

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGANICOS EN BIODIGESTORES DE BAJO COSTE

Ivet Ferrer*, Enrica Uggetti**, Davide Poggio***, Enric Velo****

Grup de Recerca en Cooperació i Desenvolupament Humà
C. Jordi Girona, 31
08034 - Barcelona, Spain
Phone: +34 93 401 64 63
Pàgina web: <http://www.upc.edu/grecdh>

ivet.ferre@upc.edu *, enrica.uggetti@upc.edu**, davidepoggio@gmail.com***,
enrique.velo@upc.edu****

Palabras clave: Digestión anaerobia; Biodigestor; Biogás; Energía; Fertilizante.

RESUMEN

La digestión anaerobia, o biodigestión, es una tecnología ampliamente difundida a escala familiar en países como China, India o Nepal. En estos sistemas los residuos orgánicos son convertidos en productos aprovechables como el biogás y el biol.

En los proyectos piloto que se presentan, ubicados en Perú, hasta la fecha se han implementado alrededor de 20 biodigestores familiares, en comunidades rurales de la zona de Cusco y de Cajamarca. La mayoría se encuentran a 3000-4000 m.s.n.m, y la temperatura dentro del biodigestor oscila entre 10-23 °C gracias a la implementación de invernaderos que permiten amortiguar las oscilaciones térmicas día-noche. Los biodigestores producen aproximadamente $0.2 \text{ m}^3_{\text{biogas}} \text{ m}^{-3}_{\text{biodigestor}} \text{ día}^{-1}$, dentro del rango psicrófilico, que con biodigestores de 5 m^3 es suficiente para cocinar 3-4 h diarias, sustituyendo los combustibles tradicionales.

El coste de construcción de los biodigestores (40 €/ m^3) sería asumible, al menos parcialmente, por familias campesinas. A nivel financiero, la instalación es más viable cuando el biogás sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de 2 años y 8 meses; o bien cuando permite elaborar productos con valor añadido (quesos, yogures, mermeladas, etc.). Por otro lado, la eficacia del sistema también podría aumentar mediante la integración del biodigestor en la granja, conectándolo con la letrina y usando el biol como fertilizante para los cultivos. Estas aproximaciones son objeto de trabajos futuros.

INTRODUCCIÓN

Biodigestores familiares de bajo coste

La digestión anaerobia, o biodigestión, es una tecnología que permite mejorar el aprovechamiento energético tradicional de la biomasa, tanto desde el punto de vista medioambiental, como social y económico [1]. Al mismo tiempo, permite una gestión

sostenible de los residuos orgánicos, convirtiéndolos en un recurso para generar biogás (energía renovable) y biol (fertilizante natural).

La biodigestión a escala familiar ha sido ampliamente difundida en países como China o India desde el último cuarto del siglo pasado y más recientemente en Nepal (Biogas Support Programme), típicamente en digestores de cúpula fija (tipo chino) o de cúpula flotante (tipo indio). Sin embargo, la complejidad de su construcción y un coste relativamente elevado pueden ser limitantes para su implementación. Los biodigestores tubulares de plástico, de construcción simple y económica, permiten una mayor expansión de esta tecnología [2]. Posibles materiales para su construcción son el polietileno y el PVC (geomembrana), siendo el último más resistente pero también más costoso [3].

Los biodigestores familiares de bajo coste en Perú

En el estudio de Spangnoletta [4] se constata que la mayor parte de los biodigestores instalados en Perú a finales del siglo pasado se encuentran actualmente en desuso. Se han identificado como barreras para la disseminación de la biodigestión entre las familias rurales: tecnológicas (diseños adaptados a las condiciones climáticas), económicas (inversión no recuperable en términos económicos), sociales (capacitación y apropiación), logísticas (instalación y seguimiento) y políticas (falta de apoyo a tecnologías de pequeña producción).

