



Escuela Agraria de Durazno

3° EMT Agrario

Evaluación Del Impacto De La Reactivación
Del Biodigestor De La Escuela Agraria De
Durazno Sobre Los Aspectos
Económico/Productivos, Ambientales Y Sociales

M^a Eugenia González, Fiorella Hernández y Andreana Percovich

Docentes tutores: Julio Santeugini y Ninoska Donadío

Durazno, Uruguay

2022

AGRADECIMIENTOS

Mediante este medio se agradece la ayuda brindada por los tutores: Julio Santeugini y Ninoska Donadío, por su atención, dedicación, orientación e ideas aportadas.

Además, agradecer la ayuda brindada por la profesora Alicia García en la elaboración del Abstract.

Agradecer a cada uno de los docentes que estuvieron presentes en todo momento y a nuestros compañeros por el apoyo que nos brindaron en el correr de este período.

¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE

	Página
<u>RESUMEN</u>	IV
<u>ABSTRACT</u>	V
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	2
1.1. PREGUNTA PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. <u>Objetivo general</u>	3
1.2.2. <u>Objetivos específicos</u>	3
1.3. HIPÓTESIS.....	3
2. <u>MARCO TEÓRICO</u>	4
2.1. CONCEPTO DEL BIODIGESTOR.....	4
2.2. FUNCIONAMIENTO.....	4
2.3. BIOGÁS.....	6
2.4. BIOFERTILIZANTE.....	9
2.5. PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	11
2.6. ¿PARA QUÉ SE USA EL BIODIGESTOR?.....	15
2.7. NORMAS LEGALES.....	15
3. <u>METODOLOGÍA</u>	19
3.1. PREDIO BAJO ESTUDIO.....	19
3.2. DESCRIPCIÓN DEL BIODIGESTOR PRESENTE EN LA EAD.....	19
3.3. ACTIVIDADES REALIZADAS.....	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1. HISTORIA.....	21

4.1.1. <u>Entrevista a Erikson Chacón</u>	21
4.1.2. <u>Entrevista a María Rosa Rodao</u>	22
4.2. FODA.....	23
4.3. MATERIA FECAL PRODUCIDA EN EL TAMBO.....	24
4.4. PROPUESTAS DE MEJORAS DE LA INFRAESTRUCTURA Y MANEJO PARA REACTIVAR EL BIODIGESTOR.....	24
4.5. PRESUPUESTO TOTAL PARA REACTIVAR EL BIODIGESTOR, AMPLIACIÓN DE PLANCHADA E INSTALACIÓN DE BEBEDERO.....	26
4.6. EQUIVALENTE DE LAS HORAS HOMBRE PARA EL MANEJO DEL BIODIGESTOR.....	27
4.7. IMPACTOS DE LA REACTIVACIÓN DEL BIODIGESTOR DE LA EAD.....	28
4.7.1. <u>Impacto productivo</u>	28
4.7.1.1. Biogás.....	28
4.7.1.2. Biofertilizante.....	30
4.7.2. <u>Impacto ambiental</u>	31
4.7.3. <u>Impacto social</u>	31
5. <u>CONCLUSIONES</u>	33
6. <u>RECOMENDACIONES</u>	34
7. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	35
<u>ANEXOS</u>	37

RESUMEN

El presente proyecto se enmarca dentro de los requisitos para obtener el título de Bachiller Agrario. El cometido principal es la evaluación del impacto económico/productivo, ambiental y social de la reactivación del biodigestor en la Escuela Agraria de Durazno (EAD). En la escuela funciona un “módulo productivo tambo” que genera efluentes, los cuales no son tratados. La hipótesis planteada es que tratar los efluentes del tambo de la escuela en el biodigestor permite producir biogás y biofertilizante, regulando los efluentes del tambo vertidos al medio ambiente, generando un impacto positivo en lo económico/productivo, ambiental y social. Los resultados obtenidos permiten concluir que los volúmenes de biogás y de biofertilizante son escasos, permitiendo un mínimo ahorro de gas y de fertilizantes, pero se destaca el impacto ambiental y social del biol como regenerador de la estructura del suelo. Se reduciría el gas metano que se libera al medio ambiente reduciendo el efecto invernadero; también se disminuiría la contaminación, se eliminarían vectores transmisores de enfermedades (moscas) y disminuiría el mal olor.

ABSTRACT

This project is part of the requirements to obtain the agrarian high school degree. The main task is the evaluation of the economic/productive, environmental and social impact of the reactivation of the biodigester in the Escuela Agraria de Durazno (EAD). In the school there is a “milking parlor production module” that generates effluents, which are not treated. The proposed hypothesis is that the treatment of the effluents from the school's milking parlor in the biodigester allows the production of biogas and biofertilizer, regulating the effluents from the milking parlor that are discharged into the environment, generating a positive impact on the economic/productive, environmental and social aspects. The results obtained allow us to conclude that the volumes of biogas and biofertilizer are scarce, allowing a minimum saving of gas and fertilizers, but the environmental and social impact of biol as regenerator of the soil structure is highlighted. The methane gas that is released into the environment would be reduced, reducing the greenhouse effect; Pollution would also be reduced, disease-transmitting vectors (flies) would be eliminated and bad odors would be reduced.

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se enmarca dentro de los requisitos para obtener el título de Bachiller Agrario. El cometido principal es la evaluación que tendría el impacto económico/productivo, ambiental y social de la reactivación del biodigestor en la Escuela Agraria de Durazno (EAD).

En la EAD funciona un “módulo productivo tambo” que genera efluentes, los cuales no son tratados, por lo tanto, se están incumpliendo las normas que rigen en el país y llevan a llevarían a problemas desde el punto de vista económico/productivo, ambiental y social.

En la EAD existen las instalaciones de un biodigestor, el cual está en desuso y considerando los efectos positivos del tratamiento de efluentes, tanto en los aspectos económico/productivo, pero también en lo ambiental y social, se pretende evaluar el impacto de la reactivación del mismo.

Para abordar el impacto al que se hace referencia se ha recurrido a la revisión de bibliografía sobre el tema, así como también a aportes de funcionarios y ex funcionarios de la EAD que participaban de actividades relacionadas con el funcionamiento del biodigestor en desuso.

Componen este trabajo el análisis de:

- La situación actual en donde se carece de sistema de tratamiento de efluentes de la EAD.
- Una descripción de las características principales de la unidad de tratamiento que hay presente en la institución (biodigestor).
- Análisis de los impactos nombrados anteriormente, en función del número de vacas en ordeño y proyección de los resultados.

Estos elementos se plantean ante la necesidad de atender los aspectos mencionados anteriormente en la EAD, que sería conveniente implementar en un futuro próximo.

1.1. PREGUNTA PROBLEMA

¿Es importante reactivar el biodigestor en la Escuela Agraria de Durazno?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Medir el impacto de la reactivación del biodigestor en la Escuela Agraria de Durazno.

1.2.2. Objetivos específicos

- Plantear un sistema para el manejo de los efluentes del tambo.
- Evaluar el impacto económico/productivo, ambiental y social en función a los efluentes generados actualmente por el tambo.
- Plantear y presupuestar un proyecto de reactivación del biodigestor en la EAD.

1.3. HIPÓTESIS

Tratar los efluentes del tambo de la Escuela Agraria de Durazno en el biodigestor permite producir biogás y biofertilizante, regulando los efluentes del tambo vertidos al medio ambiente, generando un impacto positivo en lo económico/productivo, ambiental y social.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTO DEL BIODIGESTOR

Es necesario saber que es un biodigestor para tener en claro de que se está hablando.

Un biodigestor es un recipiente o tanque (cerrado herméticamente) que se carga con residuos orgánicos. En su interior se produce la descomposición de la materia orgánica para generar biogás, un combustible con el cual se puede cocinar, calentar agua y producir energía eléctrica, mediante un generador a gas. El residuo de este proceso, formado por efluente y lodo, se utiliza como biofertilizante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En el proceso de descomposición la materia orgánica de los excrementos se reduce en un 50 a un 70%. Este proceso da un producto final sin olor desagradable, con la ventaja de que al ser aplicado sobre las pasturas no es rechazado por el ganado (Manna, 1995).

