



Producción de energía a partir de los gases rúminales del bovino

Guillermo Berra* Ricardo Bualo* Ricardo Arias* Diego Mena** Roberto Callieri* Ariel Perini** Néstor Hilfer* gberra@cnia.inta.gov.ar



* Instituto de Patobiología CICVyA INTA Castelar

** Actividad Privada

Setiembre 2013

INDICE

Introducción:

Crecimiento población mundial y las demandas de alimento
Disponibilidad de combustibles fósiles
El cambio climático y los gases de efecto invernadero el efecto invernadero
La ganadería y las emisiones de gases de efecto invernadero
El rumen una cámara de fermentación
Emisiones de metano generadas en el rumen
Vías de degradación y metabolismo de carbohidratos en el rumen
Comparación de un bovino y un biodigestor semejanzas y diferencias

Materiales y Método

Fase I

Colecta de gases producidos en el interior rumen del bovino
Descripción del sistema de colecta de gases
Fístula Ruminal
Ensamblado del sistema de recolección
Fijación del sistema de recolección
Bienestar Animal

Fase II

Purificación de los gases ruminales utilización de monoetanolamina al 25%

Fase III

Compresión de gases ruminales purificados
Diseño del sistema compresión de gases ruminales con una bicibomba
Compresión de biometano en una garrafa

Fase IV

Aplicación práctica en producción de energía calórica lumínica y motriz

Conclusiones

Bibliografía

Introducción:

La sociedad mundial hoy se plantea tres interrogantes hacia el 2050 1)¿ cómo cubrirá las demandas de alimentos que generará el crecimiento población mundial 2)¿ cómo dará respuesta a las demandas de energía ante la falta de disponibilidad de combustibles fósiles y 3) ¿cómo evitara el aumento de temperatura del planeta producidos por el incremento de gases de efecto invernadero que generan el “Cambio Climático”

Crecimiento población mundial y las demandas de alimento

Según el informe “Proyecciones Demográficas Mundiales” de las Naciones Unidas (ONU), el mundo que hoy cuenta con 7.200 millones de habitantes, y para el 2050, llegará a los 9.600 millones

La agricultura de este siglo se enfrenta a múltiples retos: tiene que producir más alimentos para una población creciente y ha de contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura, adoptando métodos de producción más eficaces y sostenibles y adaptándose al cambio climático.

Se pronostica que la urbanización seguirá aumentando a un ritmo acelerado, las áreas urbanas pasarán a representar el 70 % de la población mundial en 2050 (frente al 49 % en la actualidad) y la población rural, tras alcanzar un nivel máximo a lo largo del próximo decenio, disminuirá.

Paralelamente, se estima que los ingresos per cápita en 2050 se multiplicarán respecto al nivel actual. Existe un consenso entre los analistas en el sentido de que es probable que se mantenga en el futuro la tendencia de las economías de los países en desarrollo a crecer mucho más rápido que las de los países desarrollados.

La demanda de productos alimenticios pecuarios y lácteos que son más sensibles al aumento de los ingresos en los países en desarrollo crecerá más rápidamente que la de los cereales.

Las proyecciones muestran que para alimentar una población mundial de 9 100 millones de personas en 2050 será necesario aumentar la producción de alimentos en un 70 % entre 2010 y el 2050.

La expectativa de vida al nacer (promedio mundial) pasará de 69 años (2005- 2010) a 76 años en 2050 En los países menos desarrollados pasará del 58 actual a los 70 años (2050) .

Disponibilidad de combustibles fósiles

A finales del siglo XX el 85% de toda la energía comercial mundial provenía de los combustibles fósiles, distribuida de la siguiente forma: petróleo 40%, gas natural 23%, carbón 21% y otros combustibles un 1%.

La actual matriz energética está organizada alrededor de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), que proveen casi el 80% del consumo actual de la energía mundial.

Sólo el petróleo contribuye con más de un tercio del total de las fuentes de energía primaria, lo que evidencia la dependencia global del mismo.

En la actualidad se ha generado un debate acerca de las ventajas y desventajas sobre la estructura de la matriz energética actual; particularmente, sobre la sostenibilidad en el mediano y largo plazo de estos patrones de consumo.

El debate transcurre entre dos ejes principales: a) los problemas medio ambientales y b) el carácter finito de los combustibles fósiles.

Más recientemente y como resultado del aumento de los precios del petróleo una nueva corriente de opinión se ha formado alrededor del problema de la escasez de este producto, la llegada a su “pico” de producción y la necesidad de pensar el futuro “sin petróleo”

Las redes de energía tenderán a ser cada día más inteligentes y eficientes, solucionando las intermitencias de suministro provenientes de energías renovables, fomentando la cogeneración y la eficiencia energética al máximo. La sustitución del sistema de combustibles fósiles emisor de CO₂ actual por un sistema sin emisiones de CO₂ va a suponer una formidable inversión en las próximas décadas

El cambio climático y los gases de efecto invernadero el efecto invernadero

Durante el siglo pasado, las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera se han elevado acentuadamente. Esto se debe, en gran medida, al incremento en la producción de los mismos a partir de las actividades humanas o fuentes antropogénicas, tales como la quema de combustibles fósiles.

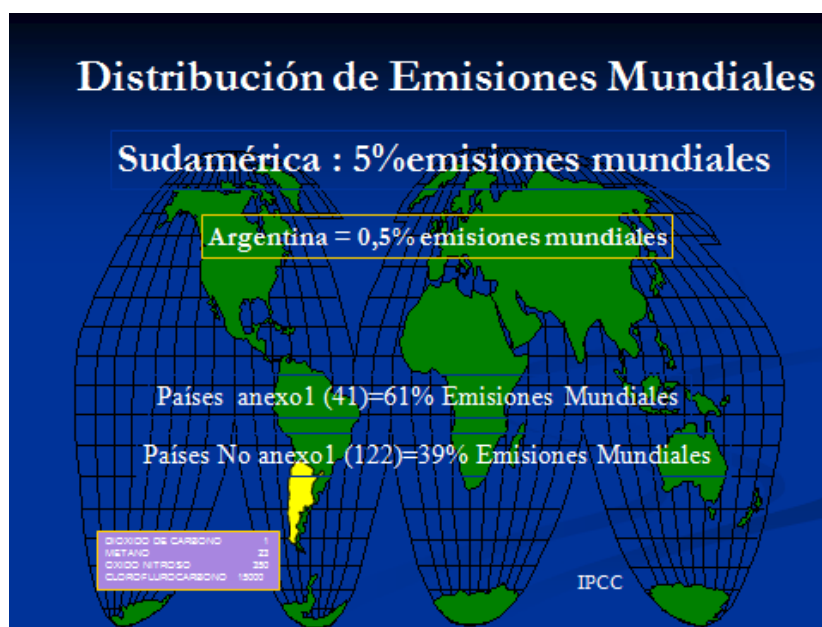


Figura 1: Distribución de Emisiones Mundiales Sudamérica y Argentina

Los gases de efecto invernadero tienen diferente capacidad de calentamiento global, basada en su impacto radiactivo y su duración en la atmósfera.

La principal fuente de emisión de CO₂ es la quema de combustibles fósiles, con emisiones de alguna significación en el sector industrial y una fuerte capacidad de captura y emisión por parte de las prácticas que hacen al cambio de uso del suelo y la forestación.

