de la salud, permiten vislumbrar beneficios y mejoras en los microambientes y los entornos de sus ecosistemas, sin embargo, es necesario considerar los riesgos sanitarios que el proceso conlleva.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se dedica a la memoria del Dr. Roberto Belmar Casso, por su contribución en el desarrollo en el área del tratamiento de aguas residuales porcinas en México y su aportación en el desarrollo del presente trabajo. También se agradece al Instituto Internacional Recursos Renovables A.C. (IRRI por sus siglas en inglés) y a la Fundación Kellog por el financiamiento del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Castillo, B.E. y C.J. Valdés. 2011. Uso eficiente de leña y otras energías alternativas en comunidades rurales. PNUD. Santiago, Chile. pp. 77.
- López, B.V. 2015. Efecto del tiempo de retención en biodigestores sobre la remoción de contaminantes de descargas de aguas residuales porcinas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 46 p.
- Lugo, M.D.R. 2009. El uso de aguas residuales en la agricultura en México. *Ambiente y desarrollo*. Vol 13: 9-28.
- Mantilla, M.G., Y.L. Sandoval, C.E.M. Ramírez, A.S. Gasca, Navarro F.J., Hernández C.N., García R.J. L., Esquivel S.A. y Calderón M.C.G. 2017. Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de lodos residuales. Asociación Mexicana de Empresas de Agua y Saneamiento de México y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Ciudad de México, México. pp. 88.
- Masse, D.Y. Gilbert y E. Topp. 2011. Pathogen removal in farm-scale psychrophilic anaerobic digesters processing swine manure. *Bioresource Technology* 102: 641-646.
- Muvhiiwa, R., D. Hildebrandt, N. Chimwani, L. Ngubevana y T. Matambo. 2017. The impact and challenges of sustainable biogas implementation: moving towards a bio-based economy. *Energy, Sustainability and Society*, 7, 20 <https://doi.org/10.1186/s13705-017-0122-3>.
- Naranjo, F. 2010. La problemática de la salud, en relación con las cocinas de leña en áreas rurales a nivel mundial. *Boletín Éxito empresarial* No 123, CEGESTI, Costa Rica. 4 p.
- Preston, T.R. 2005. Biodigesters in ecological farming systems. *LEISA*. 20 (4): 8-12.
- Thu, C.T.T., P.H. Cuong, L.T. Hang, N.V. Chao, L.X. Anh, N.X. Trach and S.G. Sommer. 2012. Manure management practices on biogas and non-biogas pig farms in developing countries - using livestock farms in Vietnam as an example. *Journal of Cleaner Production* 27: 64-71.
- Trejo, L.W., G.B. Vázquez, A. Uicab, D.J. Castillo, M.A. Caamal, C.R. Belmar and R.R. Santos. 2014. Eficiencia de remoción de materia orgánica de aguas residuales porcinas con biodigestores en el estado de Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. pp. 321-323.
- Trejo, L. W., L.A. Novelo y V.J.A. Eroles. 2018. Caracterización del tratamiento de aguas residuales porcinas a través de biodigestión anaerobia en sistemas de pequeños productores. *In: Herrera-Camacho J. Chay Canul A. J., Piñeiro Vázquez A., Márquez Benavides L., Santillan Ferreyra E. y Arce Menocal J. (Eds) Avances de la Investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México, Michoacan, México*. pp. 731-736.
- Trejo, L.W., A.J. Uicab y C.J.B. Castillo. 2020. Evaluación de efluente de biodigestor como fertilizante orgánico en el cultivo de maíz. *Revista RedBioLac*, Vol 4. pp. 125-129.