



INFORME FINAL DE INVESTTIGACION

PRODUCCION DE BIOGAS EN DIGESTOR TUBULAR PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGETICA Y MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA EN EL DISTRITO DE CHILCA – CAÑETE. REGIÓN LIMA

RESPONSABLE

Dr. LUIS ALBERTO TARAMONA RUIZ

CORRESPONSABLES

Mag. Víctor Manuel Terry Calderón

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Dr. Yoandro Rodríguez Ponce

2014

LIMA - PERÚ

INDICE

	Página
INTRODUCCION	01
MATERIAL Y METODOS	19
RESULTADOS	33
DISCUSIÓN	37
CONCLUSION	37
RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Debido a la baja productividad de los cultivos y la escasa asistencia técnica a los agricultores en los países en desarrollo, se agudiza la problemática por la falta de alimentos, provocando muertes por hambruna. Tal realidad, particularmente en el medio rural, plantea la necesidad de elevar la creatividad de la gente, de los profesionales del agro, de las instituciones y de los organismos del estado, aprovechando al mismo tiempo, las particularidades de cada territorio, país o región. Por otra parte, el uso de las energías renovables no es un hecho novedoso, fueron ellas las primeras utilizadas por el hombre; sin embargo, el descubrimiento de los combustibles fósiles las relegó por muchos años al olvido, a pesar de las más conocidas características negativas de éstos (extinguibles y fuertemente contaminantes). Hoy en día, el panorama ha cambiado y aunque es cierto que las energías renovables todavía tienen detractores, cada día ganan más adeptos y aumenta su cuantía en la satisfacción global de los requerimientos energéticos de la humanidad.

De igual forma, la producción de alimentos con el concurso de las fuentes renovables de energía, puede constituir una alternativa para la seguridad alimentaria de los sectores más desfavorecidos, sobre todo para el medio ambiente. En consecuencia, las fuentes renovables de energías en general y la tecnología del biogas en particular, constituyen una solución adecuada si se conocen bien sus bondades y su interacción con el medio ambiente. La tecnología del biogas, por ejemplo, ha permitido el uso racional de los productos finales de ese proceso con sus correspondientes impactos sociales, ambientales y económicos.

Actualmente el 90% de las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (Campos Avella, 1999). Las necesidades energéticas en las zonas rurales, obliga a los campesinos a utilizar a gran escala leña y desperdicios

agrícolas secos (estiércol y residuos de cosecha) (Comisión Nacional de Energía, 1993 y Enríquez, 1998).

Este problema plantea la necesidad de encontrar una tecnología apropiada, utilizando recursos locales disponibles como son los residuos orgánicos (heces humanas, estiércoles, basura orgánica y plantas), los cuales pueden ser usados como medio para producir una fuente de energía (biogas) y biofertilizantes mediante biodigestores. De esta manera se mejorará la calidad de vida de los campesinos, se incrementará la producción agrícola y se preservará el medio ambiente (Hernández, 1990 y Vásquez, 2000).

La libre disposición de estiércol de ganado en el campo o su tratamiento inadecuado lo convierte en una fuente de contaminación ambiental y en un foco infeccioso para los seres humanos, puesto que propicia el desarrollo de vectores de enfermedades. La aplicación de estiércol fresco o seco como fertilizante no es tan bueno para la agricultura, porque se debe descomponer primero antes que las plantas lo aprovechen; además, esta práctica no es recomendable por el peligro de contaminación que puede significar la infiltración de materia orgánica sin digerir, para el manto freático o los cursos de agua (www.fao.org/DROCEP).

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado “gas de pantanos” que brota en aguas estancadas, el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos, así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes

como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas (www.textoscientificos.com/energias/biogas)

La digestión anaeróbica es uno de los procesos más antiguos y tradicionales para tratar los lodos de desagüe. Es importante debido a su capacidad para producir metano a partir de este lodo, que se constituye en una fuente alternativa de energía limpia frente a los limitados combustibles fósiles. Generalmente, cuatro etapas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) están comprendidas en la digestión anaeróbica; siendo la hidrólisis la etapa limitante de velocidad. Esto se debe a que la hidrólisis de la biomasa del lodo es limitada por la accesibilidad restringida de las enzimas extracelulares de las bacterias hidrolizantes a los materiales poliméricos intracelulares, los cuales están protegidos por las membranas celulares (Rong y Deokjin, 2006).

Utilizando este proceso, en biodigestores, se puede tratar gran cantidad de residuos como estiércoles y cofermentadores (efluentes de industrias, basura orgánica, desagües domésticos, entre otros contaminantes), y obtener biogas para combustible en cocinas, calderas de vapor, generadores eléctricos y motores. La cofermentación permite incrementar la producción de biogas, la relación estándar de estiércol: cofermentadores es 3:1 a 2:1 (Chamy y Pizarro, 2004).

En agosto de 1998 y promovido por el éxito inicial de la primera planta, se acometió el diseño, construcción y puesta en explotación de una nueva planta en Las Tepas y utilizando como materia prima el residual porcino, el objetivo era resolver los problemas energético – ambientales que provocaban las aguas residuales del Centro Genético Porcino. La

construcción de la planta evitó el deterioro del sistema existente, constituido por lagunas de estabilización que no podían enfrentar la digestión de los residuales con altas cargas orgánicas. La planta de biogas del Centro Genético Porcino – Las Tepas se diseñó como componente de un sistema de tratamiento en ciclo cerrado. El concepto de tratamiento propicia las soluciones que transforman la agresión provocada por las aguas servidas y residuos de origen orgánico, en producción de energía destinada a la cocción de alimentos e iluminación, además de generar abono orgánico de alta calidad que permite elevar el rendimiento del sistema de autoconsumo y atenuar los problemas ambientales, energéticos y de alimentación que se habían creado. El efecto económico contabilizado hasta el año 2004 se estimó en más de 5400 dólares por concepto de compra de leña. Los huracanes que azotaron al país en la temporada ciclónica del 2008 afectaron con fuertes vientos e inundaciones a los digestores de Las Tepas, que se mantuvieron generando y suministrando combustible necesario para la preparación de los alimentos de las personas allí alojadas. Los embates de los dos últimos huracanes, Ike y Gustav, no han impedido la prestación del servicio de la planta de biogas Las Tepas que, aunque mutilada, aun funciona y brinda beneficios, corroborando que el biogas es una magnífica opción como fuente renovable de energía a prueba de huracanes (Guardado y Cortada, 2009).

El conocimiento de las posibilidades que brindan los sistemas de tratamiento con producción de biogas a ciclo cerrado, facilita el trabajo para que esos sistemas se conviertan en tecnologías apropiadas, a partir de un nuevo concepto energético y la interrelación entre el hombre y la naturaleza. En tanto la energía ni se crea ni se destruye, sino que se transforma, el biogas adquiere entonces otros valores energéticos cuando sus efluentes o subproductos se emplean en la piscicultura, el riego, la conservación de granos y la

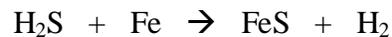
fertilización de algas que se cultivan para la alimentación animal, además de utilizarse como fertilizante orgánico, en el control de plagas y enfermedades en los cultivos, como fertilizante foliar y alimento en la lombricultura. Entre otras posibilidades el biogas como portador energético, se emplea en cualquier equipo que esté diseñado para trabajar con gas: cocinas, lámparas, calentadores, etc. (Guardado y Cortada, 2010).

