



*Universidad Nacional del Nordeste*

*Facultad de Ciencias Agrarias*

**Trabajo Final de Graduación**

**Modalidad “Pasantía”**

**Análisis y evaluación de la producción de  
energías renovables a través del manejo,  
funcionamiento y aplicaciones en el contexto de  
energías renovable.**

**Alumno:** Sand, Ivan Ener

**Asesor:** Ing. Agr. Steger, Evaldo Roberto

**Lugar de realización:** Localidad de Fuhrberg, región de Baja Sajonia,  
Niedersachsen ciudad de Hannover (Alemania).

**Agosto 2014-Agosto 2015**

## **INDICE**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Resumen</b>                                                 | 3  |
| <b>Introducción</b>                                            | 4  |
| <b>Objetivos</b>                                               | 6  |
| <b>Desarrollo</b>                                              | 6  |
| <b><u>Capítulo 1: Engorde de Cerdos en Confinamiento</u></b>   | 11 |
| <b><u>Capítulo 2: Agricultura</u></b>                          | 16 |
| 2.1 Maíz                                                       | 16 |
| 2.2 Centeno                                                    | 21 |
| 2.3 Elaboración del silo de maíz y centeno                     | 25 |
| <b><u>Capítulo 3: Planta de Biogás</u></b>                     | 29 |
| 3.1 Descripción de las instalaciones y procesos                | 29 |
| 3.2 Diseño del biodigestor                                     | 32 |
| 3.3 Tipos de alimentación                                      | 36 |
| 3.4 Factores que afectan a la producción de gas                | 40 |
| 3.5 Almacenamiento de residuos de fermentación y esparcimiento | 46 |
| 3.6 Almacenamiento del gas                                     | 50 |
| 3.7 Extracción del calor                                       | 54 |
| 3.8 Parámetros para monitorizar el proceso biológico           | 55 |
| 3.9 Peligro de incendio y explosión                            | 56 |
| 3.10 Protección ambiental                                      | 57 |
| <b>Comentarios finales</b>                                     | 61 |
| <b>Referencias bibliográficas</b>                              | 62 |
| <b>Agradecimientos</b>                                         | 62 |

## RESUMEN

Este trabajo de graduación, para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, se realizó en la empresa agropecuaria del Sr. Hermann Wöhler, ubicada en la localidad de Fuhrberg, estado de Baja Sajonia (cuya capital es Hannover), Alemania<sup>1</sup>, durante el período agosto 2014 a agosto 2015.

Dicho establecimiento se dedica al engorde de cerdos, con una capacidad total de 1.700 animales alimentados a base de balanceado. Para disminuir el impacto ambiental de los desechos animales, el estiércol se utiliza como sustrato en la planta de biogás, ubicada en el mismo predio. Los digestatos (residuos de la fermentación) se distribuyen luego en el campo como bio fertilizante para el cultivo agrícola. Como resultado de la fermentación se obtiene biogás, el cual luego de ser tratado convenientemente es utilizado como combustible en motores especiales para la generación de energía eléctrica que se inyecta en la red urbana. El agua de refrigeración de los motores generadores de nergia electrica se utiliza para mantener una temperatura contante en el establecimiento y en el biodigestor.

En el siguiente trabajo se describen las actividades realizadas tanto en el establecimiento de engorde de cerdos como en el campo, donde se cultiva maíz y centeno para realizar silo y utilizarlo posteriormente en el biodigestor como sustrato energético (Capítulo 1).

En el capítulo 2 se describen los trabajos realizados en el cultivo de maíz y centeno y los cuidados a tener en cuenta para la elaboración y conservación durante el proceso de ensilado, que luego será utilizado como sustrato en la biodigestión.

Finalmente en el capítulo 3 se hace una descripción del diseño y las instalaciones de la Planta de Biogás, los procesos para la generación de biogás y los factores que lo afectan; usos del mismo para la generación de energía eléctrica y la utilización del digestato como biofertilizantes en los campos de cultivo de maíz y centeno.

---

<sup>1</sup> Ubicación geográfica del establecimiento: 52.577405, 9.840657

## INTRODUCCIÓN

Las Energías Renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado.

Las principales formas de energía renovables que existen son la biomasa, la hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas.

La energía renovable proviene directa o indirectamente del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas.<sup>2</sup>

La bioenergía es generada por los biocombustibles los cuales son combustibles renovables de origen biológico, tales como la leña, el carbón, el abono animal, el biogás, el hidrogeno, el bioalcohol, la biomasa microbiana, los desechos y derivados agrícolas, los cultivos energéticos y otros.<sup>3</sup>

La creciente preocupación por el cambio climático global y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero incrementan el interés en la bioenergía. Tal como lo demuestra el Protocolo de Kioto, muchos países parecen estar dispuestos a tomar medidas para reducir sus emisiones, pese al costo económico asociado.

A diferencia del petróleo, la biomasa puede ser producida casi en cualquier país. La bioenergía representa ya casi el 10 % de total de suministro de energía mundial, el 33 % de la energía es utilizada en países en desarrollo, pero solo el 3 % en países industrializados. La biomasa representa más del 60 % del uso de la energía final en África, 34 % en Asia y el 25 % en Latinoamérica.

Los biocombustibles líquidos como el bioetanol, que sustituyo el 40 % de la gasolina utilizada en Brasil, pero solo el 3 % en Estados Unidos. La Unión Europea, especialmente Alemania y Francia son la mayor productora de biodisel, con el 88 % de la producción global, siendo la colza es la materia prima.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Energías renovables y eficiencia energética

<sup>3</sup> [www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0055.htm](http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0055.htm)

<sup>4</sup> Bioenergía y agricultura: Promesas y retos

La mayoría de los países desarrollados tienen fijados ambiciosos objetivos con respecto al desarrollo e implementación de las energías renovables. Puesto que los costes de producción de estas energías son todavía más altos que los de las energías convencionales, el éxito de esta energía depende de las ayudas del gobierno. El apoyo de primas o apoyo directo, donde el productor cobra un precio fijo por Kwh inyectado a la red, es el más desarrollado y eficaz para promover las energías renovables. El gobierno, o las autoridades competentes fijan las cuantías de las primas y garantizan su producción por un periodo de tiempo. Las primas han resultado ser muy eficaces en los países que han adoptado este sistema, en particular, Dinamarca, Alemania y España.<sup>5</sup>

En Argentina, la generación y distribución de energía no es uniforme a lo largo de todo el territorio nacional, existiendo lugares o regiones con necesidades energéticas aun no cubiertas, en donde se podría estar aprovechando esta posibilidad de generación energética a partir de biomasa. Esto generaría no solo un beneficio ambiental en el territorio, sino también, por un lado, brindar la posibilidad de desarrollo de la región al disponer de energía en origen para la instalación de industrias o empresas agroindustriales; y por otro, el hecho de llevar adelante un emprendimiento de la instalación de una planta generadora de bioenergía (biodigestión o gasificación de biomasa, plantas de biocombustibles, etc.) conlleva todo un proceso a nivel de la región que también aporta al desarrollo de la misma.<sup>6</sup>

Para dar un ejemplo europeo las plantas de biogás de Alemania aportan 3500 megavatios al sistema eléctrico con cerca de 8000 plantas instaladas, para dar una idea de magnitud, esto equivale a dos centrales hidroeléctricas como la reciente iniciada en Santa Cruz que demandará una inversión aproximada de 22000 millones de dólares.

Para obtener la misma cantidad de energía por parte del sector agropecuario se deberían invertir 3500 millones de dólares con la ventaja de un enorme desarrollo regional, creación de empleo y riqueza en forma distribuida. El sector agropecuario será protagonista de una nueva revolución con la incorporación a un mercado no tradicional como el energético.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Energías Renovables, Dirección de Prospectiva

<sup>6</sup> Energías renovables: las oportunidades de Argentina para generar bioenergía en origen

<sup>7</sup> <http://www.cpia.org.ar/agropost/2014/nota4.html>.