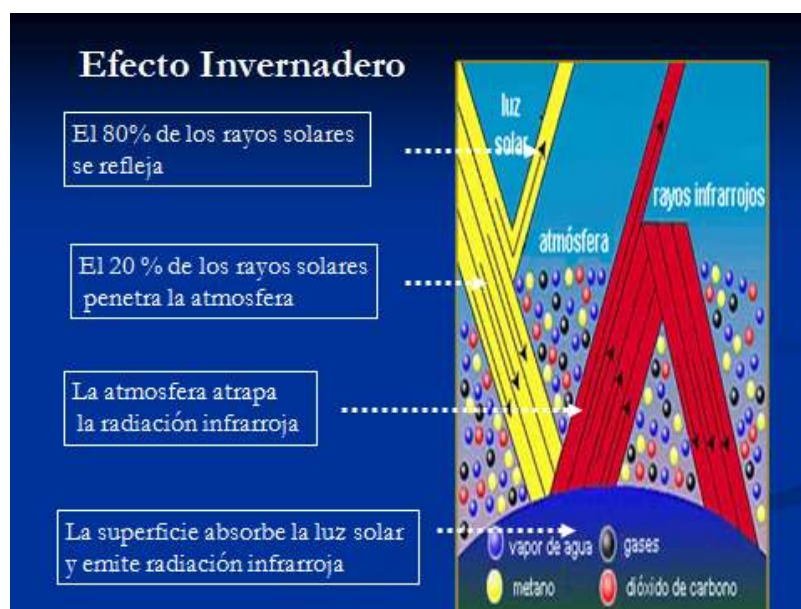


Figura 2: Rayos solares y la generación del efecto invernadero

El metano es el segundo en importancia de los gases de efecto invernadero. Su relevancia se acentúa dado que su poder de calentamiento global es 21 veces superior al del CO₂. Las fuentes antropogénicas del metano son: 1) la fermentación de materia orgánica en ambiente anaeróbico; 2) las emisiones fugitivas de los sistemas gas y petróleo y la minería del carbón y 3) algunos procesos industriales.

Según el Informe Stern que estudió el impacto del cambio climático y el calentamiento global, la distribución total mundial de las emisiones de GEI por sectores es: un 24% se debe a la generación de electricidad, un 14% a la industria, un 14% al transporte, un 8% a los edificios y un 5% más a actividades relacionadas con la energía. Todo ello supone unas 2/3 partes del total y corresponde a las emisiones motivadas por el uso de la energía. Aproximadamente el 1/3 restante se distribuye de la siguiente forma: un 18% por el uso del suelo (incluye la deforestación), un 14% por la agricultura y un 3% por los residuos.

Los países desarrollados son, fundamentalmente, emisores de CO₂, mientras que los que se hallan en vías de desarrollo, que son productores de materias primas del sector agropecuario, tienen importantes emisiones de CH₄ y N₂O.

En un análisis de las emisiones mundiales América del Sur genera, en su conjunto, el 5% de las emisiones mundiales por lo que deben considerarse que las emisiones de gases de efecto invernadero son un problema común a la totalidad de los países, pero sus responsabilidades son diferenciadas.

La ganadería y las emisiones de gases de efecto invernadero.

La población mundial de bovinos se estima en el orden de los 1350 millones de cabezas, ocupando 3,4 millones de superficie (26 % de la superficie terrestre del planeta). América del Sur contiene, en su territorio, aproximadamente unos 312 millones de bovinos, siendo Brasil y Argentina quienes tienen mayor población. Se estima que la ganadería provee 16 % de las calorías consumidas y el 33 % de los aportes de proteínas de la dieta de los habitantes del planeta. Se calcula que 1300 millones de personas participan de la cadena y 600 millones de pobres productores la tienen como forma de vida.



Figura 3: Emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la ganadería

La FAO define a la ganadería como responsable del 18 % en su informe "Livestock Long Shadow" en un estudio de la huella de carbono tomando toda la cadena de la carne y leche bovina.

En Argentina de acuerdo al inventario de GEI para el año 2000, elaborado en el marco de la Segunda Comunicación Nacional presentado a la UNFCCC, la ganadería aporta más del 30 % de las emisiones totales producidas por las actividades humanas en el país, contribuyendo, el sector, con dos de estos gases, el metano y el óxido nítrico.

También de acuerdo a la Segunda Comunicación Nacional los bovinos productores de carne y de leche son responsables de, aproximadamente, el 95 % de estas emisiones, correspondiendo, el 5 % restante, a todas las demás especies de producción (ovinos, caprinos, porcinos, equinos, aves, búfalos, asnales, mulares y camélidos sudamericanos).

El rumen una cámara de fermentación

Los bovinos son mamíferos herbívoros que tienen en su sistema digestivo tres estómagos uno de ellos denominado rumen es donde se lleva a cabo la digestión de celulosa y otros polisacáridos mediante la actividad microbiana,

El rumen tiene un bovino adulto un tamaño relativamente grande, con una capacidad de 100 a 150 litros y se encuentra a una temperatura y acidez constantes (39°C, pH 6,5).

Rumen del Bovino: una cámara de fermentación

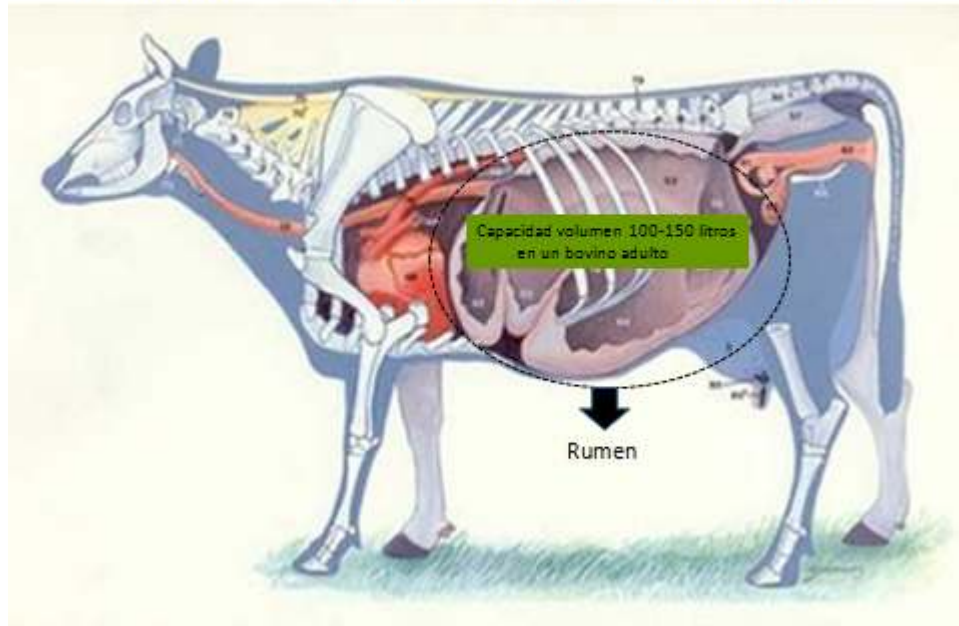


Figura 4: Ubicación del rumen en la cavidad abdominal del bovino

El forraje llega al rumen o panza, mezclado con la saliva que contiene bicarbonato y allí es sometido a un movimiento rotatorio y mezcla durante el cual tienen lugar las fermentaciones bacterianas. Esta acción peristáltica facilita la adherencia microbiana al material celulósico suspendido.

El alimento permanece en el rumen de nueve a doce horas. Las bacterias y los hongos celulolíticos actúan produciendo el disacárido celobiosa y glucosa. Ésta experimenta una acción bacteriana en la que se forman principalmente los ácidos acético, propiónico y butírico, dióxido de carbono y metano.

