



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Tucumán
Escuela de Posgrado

**TRABAJO FINAL INTEGRADOR DE LA CARRERA ESPECIALIZACION
EN INGENIERÍA BIOENERGÉTICA**

**“GENERACION DE BIO-ENERGIA A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL EN
FEEDLOT”**

Trabajo Final Integrador para optar al Grado Académico Superior de
Especialista en Ingeniería Bioenergética

Alumna: Ing. Erika D. Chemes
Director: Ms. Ing. Avaro J. Bravo

San Miguel de Tucumán
Año 2019

1-RESUMEN

Actualmente, la concentración de la población alrededor de grandes centros urbanos ha motivado la proliferación de establecimientos dedicados al engorde intensivo de ganado vacuno o feedlots que tienen por objetivo satisfacer la demanda cárnica de los mismos. Estos sistemas productivos en confinamiento, aportan grandes ventajas económicas respecto al engorde tradicional a base de pasturas, pero, al mismo tiempo, generan una gran cantidad de residuos orgánicos que sin un tratamiento adecuado pueden llegar a ocasionar un importante impacto ambiental.

En este trabajo se estudia la posibilidad de generación de bioenergía a partir de la biomasa residual de un feedlot. Específicamente, se analiza la pre-factibilidad de realizar el tratamiento de los residuos orgánicos o estiércoles generados en un feedlot mediante la aplicación de la tecnología de bio-digestión y la posibilidad de generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido, con la posterior venta a la red de distribución.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se describe la actividad del feedlot, sus impactos negativos sobre el medio ambiente y el actual tratamiento de estiércoles que se practica. Seguidamente se analizan datos de la actividad feedlotera publicados por SENASA de manera de cuantificar la cantidad de cabezas, distribución y tamaño de los establecimientos, para con ello poder estimar el potencial de producción de biogás. Por último, en tercer lugar, se presenta una estimación de producción de energía eléctrica, los beneficios directos por venta a la red de distribución y los costos de inversión.

INDICE

| | |
|---|----|
| 1-RESUMEN | 2 |
| 2-INTRODUCCION | 4 |
| 3-OBJETIVOS | |
| 4-DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE ENGORDE INTENSIVO A CORRAL EN ARGENTIN | 5 |
| 4.1-Composición de las excretas de un feedlot | |
| 4.2-Producción de excretas | |
| 5- GESTION ACTUAL DE RESIDUOS EN UN FEEDLOT | 8 |
| 6- IMPACTO AMBIENTAL | 11 |
| 7- PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE EXCRETAS EN UN FEEDLOT COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA | 13 |
| 7.1- Descripción del tratamiento de excretas de un feedlot por bio-digestión. | |
| 8- GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DE BIOENERGIAS | 17 |
| 8.1 Políticas de fomento para la generación de energía eléctrica a partir de bioenergías: programa RenovAr. | |
| 8.2 Beneficios económicos del programa renovar. | |
| 8.3 Proyectos adjudicados por Renovar para la generación de biogás. | |
| 9-ANTECEDENTES | 20 |
| 10-ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS | 22 |
| 10.1 Caracterización de la actividad del feedlot en la argentina | |
| 10.2 Análisis de pre-factibilidad de implementación de la tecnología de bio-digestión en función del número de cabezas | |
| 10.3 Otros beneficios obtenidos a partir de la generación de biogás | |
| 11- CONCLUSION | 27 |
| 10- BIBLIOGRAFIA | 28 |

2- INTRODUCCION

La producción de carnes en Argentina ha transitado en la última década un camino de transformaciones y de procesos de intensificación de los sistemas productivos. El avance de la frontera agrícola debido a la expansión de los cultivos extensivos, ha llevado a la ganadería (de menor rentabilidad relativa) a ceder sus mejores tierras, circunscribiendo su desarrollo a superficies más reducidas y a campos de menor calidad de suelos. En este contexto, los establecimientos de engorde intensivo en confinamiento o feedlots representan una solución ya que intensifican la producción en espacios de menor extensión.

Al mismo tiempo, estos establecimientos o feedlots son grandes generadores de residuos orgánicos constituidos principalmente por las excretas de los animales. Estos residuos si no se tratan adecuadamente, pueden llegar a provocar graves problemas ambientales. En la actualidad, si bien en nuestro país existe normativa vigente al respecto, es común la falta de control de las mismas en la mayoría de estos establecimientos, por lo que en general el productor agropecuario solo tiene en cuenta los aspectos vinculados a la producción, a la calidad del producto o la eficiencia del sistema productivo, dejando en segundo plano los efectos que esta actividad genera en el medio ambiente, tales como: contaminación de napas subterráneas, mal olor, concentración de moscas y otros vectores.

Por otro lado, nuestro país, dispone de una potencia eléctrica instalada que resulta insuficiente para cubrir la demanda creciente de energía, generándose problemas de abastecimiento con el consecuente aumento en las tarifas. Con el objetivo de diversificar nuestra matriz energética, Argentina promulga en el año 2015 la ley 27.191 para el fomento de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables con destino a la prestación de servicio público. Esta ley tiene como principal objetivo lograr una contribución de fuentes de energía renovables del 8% del consumo de energía eléctrica nacional para el 2018 y el 20% para el 2025. Para lograr estos objetivos, el gobierno nacional lanzó en julio de 2016 el programa "**RenovAr**"; este programa comprende licitaciones públicas periódicas en las que las distintas empresas presentan sus proyectos de inversión y el precio al cual están dispuestos a vender su capacidad, y CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico) es la encargada de regular los contratos a largo plazo (PPA).

En este trabajo se estudiará la posibilidad de aplicación de la tecnología de Digestión Anaeróbica a los sistemas de engorde a corral para el tratamiento de las excretas producidas y posterior generación de energía eléctrica realizando un análisis de la conveniencia de la aplicación según el nivel de actividad de cada feedlot. La hipótesis de este trabajo es que el biogás constituye una alternativa de producción de energía limpia viable y sustentable que puede ser adaptada en las diversas unidades productivas del sector agropecuario.

Este proyecto no solo apunta a incentivar la aplicación de esta tecnología para reducir los impactos ambientales provocados por estos sistemas intensivos, sino que también busca difundir la posibilidad de generación de energía eléctrica en estos establecimientos a partir de sus excretas.

Surge así la oportunidad de explotar el enorme potencial energético de nuestros campos y de re categorizar estos residuos como un recurso natural y de insertarlos en el esquema productivo de la actividad ganadera.

3- OBJETIVO GENERAL:

"Estudiar la pre-factibilidad de aplicación de la tecnología de bio-digestión de efluentes en feedlots, como una alternativa sustentable".

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 1-Examinar y sintetizar información sobre los aspectos involucrados en el actual manejo de efluentes en un feedlot.
- 2-Proponer la tecnología de biogás como alternativa sustentable para el tratamiento de efluentes de un feedlot.
- 3-Análisis del potencial de producción de biogás para para la generación de energía eléctrica a partir de estiércoles producidos en la actividad del engorde a corral en confinamiento o feedlot.

4- DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE ENGORDE INTENSIVO A CORRAL EN ARGENTINA

En general, un establecimiento de engorde intensivo a corral o feedlot se define como un predio agropecuario que posee animales bovinos, bubalinos, ovinos y caprinos, propios o de terceros, en confinamiento, para realizar actividades de re cría, engorde o terminación de los mismos, con la finalidad de producción de carne, a los cuales se le suministra una dieta a base de alimentos formulados, granos, silos, rollos y/o corte de pasturas, entre otros insumos y/o ingredientes, en forma permanente, sin ofrecerles acceso a pastoreo directo y voluntario durante toda la estadía de los animales (SENASA).

Los principales objetivos de un feedlot son:

- Engorde del ganado vacuno, maximizando la eficiencia de conversión de granos en carne.
- Mantener la calidad uniforme del producto (gracias a una dieta balanceada y estabilizada a lo largo del engorde).
- Satisfacer la demanda del mercado durante todo el año.



Foto Nro. 1: Sistema de engorde intensivo a corral. Fuente: "Feedlot: alimentación y manejo".

