

## Biodigestores de Bajo Coste para Climas Andinos

Poggio, Davide. Instituto para una Alternativa Agraria, Cusco, Peru, [davidepoggio@gmail.com](mailto:davidepoggio@gmail.com);  
Paiva Prado, Margot. GIA, Universidad San Antonio Abad del Cusco, Peru, [gretapp@hotmail.com](mailto:gretapp@hotmail.com);  
Ferrer, Ivet. GRECDH, Universitat Politècnica de Catalunya, España, [ivet.ferrer@upc.edu](mailto:ivet.ferrer@upc.edu);  
Velo, Enric. GRECDH, Universitat Politècnica de Catalunya, España, [enrique.velo@upc.edu](mailto:enrique.velo@upc.edu).

### Resumen

En el Altiplano Andino existe una alta demanda de biodigestores anaeróbicos por parte de los pequeños productores ganaderos, a causa del escaso acceso a combustibles limpios y a fertilizantes eficientes, y a la abundancia de residuos agropecuarios. La difusión de biodigestores rurales en zonas montañosas o de clima frío ha sido tradicionalmente escasa, sobre todo a causa de la relación desfavorable entre las bajas temperaturas y la velocidad de la digestión. Durante el periodo 2007-2009 se han implementado 13 digestores familiares del tipo tubular de plástico en la región del Cusco en Perú. Se han introducido y probado soluciones de diseño solar pasivo que han permitido mejorar el funcionamiento de la tecnología. Asimismo se han probado nuevos materiales y tecnologías de fabricación que permiten aumentar la vida útil de los digestores.

**Palabras claves:** Biogás, diseño solar pasivo, residuos orgánicos.

### Contexto

Como resultado de la Reforma Agraria del 1969 y de la toma y redistribución de las tierras por la población campesina en las décadas de los años 70 y 80, actualmente el panorama agropecuario de Perú está caracterizado por la pequeña producción familiar, sobretodo en las zonas andinas. Típicamente se integra la cría de animales para la producción de carne, leche y fibras, con la producción de cultivos alimentarios. Los animales se crían en regímenes de semi-estabulación y el estiércol es un recurso abundante y difundido. Tradicionalmente, en las zonas andinas el estiércol se usa como abono y como combustible. Parte de las excretas se acumula en el mismo establo durante largos periodos de tiempo, para utilizarse posteriormente en la preparación del terreno en el periodo de pre-siembra. Este tipo de manejo puede conllevar pérdidas importantes de nitrógeno (N) por volatilización, lixiviación, y nitrificación-desnitrificación (RUFINO et al., 2006). El resto de las excretas, una vez secas (llamadas bosta) se utilizan como combustible para la cocción de alimentos, especialmente en zonas con escasez de leña a causa de la deforestación y de los climas fríos.

En Perú, el 90 % de la población rural recurre a la biomasa como combustible doméstico, generalmente utilizándola en fogones tradicionales de manera ineficiente, sin chimenea y en ambientes con escasa ventilación. Esto aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades pulmonares y oculares, y trastornos del embarazo. La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2007) estima que en Perú la contaminación doméstica es responsable de al menos 1500 muertes prematuras al año. Las cenizas residuales pueden utilizarse como fuente de macro y micro nutrientes, pero la casi totalidad del nitrógeno se volatiliza durante la combustión y el fósforo queda presente en una forma poco soluble.

En este contexto, la digestión anaeróbica se configura como una tecnología con potencial para mejorar el manejo de los residuos animales. La alimentación del digestor requiere la recolección diaria de las excretas de los establos, disminuyendo así las pérdidas de nutrientes y la contaminación del medio ambiente, características de los sistemas de acumulo. Como producto de la digestión, se obtiene un fertilizante líquido que contiene la misma cantidad de nutrientes

## Resumos do VI CBA e II CLAA

presentes en la alimentación, pero en forma más mineralizada. Este fertilizante natural puede aplicarse mediante fertirrigación o fumigación foliar, permitiendo una asimilación más rápida y precisa de los nutrientes por parte de los cultivos en crecimiento. Paralelamente se recupera parte del contenido energético de las excretas como biogás, cuya combustión evita la emisión de gases nocivos para la salud y con efecto invernadero.