La Argentina posee una ley nacional conocida como Ley 26.190, que apunta a cumplir con el 8% del consumo de fuentes renovables en 10 años. Esta normativa busca crear incentivos para la generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.<sup>8</sup>

## **OBJETIVOS**

- Indagar sobre las posibilidades de producción de energía a partir del uso de biodigestores y su utilización a nivel familiar.
- Adquirir conocimientos sobre las implicancias del uso de energías alternativas
- Formación práctica a través de la evaluación, monitoreo y regulación de un biodigestor

## **DESARROLLO**

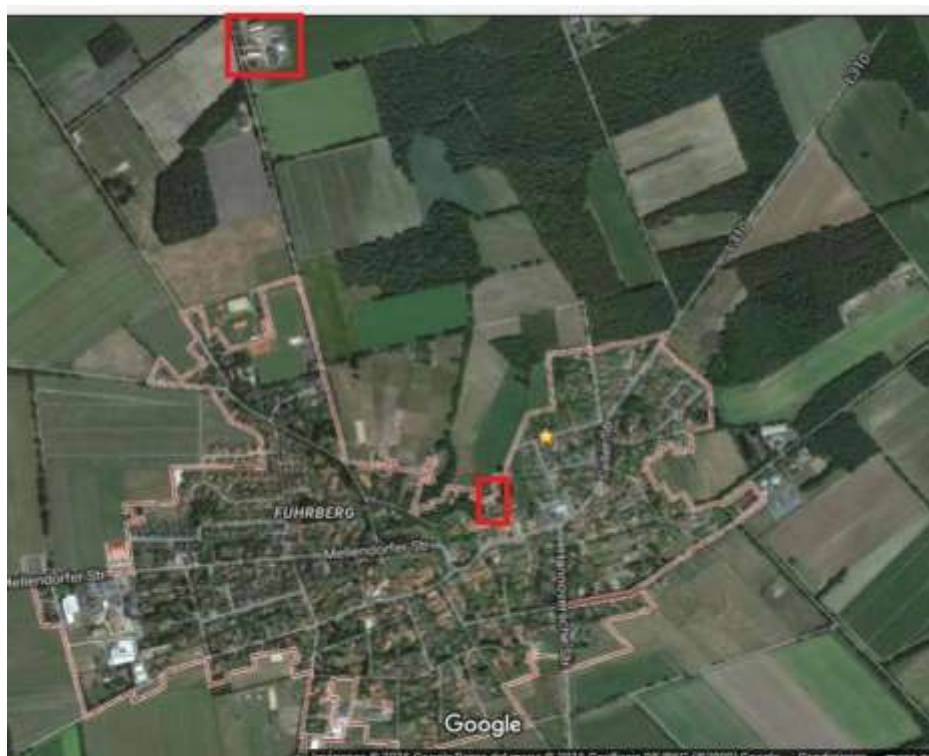
El siguiente trabajo de graduación se llevo a cabo gracias al convenio existente entre la Academia para la Tecnología, Gestión y Agricultura (DEULA) ubicada en Niemburg – Alemania y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina.

El periodo de realización fue desde Agosto del año 2014 a Agosto del 2015 en la ciudad de Fuhrberg ubicada en la región de Baja Sajonia (Niedersachsen) a unos 30 km aproximadamente de la ciudad capital, Hannover, Alemania.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MWel con una planta de biogas de alta eficiencia

<sup>9</sup> Altura sobre el nivel del mar: 40 mts, temperatura media: 9,5°C. precipitación promedio: 700 mm



**Fig. 1:** Captura de pantalla de la ciudad de Fuhrberg, en el recuadro superior se destaca la planta de biogás y en el inferior, la vivienda del productor.



**Fig. 2:** Vista aérea del establecimiento

## Descripción del sistema

1. **Engorde de cerdos:** En estas instalaciones se realiza el engorde de cerdos en confinamiento, cuya temperatura ambiente es controlada gracias a un sistema de calefacción que utiliza el agua de refrigeración de los motores generadores de energía eléctrica. El estiércol de los cerdos se utiliza en el biodigestor, de esta manera se logra un tratamiento adecuado de estos y se reduce el impacto ambiental que estos producirían.

2. **Cultivo de maíz y centeno:** La siembra de estos cultivos y su posterior conservación en los silos es fundamental para desarrollar un proceso eficiente en la producción de biogás ya que son utilizados como sustrato energético.

3. **Silo de maíz y centeno:** Es un proceso de conservación de forrajes que permite tener en tiempo y forma el sustrato energético para los biodigestores.

4. **Biodigestores:** dentro de ellos se realiza el proceso de fermentación anaeróbica, cuyo producto es el biogás y el biofertilizante.

Del biogás, luego de ser tratado convenientemente se obtiene metano, el cual es utilizado como biocombustible para los generadores de energía eléctrica. El calor generado por la combustión del gas metano, se utiliza para mantener una temperatura adecuada en los fermentadores y un ambiente óptimo para los cerdos, a través de la recirculación del agua de refrigeración de los motores..

5. **Almacenamiento del biofertilizante:** En este reservorio se almacena el producto líquido de los biodigestores, con excelente calidad como biofertilizante que se distribuye luego en el campo de maíz y centeno.

Es importante destacar que este es un sistema basado en la eficiencia del flujo de la energía: la energía proveniente del sol es captada por los vegetales y juntamente con la energía no aprovechada por los cerdos en confinamiento (representada por las heces y desperdicios de alimentación), es utilizada en los fermentadores y transformada en biogás, mediante el proceso de biodigestión anaeróbica.

Este biogás es purificado a metano y utilizado en los motores de combustión, para la transformación en energía eléctrica que luego será inyectada a la red urbana; mientras que el calor de refrigeración de los motores se utiliza para brindar un ambiente adecuado a los cerdos en esta etapa de crecimiento y una temperatura óptima en los biodigestores.

Por otra parte, el producto líquido de la fermentación (Biofertilizante) es almacenado en un reservorio para luego ser utilizado en los campos como aporte de nutrientes a los cultivos energéticos.

La empresa pertenece al jefe de la familia, el señor Hermann Wöhler y los trabajos realizados durante mi pasantía se llevaron a cabo en forma conjunta con su hijo, el señor Nils Wöhler.



**Foto 1: Herr Hermman Wöhler**

Dentro de las múltiples actividades realizadas en la firma del Señor Wöhler; estuve presente durante el mantenimiento de los aerogeneradores y paneles solares para la generación de energía eléctrica y su posterior venta a la red eléctrica. La empresa contaba con un predio destinado a los desechos verdes de la ciudad de Fuhrberg; estos eran apilados y luego de ser tratados convenientemente esparcidos en los campos de cultivo como aporte de materia orgánica al suelo.



**Foto 2: Colza para la producción de biodiesel**



**Foto 3: Aerogeneradores en los campos de cultivos**



**Foto 4: Desechos verdes de la ciudad de Fuhrberg**



**Foto 5: Paneles solares sobre el techo del galpón**

## CAPITULO 1: Engorde de Cerdos en Confinamiento

### Objetivos particulares:

- Adquirir conocimientos teóricos a través de cursos sobre el manejo, sanidad animal y cuidados necesarios para llevar adelante una actividad dedicada al engorde de cerdos en confinamiento.
- Adquirir formación práctica de las labores cotidianas que se realizan en un establecimiento de engorde de cerdos en confinamiento.
- Tomar conciencia de la importancia del tratamiento de los efluentes de dicha actividad para disminuir el impacto ambiental.
- Conocer los usos de los efluentes dentro de un sistema integrado de energías renovables.

*“El siguiente párrafo corresponde a datos aportados por el titular de la empresa”*

La principal actividad de esta empresa agropecuaria es el engorde de cerdos de la raza BHZP (Bunderhybridzmhtprogram) de la firma Nordlan, cuenta con una capacidad de 1700 animales, los cuales ingresaban con un peso de entre 25-35 kg, estos eran alimentados a través de comederos automáticos con alimento balanceado que le proporcionaban un incremento de 650 gr./día con un periodo de engorde de aproximadamente 155 días.

Al término de este periodo de engorde, 180 animales eran vendidos al frigorífico para consumo interno o de exportación, con un peso vivo promedio de 116 kg. Coincidiendo este momento con el ingreso cada 14 días de un nuevo lote de lechones de 25 – 35 kg para comenzar nuevamente el circuito, para lo cual, el lugar debía ser limpiado, desinfectado y reparado convenientemente.

Los animales se mantienen en confinamiento en instalaciones cuyas condiciones de temperatura son controlados por un sistema de calefacción dispuestos en las paredes de los corrales, por donde circula agua caliente proveniente del calor de refrigeración de los motores generadores de energía eléctrica, estos sistemas como la ventilación y los momentos de alimentación de los cerdos eran controlados automáticamente.

Es importante destacar el hecho de que los cerdos se encontraban sobre un piso enrejado de manera que los desperdicios de alimentación y heces de estos se depositaban en fosas, que comunicadas con los biodigestores a través de tuberías subterráneas enviaban 7

m<sup>3</sup>/día de este líquido como sustrato de fermentación para la producción de metano, que sería utilizado luego como combustible de los motores generadores de energía eléctrica.

La bibliografía consultada hace referencia que en Alemania hay un marco administrativo existente, sobre todo a tarifas de energía a partir de fuentes de energía renovables tal como lo determina la Ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG). Esto ha dado lugar a una fuerte y sostenida demanda que ha llevado a la creación de una gran número de plantas de biogás y de proveedores de componentes facilitando así a los productores agropecuarios a la adquisición de financiamiento para poder recuperar la energía retenida en las heces y contribuir la disminución del impacto ambiental y satisfacer la demanda creciente de energía de la sociedad.<sup>10</sup>

Las cifras de rendimiento se expresan en metros cúbicos normalizados (Nm<sup>3</sup>) el volumen normalizado de gas se basa en una temperatura de 0 °C y una presión de 1013 mbar, además es posible de esta manera asignar un valor calorífico preciso al componente de metano del biogás. Para el metano es de 9,97 kWh /Nm<sup>3</sup>.