En general, en este tipo de establecimientos, se calcula que los animales que se encuentran en confinamiento se alimentan con el 3% de su peso en ración de materia seca por día. Así, se considera que los animales ingresan a los corrales con 150 a 200 kg y engordan entre 1 Kg y 1,3 Kg por día, alcanzando pesos finales de aproximadamente de 320-400 kg dependiendo de los requerimientos del mercado. Este dato depende de 3 factores fundamentalmente: la genética, tamaño del animal y las condiciones climáticas. El alimento está compuesto principalmente de maíz, el cual proporciona la energía, subproductos de la industria alimenticia, que brindan la proteína y, finalmente, de rollos de alfalfa o rastrojos que son los que aportan la fibra. Aparte, a la dieta se le agregan concentrados de vitaminas y minerales que cumplen la función de anti-empaste del mismo. A partir de estos cuatro componentes se hace la ración del día, la cual no es fija y varía en función de las necesidades del ganado.

El proceso de feedlot consta de varias etapas:

- 1) Los animales se reciben en lo que se denomina un corral de recepción, en el cual se hidratan y descansan adaptándose al establecimiento.
- 2) Una vez pasadas de 48 a 72 h., son llevados a la manga donde se los identifica y realiza el correspondiente plan sanitario indicado por el profesional a cargo.
- 3) Luego, el ganado pasa a los corrales definitivos donde el objetivo es que engorden al ritmo de 1 Kg a 1,3 Kg por día.
- 4) Una vez concluido el proceso de engorde se retiran los animales terminados del corral y con distintas maquinarias se procede a la limpieza del mismo.

El personal recorre todos los días los corrales para evaluar los comederos, bebederos, el alimento, su respectivo consumo y el estado de salud del ganado. Cuenta con un corral de enfermería, en caso que presenten algún tipo de síntoma, con el fin de apartar y tratar al animal.

Los corrales se limpian en buena parte con las lluvias, y es justamente en estos días en los que se realiza el mantenimiento. En donde haya estancamiento de aguas se destapan los drenajes para permitir que se escurra y lleve consigo los desechos. Existe otro tipo de limpieza al cual se someten los corrales y es con la salida de los animales, que en promedio se da cada 3 meses. Dicha salida se realiza tras haber alcanzado la terminación deseada, y el tiempo exacto depende de cada animal, estacionalidad, producto buscado, etc. Con el corral ya vacío se realiza la limpieza.

En general con los residuos recogidos durante las salidas de los animales son sometidos a un proceso de compostaje con el estiércol por el método de aireación. Esta técnica es usada desde hace mucho tiempo en la agricultura, pero es un proceso lento y no conserva al máximo la calidad del material.

Los residuos de esta actividad, mayormente estiércol y efluente líquido, representan un desafío ambiental y económico para el sector por su volumen y la alta densidad de animales. El manejo inadecuado de estos residuos puede contaminar suelos y aguas subterráneas, y así afectar el bienestar de las poblaciones cercanas. La gestión de estos residuos en aquellos establecimientos que cumplen la normativa ambiental implica la instalación de un sistema de drenaje, lagunas de tratamiento y almacenamiento del efluente, y rutinas de limpieza, mantenimiento y control del sistema que eliminan el riesgo de contaminación, pero no resuelven el problema central: la disposición final de los residuos.

El objetivo de este trabajo es estudiar la pre-factibilidad de la aplicación de la bio-digestión en efluentes generados por esta actividad. Para ello a continuación, se presentará un estudio sobre la composición química de las excretas en un feedlot, el impacto ambiental generado por estas y su actual tratamiento de efluentes. Luego, se abordará un análisis de pre-factibilidad para la utilización de estas excretas en la generación de biogás y el posterior uso para la producción de energía eléctrica.

4.1 - Composición de excretas en un Feedlot:

Para el caso de un feedlot, el sustrato resulta ser bastante homogéneo debido a que el ganado se alimenta solo con un tipo de alimento específico (pasturas + alimento balanceado). Por lo que los datos basados en estudios realizados en otros casos similares se pueden utilizar correctamente:

Características físico-químicas

| Temperatura (°C) | Densidad excreta solida (kg/ m ³) | % de Humedad |
|------------------|---|--------------|
| 35-40 | 800 | 85 |

Tabla 1: Características físicas del estiércol. Fuente: Cámara Argentina de Feedlots.

Características químicas

Dada su fisiología digestiva, los bovinos absorben muy poco de lo que ingieren; se calcula que en las excretas se encuentra entre el 70 al 80 % del nitrógeno consumido, al igual que el 90% del fosforo que luego es eliminado, pero en forma de fosfatos. Cualquier exceso de minerales o medicamentos en el alimento aparecerá en las excretas. La composición en nutrientes en base seca de las excretas, es la siguiente:

| pH | % N | % P | % K | % Ca | % Mg | % Na | % Agua | % Mat. Orgánica |
|-----|-----|-----|-----|------|------|------|--------|-----------------|
| 7,5 | 1,5 | 0,5 | 3,3 | 3,4 | 0,7 | 1 | 35 | 80 |

Tabla 2: Características químicas Del estiércol. Fuente: Cámara Argentina de Feedlots.

Además de los minerales antes mencionados, en el estiércol bovino es una fuente rica en carbono que a la vez es un nutriente esencial para varias especies de hongos, como, por ejemplo: *Mucorales*, *Discomyces* y *Basidiomycetes*. Entre las bacterias presentes en los desechos bovinos se encuentra la *Escherichia coli* y *Salmonella* que son tóxicas para el ser humano y animales. Debido a esto, el uso de estiércol animal no tratado (sin proceso de formación de abono) en la producción de productos vegetales comestibles da lugar a un mayor riesgo de contaminación que el uso de estiércol tratado y, por lo tanto, no se recomienda.

4.2. Producción de excretas:

Dependiendo de la digestibilidad de la dieta, un vacuno puede llegar a excretar por día alrededor del 6 al 8 % de su peso vivo (0,06 a 0,08 kg de excreta húmeda por kilogramo de peso vivo), con una variación del 25% dependiendo del clima, consumo de agua y el tipo o raza y con una humedad de alrededor de un 85%. Con todas estas relaciones presentadas se puede estimar que un Feedlot con capacidad para mil animales, con una ocupación promedio del 80% y con periodos de engorde que oscilan entre 100 a 130 días, con animales de 320-400 kg finales promedio, producirá 585 TN de MS promedio de estiércol por año.

Generalmente, estas deyecciones se van acumulando dentro de los corrales mientras transcurre el proceso de engorde, formando una costra o capa de residuos. Esta capa de residuos orgánicos recibe el efecto de compactación debido al pisoteo de los animales e interactúa químicamente con el estrato de suelo subyacente y la baja atmósfera. La superficie del corral desarrollará capas bien definidas en función de procesos químicos, bioquímicos y físicos que ocurren (Kennedy et al., 1999; Mielke et al, [974]). Estas capas se describen a continuación y se grafican en la siguiente figura:

| | |
|---|---|
| 1.1 Capa Superficial de residuos | Espesor variable Rangos Densidad: 750-930 Kg / m ³ |
| 1.2 Capa Basal de Residuos | |
| 2 Capa de Interface, rangos Densidad: 1000-1700 Kg / m ³ | |
| 3 Suelo Original Compactado Rangos de Densidad: 1200 —1600 kg / m ³ | |

Figura Nro. 1: Capas de residuos orgánicos sobre el suelo de un feedlot.

Capa 1: el residuo superficial en descomposición, subdividido en capa superficial y basal. Su espesor depende del contenido de humedad y la frecuencia de las tareas de limpieza, los valores más comunes de espesor de esta capa se ubican entre los 2 y 10 cm y su densidad oscila entre 750 y 930 kg / m³.

Capa 2: es en realidad una zona de interface que presenta residuos orgánicos en descomposición y suelo mezclados. Su espesor varía normalmente entre 2,5 y 5,0 cm y su densidad entre 1000 y1700 kg/m³.

Capa 3: esta capa es una capa de suelo mineral original que ha sido compactada por el pisoteo de los animales y el tránsito de maquinaria de limpieza y acondicionamiento de corrales. Su densidad puede ubicarse entre 1200 y 1600 kg / m³.

Factor de carga animal:

En general, los corrales de un feedlot están diseñados para soportar una carga animal que va desde 15 a 40 m²/cabeza. Este valor puede variar, dependiendo de zona geográfica, pendiente del terreno, pudiendo ser mayor en establecimientos ubicados en zonas climáticas semiáridas donde el secado de la superficie del corral es más rápido.