Buena parte de la población de la zona andina peruana vive por encima de los 3000 m.s.n.m, en condiciones climáticas y ambientales severas: escasez de agua, bajas temperaturas, intensa radiación solar y poca productividad de biomasa. La mayor parte de energía se consume en el ámbito doméstico y se basa en el uso de biomasa (leña y estiércol seco), que comporta serios problemas de salud, especialmente en las mujeres, y ambientales. La agricultura es parte de subsistencia y a menudo el manejo de los suelos agrícolas no es sostenible, ya que se ha acortado el tiempo entre rotaciones. En zonas agrícolas periurbanas, a menudo también existe un déficit de servicios y de acceso al agua. En este contexto, la tecnología de los digestores anaerobios puede jugar un papel clave hacia la creación de sistemas agroecológicos que cierren el ciclo de la materia, produciendo a su vez un fertilizante natural y energía renovable.

Objetivos

Los proyectos piloto que se presentan pretenden difundir el uso de los biodigestores familiares en Perú, como fuente de energía alternativa al uso tradicional de la biomasa. En estos proyectos, ubicados en Perú, se han detectado como barreras adicionales para las instalaciones las bajas temperaturas típicas de las zonas andinas [5] y en algunos casos la escasez de agua, aunque se haya comprobado que los purines de cerdo puede ser un buen sustituto del agua de dilución [6].

La idea inicial es sustituir la quema directa de estiércol seco y/o madera para cocinar, por el biogás producido mediante la digestión del estiércol; así como adaptar el uso del biol en cultivos andinos para incrementar el rendimiento de las cosechas. Actualmente, la investigación llevada a cabo se dirige principalmente a superar la barrera tecnológica que es el primer paso hacia el impulso de la disseminación de los digestores en la población.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Localización del los proyectos piloto

Los proyectos piloto se ubican en la microcuenca del Jabón Mayo (Distrito de Yanaoca, Cusco), donde se trabaja en colaboración con el Instituto por una Alternativa Agraria; y en la zona de Cajamarca, donde se colabora en los proyectos de biodigestores impulsados por ITDG-Soluciones Prácticas.

En la microcuenca del Jabón Mayo, a una altitud entre 3800-4500 m.s.n.m., viven 1800 familias distribuidas en 11 comunidades campesinas. Su clima se caracteriza por las bajas temperaturas (8-10 °C), temporadas de lluvia y sequía, y una elevada radiación solar (5.5 kWh/m²-día). En este caso, los principales condicionantes para la implementación de los biodigestores son las bajas temperaturas y presiones ambientales que caracterizan la Sierra Andina [7].

La región de Cajamarca se encuentra en la sierra norte de Perú, los biodigestores están situados en tres comunidades, una de ellas a una altitud de 1300 mientras que las otras dos se encuentran a alturas entre 3000-3800 m.s.n.m. Las condiciones climáticas son parecidas a las de la zona de Cusco, con periodos de lluvia alternados con periodos de sequia, y con una temperatura media anual de 8-10 °C.

Características de los biodigestores

Entre los años 2005-2008 se han implementado un total de 13 biodigestores en Yanaoca y 4 en Cajamarca. La mayor parte son biodigestores de tipo tubular de plástico o geomembrana, excepto un sistema en dos etapas de hormigón en Yanaoca. En general se trata de biodigestores tubulares de polietileno con un volumen útil de 5 m³. Se diseñan para trabajar a un tiempo de retención de 90 días, y se alimentan diluyendo las éstiercol con agua en una proporción 1/3 (v/v), ambos valores bastante conservadores.

Los biodigestores familiares implementados funcionan a temperatura ambiente, por este motivo su ubicación dentro de pequeños invernaderos permite amortiguar las oscilaciones térmicas día-noche y aumentar la temperatura del proceso. Una descripción detallada del proceso de implementación de este tipo de biodigestores puede encontrarse en Martí [8].

Para su puesta en marcha, los biodigestores se inocularon con estiércol y rumen de vaca y/o oveja. Diariamente se alimentan con estiércol diluido con agua/purines (1/2-1/3 v/v) para dar una proporción de sólidos máxima del 8 % [8] trabajando a un tiempo de retención de 60 días.