Los ácidos grasos atraviesan la pared del rumen y pasan a la sangre. Desde allí van a los tejidos donde son utilizados como la principal fuente de energía. Además los microorganismos del rumen sintetizan aminoácidos y vitaminas esenciales para el animal

Emisiones de metano generadas en el rumen

La producción de gas metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales. Durante la digestión, los microorganismos presentes en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal. Este proceso fermentativo microbiano, conocido como

Las bacterias metanogénicas son las responsables de la producción del metano y, si bien constituyen una fracción muy pequeña de la población microbiana total, cumplen una función muy importante, al proveer un mecanismo para eliminar el hidrógeno producido en el rumen.



Figura 5: Corte transversal de la cavidad abdominal del bovino con la distribución del forraje consumido en el interior del rumen

Emisiones de gases efecto invernadero generados por los rumiantes

Metano y Oxido Nitroso

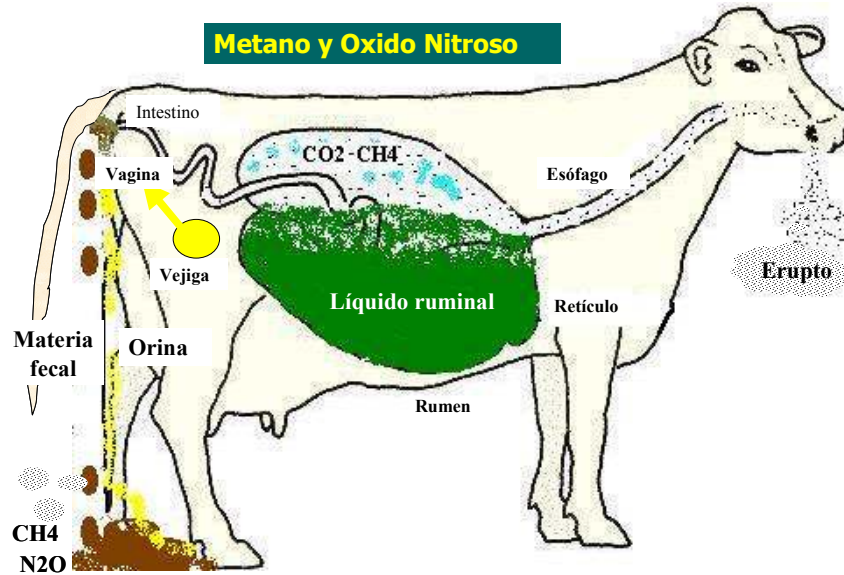


Figura 6: Esquema de la producción y eructación de gases ruminales (CH_4 y CO_2)

Los bovinos tienen en el rumen una verdadera cámara de fermentación microbiana en la cual los carbohidratos son la fuente más importante de energía del alimento consumido. Los microorganismos en el rumen permiten a los bovinos obtener energía de los carbohidratos fibrosos (celulosa y hemicelulosa) que fermentan lentamente y de los no fibrosos (almidones y azúcares) que sí lo hacen en forma rápida y casi completamente en el rumen.

Durante la fermentación ruminal la población de microorganismos fundamentalmente las bacterias degradan a los carbohidratos para producir gases (metano y dióxido de carbono) calor y ácidos. El ácido acético, el propiónico y el butírico conforman la mayoría de los ácidos producidos en el rumen aproximadamente al 95%.

Los gases formados (CH_4 y CO_2) son eructados y la energía presente en el metano se pierde. Entonces los ácidos grasos volátiles (AGV) se transforman en los productos finales de la fermentación microbiana que luego son absorbidos a través de la mucosa ruminal.

Comparación de un bovino y un biodigestor semejanzas y diferencias

Comparación de un bovino y un biodigestor

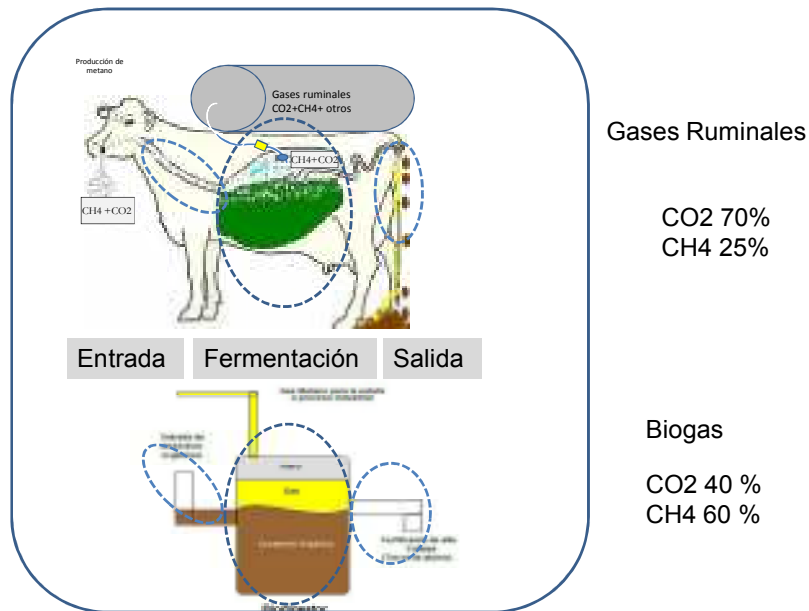


Figura 7: Comparación del rumen del bovino y un biodigestor

- 1) La fermentación microbiana que tiene lugar en el rumen del bovino se comporta en forma semejante a un biodigestor en ambos casos la actividad microbiana se desarrolla en anaerobiosis es decir en ausencia de oxígeno
- 2) La acumulación de gases en el biodigestor se efectúa en la parte superior y su eliminación es a través de una tubería que permite liberarlo, en el bovino los gases se acumulan en el extremo superior del saco dorsal del rumen la eliminación de gases se realiza durante el proceso digestivo fisiológico conocido como eructación que expulsa cada uno a tres minutos a través del esófago dependiendo de la dieta consumida
- 3) La materia orgánica en el rumen del bovino se mezcla a partir de las contracciones ruminales mientras que en el biodigestor en algunos casos un mezclador mecánico permite que la materia orgánica pueda tomar contacto con las microflora bacteriana
- 4) La temperatura es un componente fundamental para el desarrollo de los microorganismos tanto en el rumen como en el interior del biodigestor en el primer caso el propio metabolismo del animal le confiere la temperatura autónoma de 38,5 °C por el contrario en el biodigestor depende de la temperatura externa y en algunos casos es

necesario la incorporación de energía calórica desde el exterior para permitir el desarrollo bacteriano adecuado

5) En el bovino la boca es su órgano de prensión del alimento que vía el esófago se dirige al rumen luego finalizados los procesos digestivos de defecación le permite eliminar y descargar la materia orgánica que no fue absorbida en su paso por el sistema digestivo El biodigestor requiere de un operario tanto para cargar como para descargar

6) El volumen de gases y la composición de CO₂ y CH₄ en el bovino depende fundamentalmente del tamaño del biodigestor de los componentes incorporados en el procesos fermentativo la temperatura externa En el caso del bovino su peso determinara el tamaño del rumen y la producción de gases asimismo la digestibilidad de la dieta también es responsable del los diferentes cantidades de metano producido

7) Los dos gases mayoritarios tanto en el biogás como en el rumen son el CO₂ y CH₄ La concentración de CH₄ es en el biogás entre el 50 y 60 % en los gases ruminales la concentraciones CH₄ de 25% y CO₂ 70 %