5- GESTION ACTUAL DE RESIDUOS EN UN FEEDLOT

En los feedlots a cielo abierto, se generan dos tipos de efluentes: líquidos y sólidos. Los efluentes líquidos son generados principalmente a partir de las deyecciones y del aporte de agua de las precipitaciones sobre la superficie del feedlot. Estas precipitaciones, solubilizan sustancias orgánicas y demás componentes presentes en la capa de estiércol, generando escorrentías de carácter contaminante. Por otro lado, los efluentes sólidos se encuentran constituidos principalmente por la fracción sólida del estiércol, a la que debe sumarse los generados en las lagunas de tratamiento de efluentes líquidos.

En general, un sistema de tratamiento de efluentes de un feedlot consta de las siguientes operaciones:

- I) Conducción y escurrimiento de líquidos
- II) Sedimentación
- III) Almacenamiento y evaporación
- IV) Limpieza de corrales y compostaje

A continuación, se describe cada una de las operaciones antes mencionadas:

I) Conducción y escurrimiento de líquidos:

Estos sistemas están diseñados para crear un área de escurrimiento controlado abarcando toda la superficie de feedlot expuesta a precipitaciones. Los líquidos escurridos se colectan por medio de una red de drenajes primarios y secundarios hacia sistemas de decantación.

II) Sedimentación

Están diseñados para permitir la decantación de materiales sólidos antes de ingresar el líquido a las lagunas de evaporación y almacenamiento. Con la instalación de un sistema de sedimentación se busca remover alrededor del 50 % de los sólidos que arrastra el líquido.

Un detalle importante a tener en cuenta es que en estos sistemas de sedimentación, se deben retirar los sólidos decantados cada 6 o 7 meses en promedio, para evitar la fermentación de los mismos, y así evitar la generación de olores desagradables. Los residuos recogidos durante esta limpieza deberán ser sometidos a compostaje a fin de obtener fertilizante adecuado.

III) Almacenamiento y evaporación

Desde los sistemas de sedimentación el líquido fluye hacia las lagunas de almacenamiento. Estas lagunas se diseñan para contener los líquidos y tienen como principal función:

- a) Captura y posterior almacenamiento de las escorrentías del feedlot para minimizar la polución del suelo y los recursos hídricos.
- b) Tratamiento del agua recogida antes de su aplicación en sistemas de riego.
- d) Recolección del agua efluente para continuar evaporación de líquidos.

Estas lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales construidos de tierra e impermeabilizados, que comprenden una batería de lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración. La función real del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una descomposición biológica natural. Estas lagunas de almacenamiento deben tener la capacidad de almacenar líquidos por periodos prolongados, un año mínimamente.

Al igual que los sistemas de sedimentación, es de vital importancia la compactación y recubrimiento del fondo para evitar infiltraciones. Tienen que tener fácil acceso para la limpieza periódica del material sedimentado. El material semisólido colectado contiene un 70% de material biodegradable y puede utilizarse, al igual que el de los sedimentadores para fertilización de suelos de la misma forma que se utiliza el estiércol recolectado en corrales.



Foto Nro 2: Esguerrimiento de un corral de engorde durante una lluvia. Fuente: ARS, EE.UU. 2007.

Traducción:Peruláctea.www.produccion-animal.com.ar

Foto Nro 3: Laguna Anaeróbica. Fuente: Taller de Biogás 2017 PROBIOMASA.

IV) Limpieza de los corrales y compostaje

En Feedlot comunes, a cielo abierto y sin intenciones de utilizar estos desperdicios como parte de la cadena productiva, las excretas se remueven tres veces al año. Normalmente se limpian los corrales cuando están vacíos entre salidas y entradas de lotes de animales.

La remoción frecuente del estiércol exige el apilado fuera de los corrales, pero para ello se debe seleccionar un lugar de baja permeabilidad, elevado y con buen drenaje. El estiércol debe ser distribuido en capas para lograr una mayor evaporación. En las pilas de estiércol, es necesario mantener la aerobiosis y el menor nivel de humedad posible. El apilado excesivo con elevada humedad puede generar putrefacción. Para optimizar la acción microbiana es recomendable

intercalar material fibroso (heno) entre las capas de estiércol, de esta manera se mejora la relación carbono/nitrógeno de la mezcla. Este material debe mantenerse al menos un año antes de ser incorporado como fertilizante. El compostaje es una tecnología eficiente para reducir el volumen del estiércol, evitar problemas ambientales y sanitarios y aprovechar su valor como enmienda y/o fertilizante en la actividad agrícola del propio establecimiento.

La aplicación de estos residuos orgánicos en el suelo -bajo la forma de riego en un caso y de manera sólida en otro- debe realizarse en el marco de un programa de gestión sustentable del suelo. Su uso puede representar un riesgo para el suelo y los recursos hídricos si no se controla la degradación y estabilización del residuo durante su tratamiento¹¹ y los nutrientes que puede aportar y que el sistema requiere.

En su práctica cotidiana, los feedlots en Argentina aplican distintas estrategias para gestionar sus residuos orgánicos según la infraestructura disponible y las prácticas productivas aplicadas para manejar el efluente líquido y el estiércol húmedo: disponibilidad de lagunas para el almacenamiento del efluente, impermeabilización de estas lagunas, frecuencia de recolección del estiércol de los corrales, y prácticas de tratamiento y/o disposición final del estiércol como enmienda o fertilizante.



Foto Nro. 4: Limpieza de corrales en Feedlot.

6- IMPACTO AMBIENTAL

La falta de control de las normativas vigentes en la mayoría de establecimientos dedicados a la cría intensiva, ha provocado reacciones sociales que han impulsado algunos cambios o ajustes del manejo de efluentes y olores en algunos de los establecimientos en producción (INTA). Reflejo de estas situaciones, es la Resolución 70/2001 emitida por SENASA en el año 2001, en la cual establece lo siguiente:

- 1) Que este tipo de producción de engorde a corral, por la alta concentración ganadera y continuo recambio poblacional, implica un mayor riesgo higiénico y sanitario, facilitando la aparición de patologías diversas.
- 2) Que esta modalidad de explotación produce elementos de desecho, que pueden constituir una fuente de contaminación del ambiente, interesando a la salud pública y la sanidad animal, por lo que es necesario atenuar o reducir al mínimo dicho impacto ambiental.

De esta manera, SENASA, expone el riesgo que implica esta actividad desde puntos de vista higiénicos y sanitarios tanto para los animales, la salud pública y nuestro medio ambiente. Por medio de esta resolución SENASA resuelve crear un Registro Nacional de Establecimientos Pecuarios de Engorde a Corral, pero con el objetivo de atender solo los aspectos sanitarios ligados al modelo del engorde a corral.

Es decir, si bien los feedlots representan una solución para los ganaderos ya que intensifican la producción en un espacio reducido, también constituyen una fuente de contaminación puntual debido a una elevada relación superficie/carga animal. La composición de estas excretas y el volumen generado por los animales en estas instalaciones conllevan a graves problemas sanitarios, tales como: mal olor, concentración de moscas y otros vectores, contaminación de las napas subterráneas y posibilidad de esparcimiento en casos de lluvias.

Todos estos problemas contribuyen para que se asocie a los feedlots con un impacto ambiental negativo generando grandes conflictos con su entorno. En conclusión; la actividad de un feedlot afecta al medio ambiente en sus tres matrices receptoras: agua, suelo y aire. A continuación, se describe los efectos sobre cada matriz receptora:

1) Aire:

En la actividad ganadera se generan principalmente 3 gases que contribuyen al efecto invernadero: metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂).

- Metano: Las emisiones de CH₄ provienen de la fermentación rumial de las fracciones carbonadas, a través del eructo y de la fermentación anaeróbica del estiércol.
- Óxido de Nitrógeno: Las emisiones de N₂O provienen del uso de fertilizantes químicos con nitrógeno en cultivos para forrajes y obtención de cereales para la dieta de los animales en engorde, y en cantidades mucho más pequeñas del estiércol.
- Dióxido de carbono: Las de CO₂ provienen de la combustión de la maquinaria utilizada en cultivos y en el sistema de engorde.

Otros efectos sobre la atmosfera como consecuencia del confinamiento de animales, son:

- Emisión de amoníaco (NH₄): el contenido de urea del estiércol es hidrolizado por las enzimas "ureasas" de microorganismos del suelo y del mismo estiércol, produciendo amoníaco que se volatiliza. Este gas ocasiona un olor desagradable.

- Partículas de polvo y de estiércol: pueden levantarse, especialmente en zonas semiáridas o si hay un periodo con pocas precipitaciones.
- Proliferación de moscas: si bien no es una contaminación, hay un cambio en el medio local por el incremento de las mismas al tener sustrato en abundancia en el estiércol fresco.
- Impacto visual: como consecuencia del confinamiento de los animales en espacios reducidos y que algunas veces se encuentran cercanos a asentamientos poblacionales y/o rutas.