2.2. FUNCIONAMIENTO

Se llama así al proceso que debe hacer el biodigestor para obtener los productos deseados.

Un biodigestor trabaja con la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y domésticos y desechos de animales. Dentro de un biodigestor se genera un ambiente biológico activo que, por acción de microorganismos, desencadena una fermentación anaeróbica, lo cual permite la producción de biogás, además de líquidos lixiviados (lo que queda de la materia fecal luego de ser fermentado) que pueden ser utilizados como biofertilizante. Al biodigestor se lo alimenta con los residuos orgánicos y agua. La materia fecal tiene bacterias que descomponen la materia orgánica y forman el metano. A partir de eso, y dependiendo del

clima, de 15 a 40 días se puede aprovechar el biogás. Una vez que se genera el metano se abren las llaves que conectan el biodigestor con una bolsa alterna para almacenarlo y posteriormente se conecta a una cocina o calefones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Proceso de generación de biogás:

- 1) Se recibe la materia orgánica.
- 2) Ingresa al interior del biodigestor.
- 3) Se agrega agua y se mantiene una temperatura de entre 25 y 35 °C.
- 4) Se espera a que se realice la fermentación en un tiempo que puede iniciar a los 15 días y hasta los 40 días.
- 5) Una válvula controla la presión de salida del biogás.
- 6) Un filtro elimina el gas sulfuro de hidrógeno (H_2S) que resulta corrosivo producido en el proceso.
- 7) Un recipiente en la parte posterior recibe el biol (líquidos lixiviados) y otros residuos del proceso.
- 8) El biogás (que sale por un tubo de plástico o cobre), puede utilizarse para generar electricidad; cocinar o calentar el agua de los calefones.

(Ver Anexo 1 en pág. 37)

La digestión anaeróbica consiste en que las bacterias descomponen la materia orgánica en un ambiente libre de oxígeno en el biodigestor.

Un biodigestor es capaz de proporcionar energía diaria (Pizano, 2018).

Tipos de biodigestor:

Los biodigestores pueden ser horizontales o verticales, el horizontal normalmente yace en el suelo, semienterrado. El vertical es de acero y puede tener la forma y tamaño de un tanque de agua, sin embargo, su tamaño puede ser mucho más grande dependiendo de las necesidades del producto (Pizano, 2018).

Datos: (Pizano, 2018)

- Materiales del biodigestor: pueden ser contenedores de acero, concreto o plástico (o una combinación de los tres).
- El proceso libera varios gases: el más importante es el metano, llamado biogás.
- Temperatura: ideal dentro del biodigestor es de 25 a 35 °C.
- Tiempo de fermentación: de 5 hasta 20 días.
- Tamaños: contenedores desde 1 m³ hasta 100 m³, y pueden recibir desde 10 kg de materia orgánica hasta 10 toneladas.

2.3. BIOGÁS

El biogás es la mezcla de gas producida por bacterias metanogénicas mientras actúan en materiales biodegradables en condiciones anaeróbicas. El biogás está principalmente compuesto de 50 a 70% de metano (CH₄), 30 a 40% de dióxido de carbono (CO₂) y una baja cantidad de otros gases, como de dihidrógeno (H₂), dinitrógeno (N₂), vapor de agua (H₂O) y de sulfuro de hidrógeno (H₂S).

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes exactos de cada compuesto del biogás:

Substancias	Símbolo	Porcentaje (%)
Metano	CH ₄	50 – 70
Dióxido de carbono	CO ₂	30 – 40
Dihidrógeno	H ₂	5 – 10
Dinitrógeno	N ₂	1 – 2
Vapor de agua	H ₂ O	0.3
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	Rastros

Tabla 1. Composición del biogás

El biogás es aproximadamente 20% más combustible que el aire y tiene una temperatura de ignición en el rango de 650 °C a 750 °C. Es un gas inodoro e incoloro que quema con llama azul clara similar a la del gas de garrafa. Su valor calorífico es de 20 (MJ) por m³ y se quema un 60% de eficacia en una estufa de biogás convencional. (Planchón,J. ; Ariztia,I., 2007)

A partir de la digestión anaerobia, que es un proceso biológico en el cual la materia orgánica es degradada por bacterias que no requieren oxígeno para su metabolismo, se genera el biogás. Utilizando este proceso se puede tratar gran cantidad de residuos como materia fecal y obtener este combustible. El biogás puede utilizarse para cocinar, generar electricidad y calentar agua de calefones. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

La producción potencial de biogás producido por kg de materia fecal de las vacas es entre 0,023 – 0,040 m³. (Planchón,J. ; Ariztia,I., 2007)

El transporte del biogás producido se almacena bajo presión (0,009 kg/cm²) y no se puede transportar largas distancias, normalmente de 50 a 150 m, sin utilizar un compresor. El transporte hasta el lugar de consumo se realiza mediante tuberías, pudiendo utilizarse tubos de PVC. (EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG, 1980)

Los factores que afectan la producción de biogás son: (EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG, 1980)

- *Temperatura:* el proceso de producción de gas funciona mejor cuando la temperatura es de alrededor de 35 °C. A medida que la temperatura desciende, el proceso se enlentece, a 15°C el proceso se ve afectado drásticamente. En días muy fríos, agregar sulfato de amonio y melaza puede solucionar el problema.
- *Acidez:* el pH del medio es un factor importante. El mejor desarrollo ocurre entre pH 6.4 y 7.8. Si el biodigestor está sobrecargado, las bacterias que forman el ácido predominarán sobre los metanógenos, lo que resultará en una disminución del pH a medida que los metanógenos se multipliquen más lentamente. La medida del pH se puede realizar utilizando papeles indicadores de pH, y la muestra debe tomarse del material que sale del biodigestor.

Los materiales que se pueden utilizar para corregir el pH son: caliza agrícola, cal fibrosa, agua de cal, etc. La corrección se puede realizar a través del material que ingresa al biodigestor.

Se recomienda determinar el pH al menos una vez a la semana.

- *Concentración de nutrientes:* cuando la concentración de nutrientes es suficiente, la fermentación ocurre rápidamente, con una relación carbono - nitrógeno óptima de alrededor de 30.

2.4. BIOFERTILIZANTE

La carga de mezclas diarias de materia fecal con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se producirá biogás. Pero, por otro lado, quedará un líquido ya digerido, que ha producido todo el biogás que podía, y que se convierte en biofertilizante. A este biofertilizante se le suele llamar de forma general Biol.

Las características del biofertilizante producido depende de una serie de factores entre los que prevalece el tipo de materia fecal utilizada y la dilución. El biofertilizante producido con materia fecal de vaca o cerdo contiene, sobre base seca, un 2 a 3% de nitrógeno, 1 a 2% de fósforo, 1% de potasio y alrededor de un 85% de materia orgánica. La calidad del mismo dependerá también de los días de retención que tenga nuestro sistema por las condiciones climáticas. Se utiliza como base mínimamente 30 días de retención, con lo cual se asegura una excelente descomposición y con ello se mejora la disponibilidad y asimilación de los nutrientes para las plantas a la hora de llevarlo al suelo (Potschka & Acosta, ENERGÍA LIMPIA Y FERTILIZANTE, 2012).

El biofertilizante tiene efecto residual y acumulativo en el suelo, este efecto es superior al de los productos minerales. Mejora las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo. Se ha establecido que aumenta la aireación, la retención de agua y a mejorar la estructura del suelo reduciendo la erosión del suelo (Manna, 1995).