Por lo general se puede obtener biogas a partir de cualquier material orgánico. Comúnmente se emplean las excretas de cualquier índole, la cachaza, los desechos de destilerías, los componentes orgánicos de los desechos sólidos municipales, los residuos sólidos de mataderos, el lodo de las plantas de tratamientos residuales, los residuales agropecuarios, los desechos orgánicos de las industrias de producción de alimentos, etc.

Todos los materiales orgánicos que pueden ser empleados como “cieno de fermentación” están compuestos en su mayor parte, por carbono (C) y nitrógeno (N), la relación entre ambos tiene gran influencia sobre la producción de biogas. Los alimentos de las bacterias anaeróbicas son el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos, amoníaco, etc.). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para lograr un proceso más eficiente y, por tanto, una mayor producción de biogas. En un cieno de fermentación líquido las bacterias de metano llegan con mayor facilidad a este material fresco, lo que acelera el proceso. Esta fermentación tiene dos fases principales: la ácida y la metanogénica. En la primera se forman los aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes, a partir de las proteínas, grasas y carbohidratos disueltos en el residual. En la segunda se forman el metano, el dióxido de carbono y el amoníaco, entre otros (Guardado, 2006).

El biogas es una mezcla gaseosa formada por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y entre 35 a 40% de dióxido de carbono (CO₂), junto a pequeñas proporciones de otros gases como sulfuro de hidrógeno (H₂S) en un 0,1%, hidrogeno (H₂) y amoniaco (NH₃), El aporte calórico fundamental lo ofrece el metano cuyo peso específico es de alrededor de 1 kg/m³ (Chamy y Pizarro, 2004).

El H₂S le da al biogas el característico olor a desagüe, por lo que debe eliminarse por reacción química con viruta de fierro; para ello se hace pasar la corriente de biogas por un cartucho relleno con este material:



El FeS queda en el cartucho y el H₂ que también es comburente sale con la corriente de biogas. El metano producido, llamado también gas natural, es una de las llamadas bioenergías; la mezcla de este gas con el oxígeno del aire es comburente, arde con llama azul y no tizna, puesto que los productos de esta combustión son CO₂ y agua. El biogas es un combustible ecológico por lo siguiente: se obtiene en biodigestores por fermentación anaeróbica del estiércol de herbívoros; luego, cuando se quema el biogas en la cocina, se produce CO₂ y agua; el CO₂ sale a la atmósfera, de donde es captado por las plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis, que los utilizarán para su crecimiento; estas plantas servirán de alimento a los herbívoros, cuyo estiércol se alimentará al biodigestor, de esta manera se completa el ciclo del CO₂. La aplicación de este bioproceso contribuirá a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y por ende del calentamiento global, teniendo en cuenta que una molécula de metano causa un impacto similar al que harían 24 moléculas de CO₂.

El biogas se convertirá en una fuente de energía barata para satisfacer la demanda de la cocina de los hogares campesinos, reduciendo o eliminando su consumo de leña o de kerosene. El efluente del biodigestor es un abono de excelente calidad para el agro, además, todos los patógenos iniciales habrán muerto, reduciéndose así el riesgo de contaminar las fuentes de agua y causar enfermedades; de otro lado, las semillas que estuvieron presentes en el estiércol habrán perdido su viabilidad, lo que reduce la diseminación de malezas en los pastizales. Si se deja sedimentar el efluente del biodigestor, se tendrá una parte sólida y otra líquida. La parte sólida se llama biosol y es un abono que se aplica directamente al campo; la parte líquida se podrá emplear como abono foliar.

El biodigestor debe permanecer preferentemente a una temperatura constante, de 35°C, que es la óptima para que las bacterias anaerobias vivan y realicen su trabajo eficientemente. El proceso tendrá una duración aproximada de 20 a 60 días, dependiendo de la temperatura a la cual se trabaje, mientras más cerca de los 35°C, más rápida será la producción de biogas (Chamy y Pizarro, 2004).

Dado que el deterioro del medio ambiente ha venido creciendo cada vez más, urge buscar alternativas de reciclaje del estiércol de los animales, principalmente el proveniente de los cerdos, el que por sus componentes tiene mayor poder contaminante y es más difícil de degradar.

Los biodigestores son un medio de tratamiento de las excretas de animales y de otros tipos de desechos orgánicos utilizando un proceso de digestión anaeróbica. El material (manga de polietileno o geomembrana de PVC) con el que están fabricados los biodigestores es de

forma tubular. Los biodigestores tubulares por sus características constructivas y por su bajo costo son una alternativa para integrar las excretas y otros residuos orgánicos de la finca a los sistemas de producción, ya que normalmente éstos se pierden, se mal utilizan o se convierten en contaminantes del medio ambiente y, por consiguiente, en un peligro para la salud de las plantas, animales y del hombre.

- Son muchos los beneficios que se obtienen al utilizar los biodigestores. Entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes (CIPAV, 1995):
- Proporcionan combustible (biogas) para satisfacer las necesidades energéticas rurales, con energía renovable (calor, luz, electricidad) y de bajo costo.
- Reducen la contaminación ambiental al convertir en residuos útiles a las excretas de origen animal, aumentando la protección del suelo, de las fuentes de agua, de la pureza del aire y del bosque. Dichas excretas contienen microorganismos patógenos, larvas, huevos, pupas de invertebrados que de otro modo podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas.
- Se produce abono orgánico (bioabono) con un contenido mineral similar al de las excretas frescas, pero de mejor calidad nutricional para las plantas y para la producción de fitoplancton. Este último es utilizado para la alimentación de peces y crustáceos.
- Mediante la utilización del efluente como bioabono se reduce el uso de fertilizantes químicos, cuya producción y aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente global y local.

- Mejora las condiciones higiénicas de la casa rural y/o unidad de producción a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, los que mueren durante el proceso de biodigestión.
- Contribuyen a reducir los niveles de deforestación por el menor uso de leña con fines energéticos.
- Reduce la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar, actividad llevada a cabo principalmente por mujeres.
- Produce beneficios microeconómicos a través de:
 - a) La sustitución de energía no renovable y fertilizantes sintéticos por energía renovable y fertilizantes orgánicos.
 - b) El aumento de los ingresos económicos debido al incremento de la productividad y producción agrícola y pecuaria.
- Se reduce el riesgo de transmisión de enfermedades (Mc Garry y Stainforth, 1978). Al reciclar en conjunto las excretas animales y humanas en biodigestores que operan en rangos de temperatura interna entre 30 °C y 35 °C es posible destruir hasta el 95% de los huevos de parásitos y casi todas las bacterias y protozoarios causantes de enfermedades gastrointestinales.
- Existen numerosos beneficios comparativos de utilizar biodigestores plásticos con respecto a otros tipos. Entre los más comúnmente reconocidos se encuentran los siguientes:
- Los costos de instalación de los biodigestores plásticos son mucho menores que el establecimiento de otros tipos de biodigestores; como los de concreto. De allí que la

recuperación de los costos tiene lugar en un período más corto de tiempo y su rentabilidad sea mayor.