2) Agua

- **Nitratos y fosfatos:** las excretas contienen un alto contenido de estos dos componentes, además el nitrógeno también puede provenir de la precipitación del amoníaco emitido desde las deyecciones. Los nitratos pueden llegar por filtración o escorrentía a los cuerpos de agua. Los problemas que pueden acarrear son contaminación del recurso agua por el aumento en sus concentraciones por encima de los límites guía permitidos y eutrofización de los ecosistemas acuáticos.

La movilidad de todos estos elementos contaminantes, dependerán del régimen hídrico, pendientes, presencia de fuentes superficiales de agua, profundidad de la capa freática, textura del suelo y su permeabilidad, que determinará el escurrimiento superficial o filtración de los contaminantes. En general, el destino final de los efluentes generados por el engorde a corral suelen ser las fuentes de agua superficial más cercanas a los establecimientos. Así, provocan un impacto ambiental negativo no sólo a nivel local, sino también a nivel de cuenca hídrica.

3) Suelo

Estos residuos contribuyen a la contaminación con materia orgánica, sedimentos, gérmenes patógenos, elementos traza, antibióticos y demás residuos químicos. Una vez depositadas en el suelo, estas sustancias sufren diferentes procesos que dependen del tipo de suelo, clima y tratamiento previo del estiércol. El primer problema es la salinización del suelo, por el incremento de la materia orgánica, además de la proliferación de bacterias y virus que pueden enfermar a los animales o a los trabajadores del lugar, malos olores y crecimiento de colonias de insectos que afectan a los alrededores del feedlot.



Foto Nro. 5: Imposibilidad de los animales para desplazarse dentro de los corrales de un feedlot tradicional.

Fuente: Experiencias de recría y engorde con fuentes secas en autoconsumo. Vittone, J. S.; Munilla, M. E.; Lado, M.; Corne, M.; Ré, A. E.; Biolatto, A.; Galli, I.

7-PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE EXCRETAS EN UN FEEDLOT COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Actualmente las plantas de biogás además de disminuir el impacto negativo de los efluentes, permiten también generar beneficios económicos tangibles a partir de la generación de energía térmica y/o eléctrica y de la producción de bio-fertilizantes. Por su parte, los feedlots son establecimientos aptos para la instalación de estas plantas, debido a la fácil disponibilidad de la materia orgánica que poseen. De esta manera, la bio-digestión ofrece la oportunidad de incluir a las excretas, dentro del ciclo productivo de un establecimiento rural o empresa.



Foto Nro. 6: Planta de biogás instalada en un establecimiento ganadero de San Carlos Tejedor- Buenos Aires. Fuente: Revista Chacra

7.1- Descripción del tratamiento de excretas de un feedlot por bio-digestion

La eficiencia de una planta destinada a la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos generados en un feedlot y a la producción de biogás está sujeta a la adaptación de las instalaciones de este establecimiento y de sus prácticas de recolección y tratamiento del estiércol húmedo. El sistema de gestión de estos residuos debe orientarse a maximizar la recolección y la retención de nutrientes en el estiércol.

Una planta de biogás en un feedlot, deberá incorporar las siguientes instalaciones y/o equipamiento:

- I) Corrales con platea de hormigón
- II) Pileta de recolección
- III) Biodigestor
- IV) Sala de máquinas
- V) Laguna con efluente procesados

I. Corrales con platea de hormigón

Se debe implementar un adecuado sistema de recolección y conducción de las excretas hacia la planta de biodigestión. Para ello resulta necesario la construcción de corrales con platea de hormigón con pendiente hacia una calle central también de hormigón. Este piso permite que el estiércol sea recolectado libre de tierra, piedras u otros elementos inorgánicos que pueden afectar el correcto funcionamiento del digestor. Además, permite una limpieza intensiva de los corrales, incluso con algo de agua, sin riesgo de infiltraciones. Estos pisos de hormigón deberán contener mallas de hierro especiales para resistir el peso de los animales y evitar rajaduras.



Foto Nro. 7: Corrales de engorde de hormigón- Informe de la visita al establecimiento "La Micaela" Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires

Si bien este tipo de estructuras de pisos de hormigón, representan en nuestro país una total innovación, son frecuentemente usados en otras partes del mundo.



Figura N°2: Piso de hormigón armado de alta resistencia para Feedlot. Soporta agentes nocivos, permite la limpieza del piso con facilidad y el escurrimiento de los desechos hacia el piso ranurado, y el arrastre de sólidos y líquidos a un canal debajo de la superficie.

Como dato adicional este tipo de sistemas permite un mejor manejo de excretas, generando un mayor confort animal (no hay barro), mejora la ganancia de peso (acortamiento del tiempo de faena), sin generar problemas de quebraduras de patas.

II-Pileta de recolección:

Una vez que las excretas se depositan en las calles centrales del feedlot, estas deben ser conducidas hacia una pileta de recolección o "cámara de recepción". Este sector es donde se acumularán y acondicionarán las excretas para su posterior carga al digestor. La misma debe contar con un equipo para una correcta agitación y homogenización de las excretas y otro equipo de bombeo para el ingreso de las mismas al digestor.



Foto N° 8: Cámara de recepción- Informe de la visita al establecimiento "La Micaela" Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires.

Debe tenerse en cuenta que los desechos se incorporan al biodigestor diluidos en agua hasta alcanzar una concentración adecuada para una fácil digestión por las bacterias anaeróbicas. Es recomendable una relación de mezcla 1:3 (una parte excretas y tres de agua). En realidad, se busca obtener un sustrato con un 10-13 % de MS.

De esta manera, al diluir la mezcla de excretas, se evitarían zonas muertas o de atascamiento dentro del digestor, debidas al exceso de materia sólida. Por lo tanto, la disponibilidad de agua es un factor a tener en cuenta y la cantidad a agregar dependerá principalmente de la cantidad de sólidos totales de las excretas y del tipo de carga, es decir, si se opera con cargas diarias (semi continuas) o con sistemas estacionarios (discontinuos o batch).

III- Biodigestor:

La conversión de residuos en energía se lleva a cabo mediante un complejo proceso de degradación o descomposición donde la materia orgánica experimenta tres o cuatro fermentaciones consecutivas. Sin embargo, a pesar de esta complejidad, existe un sinergismo interno, donde varios grupos de microorganismos se ayudan entre sí para producir gas metano. Estos procesos se llevan a cabo dentro de reactores o biodigestores.

IV-Sala de maquinas

Dependiendo de las posibilidades del productor, el biogás puede ser utilizado para generación de energía eléctrica y calefacción, pero antes se debe someter al gas a un proceso de acondicionamiento o purificación utilizando la maquinaria pertinente. Las dos razones más importantes por las cuales se realizan estos tratamientos de purificación son: aumentar el poder calorífico del gas y cumplir con los requerimientos de algunas aplicaciones del biogás (en motores, turbinas, etc.). Algunos de estos tratamientos son los siguientes: filtro de ácido sulfhídrico, filtro de condensados, eliminación de CO₂, remoción de agua, desulfuración.

V-Laguna con efluente procesado:

El bio-fertilizante obtenido en el digestor se almacena en lagunas o piletas de descargas. Las mismas deben ser construidas utilizando membranas de polietileno a modo de impermeabilizar el suelo y protegerlo de posibles filtraciones. Es importante remarcar que este bio-fertilizante además de tener una menor carga orgánica gracias al proceso de digestión, queda prácticamente inodoro, conservando la mayoría de los nutrientes que se devolverán posteriormente al suelo en forma de fertilizante orgánico.

8- GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DE BIOENERGIAS

En los últimos años, se ha observado en el sector agropecuario un cambio de paradigma: se ha dejado de considerar a los efluentes y residuos pecuarios como un "problema", sino como un "recurso natural y disponible" gracias a la misma actividad. Es decir, se ha comenzado a valorar el enorme potencial energético de estos residuos, el cual debe ser aprovechado para el abastecimiento eléctrico de zonas rurales o de regiones aisladas.

Por otro lado, en un contexto mundial de restricción energética, resulta necesario cambiar la composición de nuestra matriz energética. Bajo este contexto, Argentina promulga en el año 2015, la Ley 27.191 para el fomento de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Esta Ley declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público, como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad (Gustavo Gil (INTI)). Esta ley tiene por principal objetivo la contribución de fuentes de energía renovables hasta alcanzar el 8% del consumo de energía eléctrica nacional para el 2018 y el 20% para el 2025.