El biofertilizante es un recurso valioso para el manejo orgánico y sustentable del suelo. Es usado en forma más eficiente en combinación con otras prácticas sustentables como la rotación de cultivos, cultivos de cobertura, abonos verdes, y cal. En la producción orgánica, el biofertilizante se aplica comúnmente al terreno como *estiércol crudo* (fresco o seco) o como *estiércol compostado*. El biofertilizante puede añadir nutrientes al suelo importantes para la planta (nitrógeno, potasio, y fósforo) y mejorar la calidad del suelo. Al compostar el estiércol crudo y añadir otras materias primas va a ayudar en la descomposición y producir un producto final rico en humus con poco o nada de amonio o nitratos solubles. Este producto final va a mejorar la fertilidad del suelo. El momento de aplicación del biofertilizante es muy importante para asegurar que la aplicación sea beneficiosa para las plantas y el suelo. El biofertilizante, si se aplica y maneja correctamente, puede ser un gran medio para mejorar la calidad del suelo y los cultivos, pero hay aspectos importantes de la salud del suelo y la seguridad alimentaria para considerar cuando se usa en un sistema agrícola orgánico. (NCAT, 2015)

En promedio, el 70% de la materia orgánica que ingresa al digestor se degrada en la fermentación anaeróbica. El 30% restante corresponde a sustancias como la lignina y la cutina. Estas sustancias, junto con las células bacterianas resultantes de la conversión de parte del material original de masa celular, se liberan en el efluente; este, además de no tener olor, por lo tanto no atrae moscas, está libre de semillas de malas hierbas, de agentes causantes de enfermedades y rico en nutrientes, funcionando como un buen abono orgánico. (EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG, 1980)

En la fermentación anaeróbica, todos los nutrientes son necesarios para el desarrollo de las plantas. Las únicas sustancias que se pierden son CH_4 , CO_2 Y H_2O , en forma de gases.

El nitrógeno contenido en los residuos de cosecha se conserva prácticamente en su totalidad después de la digestión anaeróbica. Esta es una de las grandes ventajas de este tipo de digestión de residuos orgánicos, donde aproximadamente el 99% del nitrógeno presente en el material original se conserva en forma orgánica o amoniacal. Para un mejor aprovechamiento de este nitrógeno es recomendable que el residuo fermentado se aplique en la forma en que sale del biodigestor, ya que si está seco, parte del nitrógeno se perderá por volatilización. (EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG, 1980)

2.5. PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Fases del proceso de biodigestibilidad:

El aprovechamiento de los procesos naturales, a través del desarrollo de tecnologías prácticas, han permitido desarrollar un método probado para la conversión de materia orgánica compleja mediante digestión anaerobia con fines de obtener un gas con un alto poder calorífico (Aguilera, 2017).

Hidrólisis: (Aguilera, 2017)

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas que son hidrolizadas, mediante reacciones de oxidación-reducción, por enzimas extracelulares producidas por los organismos fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles, que serán metabolizados por las bacterias anaerobias en el interior de las células. Los compuestos solubles, básicamente diferentes tipos de oligosacáridos y azúcares, alcoholes, aminoácidos y ácidos grasos, son fermentados por los microorganismos acidogénicos que producen principalmente, ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono e hidrógeno. Los

ácidos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. La formación de metabolitos ácidos en esta fase produciría un pequeño descenso del pH del medio (hasta valores de 5,5 aproximadamente) si no existiesen, en la etapa siguiente, otros microorganismos capaces de consumir estos ácidos.

La hidrólisis depende fundamentalmente de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partícula, del pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

Acidogénesis y acetogénesis: (Aguilera, 2017)

En esta etapa el material orgánico es fermentado por varios organismos, formando así compuestos que pueden ser utilizados primeramente por los microorganismos metanógenos (acético, fórmico, H_2), y compuestos orgánicos más reducidos (láctico, etanol, propiónico, butírico) que propiamente deben ser oxidados por las bacterias acetogénicas a pequeños sustratos, que le sean factibles de utilizar a las bacterias metanógenas. Solo el ácido acético formado da lugar al 70% del metano formado.

Además de la hidrólisis, en esta etapa también tiene lugar la fermentación de diversos monómeros. Las bacterias formadoras de ácidos o acidogénicas son bacterias de crecimiento rápido.

Las bacterias implicadas en esta etapa son anaerobias obligadas o facultativas, muy abundantes en la naturaleza y bacterias proteolíticas. Se pueden citar bacterias acidogénicas de los géneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Micrococcus*.

Posterior a la fermentación de H_2 y acetato que son productos que pueden ser metabolizados directamente por organismos metanógenos, llegan otros como valerato,

butirato, propionato y algunos aminoácidos que necesitan ser transformados en productos más simples y sencillos, acetato e hidrógeno, por medio de las bacterias acetógenas.

En esta etapa, los monómeros liberados anteriormente son degradados mediante reacciones fermentativas, en donde los compuestos orgánicos funcionan como aceptores y donadores de electrones. Los principales productos de esta etapa son ácidos grasos volátiles que funcionan como intermediarios degradativos, como son alcoholes, ácido propiónico, n-butírico, n-valérico, capriónico y láctico. Así como los precursores directos para la formación de metano (CH_4), que son el ácido fórmico, metilaminas, ácido acético, metanol, hidrógeno (H_2) y CO_2 . Los monómeros son degradados por *Lactobacillus*, *Escherichia*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptococcus*.

Cuando las hexosas (azúcares de seis carbonos) son convertidas exclusivamente a acetato, la reacción fermentativa es llamada homoacetogénesis. Son bacterias estrictamente anaeróbicas, existe otro tipo de bacterias acetógenas que se caracterizan por la producción obligada de H_2 .

Las reacciones de deshidrogenación acetogénica dependen de la concentración de hidrógeno existente, por lo tanto para que la acetogénesis tenga lugar en los digestores anaerobios, es necesario que el hidrógeno generado en la misma sea utilizado y consumido con igual velocidad a la que se produce (bacterias metanógenas utilizadoras de hidrógeno y/o bacterias homoacetogénicas).

Algunos autores admiten la existencia de otras bacterias, denominadas homoacetogénicas, que pueden crecer autotróficamente con dióxido de carbono e hidrógeno para producir acetato (reacciones de hidrogenación acetogénica) cuando las metanogénicas utilizadoras de H_2 , están inhibidas debido a un pH bajo. Así, se considera que el intercambio de hidrógeno es tan rápido en el digestor que originan diferentes microambientes con

diferentes presiones de hidrógeno, donde ambas reacciones (acetogénicas y homoacetogénicas) se dan conjuntamente.

Metanogénesis: (Aguilera, 2017)

En esta etapa los microorganismos metanogénicos son los responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 , CO_2 , formiato, metanol, y algunas metilaminas.

Se dan 2 reacciones que son:

1. *Conversión de acetato en metano por las archaeas metanogénicas acetoclásticas:* la reacción acetoclástica, cuyos productos finales son metano y dióxido de carbono, es llevada a cabo específicamente por los géneros Methanosarcina y Methanotrix. La molécula de acetato se rompe por descarboxilación y el grupo metilo es reducido a CH_4 y CO_2 sin modificar su estructura y sin afectar a la concentración de H_2 en el gas. Normalmente estos microorganismos controlan el pH del medio por la eliminación del ácido acético y producción de CO_2 que se disuelve formando bicarbonato.
2. *Formación de metano a partir del CO_2 y H_2 por las archaeas homoacetogénicas:* la reacción de formación de metano a partir del dióxido de carbono e hidrógeno, actúa en el control del potencial redox de la fermentación en el digestor, evitando la pérdida de hidrógeno y CO_2 durante el crecimiento sobre compuestos multicarbonados, lo que implica en una mayor eficiencia termodinámica.

Del metano que se produce el 50% proviene de ácido acético. Este se origina en un 3% a 5,3% de la reducción del CO_2 con H_2 a unos 60 °C. Otra parte de acetato que proporciona metano, corresponde a la deshidrogenación del propionato y butirato en un porcentaje de 23% a 60 °C.

2.6. ¿PARA QUÉ SE USA EL BIODIGESTOR?

El biodigestor se puede usar para muchos fines, entre ellas están: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)

- Producir biogás naturalmente, con un elevado poder calorífico, para ser utilizado como combustible, evitando así la extracción de combustibles no renovables.
- Aprovechar residuos orgánicos que de otra manera terminan siendo derivados a un sitio de disposición final.
- Obtener biofertilizantes a partir de su desecho sólido, el cual puede ser comercializado y utilizado.
- Promover el desarrollo sostenible evitando la emisión de gases de efecto invernadero, ya que los biodigestores reducen la emisión de metano a la atmósfera.
- Mejorar las condiciones sanitarias, al evitar malos olores, insectos y controlar las plagas capaces de generar enfermedades.

2.7. NORMAS LEGALES

Existen diferentes normas relacionadas con el tratamiento y el manejo obligatorio de los efluentes.