8) En ambos casos tanto en el biogás como en los gases ruminales la presencia de H₂S presente en trazas pero con alta capacidad de corrosión dificulta su uso en motores si no es previamente secuestrado con monoetanlamina y/ u oxido ferroso

9) Para generar energía calórica el biogás puede ser utilizado en forma directa sin proceso purificación previo alguno la calidad energía 5000cal /metro cubico es menor si se la compara con la producida por el gas natural 9000cal/ metro cubico En los gases ruminales para generar energía calórica se hace necesario que pasen un proceso de purificación en el que se produzca la captura de CO₂

10) En un bovino adulto con un rumen con capacidad de aproximadamente de 100 kgs la colecta de gases es del orden de 1 m³/día con un 20-25% de metano , en el biodigestor la producción de gas dependerá del volumen los insumos incorporados y la temperatura

11) Los efluentes producto de la descarga del biodigestor pueden ser utilizados como fertilizante requiriendo de energía mecánica para su traslado y distribución sobre los suelos por el contrario el bovino por ser un biodigestor ambulante y tener translación autónoma su materia fecal se elimina sobre el suelo en forma directa

Fase I

Colecta de gases producidos en el interior rumen del bovino

El método consiste en instalar por punción una microcánula (tubo endotraqueal de uso pediátrico) en el interior del saco dorsal del rumen del bovino permitiendo coleccionar los gases producidos en su interior y dirigirlos a través de un sistema válvulas unidireccionales hacia a un contenedor o bolsa flexible para su almacenamiento ubicado en el dorso del animal

El dispositivo está constituido por un contenedor o bolsa flexible que en conexión con una válvula unidireccional permite el flujo de gases desde el rumen hacia el interior del contenedor,

Las propias contracciones rumino- reticulares del sistema digestivo permiten la salida hacia el la bolsa colectora a través de la cánula intraruminal



Foto1: Bovino con el sistema de colecta de gases incorporado sobre el dorso

Sistema de colecta de gases ruminales

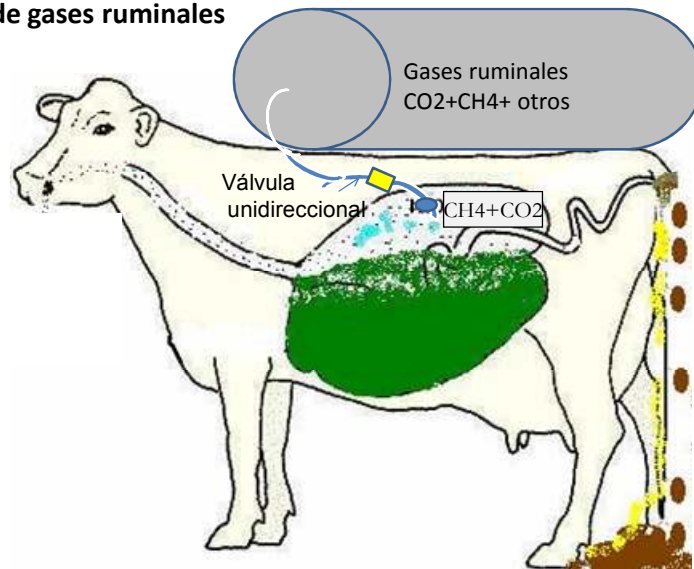


Figura 8: Esquema del sistema de colecta de gases con bolsa colectora sobre el dorso del bovino

Descripción del sistema de colecta de gases

Fístula Ruminal :

Se instala el bovino recién alimentado en el cepo a efectos que el rumen con contenido alimenticio este en contacto el saco dorsal del rumen con la pared abdominal

Se rasura un área de 10 cm² en cuyo centro se ubica el lugar de punción 5 cm ,por detrás de la ultima costilla y 5 cm por debajo de la apófisis transversa de la tercera vértebra lumbar izquierda. El área se desinfecta con una solución de povidona-yodo.

Se realiza una anestesia local con 15 cm³ de anestesia local (lidocaína al 2%), que infiltra en el tejido celular subcutáneo y músculos oblicuo abdominal externo e interno.

Un minitrocar de acero inoxidable de 0,5 cm de diámetro con un extremo punzante en uno de sus extremos sirve para efectuar la punción de la piel, los planos musculares y peritoneo y la pared del saco dorsal del rumen

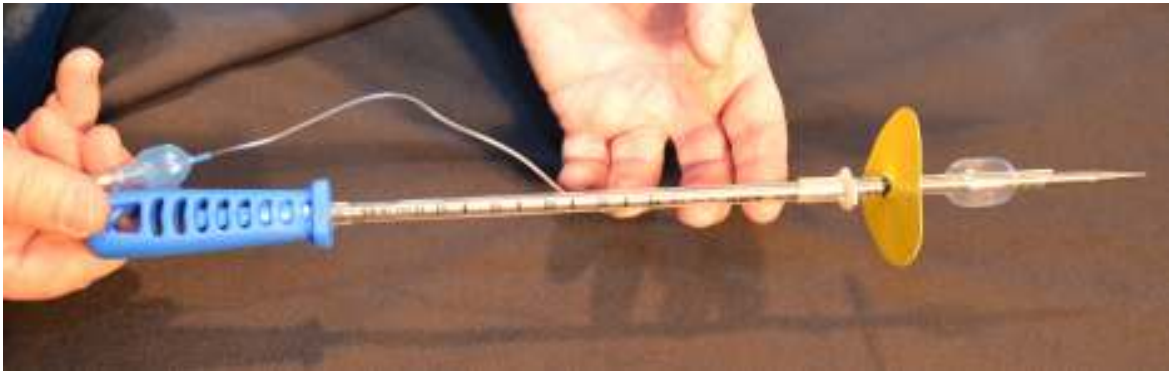


Foto2 Minitrocar y microcanula ruminal

Cánula intraruminal

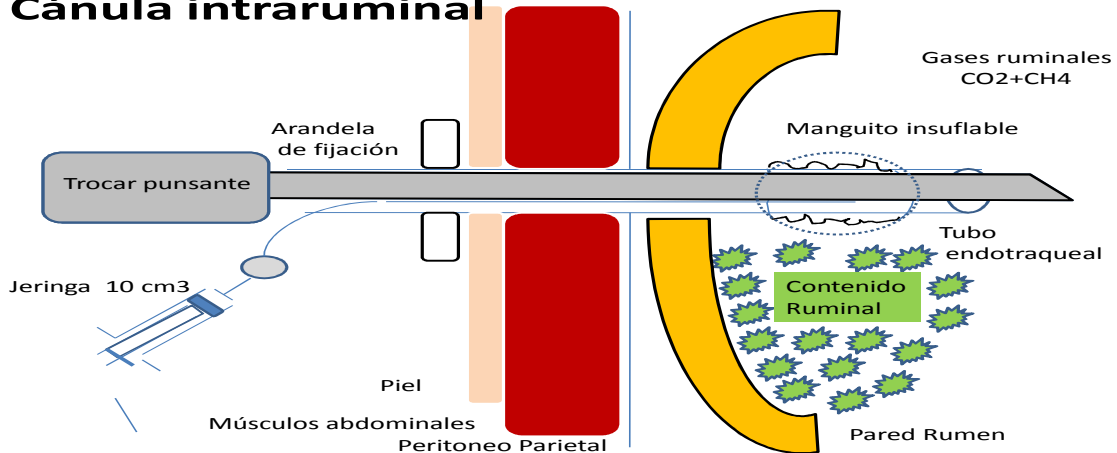


Figura 9:Esquema sistema de punción e instalación de microcanula en el interior del saco dorsal del rumen

Luego de efectuada la punción se extrae el minitrocar quedando el extremo de la microcánula (Tubo endotraqueal de uso pediátrico N 4,5 al que se le insufla el balón de su extremidad anterior en el interior del rumen .