8.1 Políticas de fomento para la generación de energía eléctrica a partir de bioenergías: programa renovAr

Para lograr los objetivos establecidos en la ley Nro. 27.191, el gobierno nacional lanza en julio de 2016 el programa **RenovAr**. Este programa comprende licitaciones públicas periódicas en las que las distintas empresas presentan sus proyectos de inversión y el precio al cual están dispuestos a vender su capacidad, y CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico) es la encargada de regular los contratos a largo plazo (PPA).

En la primera ronda licitadora de este programa, "RenovAr1", se ofreció un cupo de 1000 MW (mega watts) de potencia distribuidos en distintas tecnologías renovables: eólica, solar-fotovoltaica, biomasa, y biogás. El total de las ofertas recibidas superaron los 6200 MW y se adjudicaron finalmente 29 proyectos que comprenden un total de 1143 MW de potencia. Del total de estos proyectos, solo 6 pertenecen a desarrollos

de biogás representando 9 MW es decir un 0,78% de la potencia total adjudicada en esta ronda. La potencia de los proyectos adjudicados, varió desde 1,2 MW hasta 1,62 MW.

En la segunda ronda, “**RenovAr 1.5**”, se licitaron 1281,5 MW, pero no se adjudicó potencia alguna para la categoría de BIOGAS.

En la siguiente ronda, “**RenovAr 2**”, se mejoraron las condiciones y los objetivos para los desarrollos que utilizaran biogás; se amplió la potencia licitada, se re-categorizaron los proyectos como: Biogás (BG) y Biogás de relleno sanitario (BRS) y se incluyeron las potencias máximas (10 MW) y mínimas (0,5 MW) permitidas para los proyectos. Esta segunda ronda “Renovar 2”, se llevó a cabo en dos fases:

- 1) Fase I (RenovAr 2): se ofrecieron 1200 MW totales, asignándose 35 MW para BG y 15 MW para BRS. El resultado fue la adjudicación de 1408,7 MW totales, de los cuales 48,12 MW fueron asignados para biogás distribuyéndose en 23 proyectos (3 de BRS) y representando un 3,41% de la potencia total licitada en la fase.
- 2) Fase II (RenovAr 2.5): el Ministerio de Energía y Minería convocó a los proyectos que perdieron en la Ronda 2 por un acotado margen de precios, a readecuar sus ofertas. Se licitaron finalmente un total de 634,3 MW de los cuales biogás ocupó 21,2 MW de potencia distribuidos en 11 proyectos, representando el 3.34% de toda la potencia adjudicada en esta ronda.

En total el plan Renovar lleva adjudicados hasta diciembre de 2018, 37 proyectos de biogás que representan 1,75% de la potencia total licitada:

| RENOVAR | PROYECTOS BIOGAS ADJUDICADOS | POTENCIA BIOGAS | POTENCIA TOTAL ADJUDICADA | POTENCIA EN BIOGAS (%) |
|--------------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|
| RONDA 1 | 6 | 8,6 MW | 1142 MW | 0,75 |
| RONDA 1.5 | 0 | 0 | 1281,5 MW | 0 |
| RONDA 2 | 31 | 56,2 MW | 2043 MW | 2,75 |
| TOTAL | 37 | 78,32 MW | 4466,5 MW | 1,75 |

Cuadro Nro. 3: licitaciones del programa RenovAr

Actualmente se encuentra en licitación la tercera ronda del plan RenovAr llamada “**MiniRen**”, que, a diferencia de las anteriores, está destinada a proyectos de menor envergadura que deberán conectarse a redes de media tensión y solo serán licitados un total de 400 MW. Esta particularidad se debe a que las redes de alta tensión se encuentran limitadas en cuanto a su capacidad de despacho. De esta manera se busca incluir pequeños proyectos favoreciendo a las economías regionales. Del total a licitar 350 MW estarán destinados a energía eólica o fotovoltaica, 10 MW para Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos, 25 MW para Biomasa, 10 MW para Biogás y 5 MW para relleno sanitario. La potencia máxima permitida para cada proyecto será de 10 MW, mientras que la mínima permitida será de 0,5 MW.

8.2 Beneficios económicos del programa renovar:

En general, el precio ofertado para biogás, se mantiene sin grandes variaciones desde la Ronda1, con algunos incentivos para proyectos menores:

| TECNOLOGIA | EOLICA | SOLAR FOTOVOLTAICA | BIOMASA | BIOGAS | BIOGAS DE RELLENO SANITARIO | PAH |
|--|---------------|---------------------------|----------------|----------------|------------------------------------|------------|
| RenovAr 1 (USD/MWh) | 59 | 60 | 110 | 153 | - | 105 |
| RenovAr 1.5 (USD/MWh) | 53 | 54 | - | - | - | - |
| RenovAr 2 USD/MWh | 56,25 | 57,04 | 110 | 160,6 | 130 | 105 |
| Valores de referencia p/inversiones (US\$/MW) | 1.400.000 | 850.000 | 3.000.000 | 5.500.000 | 2.500.000 | 3.000.000 |
| Cupo Máximo de Beneficios Fiscales (US\$/MW) | 700.000 | 425.000 | 1.500.000 | 2.750.000 | 1.250.000 | 1.500.000 |

Cuadro Nro. 4: Beneficios económicos del programa RenovAr. Fuente: Ministerio de Energía y Minería.

También se puede observar que la tecnología de biogás es la mejor paga del programa RenovAr debido a las grandes inversiones que requieren los proyectos en comparación con el resto de las tecnologías. Esto puede observarse en los valores de referencias de inversión para cada una de las categorías.

Por otro lado, si bien los adjudicatarios deben presentar garantías de cumplimiento de contrato de abastecimiento por cada MW generado, cabe destacar que el éxito del programa **RenovAr**, se debe en gran parte a los beneficios fiscales con los que contarán los proyectos como ser:

- Depreciación acelerada de bienes
- Devolución anticipada de IVA
- Certificados de créditos fiscales equivalentes al 20% del monto de compras del componente nacional del proyecto
- Desgravación de impuestos a las importaciones

Además, mediante el decreto 882/2016 las inversiones de los proyectos quedan protegidas ante un posible incumplimiento por parte del comprador, mediante garantías emitidas por el fondo FODER (fondo fiduciario creado por la Ley 27191). Si por alguna razón el fondo FODER no pudiera disponer de fondos necesarios para saldar la deuda, será entonces el Ministerio de Hacienda el que asegure la reposición de fondos. Si aun así no se constituyen los fondos necesarios porque el Ministerio de Hacienda incumple en su compromiso, se disparará la garantía del Banco Mundial.

Todos estos beneficios consolidan al plan RenovAr como una gran oportunidad para insertar las energías renovables en nuestro país, diversificando la matriz energética y descentralizando la generación de energía eléctrica.

8.3 Proyectos adjudicados por renovar para la generación de biogás

A continuación, se detallan algunos de los proyectos adjudicados que utilizan como sustrato residuos agropecuarios:

| RenovAr | Nombre del Proyecto | Potencia adjudicada (MW) | Provincia | Sustrato |
|--------------------|------------------------|--------------------------|--------------|--|
| Ronda 1 | C.T.Río Cuarto I | 2,00 | Córdoba | Estiércol y desecho de maíz |
| | C.T.Río Cuarto II | 1,20 | Córdoba | Estiércol, vinaza y silo de maíz |
| | C.T. Yanquetruz I | 1,20 | San Luis | Estiércol de cerdo |
| | C.T.San Pedro Verde | 1,42 | Santa Fe | Efluentes de tambo |
| Ronda 2 | C.T Bombal Biogás | 1,2 | Santa Fe | Estiércol animal, más restos de la industria de aceite |
| | C.T.Arrebeef Energía | 1,5 | Buenos Aires | Residuos de faena de planta Vacuna |
| | Pollos San Mateo | 2,4 | Córdoba | Residuos de planta de faena de pollos, purines, estiércol bovino. |
| | C.T. James Craik | 2,4 | Córdoba | Gallinaza, purines varios, restos de aceite vegetal y animal, restos de frutas y verduras, mas residuos de poda. |
| | C.T.Recreo | 2,4 | Santa Fe | |
| | C.T. San Francisco | 2,4 | Córdoba | |
| | C.T. Bella Italia | 2,4 | Santa Fe | |
| | C.T.Pacuca Bio Energía | 1,0 | Buenos Aires | Purín de cerdo |
| | C.T.Yaquetruz II | 0,8 | San Luis | Purín de cerdo más forraje de maíz |
| | C.T.Pergamino | 2,4 | Buenos Aires | Marlo y chala , guano de ave ponedora y suero láctico. |
| C.T. Venado Tuerto | 2,0 | Santa Fe | | |

Cuadro Nro. 5: Proyectos de biodigestion adjudicados por el programa RenovAr.