Marco legal vigente

- o Ley N°16.466/94: Ley de Evaluación de Impacto Ambiental

En esta ley se declara de interés general y nacional la protección del medio ambiente contra cualquier tipo de depredación, destrucción o contaminación, así como

la prevención del impacto ambiental negativo o nocivo y, en su caso, la recomposición del medio ambiente dañado por actividades humanas.

- Ley N°17.283/00: Ley General de Protección del Medio Ambiente

Esta ley establece las previsiones generales básicas atinentes a la política nacional ambiental y a la gestión ambiental coordinada con los distintos sectores públicos y privados en el Uruguay.

- Decreto 349/05: Reglamentario de la Ley de Impacto Ambiental N°16.466

Este decreto trata sobre la prevención de los efectos perjudiciales de las actividades sobre el ambiente.

Gestión de efluentes líquidos

- Ley N°18564: Regulación del uso y manejo de las aguas y el suelo. Sanciones por incumplimiento

Ante el incumplimiento de las normas que regulan el uso y el manejo de los suelos y de las aguas, la División Servicios Jurídicos del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, sancionara de las siguientes maneras:

Apercibimiento. Cuando el infractor carezca de antecedentes en la comisión de infracciones de la misma naturaleza y estas sean calificadas como leves.

Multa que será fijada entre 10 UR (diez unidades reajustables) y 10.000 UR (diez mil unidades reajustables).

Suspensión por hasta un año de habilitaciones, permisos o autorizaciones para la actividad respectiva.

- Ley N°15239: Declaración de interés Nacional. Uso y conservación de los suelos y de las aguas superficiales destinados a fines agropecuarios

Se declara de Interés Nacional promover y regular el uso y la conservación de los suelos y de las aguas superficiales destinadas a fines agropecuarios.

Todas las personas tienen la obligación de colaborar con el Estado en la conservación, el uso y el manejo adecuado de los suelos y de las aguas.

- Decreto 253/979: Aprobación de normativa para prevenir la contaminación ambiental, a través del control de las aguas

Todos los vertidos que se realicen en forma directa o indirecta a algún cuerpo y que no estén comprendidos en los artículos 22 y 23, deberán dar cumplimiento al artículo 11 (Ver anexo 2 en pág. 37).

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, podrá requerir las autorizaciones que correspondan cuando constate que dichos vertidos afecten la calidad de los cuerpos de agua.

- Decreto 349/005: Reglamento de evaluación de impacto ambiental y autorizaciones ambientales

Regula el procedimiento de Autorización Ambiental Previa. Regula el procedimiento de Autorización Ambiental previa a solicitarse para la ejecución de ciertas actividades relacionadas con los recursos hídricos.

Gestión de residuos sólidos.

- Decreto 182/013: Gestión ambientalmente adecuada de residuos derivados de actividades industriales y asimilables

Trata de establecer un marco para la gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos industriales, agroindustriales y de servicios, atendiendo a todos los aspectos que hacen a su gestión integral.

Incluye, entre otras, las actividades de generación, clasificación, almacenamiento, transporte, reciclado, tratamiento y disposición final de este tipo de residuos.

- Decreto 152/013: Gestión ambientalmente adecuada de residuos derivados del uso de productos químicos o biológicos en producción animal y vegetal

Este decreto establece que los importadores, fabricantes y formuladores deberán contar con un plan para la gestión ambientalmente adecuada de las existencias obsoletas de productos químicos o biológicos utilizados en la producción vegetal o animal.

Esto significa que colectivamente son responsables de minimizar la generación de existencias obsoletas y de asegurar los medios para recibir, almacenar, acondicionar, transportar y tratarlas de forma ambientalmente adecuada.

- Resolución Ministerial 1708/13, MVOTMA: establece las actividades comprendidas en el Decreto 182/013 que requieren aprobación del Plan de Gestión de Residuos Sólidos por parte de la DINAMA, y los criterios de clasificación de los grandes y medianos generadores.
- Resolución Dirección Nacional de Medio Ambiente 0266/14: aprobación del catálogo de residuos sólidos industriales y asimilados.

3. METODOLOGÍA

3.1. PREDIO BAJO ESTUDIO

El predio bajo estudio es la Escuela Agraria de Durazno, está ubicada en el paraje “El Salado” por Ex Ruta 4 a 5 km de la ciudad de Durazno. Cuenta con un biodigestor que está en desuso y un tambo el cual actualmente tiene 27 vacas en ordeño.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL BIODIGESTOR PRESENTE EN LA EAD

El biodigestor tiene una profundidad de 2,40 metros y 1,50 metros de ancho, se separa por un “muro de división”, dividiendo así el “depósito de materia fecal” (MF) con la “producción de líquidos lixiviados”.

En la parte inferior del biodigestor se encuentran dos caños de cada lado, en el caño nombrado “caño de entrada” como lo indica el nombre, es por donde entra la materia fecal, la cual es depositada en el “depósito de MF”. En el otro caño que es nombrado “caño de salida” salen los líquidos lixiviados hacia la pileta de “obtención de biofertilizante”.

En la parte superior del biodigestor se encuentra la campana donde se produce el biogás. La misma cuenta con una válvula conectada a un caño, por donde sale el biogás producido hacia donde será utilizado. (Ver figura 1)

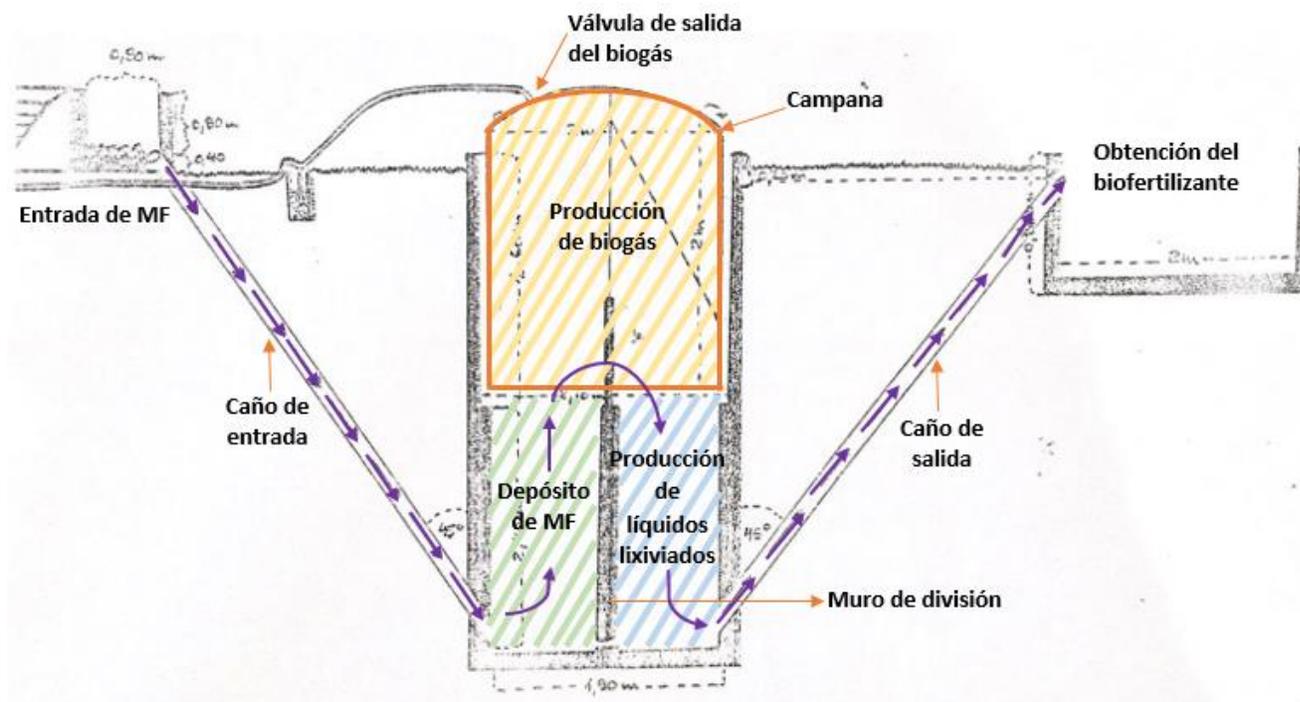


Figura 1: Biodigestor de EAD

3.3. ACTIVIDADES REALIZADAS

Se realizan entrevistas para conocer la historia del biodigestor, se realiza FODA para comprobar si es viable la propuesta, se analiza la importancia de reactivar el biodigestor de la escuela y se toman mediciones de la cantidad de efluentes producidos en el tanque. Finalmente se miden los resultados proyectados en la reactividad del biodigestor, en los aspectos económicos/productivos, sociales y ambientales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HISTORIA

Se realizan entrevistas a funcionarios de la Escuela Agraria de Durazno que vieron al biodigestor en actividad, lo que permite conocer la historia del mismo. Se entrevistó a un ex funcionario de campo y a una actual funcionaria abocada a la cocina.