Foto3: Punción e introducción de microcánula ruminal

Se reconoce la ubicación correcta de la microcanula por que fluyen los gases ruminales que se reconocen con facilidad además del olor suis generis de los gases ruminales

Descripción de la cánula

La parte externa de la microcanula tiene acoplada una arandela plástica de 5 cm de diámetro, para fijarlo y asegurar la hermeticidad del sistema

Luego de 10 días la cánula instalada dentro del rumen se produce la cicatrizacion en el punto de punción por la adherencia que tiene lugar entre el peritoneo parietal y el visceral de la pared ruminal

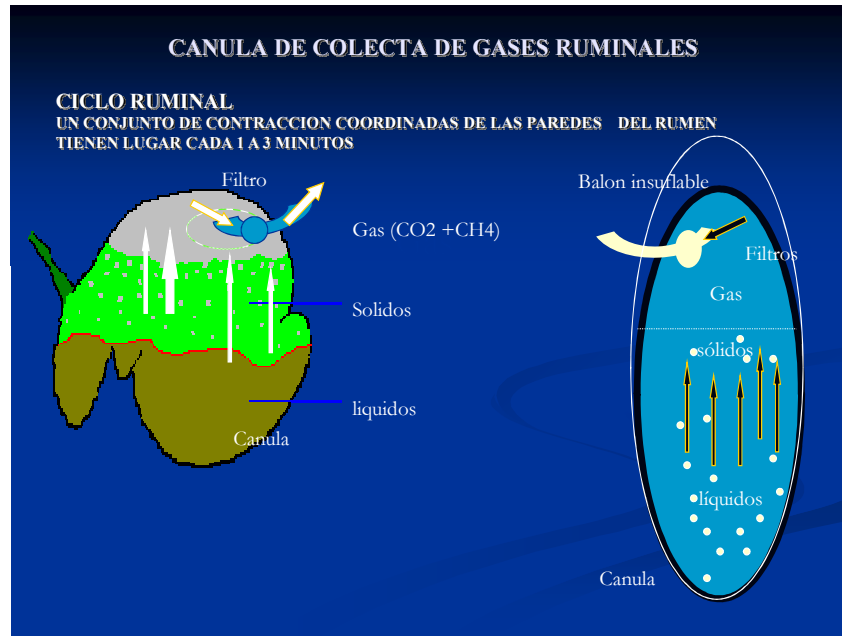


Figura10: Esquema de ubicación y funcionamiento de la microcanula ruminal

Sistema de recolección:

- a) Cánula tubo endotraqueal de uso pediátrico que consiste en un tubo plástico de 5,5 mm de diámetro externo y 2 mm de espesor, agujereado, se fijó a un parche circular de caucho de 10 cm de diámetro.
- b) Válvula unidireccional: se utilizó una válvula unidireccional de uso anestésico (ADOX, Argentina).

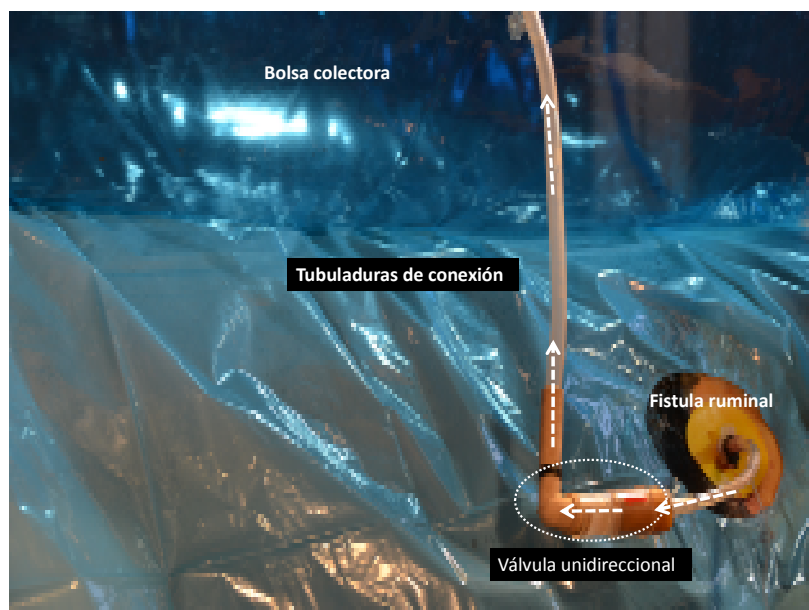


Foto 4: Conexión de la válvula unidireccional con la micro fistula y la bolsa colectora



Foto5: Válvula unidireccional de uso anestésico permite direccional los gases del rumen a la bolsa

- c) Bolsas de recolección: se utilizaron bolsas de polietileno de 150 L de capacidad totalmente herméticas con un tubo de salida de plástico flexible fijado a una de las paredes.
- d) Tubos conectores: se utilizaron tubos de silicona como intermediarios entre los diferentes componentes descriptos



Foto 6: Insuflación del manguito interior con una jeringa de la microcanula canula

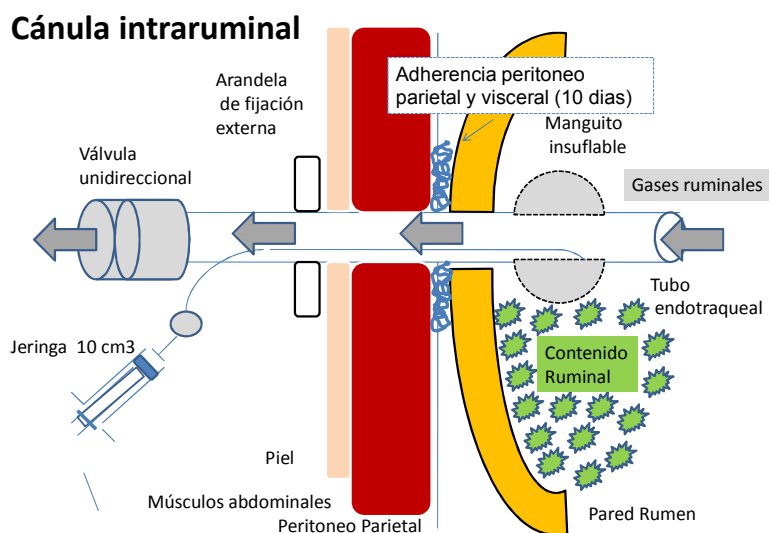


Figura 11: Esquema del dispositivo de microcanula instalada en el interior del rumen con acople de la válvula unidireccional

Ensamblado del sistema de recolección:

Uno de los extremos de la cánula está ubicado en el sector de acumulación de gases producidos en el rumen el otro extremo se conecta a la válvula unidireccional por medio de un tubo conector.

A su vez, la válvula unidireccional se continua y conecta a través de un intermediario a la bolsa colectora.