- Son más eficientes que los biodigestores de concreto, ya que requieren menor volumen líquido para producir una unidad de gas.
- Una vez instalados los biodigestores plásticos son de muy fácil manejo y mantenimiento lo que garantiza una larga vida útil. Según la experiencia propia, la vida útil de este tipo de biodigestores se puede prolongar más allá de los diez años, bajo buen mantenimiento y cuidado.
- Se ahorra mano de obra, pues la misma persona que atiende el ganado puede atender el biodigestor sin utilizar tiempo extra.
- Promueve una mayor integración de la mujer a las labores productivas.
- Mejora el nivel de vida en general del componente humano de las fincas.

El biodigestor debe ser alimentado diariamente, lo que garantizará la producción diaria de biogas y bioabono. Lo más práctico es instalar un tubo que conecte directamente el desagüe de los corrales con la caja de entrada al biodigestor. Para instalar el biodigestor plástico se necesita previamente excavar una fosa en suelo firme. Dicha fosa sirve de aislante térmico, de protección y sostén del biodigestor.

La relación agua/estiércol que se adiciona al biodigestor varía en dependencia de la especie animal. Por ejemplo, el estiércol del ganado bovino requiere mayor cantidad de agua por kilogramo de material para que las bacterias trabajen mejor y evitar que el material no se solidifique dentro del biodigestor. Por el contrario, el estiércol de cerdo requiere menor

cantidad de agua ya que es más metanogénico y las bacterias trabajan o procesan más rápido el material. Considerando que el estiércol tiene un promedio de 20% de materia seca, la proporción de agua y estiércol que se recomienda es de cuatro partes de agua por una parte de estiércol (relación 4:1). La proporción puede ser hasta de 10 partes de agua por 1 de estiércol, dependiendo del número de animales y de la especie. La cantidad y composición del estiércol producido por las diferentes especies animales varía con el peso del animal, la cantidad y la calidad del alimento que consume.

El biogas producido se emplea normalmente como sustituto de la leña, estiércol seco, o gas licuado de petróleo (GLP) en balones, para cocinar. El poder calorífico del biogas es menor al del butano o propano (GLP), e implica que se tarda más tiempo en cocer los alimentos. El consumo de una cocina doméstica normal se puede estimar en 130-170 litros de gas por hora. El biogas también se puede emplear para iluminación en lámparas de gas comercial. El consumo de estas lámparas varía según el fabricante pero se puede considerar un consumo de 90 a 130 litros de gas por hora. Cuando se produce gran cantidad de biogas este se puede emplear en calefacción (de chiqueros y de pollos bebé) e incluso conectarlo a un motor para su funcionamiento (Martí, 2008).

Tabla 1. Equivalencias energéticas del biogas con respecto a diferentes combustibles.

Equivalencias energéticas del biogas	
100 litros de biogas equivalen a:	
Madera	1,3 kg
Bosta seca	1,2 kg
Alcohol	1,1 Litros
Gasolina	0,8 Litros
Gas- oil	0,65 Litros
Gas Natural	0,76 m
Carbón	1,5 kg
Electricidad	2,2 kW/h

Fuente: Martí, 2008.

En el hogar, uno de los usos más importante del biogas es para cocinar o preparar los alimentos. Con esto se ahorra leña o bien dinero directamente al no comprar otro tipo de combustible para ello. Dependiendo del volumen de producción, el biogas puede utilizarse hasta 12 horas diarias. De acuerdo con experiencias propias en Nicaragua, el biodigestor plástico provee biogas a una familia de 5 a 8 miembros por un tiempo promedio de 8 horas diarias.

La calidad de la llama es buena, no ahúma, no mancha y el olor es normal. También en el hogar se puede utilizar para producir energía eléctrica, ahorrando así al no hacer uso de otros tipos de energéticos, mejorando de esta manera las condiciones de vida en el campo, principalmente en países como el nuestro que normalmente carece de este servicio público en las áreas rurales. Se reporta que en Colombia, una familia de seis miembros puede ahorrar aproximadamente 116 dólares al año al utilizar biogas en lugar de comprar combustible (gas o kerosene) (Beteta, 1996).

Citando cifras del Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente (MARENA), señala que el consumo per cápita de leña de cada nicaragüense es de 1,8 kg/persona/día. Si se toma como cierta la existencia de 350000 familias productoras en Nicaragua con un promedio de seis miembros cada una, los biodigestores contribuirían al ahorro de leña de 3,9 ton/familia/año. Con solamente el 10% de las familias rurales haciendo uso de biodigestores plásticos, el ahorro sería de aproximadamente de 136500 toneladas de leña por año. Si el país pierde aproximadamente 140000 ha de bosques anualmente, los biodigestores harían una significativa reducción de la tasa de deforestación en el país y una notable contribución a mejorar la calidad ambiental. El biogas que producen los biodigestores también puede ser utilizado en la unidad de producción para el calentamiento de las crías recién nacidas de los cerdos y aves, ahorrando de esta manera energía eléctrica y/o combustibles fósiles que se utilizan para que funcionen los generadores eléctricos. Otra aplicación del biogas está en el secado del café. Este aspecto es de particular importancia para las zonas cafetaleras del norte central y de Las Segovias, caracterizadas por bajas temperaturas nocturnas y altas precipitaciones (Beteta y Gonzales, 2005).

El bioabono producido tiene un contenido de nitrógeno de 2 a 3%, fósforo de 1 a 2%, potasio alrededor de 1% y un 85% de materia orgánica, con un pH de 7,5. Para producir un mejor bioabono se debe aumentar el tiempo de retención, de manera que el lodo se haya descompuesto más, sea más rico y mucho más fácil de asimilar por las plantas.

Tabla 2. Tiempo de retención del bioabono según la temperatura.

Tiempo de retención según temperatura para mejor bioabono		
Región característica	Temperatura (C°)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	32
Altiplano	10	75

Fuente: Martí, 2008.

El fertilizante que sale de un biodigestor con los tiempos de retención expresados en la Tabla 2, es muy bueno, pero si aumentáramos estos tiempos de retención en un 25%, sería excelente (Martí, 2008).

El bioabono se puede utilizar tanto en cultivos perennes como en árboles forrajeros que sirven de alimento para el ganado. Por su alto valor nutritivo para las plantas, el efluente se usa preferentemente en cultivos anuales de alto valor en el mercado como es el caso de las hortalizas (zanahoria, rábano, lechuga, cebolla y ajo, entre otros). La alta calidad del efluente como fertilizante radica en que después de haber transcurrido el proceso de biodigestión, todos los nutrientes y más de la mitad de la materia orgánica se encuentran aún en el mismo. Al mismo tiempo, el efluente del biodigestor cumple una función fitosanitaria ya que actúa como repelente contra insectos plagas de los cultivos. El efluente es muy utilizado para fertilizar plantas acuáticas, plantas ornamentales y también encuentra aplicación para el cultivo de peces, pues se fertilizan los estanques para producir algas y fitoplancton que consumen los peces (Beteta y Gonzales, 2005).

En la literatura se reporta el uso del efluente en la alimentación de aves (patos). Trabajos de fertilización realizados en el cultivo de maíz y sorgo en Tisma, Masaya y Las Mercedes,

Managua, aplicando efluente proveniente de estiércol producido por cerdos alimentados con concentrado y desperdicios de cocina, dio como resultado una mejora en la fertilidad del suelo (Vega, 2000).