Cabe destacar que actualmente, solo se encuentran en operación comercial las plantas de biogás pertenecientes al proyecto de C.T. Río Cuarto I en la provincia de Córdoba que utiliza como sustrato estiércoles y desechos de maíz, C.T. Yanquetruz I con purines de cerdo en la provincia de San Luis y C.T. San Pedro Verde con efluentes de tambo en la provincia de Santa Fe.

9-ANTECEDENTES:

Establecimiento “La Micaela”. Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires

Cada día, 500 vacunos producen 13,5 tn de estiércol, que son recolectadas en un biodigestor para generar 800 m³ diarios de biogás. Ese combustible se transformará en energía eléctrica y se venderá a la red local. El establecimiento cuenta con corrales de engorde tradicionales de tierra (20 m²/animal) y con 4 corrales con piso de hormigón (3 m²/animal) que presentan una pendiente hacia una calle central también de hormigón. El estiércol que se genera en éstos corrales es el que se aprovecha para la generación de biogás y

biofertilizantes (INTA- Informe de la visita al establecimiento "La Micaela" Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires). Se estima que en pleno funcionamiento podría aportar entre un 5% y 6% de la energía que se consume en la ciudad de Carlos Tejedor (Bs As) y el ámbito rural aledaño.

El proyecto cuenta con cuatro patas sobre las que se apoya: la producción de carne, la generación de energía, el biofertilizante y el manejo de los efluentes con bajo a nulo impacto ambiental. Este proyecto es realizado por la empresa Biogás Argentina.



Foto Nro. 9: Corrales de engorde de hormigón. Fuente: INTA- Informe de la visita al establecimiento "La Micaela" Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires



Foto Nro. 10: Barrido de efluentes hacia la cámara de recepción. Foto Nro. 12: Vista del digester con el sistema de agitación y ventilador de aire para membranas. Fuente: INTA- Informe de la visita al establecimiento "La Micaela" Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires

Planta de generación de biogás "Yanquetruz"

La planta de biogás Yanquetruz, se encuentra instalada en la provincia de San Luis y constituye el segundo proyecto que comenzó a entregar energía en el marco de las adjudicaciones concretadas en la primera ronda del Programa RenovAr.

Yanquetruz es el resultado de un proyecto de producción porcina desarrollado por ACA (Asociación de Cooperativas Argentinas) que reúne a 160 cooperativas con 50.000 productores de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa.

En principio, el emprendimiento solo fue evaluado para la instalación de un criadero modelo con el status sanitario más elevado ubicado en una zona libre de mico plasma y peste porcina pero carente de energía eléctrica, lo que limitaba el desarrollo agroindustrial del establecimiento. Se planea que en un futuro, Yanquetruz, albergue 5.200 cerdas madres y una población total del orden de 74.000 animales, con destino a abastecer el frigorífico Alimentos Magros S.A., que también pertenece al movimiento cooperativo. Cabe mencionar que en este establecimiento, además, ACA realiza la producción de híbridos de maíz que comercializa en el resto del país.

La central Yanquetruz cuenta con cuatro biodigestores que operan con estiércol de cerdos y forraje de maíz, produciendo 1,2 megavatios para el Sistema Integrado Nacional. La empresa que llevó adelante el proyecto es de origen nacional: TECNORED CONSULTORES SA. (Fuente: VIA Renovable. Noticias sobre energía renovables).



Foto Nro. 13: Planta de Biogás, establecimiento Yenketruz. Fuente: VIA Renovable. Noticias sobre energía renovables.

10-ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS

Con el fin de analizar la capacidad de producción de biogás a partir de excretas de un feedlot, esta sección pretende cuantificar el tamaño de los establecimientos instalados en nuestro país. Con esta información, suministrada por SENASA, se busca estudiar según el número de cabezas la viabilidad o no de la instalación de plantas de biogás. Cabe aclarar que la estimación de la capacidad de producción de biogás de un feedlot se realizará mediante un cálculo teórico usando como dato el volumen de excretas animales.

10.1 Caracterización de la actividad del feedlot en la argentina

En argentina este sector productivo adquirió en los últimos años, un dinamismo importante aumentando el registro de número de establecimientos y mostrando una tendencia a descentralizar la producción de carne. Geográficamente han proliferado los engordes a corral en la región pampeana, con expansión hacia las regiones extra-pampeanas, en particular el nor-oeste argentino, siguiendo la expansión de la producción de granos y de sub-productos. El mapa con la distribución de animales en confinamiento suministrado por SENASA permite advertir la distribución de bovinos en nuestro país.

Esto queda reflejado por SENASA en su informe de **"Actualización de Estadísticas de establecimientos dedicados a la actividad engorde a corral (EC)"** publicado en el año 2008 donde se informa un total de 1.623.807 existencias distribuidas en 1420 establecimientos. En el mismo informe de estadísticas, pero en la actualización de junio de 2013 se reporta un total de 1.245.437 existencias de bovinos en el país, pero distribuidas en 1.679 establecimientos. Es decir, que se registran 259 establecimientos nuevos en el año 2013, instalados en provincias típicamente ganaderas como Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, pero también en regiones sin antecedentes en cuanto a la producción de carnes: tales como Chaco, Entre Ríos, la Rioja, Neuquén, Salta, y Tucumán.

En cuanto al tamaño o capacidad de estos establecimientos de engorde a corral son muy variados. En su informe estadístico del año 2013, SENASA da a conocer los siguientes datos:

| % Estratificación de establecimientos de EC-Junio 2013 | | | | |
|---|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Bovinos por Establecimientos | Establecimientos | Existencias | Establecimientos | Existencias |
| Hasta 500 | 1.153 | 139.672 | 68,67 % | 11,21 % |
| Entre 501 y 1000 | 219 | 157.695 | 13,04 % | 12,66 % |
| Entre 1.001 y 2.500 | 200 | 305.872 | 11,91 % | 24,56 % |
| Entre 2.501 y 5.000 | 68 | 233.019 | 4,05 % | 18,71 % |
| Entre 5.001 y 10.000 | 28 | 185.870 | 1,67 % | 14,92 % |
| Más de 10.000 | 11 | 223.309 | 0,66 % | 17,93 % |
| Totales | 1679 | 1.245.437 | 100 % | 100 % |

Cuadro Nro. 6: % Estratificación de establecimientos de EC-junio 2013. Fuente: Sistema de Gestión Sanitaria- Coordinación General de Campo-Dirección Nacional de Sanidad Animal

Es decir que alrededor del 70% de los establecimientos poseen cantidades inferiores a las 500 cabezas, pero estas cabezas solo representan un 11% de las existencias totales. Como se puede observar en la tabla, la mayor proporción de las existencias se engordan en establecimientos con capacidades de engorde superiores a las 1000 cabezas.

10.2 Análisis de pre factibilidad de implementación de la tecnología de biodigestión en función del número de cabezas

Uno de los objetivos de este trabajo es la de estimar la producción de biogás en feedlots de manera de analizar la pre-factibilidad de aplicación de la tecnología de bio-digestión para la obtención de energía eléctrica en estos establecimientos.

Estimación del potencial de producción de biogás a partir de excretas vacunas

En Argentina la mayor parte de las existencias bovinas en sistemas de confinamiento están constituidas por vacas y vaquillonas que llegan a pesar entre 320 a 400 kg finales. Para la estimación de la capacidad de producción de biogás de estos sistemas, se considerará un peso final promedio de 320 kg por animal y una disponibilidad de 22,4 kg de estiércol húmedo diario por animal. Además, se aplica una tasa de recolección de excretas del 95% suponiendo la implementación de pisos de hormigón armado. Esta estimación se puede realizar considerando los siguientes parámetros:

Generación de excretas:

Peso de animales a la entrada del corral (kg) = 150-200

Engorde por animal (kg/ día) = 1 – 1,3

Cantidad de días por ciclo (días) = 100-130

Peso final (kg) = 320-400

Densidad excreta solida (kg/ m³) = 800

Producción de estiércol (% PV) = 6-8

Materia seca (%) = 8

Humedad (%)= 85

Solidos Volátiles (% SV/MS) = 80

Parámetros de operación del biodigestor:

Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)= 30 días.