Foto 7 Conexión de la cánula ruminal al tanque colector con una válvula unidireccional

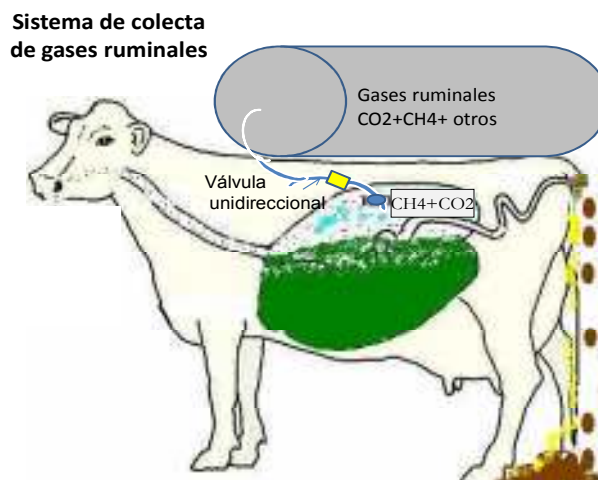


Figura 12: Esquema del sistema de colecta de gases ruminales vía micro cánula válvula unidireccional y bolsa colectora

La bolsa colectora es aspirada hasta lograr su vaciado total previamente para eliminar todo el aire que pudiera contener

Fijación del sistema de recolección:

Un extremo de la cánula se introduce a través de la fístula en el interior del saco dorsal del rumen.

La arandela externa se adhiere a la piel por medio de cemento de contacto, formando un cierre hermético (sin fugas).

De esta manera se obtuvo un sistema en el que el gas podía fluir desde el rumen hacia la bolsa, pero no retornar

Fijación de la bolsa de recolección y almacenamiento de gases ruminales

La bolsa de recolección se sujeta sobre el animal por medio de un arnés diseñado para tal fin

El bovino ubicado en el cepo se le instala el dispositivo de recolección de gases y se lo envía después al pastoreo matutino

A partir de ese momento se recolectó el gas durante 24 horas

Bienestar animal

Uno de los aspectos fundamentales en el proceso de obtención de gases ruminales es no generar dolor ni incomodar a los animales

Por ello se trabajó siempre con animales tanto que por su temperamento y docilidad permiten trabajar con comodidad y seguridad para los animales

Los bovinos fueron acostumbrados a ser introducidos en el brete tanto para la realización de la fístula como para recolectar los gases acumulados

La realización de la fístula ruminal efectuada bajo condiciones de anestesia local en el punto de punción evitando cualquier signo de dolor por tener la zona bajo los efectos del anestésico local

El proceso de cicatrización interna que tiene lugar en entre el peritoneo parietal y el peritoneo visceral de la pared del saco dorsal del rumen se completa en 10 días durante ese periodo se evita los movimientos de instalación y extracción de las cánulas

Completado el proceso de cicatrización los animales no manifiestan dolor ni incomodidad durante el momento de introducción o extracción de la cánula

A efectos de establecer una comparación el orificio ruminal es semejante a lo acontecido con los seres humanos cuando se hacen un "piercing" situación en la cual 10 días después de realizado el punto de punción no tiene sensibilidad

No se registran signos de dolor y / o incomodidad cumpliendo sus actividades fisiológicas con normalidad

Si se extrae la cánula el orificio de comunicación se cierra en 24 horas se cierra

Fase II

Purificación de los gases ruminales Captura de CO₂ y SH₂

Los gases producidos en el interior del rumen tienen semejanzas en su composición con el conocido como "biogás" producido por biodigestores

Los gases ruminales para poder ser utilizados como generadoras de energía calórica lumínica o motriz deben pasar previamente por un proceso de eliminación del ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2)



Foto 8 :Equipo de medición de concentración de CH_4

Se conocen variedad de métodos y procesos utilizados para la captura del CO_2 H_2S ; algunos, muy costosos o poco rentables, es de ahí que nace la idea de aplicar un proceso, basado en soluciones acuosas de alcanolaminas (también conocidas como aminas),

Los gases ruminales, producto de la fermentación anaerobia de materia orgánica en el interior del rumen, están compuestos de varios gases en diferentes concentraciones, en promedio se tiene metano (20- 25%), dióxido de carbono (65-70 %) y otros gases trazas como ácido sulfhídrico (5000 ppm), vapor de agua, nitrógeno, entre otros.

Para su uso en los motores de ciclo interno se deben eliminar previamente los componentes ácidos, como el CO_2 y el H_2S , causantes de problemas de corrosión en el interior del motor y de la disminución de la potencia en su salida.

El método elegido para purificar los gases ruminales en este trabajo es uno de los métodos más conocidos y utilizados en la industria petroquímica, pero no se conocía su aplicación en los gases ruminales ni el comportamiento de absorción de la monoetanolamina.



Foto 9: Purificación de gases ruminales con burbujeo en monoetanolamina al 25 %

Se trabajó con un “método de burbujeo” mediante el cual se pone en contacto íntimo los gases ruminales con la solución de amina, permitiendo la absorción de dichos gases.) de CO₂ y S₂H

Se utilizó una solución acuosa de monoetanolamina al 25 %, analizando la capacidad de absorción de las aminas por el método de burbujeo, es decir, sin regenerar la amina saturada, sólo se envasó la solución y luego se desechó en un lugar apropiado.

Para la determinación de la composición de gases ruminales se utilizó un analizador portátil de gas para la determinación de la concentración de gases ruminales antes y después del proceso de captura de CO₂ y SH₂ por el burbujeo en monoetilenamina al 25 %

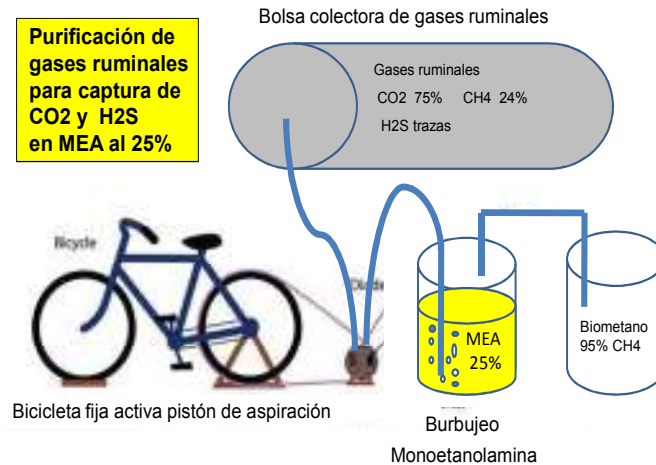


Figura 13: Purificación y compresión de gases ruminales

Para efectuar la purificación del biometano ruminal por el método de burbujeo se utilizó un sistema de bicibomba que permitía el traslado de los gases colectados sin gasto de energía

Se requirió que el gas ruminal pasara dos veces por una solución de monoetanolamina al 25 % para alcanzar una concentración del 60 al 65 % en la primera pasada y luego del 95 al 97% en la segunda

Efecto de presencia de H₂S

El ácido sulfhídrico en su estado gaseoso forma parte del biogás ruminal, presentando propiedades corrosivas en contra de partes metálicas si se le utiliza con fines prácticos en motores. El H₂S destruye metales no ferrosos o aparatos con partes metálicas no ferrosas, tales como reguladores de presión, medidores de gas, válvulas y griferías. La corrosión inducida por la presencia de H₂S se presenta cuando el metal entra en contacto con el H₂S y reacciona formando sulfuros de hierro e hidrógeno atómico provocando desgaste sobre la pieza, opacando su color y formando grietas en la superficie

Fase III

Compresion de gases ruminales purificados

Movilización y compresión de gases de origen ruminal mediante el uso de la energía mecánica producida por una bicicleta.