Existen diferentes experiencias en el uso del biol producido en un biodigestor, aquí se presentarán tres de ellas, explicadas de acuerdo a los tiempos de los cultivos:

- Inicialmente, cuando el terreno se ara, se puede usar el biol recién salido del biodigestor para regar cada surco.
- El día antes de sembrar, se pueden introducir las semillas o grano en una mezcla de 1 a 1 de biol con agua por un tiempo de 4 o 5 horas.
- Una vez en crecimiento la planta, se puede filtrar el biol y fumigar (uso como fertilizante foliar) las plantas con una mezcla de 1 parte de biol y 4 de agua. Funciona muy bien fumigar tras una helada, así como cuando ya comienza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a quemar la planta.

Es muy importante considerar que si el biodigestor está conectado a una letrina, el uso del fertilizante foliar se restringe a frutales, cultivos cuyo fruto sea subterráneo (papas, cebolla, zanahoria, etc.) y en cultivos cuyo fruto esté a más de 50 cm del suelo, fumigando en la parte inferior de la planta y nunca sobre el fruto. Esto es debido a que en la digestión anaerobia que sucede en el biodigestor de las heces humanas mueren de un 80 a 95% de los coliformes de humanos. Pero aun resta una mínima cantidad de coliformes que pudiera afectar a la salud humana si es que alcanzan al fruto que más tarde será comido (Marti, 2008).

El cultivo de alfalfa se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 4600 msnm y prosperan bajo el régimen de lluvias o bajo riego. Su rendimiento es máximo en suelos francos,

profundos y de buena aireación, pero aceptan igualmente suelos pesados, arcillosos y poco profundos y de máxima pendiente; las alfalfas dormantes pueden sembrarse en cualquier tipo de terreno siempre que el pH no sea menor que 5,6, siendo el mínimo pH 4 y suelos con alto contenido de aluminio, tenemos que asegurarnos que la acidez de estos se encuentre en niveles de pH 6,5 a 6,8.

Las alfalfas dormantes son sumamente susceptibles a la carencia de fósforo y calcio en el terreno, pues condicionan a la alfalfa para ofrecer un buen volumen forrajero y larga permanencia en el terreno. Se considera que un alfalfar que por corte nos proporciona 10 TM de materia seca, ha extraído del suelo: 520 kg de nitrógeno, 360 kg de potasio, 320 kg de calcio y 96 kg de fósforo.

La alfalfa para un normal crecimiento, demanda la provisión de los siguientes elementos: fósforo, potasio, calcio y nitrógeno, cuya presencia en los terrenos condiciona a la alfalfa para ofrecer buen volumen forrajero y larga permanencia en el terreno

El aporte de nitrógeno al suelo depende fundamentalmente de la productividad del cultivo en términos de materia seca. Con respecto a la provisión de nitrógeno a la alfalfa, existe una relación muy estrecha entre la producción de materia seca y la cantidad de nitrógeno fijado del aire a través de los rhizobio.

El contenido de fósforo es primordial para la vida del alfalfar, contenidos de 26 ppm en el terreno ubican la vida del alfalfar en un punto crítico. Los suelos de la sierra no siempre tienen este elemento en las cantidades necesarias y de no adicionarlo se convierten en factor determinante del rendimiento. Si añadimos fósforo como superfosfatos, debemos tomar en

cuenta la rápida entrega del fósforo a un cultivo de larga permanencia en el terreno y con producciones durante todo el año, en caso de usar roca fosfórica con un contenido de 24% de fósforo puro, se debe aplicar 350 kilogramos/ha cada cuatro años.

El elemento importante después del fósforo es el calcio, un síntoma de su escasez es el aumento de la acidez de los suelos, de allí que la alfalfa no prospera en suelos cuyo pH sea menor de 5,6; debido a que los suelos ácidos demuestran una falta de calcio crítica, por lo tanto, de tener que implantar alfalfares en suelos más ácidos deben utilizarse tecnologías que corrijan este factor limitante y que estén al alcance de los campesinos, tanto en su uso como en su economía. El nivel crítico en el contenido de calcio en los suelos para cultivar alfalfares, se sitúa en 1600 ppm, debajo de este nivel hay que adicionarles calcio a los terrenos.

En cuanto a la provisión de potasio, los suelos de las serranías poseen una roca madre que constantemente cede este elemento a las capas superficiales y salvo producciones sumamente altas de materia seca por hectárea, no es necesario en los alfalfares adicionar este elemento.

La absorción del calcio, fósforo y potasio no es posible cuando la acidez es alta y esta situación se complica aún más porque con altos niveles de acidez en el terreno, el aluminio se hace presente y es tomado por las radículas, que además de bloquear la absorción de nutrientes, mata las radículas. Es necesario resaltar que la absorción de fósforo por la planta, se realiza en un intercambio de iones calcio por iones fósforo de manera que la presencia de calcio es imprescindible (Torres, 2007).

Con el presente trabajo de investigación, se pretende dar las bases para emplear el estiércol del ganado vacuno que se cría en la Comunidad Campesina “Unidos Venceremos Huashao”, del distrito de Yungay, para la producción de biogas y abonos orgánicos mediante la instalación de un biodigestor tipo tubular y minimizar el efecto contaminante de este estiércol. El biogas producido se emplea actualmente para cocinar los alimentos, para lo que anteriormente se usaba leña. El efluente líquido se usa como fertilizante orgánico para pastos y otros cultivos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

Se empleó estiércol fresco de ganado vacuno recolectado de las chacras donde se pastorea el ganado Comunidad Campesina “Unidos Venceremos Huashao”, distrito de Yungay, provincia de Yungay, Región Ancash. También se utilizó rumen como inóculo, recolectado del ganado que es sacrificado para comercializar su carne; en el rumen se encuentran las bacterias metanogénicas.

2.2. Métodos

Se instaló un sistema de digestión anaeróbica de estiércol de ganado vacuno, cuyos componentes son los siguientes:

2.2.1. Biodigestor

El biodigestor está hecho de geomembrana de PVC de 0,6 mm de espesor, con protección UV, de 8 m de largo y 1,27 m de diámetro tipo tubular. El biodigestor tiene una boca de 4” para alimentación, una boca de 4” para descarga diaria, ambas ubicadas en el centro de cada una de las dos tapas del biodigestor; además, en el fondo de la tapa del lado de descarga tiene una tercera boca de 4” que permitirá sacar los lodos del fondo del biodigestor cada tres a seis meses. En el lomo de este biodigestor tubular tiene un conducto de 3/4” que permite la salida del biogas.

Para proteger el biodigestor de las inclemencias del tiempo y por seguridad, se construyó una habitación de tapial con techo de paja y fibraforte transparente para tener luminosidad natural. En el interior, para colocar e instalar el biodigestor se excavó una zanja de sección trapezoidal, de 8 m de largo por 1 m

de profundidad, 0,70 m de ancho en la base y 0,90 m de ancho en la parte superior.