En la siguiente tabla se muestran los rendimientos de gas y metano provenientes de distintos tipos de bosta agrícola<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> y <sup>4</sup> Guía sobre el biogás; desde la producción hasta el uso.biogasportal.info

| Sustrato               |   | Rendimiento de biogás<br>[Nm <sup>3</sup> /t sustrato] | Rendimiento de metano<br>[Nm <sup>3</sup> /t sustrato] | Rendimiento específico de metano según VS<br>[Nm <sup>3</sup> /t VS] |
|------------------------|---|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Lodo líquido de ganado | Δ | 20-30                                                  | 11-19                                                  | 110-275                                                              |
|                        | Ø | 25                                                     | 14                                                     | 210                                                                  |
| Lodo líquido de cerdo  | Δ | 20-35                                                  | 12-21                                                  | 180-360                                                              |
|                        | Ø | 28                                                     | 17                                                     | 250                                                                  |
| Bosta de ganado        | Δ | 60-120                                                 | 33-36                                                  | 130-330                                                              |
|                        | Ø | 80                                                     | 44                                                     | 250                                                                  |
| Bosta de ave           | Δ | 130-270                                                | 70-140                                                 | 200-360                                                              |
|                        | Ø | 140                                                    | 90                                                     | 280                                                                  |

Δ: rango de valores medidos; Ø: promedio

Tabla 1: Rendimientos promedio de gas y metano de distintos tipos de estiércol



Foto 6: Cerdos en confinamiento sobre piso enrejado



Foto 7: Limpieza y reparación de Comederos



**Foto 8: Comederos automáticos y lugar de engorde de cerdos**

Durante los días 24 de noviembre y 28 de noviembre del 2014 tuve la oportunidad de participar de una capacitación sobre cerdos durante una semana en la ciudad de Whenen donde realice cursos de manejo de cerdos en confinamiento.



**Foto 9: Practica de corte de dientes**



**Foto 10: Alimentación de cerdos en confinamiento**



**Foto 11: Practica de castración**



**Foto 12: Practica de inseminación Artificial**



**Foto 13: Madres con sus crías**



**Foto 14: Visualización de características corporales**

### **Conclusiones del capítulo 1:**

Como conclusión, luego de haber participado de los cursos de formación sobre el manejo de cerdos en confinamiento, y con la experiencia práctica obtenida del trabajo diario en el establecimiento del Sr. Wöhler, considero que es sumamente importante tomar conciencia sobre el correcto tratamiento de los efluentes que produce esta actividad para disminuir el impacto sobre el ambiente.

Es importante tener en cuenta que la introducción de los biodigestores en este sistema de producción permite aprovechar el flujo de energía que ocurre desde de la transformación de la energía solar retenida en los alimentos hasta la energía de la proteína animal. El uso de biodigestores constituye así una alternativa válida para recuperar la energía retenida en las heces y ser usada como sustrato de fermentación para la obtención de biogás.

Cabe destacar también el alto nivel de capacitación tanto del productor agropecuario como de aquellos que realizan diversas actividades dentro de la empresa, para comprender la importancia de las tareas que se realizan y el respeto por las normas y procedimientos para hacer eficiente la actividad.

## **CAPITULO 2: AGRICULTURA**

### **Objetivos particulares:**

- Adquirir formación práctica sobre las tareas relevantes al cultivo de especies energéticas: preparación de suelo, siembra, cuidados fitosanitarios, uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos, cosecha y conservación.
- Conocer la relevancia del uso de cultivos energéticos en el ámbito de una planta de Biogás.

### **2.1 Maíz**

Desde el año 2004 en la Ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG) en Alemania, se ha asignado especial importancia a los cultivos energéticos (materias primas renovables) para la generación de electricidad a partir de biogás.

El maíz es el sustrato más utilizado en las plantas agrícolas de biogás de Alemania. Es conveniente debido a sus altos rendimientos de energía por hectáreas y a la facilidad con la que se puede utilizar para la digestión en las plantas de biogás. Los rendimientos pueden variar de 35 toneladas de masa fresca en tierras arenosas a más de 65 toneladas de materia fresca en lugares con altos rendimientos, con un rendimiento promedio de 45 toneladas de materia fresca por hectárea. Cuando se cosecha, se pica toda la planta y se la almacena en silos horizontales. El contenido de materia seca (sólidos totales) no debe ser menor de 28 % ya que si no se esperaría una fuga de agua de filtración asociadas con pérdidas significativas de energía, mientras que si el contenido de materia seca es superior a 36 %, el ensilaje tendrá un contenido de lignina alto y se degradará menos fácilmente además de que el compactado durante la formación del silo no será adecuado afectando la calidad y la estabilidad del

almacenamiento del producto. Luego de una fase de ensilaje de aproximadamente 12 semanas, el silo puede ser utilizado en la planta de biogás<sup>12</sup>.

***El siguiente párrafo corresponde a datos facilitados por el titular de la empresa.***

“En esta empresa se cultivan aproximadamente 100 hectáreas de maíz, este es el cultivo más grande e importante, esta es una planta de la familia de las gramíneas originaria de México, al ser una planta carbono 4 tiene la capacidad de captar mejor el dióxido de carbono que la plantas carbono 3.

Debido a su alto potencial de rendimiento de materia seca el maíz es ensilado y usado como sustrato energético esencial para producir 256 kw de energía en la planta de biogás.

La siembra del maíz se lleva acabo a mediados de abril hasta principios de mayo cuando el suelo tiene una temperatura cálida y ya no hay peligro de heladas.

La preparación del suelo para la siembra se realiza mediante el esparcimiento de 35 metros cúbicos de estiércol de los cerdos y el digestato de la planta de Biogás.

En la siguiente tabla, puede observarse la composición de 1 m<sup>3</sup> de biofertilizante

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| 4,52 % de Materia seca    | 1,62 kg de calcio   |
| 3,88 % de nitrógeno total | 0,72 kg de magnesio |
| 2,37 kg de amonio         | 0,35 kg de asufre   |
| 1,82 kg de fosforo        | 5,4 gr de cobre     |
| 4,23 kg de potasio        | 23,9 gr de zinc     |

**Tabla 2: Composición del biofertilizante**

La absorción de nitrógeno total recomendada de fertilizantes minerales y orgánicos para el a maíz es de 180 kg.

En esta empresa de formación la primera fertilización será de 170 kg Nitrógeno por hectárea y 20 metros cúbicos del producto de fermentación.

La segunda fertilización es orgánica y es de aproximadamente de 20-25 metros cúbicos y es llevada a cabo mediante el tanque cisterna y aplicada con mangueras, con esta segunda aplicación se completa el suministro total de nitrógeno para la planta.

---

<sup>12</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 4 “Descripción de los sustratos seleccionados”

El digestato o residuo de la de fermentación se aplica de manera conjunta con el estiércol de los cerdos en bandas de 4,5 metros y dentro de las 4 horas.

Inmediatamente después de la incorporación del digestato se realiza una pasada del arado de rejas a 25 cm de profundidad y luego de este una pasada de rastra de disco con rodillo para romper los terrones del pan de tierra.

Luego se trabaja con el arado aireando el suelo y el material orgánico es incorporado.

En el 2015 se sembraron 4 variedades de maíz diferentes: Magister, Torres, Grosso y FarmFlex.

Magister es una variedad que se utiliza para la elaboración de silo, es el más antiguo y favorable, mientras que torres se utilizo en lugares altos donde el suministro de agua es escaso y se destaca por su grano, en el caso de Grosso y FarmFlex son variedades más flexibles y son adecuadas para cualquier tipo de suelo y uso.

Luego de realizada la arada se siembra el maíz con una temperatura de aproximadamente 8°C para que el grano tenga impulso para crecer y no sea afectada por los hongos del suelo.

La siembra la realiza un contratista del lugar a una profundidad de 4 cm y a una distancia entre lineos de 75 cm.

La densidad de plantas es de 8-9 plantas por metro lineal donde la disponibilidad de agua es escasa y de 7-8 plantas con buen suministro de agua. Al mismo tiempo se fertiliza con fosfato diamonico (18 % de nitrógeno y 48 % de  $P_2O_5$ ). El fosforo es un elemento poco móvil y es muy importante para el maíz ya que este no puede ser absorbido cuando la planta es pequeña ya que presenta escaso desarrollo radicular.

La cosecha de maíz se realiza cuando contiene un 34 % de materia seca, en este momento está en condiciones optimas para elaborar un buen silo, la cosecha se realiza por una empresa contratista que mediante camiones y tractores transportan el material hasta la empresa donde será compactado y acondicionado para realizarse un buen silo.