Un aficionado al ciclismo puede dar fácilmente unas 90 pedaladas por minuto (1,5 pedaladas por segundo), No es lo mismo el pedaleo estacionario que en ruta. En movimiento sobre un camino el ciclista ha de vencer la resistencia al viento y el rozamiento de la superficie por donde se circula un ciclista de unos 70 kg que pedalee entre 10 y 20 km/h consume entre 245 y 410 kcal/hora.

Partiendo del principio que una de las máquinas más eficientes para transmitir la potencia energética humana es la bicicleta. Recordemos que cuando uno se desplaza en bicicleta se consumen alrededor de 0,15 calorías por gramo de peso del individuo y por kilómetro,

El objetivo fue diseñar en una forma sencilla y eficiente de bombeo de gases ruminales para su purificación y compresión utilizando la energía humana por medio de una bicicleta,

La bicibomba esta diseñada para

- 1) trasladar los gases ruminales colectados en un contenedor sobre el dorso del bovino y dirigirlo al interior de un recipiente que contine monoetanol amina para su purificación extrayendo Co_2 y H_2S
- 2) comprimir el biometano al 95% de los gases ruminales purificados en un recipiente que lo almacene para luego ser utilizado en forma practica desde la combustión en una cocina su uso en una heladera producción de enrgia lumínica o hacer funcionar un automóvil



Foto 10: Bicibomba componentes

La Bici-bomba funciona de igual forma que una bomba de motor (eléctrica), con la diferencia que la fuerza motriz no se ejerce con energía eléctrica, sino con los pies.

Una persona adulta puede generar alrededor de 125-200 vatios de potencia en una bicicleta por un periodo de una hora.

Por lo tanto, es importante elegir una bomba con potencia similar; una bomba apropiada podría ser una de 200-400 vatios.

Diseño del sistema de movilización y compresión de gases ruminales con una bicicleta fija

Se diseñó y desarrolló una bici-bomba constituida por los siguientes elementos:

- 1) Una bomba de pistón, es una bomba hidráulica que genera el movimiento en el mismo mediante el movimiento de un pistón. Cada movimiento del pistón desaloja, en cada movimiento un mismo volumen de fluido, que equivale al volumen ocupado por el pistón durante la carrera del mismo.
- 2) Un sistema de engranajes que convertirá la energía de rotación de la bicicleta para hacer funcionar la bomba,
- 3)Mangueras que unen a la bomba desde la fuente y la salida, y
- 4) Una estación donde el usuario pedalearía la bicicleta estacionaria.

El funcionamiento del sistema se basa en el movimiento del pistón de la bomba que se detalla de la siguiente manera:

- 1) la bomba de pistón oscila por rotación la energía de la bicicleta,
- 2)cundo el pistón baja, se crea un vacío el cual extrae o hala el agua,
- 3)cundo pistón sube, el agua es empujada hacia fuera.

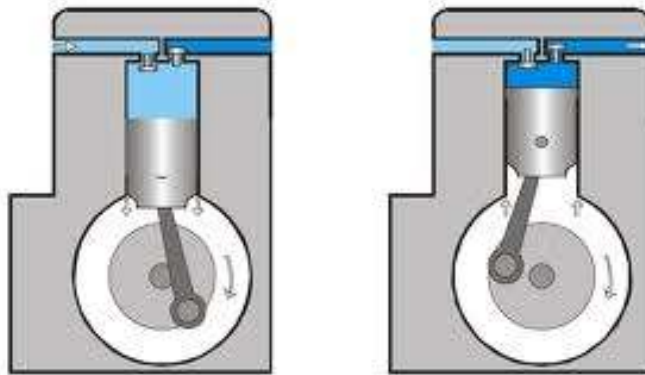


Figura 14 Parte interna de una bomba de pistón.

El diseño completo se muestra en la figura 2, en la que se realiza el acoplamiento de la bomba a la bicicleta; para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- 4) la bicicleta y la bomba se sueldan y atornillan a un soporte común de metal,
- 5)- una correa o faja es sujeta o engancha en rueda trasera de la bicicleta y en la rueda de la bomba,
- 6) la manguera se extiende desde el pozo o fuente hasta la entrada de la bomba,
- 7)- se usa una válvula de cheque en la base de la fuente para permitir que el líquido fluya solamente en una dirección.
- 8) la manguera se extiende desde la salida de la bomba hasta la contención deseada.

Fase IV

Aplicación práctica del biometano como fuente de energía

A partir de la purificación al 95-97% de metano y su posterior compresión en una garrafa a 12 bares de presión se procedió a la implementación práctica y su uso en la generación de energía

Energía Motriz Un automóvil Chevrolet Corsa modelo 2010 adaptado para su uso con gas natural concentrado GNC cuyo tanque de gas instalado en el baúl fue cerrada la valvula que impidiera el paso del gas GNC comercial

Se instalo en el techo del automóvil sobre un porta equipaje la garrafa que fuera utilizada para la compresión de metano a una presión de 13 bares

Generación de energía a partir gases ruminales del bovino

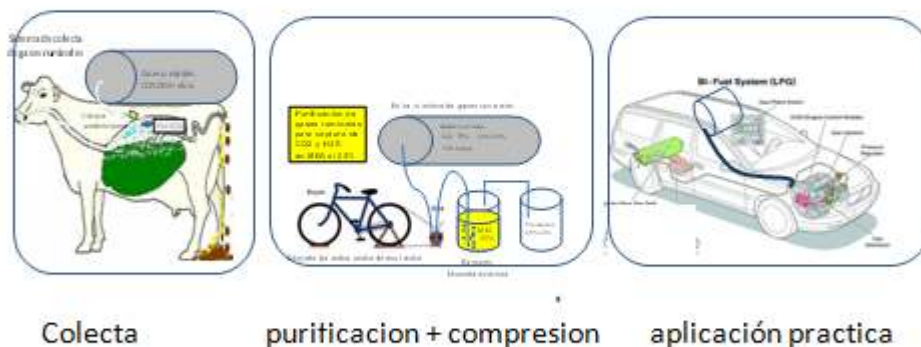


Figura 15 *Secuencia para lograr el empleo en energía motriz en un automovil*

Una tubuladura plástica estableció la conexión ente la garrafa portadora del biometano instalado sobre el techo del automóvil y la entrada de gas sitio donde se carga el gas en las

estaciones de servicio El automóvil se encendió correctamente y su marcha fue semejante a la del uso de GNC comercial



Foto 11: Fijación de la garrafa portadora de biometano en el porta equipaje del automóvil

Conclusiones

La propuesta descrita permite disponer de biometano a partir la colecta de gases ruminales del bovino y demuestra su utilización practica a través de un proceso de purificación que captura el CO₂ y H₂S logrando disponer de biometano en un 95 - 97 % de pureza permitiendo la generación de energía y constituyéndose además en una medida de mitigación para lograr la reducción de emisiones de metano ruminal

El arnés utilizado para mantener la bolsa colectora sobre el dorso del animal demostró ser de utilidad y no generar incomodidad en los bovinos luego de un periodo de adaptación de 5 días

El método de realización de una microfistula ruminal utilizando un tubo endotraqueal de uso pediátrico es una practica sencilla y no causa dolor ni incomodidad a los animales

La técnica desarrollada demostró ser eficiente para colectar gases ruminales
La purificación con el método del burbujeo con monoetanolamina para la captura de CO₂ y H₂S demostró ser eficiente para lograr obtener metano en una concentración que pase 20 -25% al 95-97%