2.2.2. Cámara de alimentación

Para ello se construyó una caja de entrada hecha de ladrillo y cemento de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m, por donde se alimentará diariamente una mezcla de agua y estiércol de ganado vacuno en la relación 1:5. Esta caja se conectó a la boca de alimentación del biodigestor mediante un tramo de tubo de PVC de 4". La alimentación diaria se preparó en un cilindro de 200 L, para lo que se empleó 33 kg de estiércol mezclado con agua hasta el volumen de 200 L



2.2.3. Cámara de descarga

Para este caso se construyó, en el otro extremo del biodigestor, una caja de salida hecha de ladrillo y cemento de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m, por donde sale diariamente el bioabono líquido apto para aplicar a las parcelas experimentales de alfalfa. Esta caja se conectó a la boca de descarga diaria del biodigestor mediante un tramo de tubo de PVC de 4". Tanto la cámara de alimentación y la de descarga se construyeron al mismo nivel, a ras del suelo (ver Anexo 2).

En la boca para retiro del lodo del fondo del biodigestor se conectó un tubo de PVC de 4", cuyo extremo quedó sellado y se abrirá cuando se quiera retirar el lodo.



2.2.4. Salida del biogas

El biogas saldrá a través de una tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ ", la que se redujo a $\frac{1}{2}$ " y se instaló una llave de paso de $\frac{1}{2}$ " de plástico que servirá como llave general para seguridad (ver Anexo 3 y 4).

2.2.5. Cartucho para eliminar el H₂S

A la llave general se conectó la tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ ", por donde se condujo el biogas hasta un cartucho hecho con tubo para agua de PVC de 2" de diámetro por

1,2 m de largo, el cual se llenó con clavos de fierro y en ambos extremos se colocó esponja de fierro. Este cartucho servirá para eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S) causante del olor desagradable del biogas, de esta manera se tendrá un gas inodoro para utilizar en la cocina. Este tubo se cerró con campanas de reducción de PVC de 2" a 1/2" y a cada una se le conectó adaptadores y una unión universal de PVC de 1/2", para facilitar su instalación y retiro de la tubería de conducción de biogas durante el mantenimiento (ver Anexo 4).



2.2.6. Regulador de presión

A continuación del cartucho mencionado se instaló un regulador de presión de todo el sistema de producción de biogas, que funcionará también como una trampa de agua para evitar que una llama se propague por la tubería de conducción. Este regulador está constituido por una botella de plástico descartable de 1,5 L, con agua hasta $\frac{3}{4}$ partes como mínimo y con cuatro agujeros de 1 cm de diámetro a la altura de sus hombros; en esta botella se introdujo la rama vertical de 30 cm de la te de la tubería de conducción del biogas, la cual tiene ranuras hechas con sierra cada centímetro, en un tramo de 15

cm. Esta rama estará sumergida 10 cm bajo el nivel de agua contenida en la botella. Esta botella se amarró de su cuello hacia una de las vigas del techo de la habitación. De esta manera la presión máxima que alcance el sistema de producción de biogas será de 10 cm, el exceso de biogas producido se liberará al medio ambiente al burbujear por esta rama de la te y saldrá por los agujeros hechos en la parte superior de la botella. De este regulador de presión, el biogas pasó al gasómetro por medio de tubería de ½” de PVC (ver Anexo 4).

2.2.7. Gasómetro

El gasómetro es el recipiente en el que se almacenará el biogas producido en el biodigestor, de manera que funcionará como un tanque de reserva para abastecer con biogas a la cocina o para otros usos. Esta hecho de geomembrana de PVC de 0,6 mm de espesor, con protección UV, de 2 m de largo y 1,27 m de diámetro tipo tubular. En una de sus tapas tiene un conducto de ¾” que sirve para entrada/salida del biogas. Se ubicó en un altillo a 2 m del suelo, dentro de la habitación del biodigestor. A la entrada/salida del gasómetro se colocó una llave de plástico de ½” (ver Anexo 4).

2.2.8. Cocina a biogas

Del gasómetro se conduce el biogas hacia la cocina de la casa, mediante tubería de PVC de ½” en cuyo primer tramo y cerca al gasómetro se colocó una tercera llave de paso similar a las anteriores por seguridad para labores de mantenimiento. La cocina a biogas se hizo de varilla de fierro de ½”, a la que se le acondicionó dos quemadores industriales de las que usan las cocinas a gas propano. A cada quemador se le conectó un niple de fierro galvanizado de ½”

por 30 cm de largo, en cuyo extremo se enroscó una llave de paso de plástico de ½”, a las cuales llegó la tubería que conduce el biogas (ver Anexo 4).

También se instaló parcelas experimentales con cultivos de alfalfa a las que se aplicó el efluente (líquido y sólido) del biodigestor con diferentes tratamientos y se determinó los beneficios que produce en el desarrollo de la alfalfa: altura de planta, tiempo de cosecha y materia seca.

2.2.9. Instalación de parcelas de alfalfa

Previo a la siembra de la alfalfa, se realizó el análisis del suelo. Para la presente investigación se instaló parcelas de alfalfa de 1,5 m x 5 m, distribuidas en tres bloques para evaluar el beneficio del bioabono sobre el rendimiento de alfalfa de cada parcela experimental, con diferentes tratamientos según se indica a continuación:

- T: testigo
- T₁: líquido (biol): 15 L por parcela
- T₂: sólido (biosol): 2 kg por parcela
- T₃: líquido y sólido: 15 L + 2 kg por parcela
- T₄: roca fosfórica, fosfato diamónico y guano de isla (testigo empleando la recomendación del proveedor de semilla: 2 kg por parcela)

Para evaluar el rendimiento de alfalfa por hectárea y de cada tratamiento, se buscó una zona de la parcela que represente el promedio del follaje de toda la parcela, se delimitó un metro cuadrado y se procedió a cortar su follaje, se pesó todo lo cortado y este valor se multiplicó por diez mil (1 ha = 10000 m²), obteniéndose el rendimiento en kilogramos de alfalfa fresca por hectárea. Para

determinar la cantidad de materia seca en la alfalfa, se empleó la técnica de henificación que consistió en el secado natural de la alfalfa bajo sombra, para permitir su almacenamiento posterior sin que se pudra y sin que pierda sus cualidades nutricionales.

III. RESULTADOS

3.1. Cálculo de la composición de la mezcla estiércol-agua

Se empleó la relación estiércol-agua de 1:5 lo que equivale a 6 partes en total. Una parte de estiércol y las cinco partes restantes de agua.

✓ Volumen del biodigestor: $V = \pi.D^2.L / 4$

Si: $L = 8 \text{ m}$ y $D = 1,27 \text{ m}$

$$V = 10,13 \text{ m}^3$$

✓ Volumen de la mezcla: $VM = 75\%$ del volumen del biodigestor

$$VM = 7,6 \text{ m}^3$$

✓ Cantidad de estiércol = $7,6 \text{ m}^3 / 6 = 1,26 \text{ m}^3 = 1260 \text{ kg}$

✓ Cantidad de agua = $7,6 \text{ m}^3 - 1,26 \text{ m}^3 = 6,34 \text{ m}^3 = 6340 \text{ litros}$

✓ La mezcla estiércol – agua se preparó en un cilindro de fierro de 100 litros

✓ Estiércol = $100 \text{ L} / 6 = 16,7 \text{ L} = 16,7 \text{ kg}$ de estiércol para cada cilindro de mezcla.