Mediante la compactación se excluye el aire estabilizándose el material favoreciendo la acción de las bacterias ácido lácticas, las cuales producirán un descenso de pH y la conservación del silo de maíz.”

En la empresa donde se realizó la pasantía, durante el mes de septiembre de 2014 se elaboró silo de maíz a partir de 111 hectáreas sembradas en el mes de mayo de ese mismo año. Las tareas realizadas para el acondicionamiento del silo incluyeron el acondicionamiento de las cubiertas plásticas que cubrirían posteriormente el silo, la preparación de la playa donde se realizaría y la compactación de éste con sucesivas pasadas de tractor; luego la colocación y fijación con sacos de arena y cubiertas de autos de las coberturas plásticas para formar un ambiente anaerobio propicio para el proceso de fermentación.

Inmediatamente después de terminada la tarea de preparación del silo se procedía a la siembra de centeno en los campos en donde se había cosechado el maíz.

En los meses de abril y mayo del año 2015 se procedió, luego de la cosecha de centeno, a la siembra de 100 ha de maíz.



**Foto 15: Cosecha de maíz septiembre 2014**



**Foto 16: Elaboración del silo de maíz septiembre 2014**



**Foto 17: Procesos de compactacion del silo**



**Foto 18: Silo terminado (septiembre 2014)**

Durante los meses posteriores a la siembra del maíz se procedía a la instalación de los sistemas de riego, su control y traslado de una parcela a otra.



**Foto 19: Colocación de cobertores plasticos**



**Foto 20: Inspección de los cobertores plasticos**



**Foto 21: Colocacion completa de los cobertores**



**Foto 22: Recibiendo las semillas de maiz (Abril 2015)**



**Foto 23: Siembra de maiz (Abril 2015)**



**Foto 24: Instalacion del sistema de riego en maiz**



**Foto 25: Control del cultivo de maíz (mayo 2015)**



**Foto 26: Fosas de estiércol de los cerdos**



**Foto 27: Tanque cisterna utilizado para la distribución del estiércol.**



**Foto 28: Fertilización del campo**

## **2.2 Centeno**

Todos los cereales son convenientes para producir ensilajes, dependiendo de las condiciones locales, se debe dar preferencia al cultivar del cereal que produzca mayor rendimiento de materia seca. En la mayor parte esto se logra con centeno y triticales. La técnica de cosecha es idéntica a la del maíz y el momento oportuno es cuando se dan los mayores rendimientos coincidiendo este con el final de la etapa de lechado/ inicio de la etapa de masa. Los rendimientos que se pueden lograr son de entre 7,5 toneladas de materia seca por hectárea hasta 15 toneladas de materia seca por hectárea dependiendo de la ubicación y

del año, lo cual equivale a 35% de materia seca, y un rendimiento en peso fresco de 22 a 43 toneladas de peso fresco por hectáreas.<sup>13</sup>

El proceso de cosecha del centeno se da en dos etapas. Esto significa que luego del cortado, se lo deja marchitar en el campo uno o dos días antes de picarlo y ensilarlo. Inmediatamente después del centeno se planta un cultivo sucesivo para generación de energía (sistema de dos cultivos). En vista del alto consumo de agua este método no es conveniente en todos los lugares.

La siguiente tabla muestra los rendimientos de biogás de cultivos energéticos<sup>14</sup>

| Sustrato            |   | Rendimiento de biogás<br>[Nm <sup>3</sup> /t sustrato] | Rendimiento de metano<br>[Nm <sup>3</sup> /t sustrato] | Rendimiento específico de metano en base a VS<br>[Nm <sup>3</sup> /t VS] |
|---------------------|---|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Ensilaje de maíz    | Δ | 170-230                                                | 89-120                                                 | 234-364                                                                  |
|                     | Ø | 200                                                    | 106                                                    | 340                                                                      |
| Ensilaje de WCC     | Δ | 170-220                                                | 90-120                                                 | 290-350                                                                  |
|                     | Ø | 190                                                    | 105                                                    | 329                                                                      |
| Granos de cereales  | Ø | 620                                                    | 320                                                    | 380                                                                      |
| Ensilaje de pasto   | Δ | 170-200                                                | 93-109                                                 | 300-338                                                                  |
|                     | Ø | 180                                                    | 98                                                     | 310                                                                      |
| Remolacha azucarera | Δ | 120-140                                                | 65-76                                                  | 340-372                                                                  |
|                     | Ø | 130                                                    | 72                                                     | 350                                                                      |
| Remolacha forrajera | Δ | 75-100                                                 | 40-54                                                  | 332-364                                                                  |
|                     | Ø | 90                                                     | 50                                                     | 350                                                                      |

Δ: rango de valores medidos; Ø: promedio

**Tabla 3: Rendimientos de los cultivos energéticos**

Al término de la elaboración del silo de maíz en el mes de septiembre/agosto se procede a la siembra de 62 hectáreas de centeno para su posterior cosecha y elaboración de silo en el mes de abril del año 2015.

En el caso la cosecha del centeno se procedía al corte de la planta y a dejarla uno o dos días en el campo para permitir la pérdida de agua de su interior, después se continúa con la

<sup>13</sup> Y <sup>14</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 4 “Descripción de sustratos seleccionados”

elaboración de aldanas y a la contratación de un empresa dedicada al transporte del material hasta el lugar de realización del silo.

Cabe destacar que una vez terminado el ciclo de cultivo del centeno y su cosecha, se procedía en estos lotes a la distribución de los desechos verdes provenientes de la zona urbanas, al laboreo con arado de rejas, distribución del digestato y estiércol de cerdos y luego una pasada de la rastra de disco para al final realizar la siembra del maíz para dar inicio a un nuevo ciclo.



**Foto 29: Carga de centeno en la sembradora**



**Foto 30: Siembra de centeno**



**Foto 31: Control de la siembra del centeno**



**Foto 32: Cargando Urea para fertilizar el centeno**



**Foto 33: Cargando Potasio**



**Foto 34: Elaboración de las aldanas de centeno**



**Foto 35: Aldanas de centeno**



**Foto 36: Transporte del material hacia el silo**



**Foto 37: Elaboración del silo de centeno**



**Foto 38: Compactación del silo**



**Foto 39: Proceso de compactación del centeno**

### **2.3 Elaboración del silo de maíz y centeno<sup>15</sup>**

La conservación de forrajes o alimentos, granos, tubérculos, pescado, etc. En ausencia del aire, ha sido empleada por el hombre hace miles de años.

El forraje verde que se desea conservar por vía húmeda es cosechado por una maquina especial, que la corta y pica en trozos pequeños que se transportan y acumulan sobre el terreno o se coloca en construcciones especiales llamadas silos.

El proceso de ensilaje se compone de las siguientes fases.

**Primera fase:** respiración aerobia, los carbohidratos presentes en el forraje cortado son respirados en presencia del aire, la fotosíntesis continua mientras estén expuestos al sol.



Si esta etapa continúa el forraje será degradado por una variedad de microorganismos. La detención de la respiración y la muerte rápida de las células se puede lograr a través de la fermentación. La rapidez y eficacia de la eliminación del aire depende de factores como el estado de madurez, contenido de humedad y el sistema de cosecha.

Cuando el silo está bien construido sin la posibilidad de entrada del aire, esta etapa es breve, se anula la actividad de los microorganismos aerobios, se liberan los jugos celulares y la temperatura disminuye.

---

<sup>15</sup> Frioni, Lilian: “Microbiología: básica y agrícola”

**Segunda fase:** Es la fermentación en ausencia de aire, si el forraje está bien compactado en los silos se elimina rápidamente el exceso de aire y comienza el proceso de ensilaje. En esta etapa se desarrollan microorganismos fermentadores. Los principales productos son ácido láctico, butírico, que acidifican el medio.

Un buen ensilado se caracteriza por:

- Alta proporción de ácido láctico.
- Niveles bajos de ácido acético
- Baja o nula cantidad de ácido butírico

Los microorganismos fermentadores se encuentran en la superficie de los vegetales, en el suelo y se desarrollan una vez que las condiciones le son favorables.

Las ventajas de la fermentación láctica son:

Asegura alta concentración de ácido láctico, que es el elemento nutritivo y conservador, sin la formación de productos secundarios no palatables o innecesarios.

Conservación de un mayor porcentaje de elementos nutritivos, al desarrollarse a bajas temperaturas se minimizan las pérdidas por respiración.

No causa efectos secundarios perjudiciales en la salud y no altera el sabor.

Condiciones para un rápido ensilaje:

Medio anaerobio: se debe excluir rápidamente el aire atrapado en la masa.

Con temperaturas entre 5<sup>o</sup> y 20<sup>o</sup>, las únicas bacterias que pueden desarrollarse son las lácticas, impidiendo la fermentación butírica.