El empleo de la bici bomba permitió la movilización de los gases ruminales colectados para ser purificados a través del burbujeo en monoetanolamina al 25% y luego para la compresión en la garrafa hasta 13 bares de presión

- La construcción de una bici-bomba expuesta en este documento es de fácil adaptación y muy práctico,

El color azul de la llama obtenida en la combustión es un indicador verificable de la alta calidad del gas ruminal purificado y comprimido como generador de energía térmica

La incorporación de la garrafa a la entrada de gas mediante un adaptador permitió la incorporación del biometano en la combustión para el funcionamiento del motor

Bibliografía

Mortenson Center in Engineering of developing communities. University of Colorado at Boulder. The wheel deal a bicycle powered water pump. Pdf. (Online) [<http://ceae.colorado.edu/mc-edc/ppt/WheelDeal.pdf>]

Endulzamiento de gas natural con aminas. Simulación del proceso y análisis de sensibilidad paramétrico Eleonora Erdmann¹, Liliana Ale Ruiz², Julieta Martínez³, Juan P. Gutierrez⁴, Enrique Tarifa⁵ Avances en Ciencias e Ingeniería - ISSN: 0718-8706 Av. cien. ing.: 3(4), 89-101 (Octubre/Diciembre, 2012)

Abedini, R., Abedini, A. & Zanganeh, I. (2010). Investigation of mixed amine solution in gas sweetening plant. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2, 36-40.

Erdmann, E., Ale Ruiz, L., Campos, N., Kostrencic, D., Martínez, J. & Mercado, L. (2008). Simulación del endulzamiento del gas natural con aminas. I Reunión Interdisciplinaria de Tecnología y Procesos Químicos- RITeQ. Complejo Vaquerías – Valle Hermoso – Córdoba – Argentina. 19 – 22 de octubre de 2008. Publicado en formato digital.

Velásquez, O. (2008). Endulzamiento de Gas Natural, Eliminación de Contaminantes o Proceso de Endulzado. Tesis Facultad de Ciencias Naturales. Ing. En Perforaciones. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. Biblioteca de la Universidad Nacional de Salta – Sede Tartagal.

Water Scrubbing: A Better Option for Biogas Purification for Effective Storage World Applied Sciences Journal 5 (Special Issue for Environment): 122-125, 2009 C. Ofori-Boateng and E.M. Kwofie
Department of Energy Systems Engineering, School of Engineering, Koforidua Polytechnic, Ghana

Jean Lui Salazar Cuaila Evaluación de la eliminación de y por endulzamiento de biogás usando soluciones acuosas de alcanolaminas 2CO 2HS Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna Facultad de Ciencias Escuela Académico Profesional de Física Aplicada

Er.Tri Ratna Bajracharya Mechanical Engineering Department, Pulchowk Campus, Institute of Engineering, Tribhuvan University Purification And Compression Of Biogas: A Research Experience Journal of the Institute of Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 1-9 © TUTA/IOE/PCU

Piyapong Singbua and Ratchaphon Suntivarakorn Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University Maung, Khon Kaen 40002 Thailand Development of Biogas Compression System for Using The First TSME International Conference on Mechanical Engineering 20-22 October, 2010, Ubon Ratchathani in Household

Ma. Fernanda Cún Romero Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja Accionamiento de una bomba de agua mediante el uso de la energía mecánica producida por una bicicleta.

B. Morero, M. C. Croquer-Martinis, E. Groppelli, E. A. Campanella Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Güemes 3450, Santa Fe, Argentina, 3000 Comparación De Diferentes Soluciones De Aminas Para La Purificación De Biogás. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 15, 2011. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

Abdel-fattah, M., 1999. The goat as a model for experimental surgery. Ph. D. thesis, surgery, anesthesiology, and radiology, Fac. Vet. Med., Cairo Univ., Beni-Suef brnch, Egypt.

Anderson, J. F., Frederikson, E. D., 1976. Surgical fistula as an aid in the treatment of chronic bloat in cattle. Vet. Med. Small Anim. Clin. 71, 1363-1367.

Brown, G. F., Armstong, D. G., MacRac, J. C., 1968. The establishment in one operation of cannula into the rumen and re-entrant cannula into the duodenum and ileum of the sheep. British Vet. J. 124, 78-81.

Buckner, R., 1995. Surgical correction of left displaced abomasums in cattle. Vet. Record 136, 265-267.

Corley, R. N., Murphy, M. R., Lucena, J., Panno, S.V., 1999. Technical note: A device for obtaining Time integrated samples of ruminal fluids. J. Anim. Sci. 77, 2540-2544.

Dougherty, R. W., 1981. Experimental surgery in farm animals. 1st ed . Ames, Iowa , The Iowa state university press.

El-Monzaly, M., 1975. Simplified surgery for rumen cannulation of goats under the influence of Rumpun. J. Egypt. Vet. Med. Assoc.35, 207-218.

Hassanein, A., Soliman, A. S., Eifat, J. F., 1988. Rumen cannulation in sheep. Alexanderia. J. Vet. Sci. 4, 429-435.

Hecker, J. F., 1974. Experimental surgery on small ruminants. Butterworths & Co, Ltd, London, England.

Komarek, R. J., Leffel, E. C., 1961. Gas-tight cannula for rumen fistula. J. Anim. Sci. 20, 982-984.

Misra, S. S., Angelo, S. J., 1981. Vaginopexy technique for the management of recurrent utero-vaginal prolapse in bovines. Ind. Vet. J. 58, 576-580.

Nangeroni, L. L., 1954. A steer with a twelve-year old rumen fistula. J. A. V. M. A. 125, 451-452.

Nocek, J. E., Allman, J. G., Kautzw, P., 2002. Evaluation of an indwelling ruminal probe methodology and effect of grain level on diurnal pH variation in dairy cattle. J. Dairy Sci. 85, 422-428.

Ragab, G. A., 1989. Some studies on the surgery of the urogenital system in small ruminants. Ph. D. thesis, Fac. Vet. Med., Cairo Univ., Egypt.

Santra, A., Karim, S. A., 2002. Rumen cannulation in sheep and goats: Fabrication of cannula and surgical procedure for its implantation. Ind. J. Anim. Sci. 72, 978-980.

Schnautz, J. O., 1957. A rumen fistula modification. Am. J. Vet. Res.18, 73-75.

Tantawy, M., 1978. Studies on the effect of some anesthetics in sheep and goats. Ph. D. thesis Vet. Surg., Assuit Univ., Egypt.

Thyfaultt, H. A., Leffel, E. C., Huang, M. D., 1975. Simplified method for producing permanent rumen fistula. J. Dairy Science 58, 1899-1901.

Venugopalan, A., 1986. Essentials of veterinary surgery. 5th ed., Oxford and IBH publishing Co. PVT. L.T.D.; New Delhi-Bombay.

Wakanker, C. C., Mantri, M. B., Deshpande, K. S., 1980. A study on evaluation of rumen fistulation techniques in bovines. Indian Vet. J. 57, 160-163.

Wayne, B., Lynn, F. J., 1959. A plastic rumen fistula apparatus for sheep – its insertion and use. J. A. V. M. A. 15, 603-605.

[Pedal powered technology solutions. Massachusetts Institute of Technology. Construcción de bici-bomba móvil. Pdf. (Online) [www.mayapedal.org/bicibomba_movil.pdf]

Conceptos Bombas. Pdf. (Online) [<http://www.scribd.com/doc/32396634/CONCEPTOS-BOMBAS>]