Se midió el estiércol con un balde de 20 L y se vació en el cilindro, se hizo una marca en el cilindro a la altura que alcanzaba el total de estiércol necesario, para que en adelante se adicione el estiércol al cilindro con palana hasta la marca. Enseguida, se adicionó agua hasta llenarlo y se agitó con una vara para uniformizar la mezcla estiércol-agua; finalmente, con esta mezcla se alimentó el biodigestor. Fueron necesarios 72 cilindros de esta mezcla para completar los $7,6 \text{ m}^3$ que debe contener este biodigestor. Se empleó como inóculo el rumen de dos panzas de ganado vacuno sacrificado en distrito de Chilca, esto favorece la producción de biogas.

3.2. Determinación de la cantidad de hierro para eliminar el H₂S

- ✓ Producción diaria estimada de biogas: 35% de la mezcla estiércol – agua:

$$0,35 \times 7,6 \text{ m}^3 = 2,66 \text{ m}^3 \text{ de biogas}$$

- ✓ H₂S producido = 0,1%(v/v)

$$\text{H}_2\text{S} = (0,1 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{S} / 100 \text{ m}^3 \text{ biogas}) \times 2,66 \text{ m}^3 \text{ biogas/día}$$

$$= 2,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{S/día} = 2,66 \text{ L H}_2\text{S/día}$$

- ✓ Para 1 año de operación = 365 días

$$2,66 \text{ L H}_2\text{S/día} \times 365 \text{ días} = 970,9 \text{ L H}_2\text{S}$$

$$V = 970,9 \text{ L H}_2\text{S en 1 año de operación}$$

$$P.V = n.R.T ; \quad n = P.V / (R.T)$$

$$R = 0,082 \text{ L.atm/mol.K}; \quad P = 1 \text{ atm}; \quad T = 19^\circ\text{C} + 273 = 292^\circ\text{K}$$

$$n = 82,23 \text{ mol de H}_2\text{S}$$



$$82,23 \text{ mol de H}_2\text{S} \times (1)(56) \text{ g Fe} / (1 \text{ mol H}_2\text{S}) = 4604,9 \text{ g Fe}$$

Se necesitó 4,6 kg de hierro como esponja para lavar ollas para los extremos y clavos de 2” para el resto del cartucho. Esta cantidad de hierro alcanza en un tubo de PVC de 2” de 12 m de largo.

3.3. Cálculo de la alimentación diaria del biodigestor

- ✓ A partir del día en que se alcanzó la máxima producción de biogas con la mezcla estiércol-agua cargada en el biodigestor al inicio (día cero), se deberá alimentar diariamente el biodigestor.
- ✓ Asumiendo un tiempo de retención hidráulico de 42 días, debido a que en el distrito de Chilca la temperatura ambiente promedio es de 19°C y la producción

de biogas tardará más días, calculamos la cantidad de mezcla estiércol-agua que se debe alimentar diariamente al biodigestor a partir del día 43:

$$7,6 \text{ m}^3 / 42 \text{ días} = 0,2 \text{ m}^3 / \text{día} = 200 \text{ L/día} = 2 \text{ cilindros de } 100 \text{ L/día}$$

- ✓ La mezcla estiércol-agua (1:5) para alimentar diariamente el biodigestor, se preparó como ya se ha indicado para cargar el biodigestor.

3.4. Evaluación del rendimiento del sistema de producción de biogas

A los 42 días de cargado el biodigestor, el biogas producido alcanzó una presión de 10 cm de agua en todo el sistema. En ese día se empezó a usar el biogas en la cocina de dos hornillas. Como primera prueba, se colocó un tacho con 4 litros de agua, la cual hirvió en 18 minutos (ver Anexo 4). Enseguida se prepararon los alimentos para el almuerzo de la familia e invitados, que en promedio fueron 20 personas, lo cual ocupó un tiempo de funcionamiento de la cocina a biogas de dos hornillas, de 5 horas. Al cabo de este tiempo se observó que el gasómetro se desinfló en un 80%.

A partir de este día, se comenzó a alimentar diariamente el biodigestor con 200 L de mezcla estiércol-agua, de esta manera por la cámara de descarga se recoge 200 L de biol listo para ser aplicado a las parcelas experimentales de alfalfa.

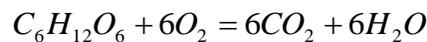
Para extraer el biosol o lodo del fondo del biodigestor, se introdujo una manguera de ½” por la cámara de descarga hacia el interior del biodigestor, la cual se empleó como un sifón que permitió retirar el biosol cada 7 días, en una cantidad de 12 baldes de 18 L cada uno, el cual se filtró en un mantel de tocuyo. El lodo resultante se puso a secar al sol sobre una manta de plástico, una vez seco se molió para aplicarlo al suelo de las parcelas experimentales de alfalfa (ver Anexo 7).

3.5. Evaluación del potencial energético y de saneamiento ambiental de la producción de biogas

Para demostrar la factibilidad del empleo de digestores para producir biogas, se precisa contar con las herramientas que permitan determinar las potencialidades de su productividad energética y de saneamiento ambiental los más objetivamente posible.

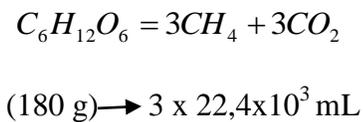
La primera pregunta que surge es: ¿Qué cantidad de biogas y de energía se puede esperar de un determinado número de vacas?

La oxidación de la glucosa se expresa como:



La ecuación indica que para oxidar totalmente un mol (180 g) de glucosa se necesita 6 moles de oxígeno, es decir, $6 \times 32 = 192$ g de oxígeno.

La ecuación que describe el proceso de descomposición anaerobia, para producir metano a partir de glucosa, se expresa de la manera siguiente:



La ecuación señala que un mol (180 g) de glucosa al descomponerse totalmente dará $3 \times 22,4 \times 10^3$ mL de metano.

Como la demanda química de oxígeno (DQO) de 180 g de glucosa es 192 g, ello indica que la producción de metano de un 1 g de DQO es $3 \times 22,4 \times 10^3 / 192 = 350$ mL a 0°C y a 1 atm.

Si el análisis se hace a 19°C (292 K) y a 1 atm, que son las condiciones promedio del clima en el distrito de Chilca, con la ley del gas ideal, se calcula el volumen de metano a esa temperatura y presión:

$$PV = nRT$$

$$V = nRT / P$$

Considerando 1 mol de CH₄:

$$V = ((1,0 \text{ mol} \times (0,082 \text{ L.atm/K.mol}) \times (292 \text{ K}))/1\text{atm})$$

$$V = 23,9 \text{ mL}$$

Entonces: 1g de DQO nos daría $3 \times 23,9 \times 10^3 / 192 = 373,4 \text{ mL}$, a 19°C y 1 atm de presión.

Entonces, 1 kg de DQO nos reporta 373,4 litros de metano; pero el biogas es metano más otros gases, si consideramos el biogas como 60% de metano y 40% de CO₂, entonces podemos afirmar que por cada kg de DQO destruido en el digester se formarán: $(373,74 \text{ L metano/kg DQO}) \times (100 \text{ L biogas}/60 \text{ L de metano}) = 622,3 \text{ litros de biogas/kg DQO}$.