El facilitar un rápido contacto entre bacterias y los carbohidratos a través del picado o triturado de los forrajes permite la exclusión del aire y el contacto con las bacterias por lo que el proceso se acelera.

Un contenido de humedad de los forrajes entre 60 y 75% asegura una alta concentración de azúcares fermentables. Debajo de estos niveles se corre riesgo de alcanzar altas temperaturas por mala compactación con la consiguiente pérdida de carbohidratos y digestibilidad de las proteínas.

Se aconseja que el corte para el maíz sea cuando este contenga entre 30 -40% de materia seca que coincide con el estado fenológico de grano lechoso a grano pastoso y la producción de carbohidratos es elevada asegurando el desarrollo de microorganismos fermentadores.

Se debe mantener en la masa un pH de 3 a 4, que asegura la permanencia del ácido láctico e impide la proliferación de otros microorganismos.

Impedir la entrada del aire al silo una vez terminado el proceso, pues crearía un ambiente favorable para el desarrollo de organismos butíricos.



**Fotos 40 y 41: Acondicionamiento de la playa para el silo**



**Fotos 42 y 43 Acondicionamiento e inspección del estado de los cobertores plásticos**



**Foto 44: Silo de centeno afectado por hongos**



**Foto 45: Silo de maíz afectado por hongos**

### **Conclusiones del capítulo 2:**

Es muy importante conocer el ciclo fenológico de los cultivos y realizar en tiempo y forma todas las prácticas culturales que favorecen a un óptimo crecimiento y desarrollo de éstos, con el fin de obtener una alta eficiencia en la captación de la energía solar y su conservación a través del ensilaje; para ello es necesario contar con la logística adecuada y la maquinaria necesaria para tales labores.

Es fundamental no solo la inspección diaria de los cultivos en el campo para detectar a tiempo déficit hídricos o posibles ataques de enfermedades e insectos, sino también el control periódico de los silos para asegurar el correcto proceso de conservación de estos cultivos energéticos que serán utilizados en el proceso de biodigestión anaeróbica para la producción de biogas.

Para lograr el éxito de estas actividades debemos conocer y hacer un uso racional de todos los recursos: ambientales (agua, suelo y clima), económicos, financieros, tecnológicos y científicos, respeto por las normas legales y conciencia social y ambiental.

En fin, una política de estado que acompañe e incentive aquellas actividades que apuntan al desarrollo sustentable y sostenible de las energías renovables y la distribución equitativa de los recursos que estos generarían.

## **CAPITULO 3: PLANTA DE BIOGAS**

### **Objetivos particulares:**

- Indagar sobre la posibilidad del uso de los biodigestores para recuperar la energía retenida en los cultivos y en las heces de los cerdos y su posterior transformación en energía eléctrica en el ámbito de las energías renovables.
- Adquirir conocimientos de la importancia de los biodigestores para el tratamiento de los efluentes de la actividad porcina con el fin de disminuir el impacto ambiental.
- Adquirir experiencias prácticas y conocimientos teóricos en el manejo adecuado de un biodigestor.
- Reconocer cuáles son los factores que determinan un óptimo funcionamiento.
- Utilización posible del biofertilizante en los campos de cultivos.

### **3.1 Descripción de las instalaciones y procesos**

*(El siguiente párrafo corresponde a datos ofrecidos por el titular de la empresa)*

“La planta de biogás consta de 2 fermentadores de 6 metros de altura con un techo inflable con una capacidad de 1200 metros cúbicos cada uno, el recipiente para el almacenamiento del digestato tiene una capacidad de 2000 metros cúbicos.

A diario se bombean 7 metros cúbicos de estiércol desde los corrales de los cerdos hacia los fermentadores y se depositan 9 toneladas de silo de maíz y 4 toneladas de silo de centeno.

Dentro de los fermentadores trabajan dos mezcladores los cuales funcionan automáticamente durante 5 minutos cada 30 minutos impidiendo la formación de costras.

La temperatura dentro de los fermentadores es de alrededor de  $37 - 41^{\circ}\text{C}$ , aquí en un medio anaerobio las bacterias convierten el sustrato fermentable en 1400 metros cúbicos de biogás por día, que son convertidos por motores en 250 kw de electricidad por hora esta energía es vendida a la empresa Avacom.

Los motores utilizan para su funcionamiento cerca de 50 - 60 metros cúbicos de biogás y 2-3 litros de fuel oil para su funcionamiento.

Dentro del fermentador se inyecta cada 30 minutos aire por medio de tuberías conectadas a un compresor para realizar la desulfuración biológica.

El segundo fermentador está ubicado con 30 centímetros más bajo que el primero. Desde este el producto de fermentación es bombeado al almacenamiento final para luego ser utilizado como fertilizantes en los campos entre los meses de febrero a diciembre.

En el recipiente de almacenamiento final hay un removedor que impide la formación de costra.

### **Principios de la Generación de Biogás**

El biogás se produce en un proceso biológico en ausencia de oxígeno (proceso anaerobio) y bajo la acción de distintos microorganismos la materia orgánica se descompone formando una mezcla de gases conocido como biogás. Este proceso se encuentra en la naturaleza, como en el gas de los pantanos o en el rumen de los rumiantes, además se genera calor y nueva biomasa.

La composición de biogás depende del tipo de sustrato, de fermentación (digestión) y los distintos diseños técnicos de plantas pero en general está compuesto principalmente de metano (50-75 vol. %) y de dióxido de carbono (25-50 vol. %), también encontramos en pequeñas cantidades hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases trazas.

En el proceso de generación de biogás podemos distinguir diferentes etapas, las cuales las dividimos en:

**La Hidrólisis:** Los compuestos complejos del material inicial (como carbohidratos, grasas y proteínas) se dividen a compuestos más simples como (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos). Las bacterias hidrolíticas que participan en esta etapa liberan enzimas que descomponen el material por medios bioquímicos.

En la siguiente etapa **La Acidogénesis** las bacterias fermentadoras utilizan los compuestos intermedios de la primera fase para generar ácidos grasos más bajos, como ser ácido acético y butírico también encontramos generación de dióxido de carbono e hidrógeno ácido láctico y alcoholes.

La siguiente etapa es **La Acetogénesis** en esta las bacterias acetogénicas producen ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Las bacterias acetogénicas (formadoras de

hidrógeno) deben coexistir en un ambiente cerrado con las arqueas que son las consumidoras del hidrogeno y el dióxido de carbono durante la formación del metano (transferencia de hidrogeno entre especies) de esta forma se asegura un ambiente aceptables para las bacterias acetogénicas.

La etapa final es **La Metanogénesis** en esta las bacterias arqueas metanogénicas anaerobias estrictas convierten al acido acético pero también el hidrogeno y el dióxido de carbono a metano.

Estas cuatro etapas ocurren simultáneamente en un proceso de etapa única. Pero las bacterias involucradas tiene diferentes necesidades en términos de hábitad ( pH, temperatura) hay que tener en cuenta que las bacterias metanogénicas son el eslabón más débil en esta biocenosis debido a su baja tasa de crecimiento y a que son más sensibles ante las perturbaciones, es por esto que se deben adaptar las condiciones del fermentador a estas.<sup>16</sup>