4.1.1. Entrevista a Erikson Chacón

Erikson Chacón es un ex funcionario de la Escuela Agraria de Durazno, quien estuvo cuando se creó el biodigestor. Por esta misma razón nos comunicamos con él para saber la historia y lo que implicó el biodigestor en la Escuela.

En la entrevista se obtuvo información que el biodigestor se dejó de usar hace 15 o 20 años y la causa principal fue por falta de personal, además que se desconectó y se deterioró una cañería que iba hasta la cocina bajo tierra la cual nunca fue arreglada.

Aproximadamente entre los años 1987 y 1988 se creó el biodigestor.

El pozo en donde está la campana tiene 4 metros de profundidad, la campana era de un depósito de combustible la cual se cortó a medida y se colocó, la misma tiene un tabique hasta los 2 metros.

Hay un caño que hace de eje giratorio para mover la campana, la misma se elevaba hacia arriba dándole presión para que saliera el gas. También era girada por personas, para que no se pegara cuando empezaba a elevarse la campana. La elevación marcaba el gas que tenía, hasta un metro y medio se podía elevar.

El sistema consistía en trasladar la materia fecal en una carretilla que tenía un tanque de 80-90L, se le agregaba agua para que quedara lo más licuada posible y no tener problemas de estancamiento en las cañerías. La misma era trasladada por una rampa donde desembocaba

en el pozo. Ahí empezó a producir gas y fertilizante. En una pileta ubicada cerca de la campana, salía lo fermentado lo cual se sacaba con un tanque de 500L para tirar en el campo. No era bien aprovechado porque el tanque tenía una canilla y hacía que saliera a gran cantidad el fertilizante.

Durante un año y medio se estaba echando materia fecal sin producir nada. Recién a los 2 años se empezó a producir gas y fertilizante.

El gas producido duraba entre 4 y 5 horas, era utilizado en la cocina y en la sala agroindustrias.

(Ver Anexo 3 en pág. 37)

4.1.2. Entrevista a María Rosa Rodao

María Rosa Rodao es la cocinera de hace muchos años en la Escuela Agraria de Durazno, le hicimos esta entrevista para saber la experiencia que tuvo cuando estaba en funcionamiento el biodigestor.

Las palabras de María Rosa fueron –“Fue muy importante para la escuela, gente vino a mirarlo y sacarle fotos. Cuando se puso acá fue todo rústico y fue la primera vez, lo que fue una novedad”. Además contó que el biodigestor dejó de funcionar porque se empezó a tapar las cañerías con materia y eso hacía que no saliera bien el gas en la cocina.

Yamandú Abelenda era el profesor de manualidades y fue quien insistió en poner un biodigestor en la Escuela.

El único problema que veía María Rosa era que en la cocina se sentía dos olores, el de la comida y el del gas que era como un “olor a baño”. Para ella fue un muy buen proyecto.

Lilian Arati era la secretaria de la escuela en ese momento y fue quien hizo un termómetro para indicar cuánto gas había en la cocina.

El gas que iba hacía que –“La llama fuera fuertísima como la llama del gas común y bien azul”. (Ver Anexo 4 en pág. 40)

4.2. FODA

Este FODA responde a la pregunta: ¿Es viable la reactivación del biodigestor en la EAD?

<p><u>Fortalezas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Apoyo y ayuda de varios profesores con iniciativa. - La EAD tiene antecedentes de uso de un biodigestor. - Se evitarían los malos olores entre 90 y 100%. - Se evitarían en un 100% la contaminación de suelos y agua. - Grupo de alumnos muy comprometido con la propuesta. 	<p><u>Debilidades:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Escasa mano de obra general y calificada. - Recursos económicos escasos y con usos alternativos. - Requiere de un trabajo diario y constante para adecuado funcionamiento. - Agregar horas de trabajo diario a funcionarios del tambo.
<p><u>Oportunidades:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Interés institucional hacia la resolución de problemas de efluentes del tambo. 	<p><u>Amenazas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - UTU no aporte mano de obra calificada. - UTU recorte recursos económicos o no avale propuesta.

<ul style="list-style-type: none"> - Donaciones de material por instituciones u organizaciones afines con la propuesta. - Reduce el costo en energía y en fertilizante. - Mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo con el biofertilizante generado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 25 y 35°C. Esto puede enlentecer el proceso de obtención en estaciones más frías. - Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.
---	--

Tabla 2. FODA propuesta de reactivación de un biodigestor en la escuela

4.3. MATERIA FECAL PRODUCIDA EN EL TAMBO

En base a información teórica se obtuvo que las vacas lecheras alimentadas con pasturas producen 54 kg/día de materia fecal (MF). En cambio, si su dieta es de ración produce 40 kg/día de MF. En resumen, la producción de excrementos en vacunos lecheros es entre 40-54 kg/día.

En promedio en el tambo de la EAD se producen 57 kg de materia fecal mezclada con líquidos por día.

4.4. PROPUESTAS DE MEJORAS DE LA INFRAESTRUCTURA Y MANEJO PARA REACTIVAR EL BIODIGESTOR

El principal problema por el que el biodigestor dejó de funcionar fue por el trabajo que daba trasladar la materia fecal (MF) del tambo al biodigestor. En base a esto, sugerimos ciertas ideas para hacer más fácil y práctico el manejo del mismo.

- Una de las ideas que planteamos es hacer más profundas las canaletas del tambo y que vayan derecho a un caño PVC de 200 milímetros el cual se dirige directo al biodigestor. Con estos cambios lo que favorece sería que al limpiar el tambo cada vez finalizado el ordeño, con la manguera se llevaría toda la MF + Agua al caño PVC (donde se cubrirá con una cámara de hormigón de 60x60) de esta manera en el caño no habría problemas de estancamientos producidos por la MF, ya que va a haber una cantidad de agua evitando tal problema.

En comparación con los años anteriores que se llevaba la MF en una carretilla, este manejo no se realizaría más.

- La segunda idea que se sugiere hacer es agrandar la planchada del tambo para obtener más MF/ordeño. De esta manera, las vacas no estarían tan apretadas ya que cuando se traen para ser ordeñadas están amontonadas hasta que empiecen a entrar al tambo (en anexo 5 se muestra dicho problema; ver en pág. 42). A su vez beneficia en la obtención de materia fecal para el biodigestor, ya que su tiempo muerto en que llegan del campo a tomar agua, se encerrarían en la planchada hasta ser ordeñadas.
- Como tercer y última idea teniendo en cuenta la idea anterior, se sugiere poner bebedero en dicha planchada para que las vacas tomen agua allí.

Explicación de las ideas sugeridas (Ver figura 2):

- 1) Expansión de la planchada del tambo, se tomaría parte del terreno que está ubicado al fondo del tambo para hacer la misma.
- 2) Canaletas más grandes y profundas.
- 3) Cámaras de hormigón 60x60.
- 4) Caño PVC.
- 5) Bebedero.