La alimentación, las condiciones de cría y otros aspectos pueden hacer variar considerablemente las características de las excretas y su magnitud, pero la experiencia induce a escoger los siguientes parámetros: (Díaz, 2010).

- Peso de la excreta mas orines: 5% del peso vivo de una vaca.
- DQO: 60 g/L

Consideramos que un litro de excreta = 1 kg; entonces, si tenemos 10 vacas en el corral y en su conjunto pesan 4000 kg, puede esperarse: $4000 \times 0,05 = 200 \text{ kg}$ o 200 L de excreta.

¿Cuál será la carga contaminante en términos de DQO y expresada en kg?

$$(200 \text{ L excreta} \times 60 \text{ g/L}) / (1000 \text{ g/kg}) = 12 \text{ kg de DQO}$$

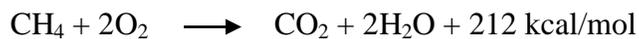
Es decir, las vacas (10 animales con un peso vivo de 4000 kg) vierten al medio todos los días el equivalente a 12 kg de DQO, si consideramos 60% de eficiencia en la fermentación anaeróbica dentro del digestor, un régimen mesófilo, unos 25°C con digestión no controlada, en condiciones termófilas este puede variar y llegar incluso a 85% y más (Díaz, 2010). Entonces la expresión propuesta para definir la posible producción de biogas es: $((\text{DQO}(\text{en kg}) \times 622,5 \text{ L biogas/kg DQO}) / (1000 \text{ L/m}^3)) \times 0,60 = \text{m}^3$ de biogas producido.

Si evaluáramos la posible producción de biogas de las 10 vacas, estaría en el orden de:

$$((12 \text{ kg DQO} \times 622,3 \text{ L biogas/kg DQO}) / (1000 \text{ L/m}^3)) \times 0,60 = 4,48 \text{ m}^3 \text{ de biogas/día.}$$

Ahora nos preguntamos: ¿De cuánta energía estamos hablando?

Consideremos la combustión del metano: (Díaz, 2010).



$$1 \text{ mol} = 23,6 \text{ L (a } 19^\circ\text{C)}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$1 \text{ m}^3 = 42,34 \text{ mol}$$

$$212 \text{ kcal/mol} \times 42,34 \text{ mol/m}^3 = 8976,08 \text{ kcal/m}^3$$

Como estamos considerando un biogas de 60% de metano y 40% de CO₂:

$$8976,08 \times 0,60 = 5385,65 \text{ kcal/m}^3, \text{ como: } 1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

$$5385,65 / 860 = 6,26 \text{ kWh}$$

Entonces 1 m³ de biogas (60% de CH₄ y 40% de CO₂) tiene una energía de 6,26 kWh.

Por lo general, la eficiencia se ve afectada al convertirla, por lo que se suele utilizar para la energía eléctrica 30% y para la térmica 50% (Díaz, 2010). Entonces:

Energía eléctrica de 1 m³ de biogas = 6,26 x 0,30 = 1,88 kWh

Energía térmica de 1 m³ de biogas = 6,26 x 0,50 = 3,13 kWh

Evaluando las 10 vacas (4000 kg de peso vivo):

Biogas a producir = 4,42 m³/día

Energía esperada:

Eléctrica = 4,42 m³/día x 1,88 kWh/m³ = 8,31 kWh/día.

Térmica = 4,42 x 3,13 = 13,83 kWh/día.

Eliminación de DQO:

$(4,42 \text{ m}^3 \text{ biogas/día}) / (0,61458 \text{ m}^3 \text{ biogas/kg DQO}) = 7,19 \text{ kg DQO/día}$

Estas son las herramientas que permitirán evaluar con más precisión el impacto de la digestión anaeróbica y tomar decisiones económicas para su introducción en forma segura, así como la composición de biogas.

IV. DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación se ha logrado producir una fuente de energía renovable a partir de estiércol de ganado vacuno, llamada biogas, constituida principalmente por el hidrocarburo metano que es el que se combustiona combinado con el aire, en la cocina produciendo una llama azul que no tizna ni humea las ollas ni el ambiente de la cocina, a diferencia de la leña. Se contribuye así a mejorar la calidad de vida del poblador rural. Cuando la llave de cada hornilla se abre totalmente, la llama alcanza una altura promedio de 50 cm. Además, se ha producido bioabonos o abonos orgánicos como el biol y el biosol que se han aplicado a las parcelas experimentales de alfalfa, habiéndose logrado incrementar su rendimiento con respecto a un testigo al que no se le aplicó fertilizantes.

La relación estiércol-agua empleada fue de 1:5, la temperatura ambiente promedio en Chilca es de 19°C. A estas condiciones, el biogas producido alcanzó una presión de 10 cm de agua en 42 días, siendo el volumen de biogas producido de 5 m³ (volumen del gasómetro más el de la campana del biodigestor). En clima cálido, como el de Calzada (Moyobamba), donde la temperatura ambiente es de 26°C, empleando la misma composición de la mezcla alimentada al biodigestor tubular similar al empleado en este trabajo de investigación, el biogas producido ha alcanzado igual presión en 18 días (Barrena y otros, 2010), de lo que se puede deducir que el factor ambiental que influye en la producción de biogas en menor tiempo, es la temperatura ambiente.

El biogas producido también contiene H_2S , el cual se detectó por el olor a desagüe al salir del biodigestor. Cuando se pasó la corriente de biogas por el cartucho relleno con clavos de hierro, se eliminó el olor, demostrándose que el H_2S atacó al hierro y se transformó en FeS , quedando retenido en el cartucho. De esta manera, se tiene un biogas libre de malos olores, constituyéndose en una fuente de energía renovable amigable con el medio ambiente.

Para demostrar la factibilidad del empleo de biodigestores para producir biogas, en la sección 3.5 de resultados de la presente trabajo de investigación, se ha realizado la evaluación del potencial energético y de saneamiento ambiental de la producción de biogas para demostrar la cantidad de energía que se puede producir a partir de 200 kg de estiércol por día, de diez vacas, tomando las condiciones ambientales del distrito de Chilca es de $19^{\circ}C$ (292 K) y 1 atm, en el biodigestor se formarán $4,42 m^3$ de biogas/día. Se sabe que $1 m^3$ de biogas (60% de CH_4 y 40% de CO_2) tiene una energía de 6,26 kWh. La eficiencia en la conversión para la energía eléctrica es 30% y para la térmica 50% (Díaz, 2010).

Entonces:

$$\text{Energía eléctrica de } 1 m^3 \text{ de biogas} = 6,26 \times 0,30 = 1,88 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía térmica de } 1 m^3 \text{ de biogas} = 6,26 \times 0,50 = 3,13 \text{ kWh}$$

Evaluando las 10 vacas (200 kg de estiércol/día):

$$\text{Biogas a producir} = 4,42 m^3/\text{día}$$

Energía esperada:

$$\text{Eléctrica} = 4,42 m^3/\text{día} \times 1,88 \text{ kWh}/m^3 = 8,31 \text{ kWh}/\text{día}.$$

$$\text{Térmica} = 4,42 \times 3,13 = 13,83 \text{ kWh}/\text{día}.$$

Eliminación de DQO:

$$(4,42 m^3 \text{ biogas}/\text{día}) / (0,61458 m^3 \text{ biogas}/\text{kg DQO}) = 7,19 \text{ kg DQO}/\text{día}$$

El suelo del distrito de Chilca, en el sector el Toro, donde se instaló la alfalfa es muy escaso en fósforo pues solo contiene 3 ppm, siendo el requerimiento mínimo de 26 ppm. La falta de este elemento ha sido el causante del limitado desarrollo de la alfalfa comparado con el tratamiento 4, al cual se aplicó roca fosfórica, guano de isla y fosfato diamónico; según lo recomendado por el proveedor de la semilla de alfalfa.