Implementación y seguimiento

Los biodigestores se implementan a nivel familiar, actualmente dentro de los cursos de capacitación de los llamados *yachachiq* (Figura 1), que en un futuro serán los encargados de transmitir el conocimiento la de tecnología a los campesinos, para así difundir el uso de los biodigestores.

Entre los años 2005-2008 se han ido introduciendo mejoras de diseño del biodigestor tipo y además se ha diseñado un nuevo modelo prefabricado de PVC. Recientemente se ha revisado el estado de los biodigestores implementados y se han realizado encuestas a los usuarios para detectar puntos a mejorar.

Paralelamente, se ha implementado una planta piloto con 3 biodigestores tipo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) (Figura 2); donde se

llevaran a cabo experimentos para ajustar los parámetros de operación a las condiciones locales, con el objetivo de incrementar la producción de biogás y mejorar su aprovechamiento en cocinas adaptadas, así como determinar las dosis de aplicación de biol en función de los cultivos.



Figura 1. Implementación de un biodigestor mejorado de PVC dentro de un curso de capacitación de *yachachiq* a Yanaoca, Cusco (2008)

EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Revisión del estado y operación de los biodigestores

La encuesta a los usuarios reveló que, en general, las familias saben llevar un buen manejo de los digestores, pero destacan que su alimentación y mantenimiento requiere un esfuerzo de trabajo importante, por lo cual es interesante incorporar elementos que permitan simplificar estas tareas.

La dilución típica estiércol:agua es 1:1. Normalmente alimentan 26 kg de estiércol al día que, con la dilución, corresponden a un tiempo de retención de diseño (90 días). Este valor es muy elevado, y sería interesante investigar los efectos de reducirlo, para reducir el tamaño y coste del biodigestor.

Gracias a las mejoras de diseño incorporadas, la temperatura del líquido en el biodigestor se ha incrementado de la temperatura ambiente (10° C) a unos 12.5 °C (2006), 20 °C (2007) y 23 °C (2008).

La producción diaria de biogás es aproximadamente de $0.2 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/\text{m}^3_{\text{digestor}}\cdot\text{día}$, dentro del rango descrito en la bibliografía para digestión anaerobia psicrófila [9]. Con volúmenes útiles de digestores de 5 m^3 , la producción de gas es suficiente para cocinar durante 3-4 h al día, que coincide con las estimaciones experimentales llevadas a cabo en Cajamarca [10]. Esto permite cubrir parte de la necesidad de combustible de una familia de 4-5 personas, disminuyendo la quema de estiércol seco para cocinar en un 50 % (p.ej. de 15 a 6 kg al día).

La mayoría de los usuarios aplican el biol a los cultivos, observando mejoras en el su crecimiento, pero no existen criterios bien definidos para su aplicación. La eficacia global del sistema aumentaría mediante la integración del biodigestor en la granja [2], conectándolo con la letrina y optimizando el uso del biol como fertilizante para los cultivos.



Figura 2. Implementación de la planta piloto de biodigestión en la UNSAAC (2008)

Coste de instalación

El coste de construcción de los biodigestores de plástico es de 40 €/ m³. Dicho coste podría ser asumible, al menos parcialmente, por familias campesinas; mientras que el

de hormigón sería totalmente inviable sin subsidios, exceptuando una implementación comunal. A nivel financiero, la instalación es más viable si el biogás (> 50 % metano) sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de 2 años y 8 meses [5]; o bien cuando permite elaborar productos con valor añadido (quesos, yogures, mermeladas, etc.).

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El desarrollo de digestores en la zona andina presenta una barrera tecnológica fundamental como son las bajas temperaturas. Digestores robustos ampliamente difundidos, como el chino o el hindú, de gran complejidad y coste elevado, no podrían funcionar estas condiciones climáticas. En cambio, los biodigestores tubulares de plástico, instalados en una zanja con aislamiento térmico del suelo, y cubiertos con un invernadero, son una buena alternativa para superar estas limitaciones.