Temperatura ambiente= 20°C.

Litros agua por kg excreta solida= 3 litros

Biogás:

m³ Biogás / Tn Solidos Volátiles = 350*

% CH₄ = 60

1 m³ de Biogás = 1,85-2,2 kWh eléctrico

*Producción de Biogás Estimada de 350 m³ Biogás por Tn Sólidos Volátiles en masa seca, dato extraído de PROBIOMASA-UTF/ARG/20/ARG – "Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa 2017".

Teniendo en cuenta las condiciones antes mencionadas se puede estimar la producción de biogás:

| Capacidad (Nro. de cabezas) | ExH (kg /día) | ExH recolec. (kg/día) | ExS recolec. (kg/día) | SV (kg/día) | SV (Tn/día) | Biogás (m ³ /día) |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------------------|
| 100 | 2240,0 | 2128,0 | 170,2 | 136,2 | 0,1 | 47,7 |
| 500 | 11200,0 | 10640,0 | 851,2 | 681,0 | 0,7 | 238,3 |
| 1.000 | 22400,0 | 21280,0 | 1702,4 | 1361,9 | 1,4 | 476,7 |
| 1.500 | 33600,0 | 31920,0 | 2553,6 | 2042,9 | 2,0 | 715,0 |
| 2.000 | 44800,0 | 42560,0 | 3404,8 | 2723,8 | 2,7 | 953,3 |
| 2.500 | 56000,0 | 53200,0 | 4256,0 | 3404,8 | 3,4 | 1191,7 |
| 5.000 | 112000,0 | 106400,0 | 8512,0 | 6809,6 | 6,8 | 2383,4 |
| 10.000 | 224000,0 | 212800,0 | 17024,0 | 13619,2 | 13,6 | 4766,7 |
| 15.000 | 336000,0 | 319200,0 | 25536,0 | 20428,8 | 20,4 | 7150,1 |

Cuadro Nro. 7: Estimación del potencial de producción de biogás a partir de excretas vacunas.

Según estudios del INTA, para el caso de motores de 1 MW de capacidad, la eficiencia aproximada es del 40 % en la transformación de energía térmica en electricidad. Por lo tanto, si se alimenta un motor generador con biogás que contenga un 50-60 % de metano, y partiendo de una eficiencia del 40 % en la transformación de energía térmica en electricidad, se obtiene un factor de conversión de 2 kWh de electricidad por cada m³ de biogás (1 m³ de biogás * 50% * 40% * 10 kWh) (Hilbert, 2009). Entonces, usando este factor de conversión, la capacidad de producción de energía eléctrica será:

| Capacidad (Nro. de cabezas) | Biogás (m ³ /día) | Energía Eléctrica (Kw/día) | Energía Eléctrica (Mw/día) |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 100 | 47,7 | 95,3 | 0,095 |
| 500 | 238,3 | 476,7 | 0,477 |
| 1.000 | 476,7 | 953,3 | 0,953 |
| 1.500 | 715,0 | 1430,0 | 1,430 |
| 2.000 | 953,3 | 1906,7 | 1,907 |
| 2.500 | 1191,7 | 2383,4 | 2,383 |
| 5.000 | 2383,4 | 4766,7 | 4,767 |
| 10.000 | 4766,7 | 9533,4 | 9,533 |
| 15.000 | 7150,1 | 14300,2 | 14,300 |

Cuadro Nro. 8: Estimación de producción de energía eléctrica

Al mismo tiempo se produce una gran disipación de energía térmica, que en parte podría ser empleada en el mantenimiento de la temperatura de fermentación dentro del digestor. Por otro lado, se dejaría de arrojar a la atmósfera el metano contenido en el biogás (considerando 50-60% en volumen de CH₄). La reducción estimada de emisiones anuales podría comercializarse o negociarse con algún país interesado mediante el mecanismo de desarrollo limpio.

Teniendo en cuenta la última licitación de RenovAr 2, donde se estableció un valor de referencia para inversiones de biogás en 5.500.000 (US\$/MW), podemos obtener una estimación de la inversión y los ingresos por el pago de generación de energía eléctrica en función del número de cabezas:

| Capacidad (Nro. de cabezas) | Energía Eléctrica (Mw/día) | BENEFICIOS (160 US\$/MWh) | INVERSION (5.500.000 USD/MWh) |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 100 | 0,09 | 5.568 | 21.847 |
| 500 | 0,47 | 27.838 | 109.237 |
| 1.000 | 0,95 | 55.675 | 218.475 |
| 1.500 | 1,43 | 83.513 | 327.712 |
| 2.000 | 1,90 | 111.351 | 436.949 |
| 2.500 | 2,38 | 139.188 | 546.187 |
| 5.000 | 4,76 | 278.376 | 1.092.373 |
| 10.000 | 9,53 | 556.753 | 2.184.747 |
| 15.000 | 14,30 | 835.129 | 3.277.120 |

Cuadro Nro. 9: “Estimación de la inversión y los beneficios por el pago de generación de energía eléctrica en función del número de cabezas (se asume el valor promedio, de la licitación de 160 USD/MWh).

La inversión para la puesta en marcha del biodigestor incluye la compra de bienes de capital: equipos de alimentación, bombas, equipos de agitación, separador de sólidos, etc.; así como también la realización de obras civiles necesarias para la instalación y el funcionamiento de la misma.

10.3 Otros beneficios obtenidos a partir de la generación de biogás

I) Ahorro de Emisiones de Toneladas de Carbono Equivalente Anuales

El metano tiene un potencial de calentamiento global 21 veces mayor que el del dióxido de carbono (convencionalmente tomado como la unidad). Esto significa que la reducción de la emisión de una tonelada de metano equivale a 21 toneladas de CO₂ abatidas. De esta forma, en el siguiente cuadro se estima la cantidad de CO₂ equivalente de metano que se estaría evitando de enviar a la atmósfera produciéndose biogás en instalaciones de producción intensiva como la de un feedlot, obteniendo como resultado 4.301.170 toneladas de carbono equivalente anuales.

| Cálculo del ahorro de Emisiones de Toneladas de Carbono Equivalente anuales | |
|--|--------------|
| Existencias * | 1.245.437 |
| Disponibilidad de estiércol (TN Ex.H /día)** | 27.897,8 |
| Capacidad de producción de biogás (m ³ /día) | 624.910,56 |
| Capacidad de producción de biogás (m ³ /año) | 228.092.354 |
| m ³ Metano | 136.855.413 |
| Toneladas de Metano | 90.324.572,3 |
| Toneladas de Carbono Equivalente | 4.301.170 |

*Fuente : Actualización de Estadísticas de establecimientos dedicados a la actividad engorde a corral (EC)”. Sistema de Gestión Sanitaria- Coordinación General de Campo-Dirección Nacional de Sanidad Animal

**** TN Ex.H /día: Tonelada de excreta húmeda por día.**

***** Densidad metano=0,66kg/m3**

II) Biofertilizantes:

Uno de los beneficios extra de la digestión anaeróbica son los biofertilizantes generados en la fermentación. Los ahorros que se pueden obtener a partir de estos, están directamente relacionados con el reemplazo de los mismos por los fertilizantes químicos que se utilizan para la producción de granos, que pueden ser destinados a alimentación de bovinos en feedlot o vendidos al mercado propio (local o de exportación). Estos representan la mayor parte de los gastos operativos para la producción de granos, y aportan los nutrientes que el suelo necesita para que luego el cultivo se desarrolle de la mejor manera y así obtener altos rendimientos de cosecha. El lodo producto de la digestión anaeróbica se pueden observar dos fases: "biol" y "biosol", a continuación, se presentan brevemente sus principales características:

Biol : fertilizante líquido

- Es la fracción líquida del "fango".
- Posee una alta disponibilidad de nutrientes para la planta.
- Es rico en hormonas vegetales promotoras y fortalecedoras del crecimiento (disminuye requerimientos nutricionales de las plantas).
- Permite un mejor intercambio catiónico en el suelo.
- Puede aplicarse por rociado.
- Se puede aplicar con el agua de riego.
- Fuente de fitorreguladores, por lo que sirve para: enraizamiento, acción sobre el follaje y poder germinativo
- Aplicación General del Biol: Papa, Algodón, Uva, Maíz, Esparrago, Fresa.