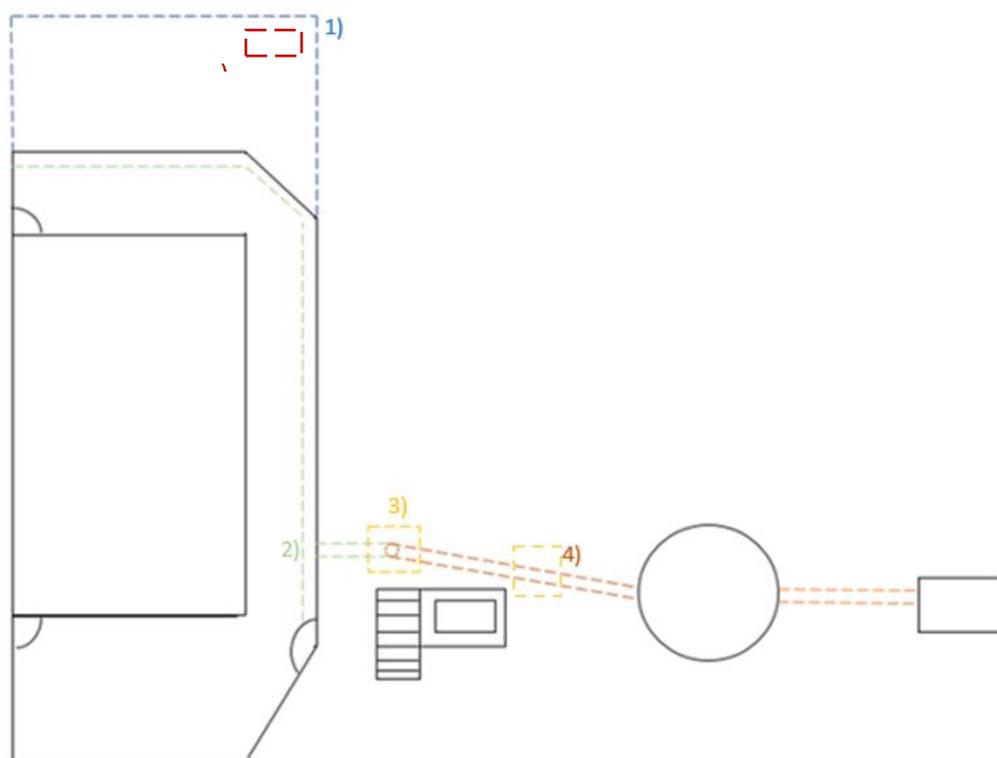


Figura 2: Bosquejo aéreo del tanque y biodigestor

4.5. PRESUPUESTO TOTAL PARA REACTIVAR EL BIODIGESTOR, AMPLIACIÓN DE PLANCHADA E INSTALACIÓN DE BEBEDERO

Para reactivar el biodigestor se tiene que tener en cuenta que se puede encontrar en diferentes condiciones. Se puede encontrar la campana y el biodigestor sano, excepto los caños o todo lo dicho anteriormente roto. Para saber el presupuesto total que se gastaría en reactivar el biodigestor, también se tuvo en cuenta las mejoras que se harían mencionadas anteriormente.

En la tabla 3 se muestran los materiales que se necesitan para reactivar el biodigestor.

Materiales	Precio en \$ c/u	Precio total en \$
Caño PVC 200mm x 3mts (4)	2.481	9.924
Cámara 60x60 (2)	1.065	2.130
Portland (277 bolsas)	275	76.175
Ladrillo (1268)	8	10.144
Varilla de 6mm x 6mts (315)	127	40.005
Arena/m ³ (6,293m ³)	350	2.202
Válvula (1)	730	730
Campana	-	-
Bebedero de 600lts	13.050	13.050
MONTO TOTAL(\$)		154.360

Tabla 3. Materiales para la reactivación del biodigestor

Lugares en donde se solicitó presupuesto: Barraca Giordano, barraca Central, particular donde vende bloques y en una casa que vende arena.

4.6. EQUIVALENTE DE LAS HORAS HOMBRE PARA EL MANEJO DEL BIODIGESTOR

El equivalente de las horas hombre es una unidad de medida de estimación de cantidad de esfuerzo humano que puede realizar un trabajador promedio en una actividad, proceso o

proyecto durante una hora. Cualquier actividad, proceso o proyecto de trabajo requiere esfuerzo humano para ser llevado a término. (Economipedia, 2020)

El equivalente de las horas hombre para el manejo que se hará una vez reactivado el biodigestor es el horario actual que tienen los funcionarios del tambo ya que con el nuevo manejo mencionado anteriormente, no se necesitan más horas diarias de trabajo. Cuando sí se aumentaría el horario de trabajo en los funcionarios es cuando se obtenga el biofertilizante producido por el biodigestor, ya que tendrían que sacarlo y esparcirlo por el campo; además, también se aumentaría cuando se necesita mover la campana.

4.7. IMPACTOS DE LA REACTIVACIÓN DEL BIODIGESTOR DE LA EAD

4.7.1. Impacto productivo

4.7.1.1. Biogás

Según la información extraída podemos destacar que un bovino adulto defeca de 10 a 15 veces por día, generando 20 – 30 kg/día, pudiendo elevarse hasta 45kg.

Una vaca de unos 700 kg defecará 56 kg de materia fecal. 1 kg de materia fecal vacuno puede producir en promedio 103,5 ml de biogás, durante un período de 10 a 18 días (PÉREZ-BRAVO, 2017). En base a estos datos podemos decir que en promedio, una vaca de 450 kg (el peso promedio de las vacas de la EAD) defecará 36 kg de materia fecal.

Con los 57kg totales diarios de materia fecal que se genera en el tambo durante los dos ordeñes se estima una producción 5.899,5 ml de biogás en condiciones estándar.

Para hallar el poder calorífico del biogás se hicieron ciertos cálculos (Ver anexo 6; en pág. 42) y se obtuvo que el poder calorífico de 57 kg de materia fecal libera 213,7 kJ.

En la tabla 4 se muestran los resultados realistas que se obtendrían si el biodigestor estaría en funcionamiento:

	Cantidad de materia fecal (kg)	Producción de biogás (L)	Poder calorífico (kJ)
Día	57	5,9	213,7
Mes	1.710	177	6.411
Año	20.805	2.153,5	78.000,5

Tabla 4. Resultados productivos de biogás por el biodigestor en días, meses y años.

Semanalmente se utilizan 3.600L de agua en los internados, si utilizamos la energía producida para calentar el agua se puede decir que:

1g de H₂O necesita 4,184J. Según cálculos anteriores la cantidad de energía teórica que se podría utilizar para precalentar 3.600L de agua sería 15.062 kJ a 1°C.

El precalentamiento del agua según cálculos realizados no sería viable que se realice todos los días por la poca temperatura a la que se elevaría la misma, pero si realizarlo una vez por semana. Otra opción es utilizar la energía para precalentar la leche de los terneros del tambo.

La leche debe de estar a una temperatura óptima de entre 34-35°C. Se recomienda darla siempre a la misma temperatura para que el ternero se acostumbre y no sufra problemas digestivos (diarrea).

En la EAD actualmente hay 14 terneros, suministrándole 2L de leche a cada uno, por turno, uno en la mañana y otro en la tarde.

La cantidad de leche que se utiliza entre los dos turnos es de 60L, para precalentar la misma se necesitarán 3.926 kJ por día (Ver anexo 7; en pág. 43).

La cantidad de biogás producido por el biodigestor no sería suficiente para el precalentamiento diario, pero si para realizarlo una vez por semana, por la poca temperatura a la que se eleva la misma.

4.7.1.2. Biofertilizante

Para saber el biofertilizante que se obtendría una vez reactivado el biodigestor se consultó material bibliográfico donde se extrajo la tabla 5:

Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Micronutrientes
1,4 a 1,8%	1,1 a 2,0%	0,8 a 1,2%	Trazos

Tabla 5. Composición promedio del biofertilizante (seco) (EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG, 1980)

También se extrajo del mismo material bibliográfico que del total de materia fecal obtenida, el 30% se destina a biofertilizante, por lo tanto, los 57 kg de materia fecal que se obtiene por día del tambo, el 30% del mismo es a biofertilizante, dando un resultado de 17,1 kg de biofertilizante/día. En la tabla 6 se muestra el aporte de nutrientes del biofertilizante una vez reactivado el biodigestor, teniendo en cuenta los datos de la tabla 5.

	Nitrógeno (kg)	Fósforo (kg)	Potasio (kg)
Día	0,23	0,19	0,14
Mes	6,9	5,7	4,2
Año	83,95	69,35	51,1

Tabla 6. Resultados productivos del biofertilizante por el biodigestor en días, meses y años.