Las parcelas experimentales de alfalfa constituyeron tres bloques de cuatro tratamientos y un testigo cada uno, lo que hizo un total de 15 parcelas de 5 m x 1,5 m cada una. Al testigo (T) no se le aplicó fertilizantes y el tratamiento 4 (T4) se le aplicó fertilizantes que contienen fósforo como ya se mencionó. Con respecto a la altura del tallo de la alfalfa al momento del corte, se observó que el tratamiento 2 (T2: sólo se aplicó biosol) es el único con los bioabonos que produjo una altura promedio de 41 cm, superando al testigo que llegó a 36 cm. Ambos fueron superados por el T4 que permitió alcanzar una altura de 61 cm. El análisis estadístico refleja que no hay similitud entre los tratamientos.

Se debe tener en cuenta que el tipo de suelo de Chilca donde se instalaron las parcelas experimentales de alfalfa es franco arcilloso, con pH de 4,8 y contenido de fósforo de 3 ppm. Para un mejor desarrollo la alfalfa requiere un suelo franco, de pH 5,5 o más y 26 ppm de fósforo. Como se ve, el suelo empleado tiene escasez de fósforo y pH bajo; sin embargo, la aplicación del biol ha sido favorable para el desarrollo vegetativo de la alfalfa debido a que aporta 92 mg de fósforo por litro y 230 mg de calcio por litro (Tabla 3), siendo ambos elementos los que más influyen en el crecimiento de la alfalfa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1- Se ha logrado producir biogas que se combustiona combinado con el aire, en la cocina produciendo una llama azul que no tizna ni humea las ollas ni el ambiente de la cocina, a diferencia de la leña. Contribuyendo así a mejorar la calidad de vida del poblador rural.

- 2- Se ha producido bioabonos (biol y biosol) que se han aplicado a las parcelas experimentales de alfalfa, habiéndose logrado incrementar su rendimiento con respecto a un testigo al que no se le aplicó fertilizantes.

- 3- La relación estiércol-agua empleada fue de 1:5, la temperatura ambiente promedio en Chilca es de 19°C y se ubica 50 Km. De Lima. A estas condiciones, el biogas producido alcanzó una presión de 10 cm de agua en 42 días, siendo el volumen de biogas producido de 5 m³ (volumen del gasómetro más el de la campana del biodigestor). El factor ambiental que influye en la producción de biogas en menor tiempo, es la temperatura ambiente.

- 4- Se eliminó el H₂S del biogas al hacerlo pasar por un cartucho relleno con clavos de fierro. De esta manera, se tiene un biogas libre de malos olores, constituyéndose en una fuente de energía renovable amigable con el medio ambiente.

- 5- Los bioabonos permitirán producir alfalfa con mayor contenido de materia seca que es lo más deseado por los ganaderos.

- 6- El empleo para producir biogas y bioabonos. Estos últimos permitieron incrementar la producción del pasto y el biogas contribuye a la conservación de bosques porque ya no se necesitará leña para la cocina.

VI. RECOMENDACIONES

- 1- Difundir las bondades de la tecnología del biogas que es amigable con el medio ambiente, para su aplicación en zonas rurales lo cual contribuirá a mejorar la calidad de vida de sus pobladores.

- 2- Fomentar la aplicación del biol al suelo así como abono foliar al pasto, para incrementar su producción de materia seca. De esta manera se tendrá un alimento de calidad para el ganado.

- 3- Replicar esta experiencia en zonas ganaderas y a mayor escala. El biogas producido servirá como fuente energética para preparar los alimentos, el excedente permitirá dar valor agregado a la leche o a frutales nativos al darles una forma de tratamiento. Esto incrementará los ingresos de los productores.

- 4- Realizar el análisis del biol y del biosol para conocer su composición, esto servirá para poder comercializarlos mencionando su potencial como bioabonos.

- 5- Realizar el análisis de la alfalfa para determinar el incremento de proteína debido al empleo de bioabonos en su cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Beteta Herrera, T. y J. A. Gonzales S. 2005. Construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos. Serie Técnica N° 7. Managua, Nicaragua.
- Barrena Gurbillón, M. , O. Gamarra y J. Maiselo. 2010. Producción de Biogas en Laboratorio a Partir de Residuos Domésticos y Ganaderos y su Escalamiento. Rev. Aporte Santiaguino; 3(1):1. ISSN 2070-836X. Vol. 3 N°1. Huaraz, Perú.
- McGarry, M. y Stainforth, J. 1978. Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic of China. IDRC-TS8e. Ottawa (Canada).
- CIPAV. 1995. Biodigestor plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. Cali. Colombia.
- Vega, I. 2000. Evaluación de diferentes efluentes de cerdo como bioabono sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos maíz (zea mays L.) y sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) y las propiedades químicas de los suelos.
- Campos Avella, J. C. 1999. La Eficiencia Energética en la Gestión empresarial. Pág. 80.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. 1993. [Programa](#) de desarrollo de las fuentes nacionales de energía. La Habana, Cuba.
- Enríquez, M.J. 1998. Turbinas Eólicas. Energía y Tu (2): 18-20.
- Hernández, C. 1990. Segundo Fórum Nacional de Energía: Biogas. La Habana. 132 p.

- Vázquez, O. Maikel Fernández y R. Damas. 2000. Planta de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras. Ciencias Técnicas Agropecuarias. 9 (1): 53-55.
- Rong Cui y Deokjin Jahng, 2006. Enhanced methane production from anaerobic digestion of disintegrated and deproteinized excess sludge. Biotechnology Letters.
- Chamy M. R. y Pizarro T. C., 2004. Biogas: energía limpia a partir de la basura. **Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Escuela de Ingeniería Bioquímica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.**
- Beteta, T., Solarte, A. y Preston, T. R. 1996. Experiences with the plastic tube biodigester in two Departments of Colombia. (Manuscript).
- Guardado Chacón, J. A. 2006. Tecnología del Biogás – Energía y Tú, Pag. 08
- Guardado Chacón, J. A. y J. L. Cortada, 2009. Las Plantas de Biogás y los Huracanes – Energía y Tú, pag. 15
- Guardado Chacón, J. A. y J. L. Cortada, 2010. Sistemas de Tratamiento con Biogás – Energía y Tú, pag. 22
- Díaz Piñón, M. 2010. Como Evaluar los Digestores de Biogás – Energía y Tú, pag. 29
- Martí Herrero, J. 2008. Guía de Diseño y Manual de Instalación de Biodigestores Familiares. GTZ PROAGRO. Bolivia.
- Energías Renovables – Biogas. 2005, en : <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas> (consultado el 23 de octubre del 2010).
- Torres La Jara, Hernan. 2007. Cultivo de Alfalfa en el Altiplano de Puno. Caritas del Perú.

ANEXOS