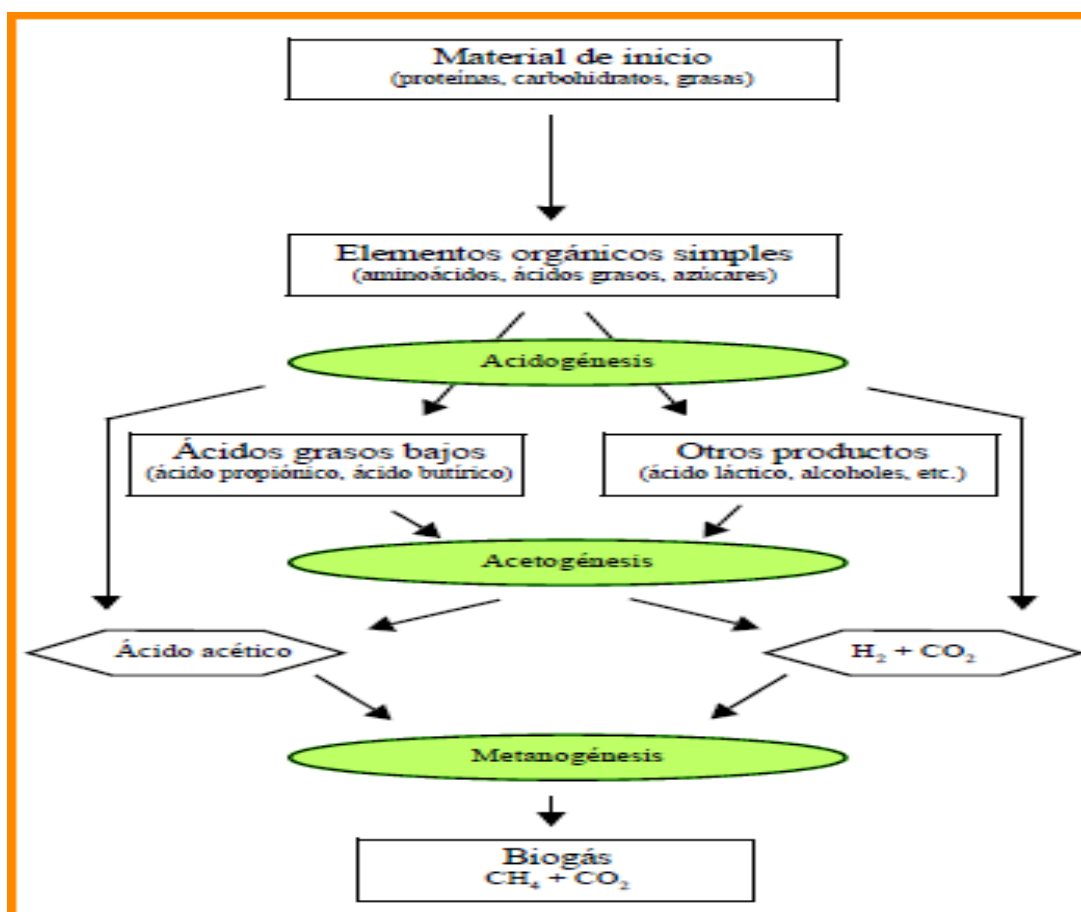


Figura 3: Proceso de generación del biogás

<sup>16</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 2 “Fundamentos de la digestión anaeróbica”

### 3.2 Diseño del Biodigestor:

Es un reactor vertical térmicamente aislado, con un sistema de calentamiento y sistemas carga y descarga. Su fondo es de concreto y sus paredes de concreto pero recubiertos de acero. La cobertura superior es a prueba de fugas y el sustrato en su interior es removido por agitadores dispuestos en las paredes del fermentador.

Cabe mencionar que el uso de concreto de alta densidad y la planificación profesional de los digestores son fundamentales para evitar problemas. Es por ello que la Asociación Federal de la industria de Cemento Alemana ha publicado su conjunto de instrucciones LB 14 para el sector titulado Concreto para tanques en planta de biogás.

#### ***Tasa de carga orgánica y tiempo de retención del digestor.***

Cuando se diseña y se construye una planta de biogás es necesario prestar atención a las consideraciones económicas. Es decir cuando se está eligiendo el tamaño de un digestor, el enfoque no deberá estar necesariamente en el mayor rendimiento de gas o en una descomposición completa del sustrato ya que esto requeriría tiempos de retención muy largos del sustrato y tanques de fermentación de gran tamaño. Por lo cual el objetivo es lograr una optima degradación a un costo económico aceptable.

En este sentido, la tasa de carga es crucial ya que indica cuantos kilogramos de sólidos volátiles (S) o de materia orgánica seca puede alimentarse al digestor por  $m^3$  por unidad de tiempo esta Tasa de carga se expresa como  $kg\ VS / (m \cdot d)$ .

Otro parámetro para decidir el tamaño del fermentador es **el tiempo de retención hidráulica (TRH)**. Esto es el tiempo promedio que un sustrato permanece en el digestor hasta su descarga.

Para obtener un proceso de digestión aceptable se debe elegir el tiempo de retención hidráulica de tal manera que el reemplazo constante de los contenidos del reactor no elimine mas microorganismos que los que el nuevo crecimiento puede reponer durante este tiempo (la tasa de duplicación de ciertas arqueas metanogénicas es de 10 días, por ejemplo). También hay que recordar que con un tiempo de retención corto los microorganismos tendrán poco tiempo para degradar el sustrato y en consecuencia el rendimiento de gas será inadecuado.

El tiempo de retención está muy ligado a la temperatura, y tipo de sustrato, una correcta temperatura dentro del fermentador favorecerá menores tiempos de retención y

consecuentemente menor el volumen del reactor necesario para digerir un determinado volumen de material.

En cuanto al sustrato, aquellos con mayor grado de celulosa en su composición serán más difíciles degradar, lo que demandará mayores tiempos de retención para ser óptimamente digeridos.

### ***Productividad, rendimiento y grado de degradación<sup>17</sup>***

La producción de gas en relación al volumen se conoce como la productividad de la planta y se la define como el cociente de producción diaria de gas y volumen del reactor y es un indicador de la eficiencia de la planta. La productividad se puede relacionar con la producción de biogás  $P$  (biogás) y a la producción de metano ( $P$  ( $\text{CH}_4$ )) y se expresa en  $\text{Nm}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

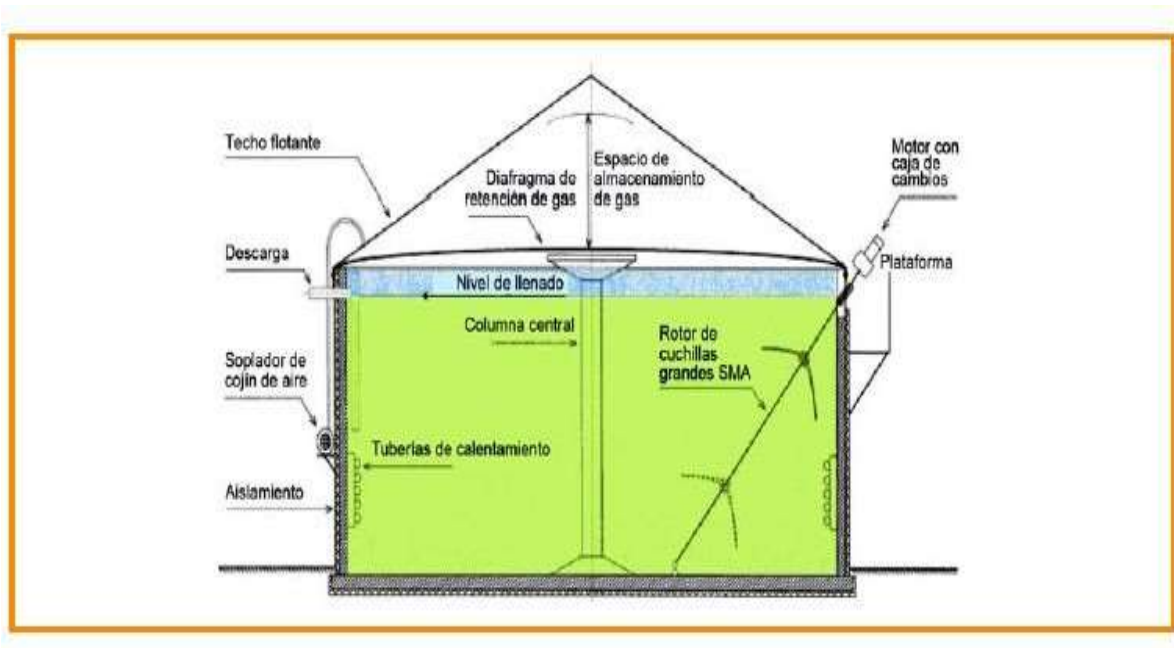
La producción de gas expresada en relación a los materiales de insumo es el rendimiento. **El rendimiento** puede relacionarse con la producción de biogás ( $A_{(\text{biogás})}$ ) o la producción de metano ( $A_{(\text{CH}_4)}$ ). Esto se define como el cociente entre el volumen de gas producido y la cantidad de materia orgánica añadida, y se expresa en  $\text{Nm}^3/\text{t VS}$ .

### ***El grado de degradación<sup>18</sup>***

Proporciona información sobre la eficiencia con la cual se convierten los sustratos. El grado de degradación puede determinarse sobre la base de los sólidos volátiles (VS) o la demanda química de oxígeno (DQO)

---

<sup>17</sup> Y <sup>18</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 2 “Fundamentos de la digestión anaeróbica”



**Figura 4: Diseño del biodigestor**

### **Rendimiento de gas posible**

La cantidad de biogás producido por una planta depende fundamentalmente de la composición del sustrato fermentable. En la actualidad se cuentan con tablas de rendimiento de gas y concentraciones de metano posible específicos para cada sustancia.

Elevar la temperatura también acelera la tasa de degradación pero hasta cierto punto, también un aumento en el tiempo de retención.

El contenido de materia seca (sólidos totales) dentro del digestor afecta de dos formas el rendimiento de biogás:

Cuando el contenido de sólidos totales es muy alto el proceso de digestión puede llegar a detenerse por completo ya que no existe suficiente agua para el crecimiento bacteriano y para su movilidad dentro del fermentador. En segundo lugar, una alta concentración de sólidos totales puede causar problemas con los inhibidores ya que estos se encuentran en mayor concentración debido al bajo contenido de agua.