Por año se utiliza 3.343 kg de nitrógeno y 5.829 kg de fósforo. Con la reactivación del biodigestor, se ahorraría 84 kg de nitrógeno, 69 kg de fósforo y 51 kg de potasio.

4.7.2. Impacto ambiental

El impacto ambiental que se generaría si el biodigestor se reactiva es que al tratar los efluentes del tambo, el gas metano no se liberaría al medio ambiente y se reduciría el efecto invernadero. Se disminuiría la contaminación del aire, la pérdida de la biodiversidad de especies y la contaminación del agua, ya que los nutrientes de los efluentes no serían vertidos directamente al medio ambiente (Rev Cie Téc Agr vol.26 no.4 San José de las Lajas oct.-dic. 2017, 2017).

También al tratarse los mismos y obtener el biofertilizante, mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Después de la cosecha, muchos microorganismos causan enfermedades en las plantas que permanecen en los residuos del cultivo y causan nuevas enfermedades en el próximo cultivo; al usar el biofertilizante generado se eliminan estos microorganismos. Además, el mismo está libre de semillas de malezas que se propagan a través del estiércol animal (EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG, 1980).

4.7.3. Impacto social

El impacto social que genera al no tratar los efluentes hace que los mismos se encuentren en los cursos de agua, también dando la existencia de olores y moscas, provoca molestias con los vivientes cercanos y deja una pobre impresión en las personas que viven en la zona. Las personas que están en la EAD, tanto alumnos de todos los niveles, como

funcionarios y no funcionarios son 293, estas personas son afectadas por no tratar los efluentes.

Al reactivarse el biodigestor los inconvenientes dichos anteriormente se eliminarían, ya que con su uso beneficiaría en la disminución de contaminantes orgánicos en aguas residuales, eliminación de vectores transmisores de enfermedades, disminución del mal olor y moscas.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que los volúmenes de biogás y de biofertilizante son escasos, permitiendo un mínimo ahorro de gas y de fertilizantes; pero se destaca el impacto ambiental y social del biol como regenerador de la estructura del suelo. Se reduciría el gas metano que se libera al medio ambiente reduciendo el efecto invernadero; también disminuiría la contaminación, se eliminarían vectores transmisores de enfermedades (moscas, mosquitos), disminuiría el mal olor y mejoraría el paisaje entorno al tambo, el que se encuentra próximo a la infraestructura de internados y salones.

6. RECOMENDACIONES

Este proyecto queda abierto a investigar sobre el tratamiento integral de todos los residuos desechados en la institución.

7. BIBLIOGRAFÍA

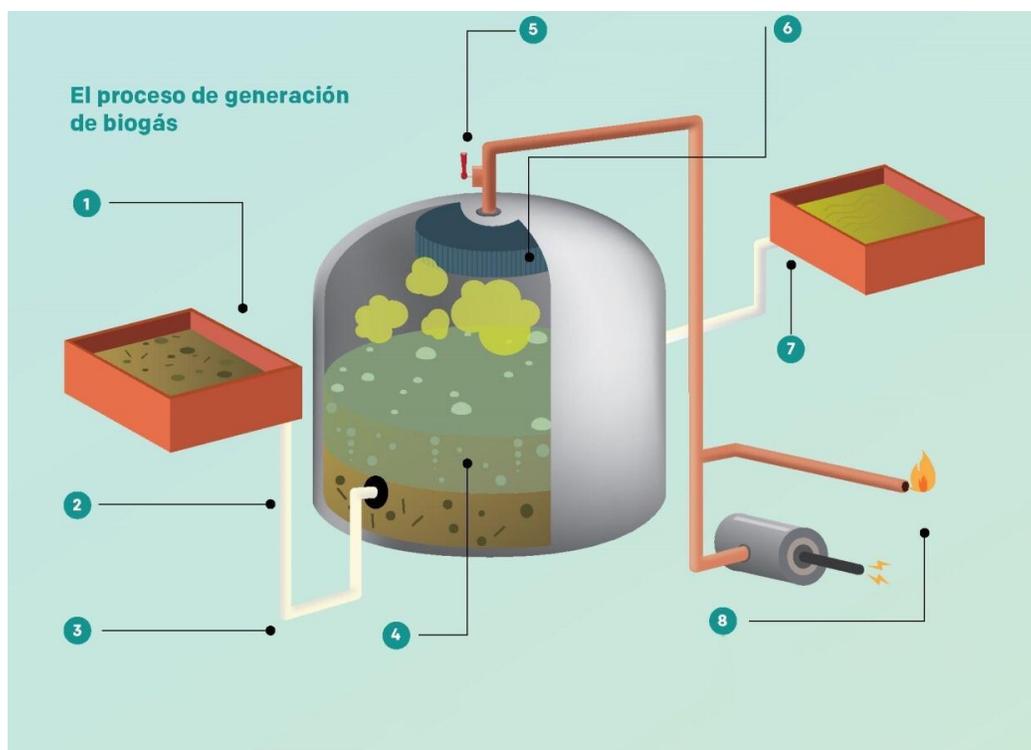
- Aguilera, E. A. (Octubre-Diciembre de 2017). *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*. Obtenido de Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a:
file:///C:/Users/fiore/Desktop/PROYECTO/Fermentaci%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica/5248.pdf
- Economipedia. (02 de Febrero de 2020). *Hora hombre-que es, definición y concepto*.
- EMBRAPA CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO SETE LAGOAS - MG. (1980). *BIOGÁS Fonte alternativa de energía*. En J. M. Marriel, *BIOGÁS Fonte alternativa de energía*.
- Manna, A. L. (1995). *Manejo de residuos orgánicos en tambos (2a.ed.)*. Recuperado el 2 de Junio de 2022, de INIA:
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2753/1/111219240807160023.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de Junio de 2021). *Biodigestores: los residuos como generadores de energía*. Recuperado el 12 de Abril de 2022, de Argentina.gov.ar: <https://www.argentina.gov.ar/ambiente/accion/biodigestores>
- NCAT. (11 de Julio de 2015). *UTTRA Agricultura Sustentable*. Obtenido de Hoja de Datos: Estiércol en Sistemas de Producción Orgánica:
<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Esti%C3%A9rcol%20en%20Sistemas%20de%20Produccion%20Organica.pdf>
- nhvhjvhjn. (s.f.). Obtenido de yguux<zsch uiasgcuisdchvuidsvzx
- PÉREZ-BRAVO, S. G.-V.-P. (23 de Marzo de 2017). *Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás en la Zona Altamira, Tamaulipas*. Recuperado el 23 de Junio de 2022, de Revista de Sistemas Experimentales:
https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num10/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N10_5.pdf
- Pizano, R. (6 de Agosto de 2018). *¿Cómo funciona un biodigestor?* Recuperado el 12 de Abril de 2022, de PROYECTOOFSE: <http://www.proyectoofse.mx/2018/08/06/como-funciona-un-biodigestor/>
- Potschka, I. A., & Acosta, A. G. (2012). *ENERGÍA LIMPIA Y FERTILIZANTE*. Recuperado el 2 de Junio de 2022, de Sitio Argentino de Producción Animal.
- Potschka, I. A., & Acosta, A. G. (2012). *ENERGÍA LIMPIA Y FERTILIZANTE*. Recuperado el 2 de Junio de 2022, de Sitio Argentino de Producción Animal:
<https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/12-energia.pdf>

Rev Cie Téc Agr vol.26 no.4 San José de las Lajas oct.-dic. 2017. (2017). Impacto ambiental provocado por efluentes de instalaciones de biogás de pequeña y mediana escala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000400009

Planchón,J. ; Ariztia,I. INTENDENCIA MUNICIPAL DE COLONIA Dirección de Promoción y Desarrollo. (2007). Actualización en tecnologías agrícola ganaderas. En P. agropecuario, *Tratamiento de efluentes y protección del medio ambiente*. Colonia.

ANEXOS

ANEXO 1 – ESQUEMA QUE MUESTRA EL FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR



ANEXO 2 - DECRETOS

Artículo 11, 22 y 23: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/253-1979>

ANEXO 3 – ENTREVISTA A ERIKSON CHACÓN

¿Por qué se dejó de usar el biodigestor?