Des del 2005 se ha trabajado en la implementación, mejora y difusión de este tipo de biodigestores en Perú, implementado cerca de 20 biodigestores familiares. Gracias a los invernaderos, en zonas andinas se alcanzan temperaturas de hasta 23 °C, con una producción diaria de biogás aproximada de $0.2 \text{ m}^3_{\text{biogás}}/\text{m}^3_{\text{digestor}}\cdot\text{día}$, dentro del rango descrito para la digestión anaerobia psicrófila. Con volúmenes útiles de digestores de 5 m^3 , la producción de gas es suficiente para cocinar durante 3-4 h al día, siendo un buen sustituto de la biomasa tradicional o de los combustibles fósiles para cocinar.

El coste de los biodigestores de plástico (40 €/ m³) podría ser asumible, al menos parcialmente, por las familias campesinas; siendo su principal inconveniente su corta vida útil y su potencial contaminante una vez finalizada, lo que hace conveniente buscar aplicaciones para este desecho. Además, en un futuro se podrá verificar si el nuevo modelo prefabricado de PVC permite alargar la vida útil.

A nivel financiero, la instalación es más viable si el biogás (> 50 % metano) sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de 2 años y 8 meses [5]; o cuando permite elaborar productos con valor añadido (quesos, yogures, mermeladas, etc.).

En general, las familias se muestran satisfechas con el uso del biodigestor, pero destacan que requiere un esfuerzo de trabajo importante, que el biogás producido es todavía insuficiente, y que la cocción con biogás es más lenta. Por estos motivos, sería necesario mejorar el rendimiento del proceso y el diseño de los quemadores y cocinas de biogás. La planta piloto implementada debería permitir mejorar estos aspectos. Una mayor integración del biodigestor en la granja, sistematizando el uso del biol como fertilizante, es objeto de trabajo futuro.

AGRADECIMIENTOS

Estos proyectos se están llevando a cabo en colaboración con el Instituto por una Alternativa Agraria y ITDG-Soluciones Prácticas, con el soporte económico del *Centre de Cooperació per al Desenvolupament* (CCD-UPC) y la *Agencia Catalana de Cooperació al Desenvolupament* (ACCD).

REFERENCIAS

1. Velo, E. (2006) Aprovechamiento energético de la biomasa. En: Energía, participación y sostenibilidad. *Tecnología para el desarrollo humano*. Ed. E. Velo, J. Sneij, J. Delclòs, 131-144. Disponible en: <http://www.upc.edu/grecdh/cas/energia/publicacions.htm>
2. Preston, T.R., Rodríguez, L. (2002) Low-cost biodigesters at the epicenter of ecological farming systems. *Proceedings Biodigester Workshop*, March 2002
3. Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., Goraldo, L. (2002) Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *Livestock Research for Rural Development*, **14** (1)
4. Spagnoletta, S.A. (2007) [Viability study for the application of small-size biodigesters in the Andean rural zone of Cajamarca \(Peru\)](http://www.upc.edu/grecdh/cas/energia/publicacions.htm), MSc. Thesis, Loughborough University. Disponible en: <http://www.upc.edu/grecdh/cas/energia/publicacions.htm>
5. Poggio, D. (2007) Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano. Bachelor Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya
7. Martí, J. (2008) Biodigestores Familiares. Guía de diseño y manual de instalación. Cooperación Técnica Alemana - GTZ. Bolivia. ISBN: 978-99954-0-339-3. Disponible en: <http://www.upc.edu/grecdh/cas/energia/publicacions.htm>
8. Ferrer, I., Gamiz, M., Almeida, M., Ruiz, A. (2009) Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management* 29(1), 168-173
8. An, B.X., Preston, T.R. (1999) Gas production from pig manure fed at different loading rates to polyethylene tubular biodigesters. *Livestock Research for Rural Development*, **11** (1)
9. Kashyap, D.R., Dadhich, K.S., Sharma, S.K. (2003) Biomethanation under psychrophilic conditions: a review. *Bioresource Technology*, **87**, 147-153
10. Paz, A. y Cristóbal, S. (2008) Estudio de biogás en biodigestores tubulares unifamiliares de bajo costo en el Departamento de Cajamarca, *Proceedings III Taller de Biodigestores*, ITDG-Soluciones Prácticas, Cajamarca, Perú