### Calidad del gas:<sup>19</sup>

El biogás está constituido por principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) junto con vapor de agua y gases traza. El más importante de todo es el metano ya que es el componente combustible del biogás.

La composición del biogás depende de la composición del material de insumo, la temperatura de digestión, la carga del reactor y del tiempo de retención hidráulica y por el método de desulfuración biológica que se utilice.

El sulfuro de hidrogeno ( $\text{S}_2\text{H}$ ) como gas traza es muy importante ya que una concentración elevada produce corrosión en las unidades que producen calor y electricidad.

| Constituyente                                 | Concentración         |
|-----------------------------------------------|-----------------------|
| Metano ( $\text{CH}_4$ )                      | 50-75 vol. %          |
| Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )          | 25-45 vol. %          |
| Agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )                 | 2-7 vol. % (20-40 °C) |
| Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) | 20-20.000 ppm         |
| Nitrógeno ( $\text{N}_2$ )                    | < 2 vol. %            |
| Oxígeno ( $\text{O}_2$ )                      | < 2 vol. %            |
| Hidrógeno ( $\text{H}_2$ )                    | < 1 vol. %            |

Tabla 3: Composición promedio del biogás

### Materia seca en el sustrato

Existen varios procesos para generar biogás, una de las formas es subdividirla en *digestión seca* y en *digestión húmeda*.

Si bien no existe una división clara entre ambos términos podemos asegurar que según las disposiciones de la Ley de Fuentes de Energías Renovables de 2004, estas especifican un contenido de masa seca de al menos de 30 % por masa en el material de alimentación y una tasa orgánica de al menos  $3,5 \text{ kg}_{\text{vs}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  en el digestor.

---

<sup>19</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 2 “Fundamentos de la digestión anaeróbica”

El contenido de materia seca dentro del fermentador en el proceso de digestión húmeda puede llegar hasta el 12% de la masa.

El contenido de sólidos dentro del fermentador puede afectar la movilidad de las bacterias y por lo tanto la degradación óptima del material por lo que en digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo está entre el 8 % y el 12 %.<sup>20</sup>

### 3.3 Tipos de alimentación

#### Método de flujo continuo

Este método consiste en bombear el sustrato varias veces al día de un tanque pre-digestor al reactor. La misma cantidad de sustrato fresco que se añade al digestor se expelle hacia un tanque de almacenamiento del digestato. Con este método se mantiene un nivel constante de llenado en el digestor y que se vacía solo para las reparaciones. Este proceso se caracteriza por una producción continua de gas.

Hay que tener en cuenta que el tanque abierto de almacenamiento de digestato es una fuente de emisiones de gas metano y según la segunda enmienda del 2009 de la Ley de Energías Renovables exige un almacenamiento sellado y sin fugas de gas.

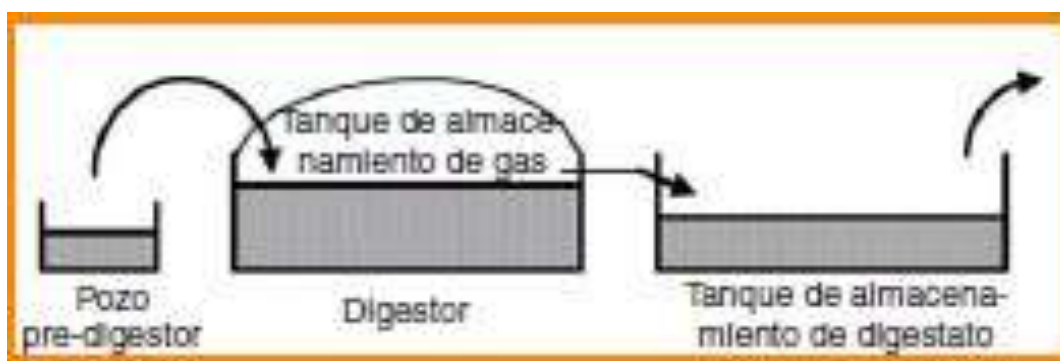


Figura 5: Gráfico de las etapas

#### Números de fases del proceso y etapas del proceso.

Una fase en un proceso biológico, se entiende como el medio con condiciones específicas como de valores de pH y temperatura. Es entonces que tenemos así en un proceso

<sup>20</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 2, “Fundamentos de la digestión anaeróbica”

biológico de degradación anaerobia las fases de hidrólisis o fase de metanización - con condiciones específicas del proceso tales como valor de pH y temperatura. Cuando el proceso de hidrólisis y metanización ocurre en un tanque único, se utiliza el término de proceso en fase única. Un proceso de dos fases es aquel en que la hidrólisis y la metanización ocurren en tanques separados.

Las plantas de biogás que se encuentran a menudo en la agricultura consisten de un pozo pre-digestor, un tanque digestor y un tanque de almacenamiento de digestato son de fase única pero en tres etapas.

**Una planta de biogás puede dividirse en tres pasos de procedimiento diferente<sup>21</sup>:**

- 1) Manejo del sustrato
- 2) Almacenamiento del digestato, tratamiento y esparcimiento en el campo.
- 3) Almacenamiento, tratamiento y uso del biogás.

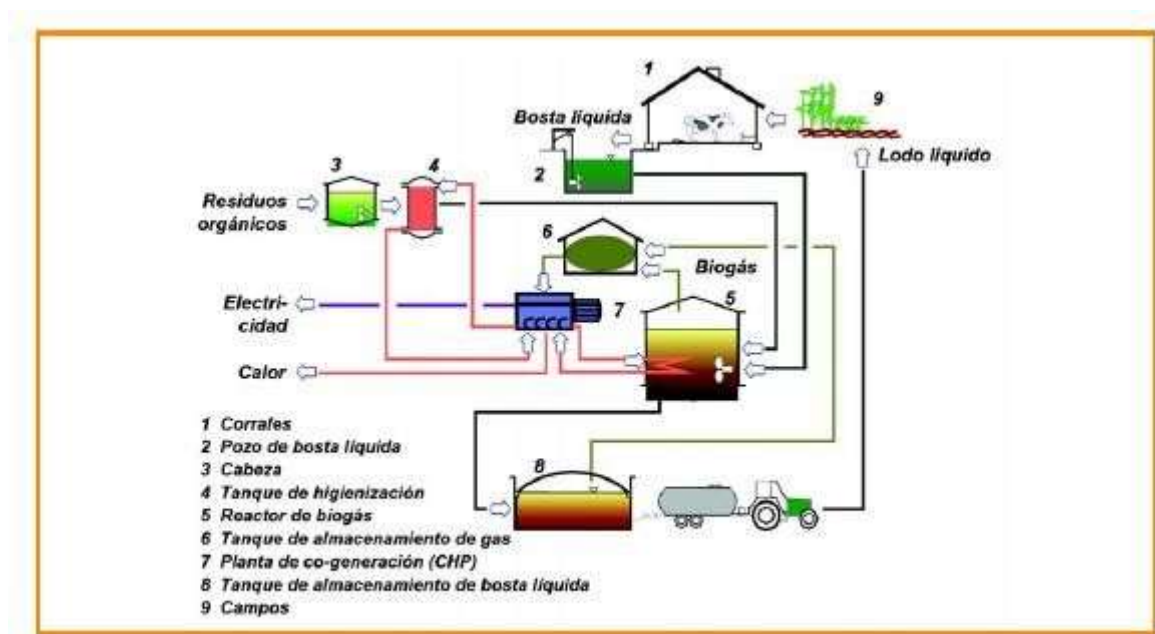


Figura 3.4: Esquema de una planta de recuperación de biogás agrícola para co-sustratos [ATB]

Figura 5 Proceso de recuperación del biogás

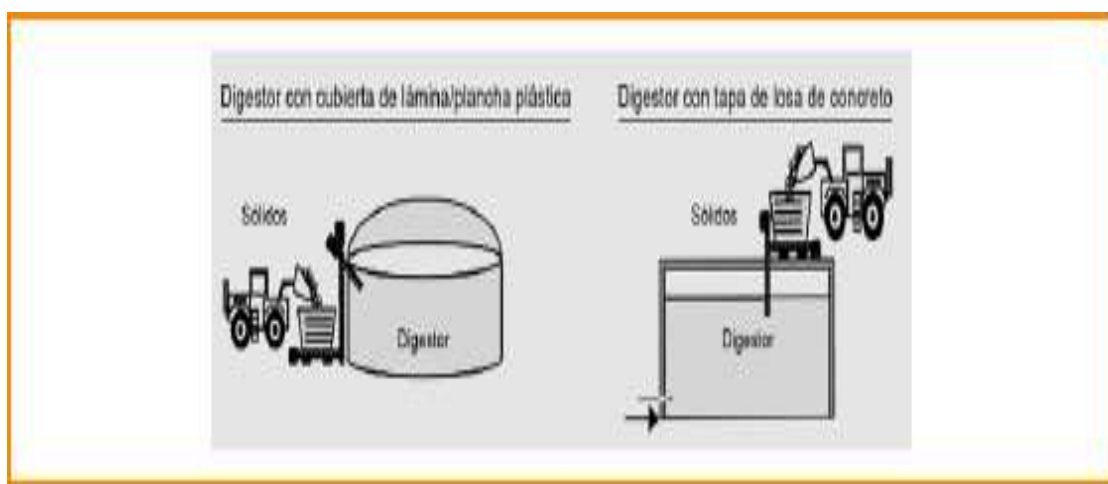
<sup>21</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 3 “Tecnología de la planta para recuperación del biogás”