- “Te voy a ser franco, más bien por falta de personal. Porque viste que eso cuando se empezó se hizo planchada para que las vacas salieran del tambo y se quedaran encerradas ahí en la parte de adelante del tambo para poder juntar bosta y poder hacerlo funcionar a pleno. Pero lo que paso es que nos fuimos quedando sin gente y había una persona sola para hacer

todo eso, entonces se fue dejando, más bien por eso. No se rompió nada ni nada, lo único que después se desconectó fue la cañería que iba hasta la cocina bajo tierra que un poco se deterioró y no la arreglaron más tampoco”.

–“Eso se usaba también un poco en agroindustrias, Marcelo alcanzó a usar.

Yo no sé los años que estuvo funcionando, no te puedo decir porque a esta altura ni me acuerdo pero estuvo un lote de años funcionando”.

¿En qué año dejó de funcionar?

- “Pasa tan rápido el tiempo que yo bien no me acuerdo, pero debe de hacer 15 o 20 años que dejó de funcionar.”

–“Yo estuve desde el arranque, desde que se hizo eso”.

¿En qué años fue que se hizo?

- “Debe de haber sido en el 87-88 por ahí, yo entre en el 80 y a los pocos años ya empezamos a trabajar en eso. Es una fecha aproximada, capaz que fue 4 años antes o 4 después”. –“El pozo ese donde está la campana tiene 4 metros de hondo, esa campana era de un depósito de combustible, se consiguió no sé si en la ANCAP o donde y bueno se cortó a la medida”. –“Ese pozo de 4 metros tiene un tabique una pared vamos a decir hasta los dos metros, esa campana que se ve arriba va 2 metros dentro del pozo. La pared que tiene hasta la mitad del pozo tiene un caño que introduce otro caño por dentro de ese que hace de eje giratorio vamos a decir para poder mover esa campana porque eso tenía que moverse para un lado y para otro. Cuando producía gas esa campana se elevaba hacia arriba, eso es lo que le daba la presión para salir el gas, ese era el funcionamiento de esa campana que es pesadísima

porque tiene un hierro imponente. Para abrir eso tiene que hacerse con una grúa porque hay que sacar la tapa derecho 2 metros para arriba”.

–“Tiene un fierro largo arriba que es para girarlo las personas, para hacerla mover cuando el empezaba a levantar que empezaba a producir gas para que no se pegara ni nada por el estilo nosotros lo hacíamos girar, para un lado y para otro entonces se movía la campana. Tiene otras como unas agarraderas que se le pusieron para elevarla. Esa pileta que está ahí al lado, que hay una rampa, tenes que ir con la carretilla con la bosta licuada volcarla ahí y por un caño entraba adentro del pozo. Entonces ahí entraba y después que empezaba a producir gas y abono que salía para el otro pozo más chico que está del otro lado, sale solo para ahí después que fermenta, a medida que iba saliendo se trataba de ir sacando ese es el sistema que cumplía más o menos, a grandes rasgos.”

¿El abono que salía para la pileta lo usaban para algo?

–“Primero se hicieron unos tanques con caños y agujeros para desparramarlo en el campo, pero era muy complicado porque el abono ya fermentado tiene muchas partículas enteras de pasto y fardo que quedaban sin descomponerse entonces eso tapaba todo. Se sacaba con un tanque grande de 500l mas o menos para tirar en el campo, el tanque tenía una canilla y por ahí salía el chorro de abono por eso no era bien aprovechado. Eso demoro como 2 años para que empezara a producir porque había que ir echándole. Cerca de 1 año y medio se le estuvo echando materia.”

¿Todos los días se le agregaba materia fecal?

–“Si, de mañana y de tarde se le echaba con una carretilla que tenía un medio tanque que llevaba 80-90 litros, ahí se le echaba bosta y se le agregaba agua para que quedara lo más

licuada posible, así se volcaba y corría por los caños sino quedaba apelonada en los caños. El pozo tiene 2 metros, después que se empezaba a fermentar solo se descargaba para un pozo que está al lado, la campana cuando sola producía empezaba a marcar el gas que tenía, hasta un metro y medio levantaba la campana.”

-“No era un gas con la presión como el de las garrafas, duraba poco, en 4 o 5 horas ya no quedaba más, a este gas le faltaba más presión para que durara más, según lo escuchado, este gas iba para la cocina y también Marcelo lo usaba en la sala de agroindustrias.”

-“Hubo que hacer un pozo y no fue así nomás porque no era que enseguida se ponía la campana, hubo que ponerle piso, y hacer la caída de los caños. Lo hacían los funcionarios y los mismos alumnos ayudaron con eso, llevo varios años para hacerlo.

Se dejó más bien porque no había gente y pasaba cambiando el personal. Había que hacer el tambo, juntar toda la bosta y eso lleva mucho tiempo. Después que se dejó de usar con el tiempo debe de haber hecho una pasta adentro. La única forma de arreglarlo es abrir la campana y sacar toda la materia que hay adentro, no creo que este roto adentro porque es de metal, no creo que este picado ni algo así y así funciona.”

ANEXO 4 – ENTREVISTA A M^a ROSA RODAO

¿Cuándo el biodigestor funcionaba el gas venía para acá?

-“Si, el gas venía para la cocina pero hace muchos años dejó de funcionar, fue muy importante porque nosotros cocinábamos con él, nos teníamos que acostumbrar al principio porque el biodigestor larga un poquito de olor, como olor a baño, pero eso sirvió de mucho porque el gas se sacaba de acá de la escuela.”

¿Sabe porque deajo de funcionar?

-“Porque se empezó a tapar y no salía bien en la cocina, le tenían que poner una cantidad de materia y tuvo un problema porque en el biodigestor siempre había materia, pero en la cocina se empezó a tapar las cañerías y después no lo arreglaron y lo dejaron de usar.”

-“Fue muy importante para la escuela, gente vino a mirarlo y sacarle fotos.”

-“Cuando se puso acá fue todo rustico y fue la primera vez, lo que fue una novedad. Lo puso Avillamundo Abelenda hace muchos que era el profesor de manualidades e insistió para que se pusiera el biodigestor. La llama era fuertísima como la llama del gas común y bien azul.”

-“Se sentía olor después que te acostumbras, se sentían dos olores el de la comida y el del gas, pero después no había otro problema, fue un muy buen proyecto.”

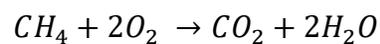
¿Duro muchos años?

-“No duro muchos años, duro poco, incluso teníamos una medida tipo un termómetro que nos indicaba cuando había poco y cuando había mucho gas y eso marcaba muy bien. Lo hizo Lilian Arati la secretaria de la escuela.”

ANEXO 5 – IMÁGENES DEL TAMPO DE LA EAD CON VACAS EN LA PLANCHADA



ANEXO 6 – PODER CALORÍFICO DEL BIOGÁS



$$\Delta H = \Sigma n \times \text{productos} - \Sigma n \times \text{reactivos}$$

$$\Delta H = \Sigma n \times \Delta H_{CO_2} + n \times \Delta H_{H_2O} - \Sigma n \times \Delta H_{CH_4} + n \times \Delta H_{O_2}$$

$$\Delta H = [(-393,5) + (-285,83 \times 2)] - [(-74,8) + (0 \times 2)]$$

$$\Delta H = (-393,5) + (-571,66) - (-74,8)$$

$$\Delta H = (-965,16) - (-74,8)$$

$$\Delta H = -890,3 \text{ kJ}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 5,9 \text{ L}}{0,0082 \cdot 298 \text{ K}} = 0,24 \text{ mol}$$

$$1 \text{ mol} \text{ _____ } - 890,3 \text{ kJ}$$

$$0,24 \text{ mol} \text{ _____ } \cdot x = -213,7 \text{ kJ}$$

ANEXO 7 – CONSUMO DE ENERGÍA NECESARIA PARA CALENTAR 60 L DE LECHE
CON DESTINO A TERNEROS

$$c = 3,89 \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

$$d = 1,030 \text{ g/ml}$$

$$Q = 36.050 \cdot 3,89 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot \Delta T$$

$$Q = 36.050 \cdot 3,89 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 14$$

$$Q = 1.963.283 \text{ J} \rightarrow 1.963 \text{ kJ}$$

$$1.963 \cdot 2 = 3.926 \text{ kJ en los dos turnos}$$