Biosol : fertilizante sólido similar al compost

- Es la fracción sólida del "fango".
- Se puede emplear solo o en conjunto con compost o fertilizantes sintéticos.
- Aplicación General del Biosol: se puede usar como el compost comercial o incorporar al suelo antes de la siembra (prof.: 10-20 cm).
- Ventajas del Uso del Biosol: mejora la calidad del suelo y permite un uso intensivo del mismo. Mejora la estructura de los suelos arenosos. Mejora la retención de la humedad, favoreciendo la actividad biológica. Mejora la porosidad. Reduce la necesidad del abono.

| Nutrientes (%) | Biol | Biosol |
|----------------|-------|--------|
| P | 0,043 | 0,7 |
| N | 0,263 | 2,7 |
| K | 0,266 | 2,3 |
| Ca | 0,105 | 2,5 |

Cuadro Nro. 10: Composiciones del biol y del biosol

Se puede observar que el biosol tiene mucha mayor concentración de nutrientes que el biol, pero a su vez la cantidad producida utilizando estiércol de vaca como sustrato es mucho menor: 3% de biosol contra un 97% de biol para la mayoría de los casos.

11.CONCLUSION

Los residuos orgánicos que se producen en los feedlots representan un problema económico y ambiental para el sector por su volumen, concentración, y la falta de alternativas para su disposición final. La digestión anaeróbica representa una solución técnicamente viable y sustentable para realizar el tratamiento de estos y obtener grandes beneficios como la generación de energía eléctrica o térmica y producción de bio-fertilizantes; además de una serie de ventajas medioambientales como la disminución de emisión de gases de efecto invernadero y del riesgo higiénico – sanitario que genera la actividad de un feedlot.

En este trabajo, se muestra un análisis de pre-factibilidad técnica de la aplicación de la tecnología de digestión anaeróbica como mecanismo de tratamiento de estiércoles en un feedlot y la posterior generación de energía eléctrica para la venta a la red. El estudio muestra que solo es factible para establecimientos productivos de gran tamaño, mayores a las 10.000 existencias o cabezas de ganado. Específicamente un feedlot de 15.000 cabezas (suponiendo una ocupación del cien por ciento) posee un potencial de producción de biogás de 7150,1 m³/día lo que se traduce en una producción de energía eléctrica de 14,30 MW/día, superando apenas la potencia mínima de 0,5 MW establecida por el programa RenovAr 2 para la generación de energía eléctrica. Económicamente hablando, la instalación de una planta de biogás para un feedlot de esta capacidad representa una inversión aproximada de US\$ 3.277.120 y un ingreso anual por la venta de energía eléctrica de US\$ 835.129 al año. Esto último podría incrementarse si el bio-fertilizante obtenido en la digestión tuviera valor comercial en nuestro país. Para que esto suceda, se necesita del desarrollo de programas de gestión estandarizados para la aplicación controlada de estos bio-fertilizantes, además de las modificaciones en las normas ambientales provinciales y permisos de SENASA.

Además, del análisis de los datos suministrados por SENASA, se puede observar que el tamaño de los establecimientos de engorde a corral si bien son muy variados, solo el 17 por ciento de las existencias totales o cabezas de ganado vacuno se engordan en establecimientos con capacidades mayores a 10.000 cabezas. Pero no obstante esto, la aplicación de esta tecnología también podría extenderse a establecimientos medianos o pequeños mediante la implementación de la co-digestión de distintos sustratos aumentando considerablemente los rendimientos en la digestión anaeróbica y con ello la eficiencia del proceso.

También resulta importante remarcar que la aplicación de esta tecnología en este sector agropecuario, representa un gran desafío, en la medida que la eficiencia de todo el proceso depende de la capacidad del establecimiento para recolectar de los corrales el estiércol húmedo y trasladarlo cotidianamente al biodigestor, sin agregados inorgánicos. Para poder llevar esto a cabo, los feedlots deben modificar principalmente sus instalaciones y algunas prácticas de organización y rutinas de limpieza. Ambas adecuaciones demandan importantes inversiones en la infraestructura del establecimiento y en capital circulante, ya que el número de trabajadores, vehículos y combustible destinado a la limpieza de los corrales aumenta exponencialmente (Economía y organización de proyectos de generación de bioenergía en feedlots en Argentina - María Eugenia Castelao Caruana –CONICET).

Actualmente ya son varios los establecimientos que apuestan a la integración de los residuos pecuarios dentro de su cadena productiva, generando no solo beneficios ambientales sino también un autoabastecimiento energético que conlleva al desarrollo a regiones aisladas, facilitando la instalación de industrias o empresas agroindustriales a partir de la posibilidad de abastecer sus requerimientos energéticos. También es oportuno destacar que el país vislumbra una gran evolución en materia de legislaciones y políticas de incentivos para el desarrollo de fuentes de energía renovables. En este marco, gracias al programa RenovAr se han adjudicado 37 proyectos para la generación de biogás con distintos tipos de sustratos agroindustriales que implican una potencia de 78,32 MW es decir un 1,75% de la potencia total adjudicada.

En conclusión, la generación de bioenergía a partir de la biomasa residual del sector agropecuario va ganando protagonismo en nuestro país. Estos residuos, constituyen actualmente una fuente de biomasa de gran potencial energético debido a su disponibilidad. El cambio de paradigma al considerar estos residuos como recursos naturales y la posibilidad de un aprovechamiento sustentable de los mismos, representa una gran oportunidad capaz de impulsar al país en su pasaje de una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en las bioenergías.

BIOBLOGRAFIA:

-Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MWel con una planta de biogas de alta eficiencia Dr. Steffen Gruber Ing. Jorge A Hilbert Lic. Sebastian Sheimberg. INTA.

-Gestión ambiental de un feedlot. Guía de buenas prácticas. Aníbal J. Pordomingo. INTA Anguil. La Pampa Argentina 2003.

-Oportunidades del sector agropecuario y agroindustrial argentino para la generación de bioenergía en origen disponible en [www.produccion-animal.com.ar/Ing. Agr. Marcos Bragachini 1, Ing. Agr. Diego Mathier 1, Ing. Agr. José Méndez 2, Ing. Agr. \(M.Sc.\) Mario Bragachini 3, Ing. Agr. Alejandro Saavedra 4.](http://www.produccion-animal.com.ar/Ing_Agr_Marcos_Bragachini_1_Ing_Agr_Diego_Mathier_1_Ing_Agr_José_Méndez_2_Ing_Agr_(M.Sc.)_Mario_Bragachini_3_Ing_Agr_Alejandro_Saavedra_4)

-Caracterización de establecimientos de engorde a corral Octubre 2007 – Septiembre 2008 Responsable: Lic. Gustavo Rodríguez Vázquez Participantes: Lic. Gastón Dana Lic. Gustavo Rodríguez Vázquez Cr. Pub. Luciano Zarich Área - Gestión de Información – Coordinación General de Campo – Dirección Nacional de Sanidad Animal Barra, F. (2011).

-Recomendaciones para el diseño de un feedlot. Aspectos básicos por considerar en la instalación y manejo de corrales” Revista CREA, 365. Betts Liebrand C. y Ling, C. (2009). Cooperative Approaches for Implementation of Dairy Manure Digesters, Research Report 217, USDA.

-Cámara Argentina de Feedlots - CAF (2016). Informe de encierre. Marzo. Disponible en: www.feedlot.com.ar/sitio/wp-content/uploads/Informe-de-Encierre-MARZO-2016.pdf .

-CAF (2017). Esperando el Cambio, Informe Sectorial. Julio. Disponible en: www.feedlot.com.ar/sitio/wp-content/uploads/Inf_CAF_Jul17.pdf Dana, G. (2013). Establecimientos de engorde a corral, 2008- 2013. Dirección de Control de Gestión y Programas Especiales - Dirección Nacional de Sanidad Animal, SENASA.

-INTA (2015). Informe de la visita al establecimiento “La Micaela” Feedlot en Carlos Tejedor, Provincia de Buenos Aires. Disponible en: [inta.gob. ar/documentos/informe-de-la-visita-al-establecimiento-la-micaela](http://inta.gob.ar/documentos/informe-de-la-visita-al-establecimiento-la-micaela).

-Pordomingo, A. (2013). Simposio de Feedlot. Instalaciones en el Feedlot, Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/122-jornadas_CPMVPC.pdf.

-PROBIOMASA(s/d). Biodigestores: Transformar la biomasa en biogás. Disponible en: www.probiomasa.gob.ar/_pdf/06Biodigestores_hojaTecnica.pdf