### Descripción de la experiencia

La investigación empezó gracias a una colaboración con la ONG Instituto para una Alternativa Agraria (IAA), que realiza programas de desarrollo rural en la región del Cusco, dando particular importancia a la apropiación de tecnologías productivas y ambientalistas. Las pasadas experiencias de implementación de digestores en zonas rurales andinas en Perú han tenido escaso éxito, también a causa de carencias en el diseño de la tecnología (SPAGNOLETTA, 2007). El objetivo principal de la investigación ha sido entonces mejorar la adaptación de la tecnología de la digestión anaeróbica a las condiciones climáticas y socioeconómicas de las zonas rurales altoandinas.

El proyecto de investigación se realizó entre los años 2006 y 2008 en la Microcuenca del Jabón Mayo, situada en la región de Cusco. La zona se extiende entre los 3900 y 4100 m y es de clima tipo semiseco y frío, seco en otoño e invierno, temperatura media anual de 10° C y una irradiación solar elevada, con un promedio anual de 6.0-6.5 kWh/m<sup>2</sup>-día. Durante la investigación se instalaron 13 digestores familiares de tipo tubular de plástico (Figura 1).

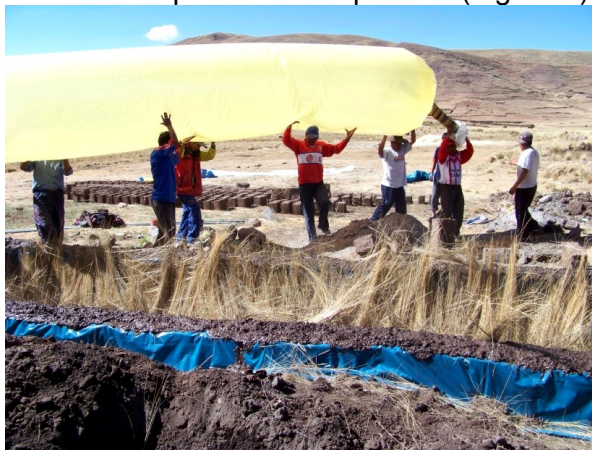


FIGURA 1. Instalando el digestor tubular en la zanja.

El sistema está compuesto por un digestor tubular situado en una zanja en el terreno, un gasómetro de plástico para la acumulación del biogás producido, uno o dos quemadores domésticos y las respectivas tuberías y accesorios para la conducción del gas. Las dimensiones medias de los digestores instalados son de 6 m<sup>3</sup>. Para adaptar el digestor tubular a las condiciones climáticas de la zona, se aplicaron criterios de diseño solar pasivo, que permitieran aumentar las ganancias y disminuir las pérdidas de calor:

- Aislamiento térmico: consiste en paja o pasto seco, puesto entre el digestor y las paredes de la zanja.
- Construcción de un invernadero para aumentar la temperatura y proteger el material plástico del digestor, gracias a la reducida radiación UV incidente (Figura 2).
- Pre-calentamiento de la alimentación del digestor, mediante la mezcla de agua caliente con el

## Resumos do VI CBA e II CLAA

estiércol. El agua se calienta mediante una terma solar de bajo coste, instalada por debajo del invernadero.



FIGURA 2. Digestor cubierto por un invernadero.

Otro aspecto de la investigación, fue el uso de membranas de PVC para realizar el cuerpo del digestor, como alternativa al polietileno que presenta problemas de debilidad y durabilidad. Las membranas de PVC se sueldan termicamente, se pueden parchar en caso de huecos, y hay la posibilidad de dotar el digestor con más de una salida (y entrada). Los digestores instalados se han provisto de una salida adicional en la parte baja para purgar los sedimentos inertes que se irán acumulando en su interior (Figura 3).



FIGURA 3. Biodigestor de PVC provisto de doble salida, para el sobrenadante y los sólidos sedimentados.

### Resultados

La adaptación de los biodigestores tubulares a las condiciones del Altiplano Andino, mediante las propuestas de diseño expuestas, permite aumentar la temperatura de funcionamiento de los digestores como mínimo unos 10 °C respecto a la temperatura media ambiental. Este es un aspecto fundamental, puesto que a la temperatura ambiente de la zona (con medias < 10 °C) la actividad bacteriana sería mínima, y por consiguiente también la producción de metano.

Entre los años 2007 y 2008 se instalaron un total de 13 digestores tubulares familiares en la Microcuenca del Jabón Mayo. A finales del 2008 se evaluó el estado de los digestores y se realizó una encuesta con los usuarios para determinar el nivel de apropiación y satisfacción. Se

## Resumos do VI CBA e II CLAA

comprobó que el 30 % de los digestores se encontraban en desuso. Las causas de abandono incluyen el desinterés del usuario o bien la ruptura y no reparación del sistema. Las características de los digestores en funcionamiento se presentan en la Tabla 1. En general se trata de digestores de 6m<sup>3</sup> de volumen útil, que trabajan a un tiempo de retención alrededor de 100 días.

TABLA 1. Características de los digestores implementados.

Volumen líquido	6 m <sup>3</sup>
Alimentación: estiércol vacuno	26 kg/día
Dilución estiércol: agua	1:1 – 62,5 %
	1:1,5 – 25 %
	1:2 – 12,5 %
Tiempo retención	104 días
Temperatura media diaria ambiental	10,5° C
Temperatura en el interior del digestor*	19,8° C
Consumo de biogás (1 quemador)	3,5 horas/día
Disminución en el consumo de biomasa	56 %
* la temperatura se midió mediante una sonda de temperatura en la parte inferior del digestor,	

Respecto a la producción de biogás, se obtuvieron valores experimentales de 0,18 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·día (POGGIO, 2007). Indirectamente se estimó la producción de biogás a partir de las horas de cocción diarias de los usuarios (en promedio 3,5 h/día). Según este dato, el biogás producido no logra cubrir la totalidad de las necesidades de cocción de los usuarios, aunque permite disminuir en un 50 % el consumo de biomasa (principalmente *bosta*). Cabe considerar que la disponibilidad de biogás probablemente conlleva un aumento de la cantidad total de energía térmica utilizada (p. ej. calentando agua para fines higiénicos). En cuanto a los costes de inversión, el coste total de los materiales empleados está entre los 600 US\$ (digestor en PVC) y los 350 US\$ (digestor en polietileno). En la comparación de los costes se debería incorporar la vida útil de cada uno, que todavía no se ha podido determinar. A nivel financiero, la instalación es más viable si el biogás sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback inferior a los 3 años, o cuando permite elaborar productos con valor añadido (quesos, yogures etc.).

Concluyendo, la adaptación de los biodigestores a las condiciones locales dota a las comunidades de una nueva herramienta para el manejo sostenible de los recursos naturales. La substitución de combustibles tradicionales (leña y *bosta*) y/o fósiles por biogás conlleva beneficios tanto ambientales como sanitarios para los usuarios. Además, la aplicación agrícola del efluente digerido contribuye a mejorar la calidad de los suelos, cerrando el ciclo de la materia orgánica e incrementando el rendimiento de los cultivos.

### Referencias

- RUFINO, M.C. et al. Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Ámsterdam, v. 112, p. 261-282, 2006.
- POGGIO D. *Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano*. 2007. (Bachelor Thesis) - Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya. 2007. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/2099.1/4109>>. Fecha de consulta: 01 de Julio, 2009.
- SPAGNOLETTA, S. A. *Viability study for the application of small-size biodigesters in the Andean rural zone of Cajamarca (Peru)*. 2007. Disertacion (Master del European Master in Renewable Energy) - Loughborough University, 2007. Disponible en: <<http://www.upc.edu/grecdh/cas/energia/publicacions.htm>>. Fecha de consulta: 01 de Julio, 2009.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Indoor Air Pollution: National Burden of Disease Estimates. *World Health Organization*, Genève, 2007.