### **Tareas Realizadas en el establecimiento del Sr. Wöhler.:**

- Retirar las coberturas plásticas de los silos y cargar el contenedor del sustrato con el tractor. Este contenedor tienen un sistema de balanzas que indica el peso de las raciones y suministra automáticamente el sustrato al fermentador mediante un elevador. Diariamente, se abastecía el contenedor con 9 tn de silo de maíz y 5 tn de silo de centeno, distribuidos en dos oportunidades.
- Inspección del sustrato para evitar el ingreso al silo de materiales extraños (tierra, arena, piedras, etc) que pueden causar daños mecánicos al sistema y formar capas de sedimento que reducen la capacidad del fermentador.
- Diariamente se bombeaban 7 m<sup>3</sup> de estiércol de los establos de los cerdos al fermentador.

Los pozos de pre digestión se utilizan en general en las plantas agrícolas. Sus paredes y piso son impermeables al sustrato y allí se homogeniza los residuos de la bosta. El tamaño del pozo debe asegurar las cantidades suficientes para uno o dos días de procesamiento.

- Reparación de los mecanismos de alimentación del fermentador, mantenimiento de los motores (limpieza de los filtros y cambios de aceite).



**Figura 6: Distintos tipos de cubierta del biodigestor**



**Foto 46: Carga del contenedor con sustrato**



**Foto 47: Sustrato (silo de maíz y centeno)**



**Foto 48: Balanza incorporada al contenedor**



**Foto 49: Reparación de elevador (marzo 2015)**



**Foto 50: Reparación de motores**



**Foto 51: Limpieza de filtros de los motores**



**Foto 52: Cambio de aceite de los motores**

### **3.4 Factores que afectan a la producción de Biogas**

#### **Tipo de materia prima**

Las materias primas que se utilizan en las plantas de biogás son aquellos sustratos fermentables y estos incluyen un amplio espectro de excrementos de animales y humanos, restos de cosecha o cultivos energéticos.

Todo el proceso de fermentación biológico necesita fuentes de carbono y nitrógenos pero también es necesario la presencia de otros micro elementos, (azufre, fósforo, potasio, calcio, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, níquel, y otros)<sup>22</sup>.

En general las plantas de biogás como esta cuyos sustratos fermentables son estiércol de cerdo y silo de maíz y centeno no se observan grandes deficiencias ya que estos micro elementos se encuentran en proporciones aceptables<sup>23</sup>.

#### **- Oxígeno**

Como regla general es casi imposible crear un medio estrictamente anaerobio dentro del fermentador para que se lleve a cabo el proceso de biodigestión.

---

<sup>22</sup> Manual para la producción de biogás

<sup>23</sup> Guía sobre el biogás, capítulo 5 “Operación de la planta de biogás”.

La razón por la cual la actividad de las arqueas metanogénicas no se inhibe inmediatamente es que coexisten con bacterias que consumen oxígeno de las etapas precedentes de la degradación, estas son las que se conocen como bacterias anaerobias facultativas que son capaces de consumir el oxígeno antes de que dañe a las arqueas metanogénicas que necesitan un medio libre de oxígeno. Es por esto también que el oxígeno introducido dentro del fermentador para la desulfuración biológica no presenta un impacto negativo en la formación del metano.

- **Temperatura:**

Los microorganismos que participan en la descomposición se pueden dividir en tres grupos según sus temperaturas óptimas.

Microorganismos psicrófilos son aquellos cuyas temperaturas óptimas están por debajo de los 25<sup>0</sup> C. A estas temperaturas no hay necesidad de calentar el sustrato o el digestor lo único que podemos esperar es un bajo desempeño en la degradación y escasa producción de gas, por lo cual no son factibles económicamente en las plantas de biogás.

En el rango de temperaturas mesófilas entre 37<sup>0</sup> y 42<sup>0</sup> C se encuentran la mayoría de las bacterias generadoras de gas metano. Los rendimientos en la producción de biogás son altos y la estabilidad del proceso es buena, es en este rango de temperatura se encuentran esta planta de biogás igual que en la mayoría de las plantas de biogás agrícola.

En el caso de que se desee eliminar gérmenes dañinos por medio de higienización del sustrato se utilizan temperaturas termófilas que rondan los 50 y 60<sup>0</sup> C. El inconveniente que se presentaría en este caso sería que a estas temperaturas hay menores especies diferentes, por lo que cualquier perturbación como por ejemplo en el suministro de sustrato impactaría en mayor medida en el curso normal de proceso de biodigestión, además de que sería necesario contar con más energía para calentar al fermentador.

Los cambios bruscos en la temperatura son los que ocasionan efectos adversos sobre los microorganismos; mientras que en los cambios graduales estos se pueden adaptar fácilmente.<sup>24</sup>

La temperatura a la que trabaja esta planta de biogás es del rango de los 37 y 41<sup>0</sup> C, la cual se registraba en un termómetro electrónico en la sala de control.

---

<sup>24</sup> Guía sobre el biogás capítulo 5 Operación de la planta de biogás.

En el ámbito de las energías renovables cabe destacar que el calor es una forma de manifestación de la energía , por lo cual esta planta tomaba el calor procedente de los motores generadores de electricidad para poder mantener las condiciones adecuadas dentro del fermentador durante todo el año y más precisamente durante los meses de invierno. Los fermentadores contaban con unos sistemas de calefacción que consistían en conductos adosados a las paredes (calentadores integrados) por donde circulaba agua caliente proveniente de la refrigeración de los motores.



**Foto 53: Sistema de calefacción para el fermentador**



**Foto 54: Motor generador**



**Foto 55 y 56: Alimentación del fermentador en los meses de invierno**

## - **Valor de pH<sup>25</sup>**

Cada especie de bacteria que participa en cada etapa del proceso requieren un rango de pH optimo para desarrollarse, el pH óptimo para las bacterias de la hidrólisis y que forman ácidos esta en el rango de pH 5,2 a pH 6,3 pero aun son capaces de convertir sustratos a pH más altos aunque con una capacidad menor. Para el caso de las bacterias arqueas metanogénicas y las formadoras de ácido acético el valor de pH ronda en 6,5 a 8

El valor del pH en general queda determinado automáticamente dentro del sistema a causa de los productos metabólicos alcalinos y ácidos formados en el curso de la descomposición anaeróbica.

Si al fermentador se le adiciona en un periodo corto de tiempo demasiada materia orgánica o si se inhibe la metanogénesis por alguna razón, se acumularían los productos metabólicos ácidos resultantes de la acidogénesis. En general el valor del pH se establece en un rango neutral gracias a la acción tampón de bicarbonato – dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$  -  $\text{HCO}_3$ ) y amonio – amoníaco ( $\text{NH}_4$  -  $\text{NH}_3$ ), pero si se agota esta capacidad tampón se acumulan los ácidos orgánicos y el pH desciende. Esto incrementa el efecto inhibitorio del sulfuro de hidrógeno y del ácido propiónico mientras que el proceso de biodigestión se detiene.

La medición del pH es de uso limitado a pesar de su importancia en todo el proceso.

## - **Suministro de nutrientes**

Los microorganismos involucrados en el proceso de fermentación anaeróbica tienen requerimientos específicos en cuanto a macro nutrientes, micronutrientes y vitaminas. Para una óptima producción de gas es necesario cubrir estos requerimientos teniendo en cuenta los límites mínimos y máximos de aceptación.

La relación C:N de los sustratos es crucial, si la proporción es demasiada elevada (mucho C pero no mucho N) el metabolismo involucrado puede hacer que el carbono no se convierta por completo, por lo tanto no se lograra un máximo rendimiento posible del metano. En el caso de un exceso de nitrógeno podría llevar a la formación de cantidades excesivas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) el cual inhibiría el crecimiento de las bacterias. La proporción optima de C: N es en el rango de 10-30:1.

---

<sup>25</sup> Guía sobre el biogás capítulo 5 Operación de la planta de biogás.

Otros nutrientes importantes son el azufre que es una parte constituyente de los aminoácidos y los compuestos fosfóricos para formar adenosin trifosfato (ATP) y la nicotinamida adenina dinucleotido fosfato (NADP) que actúan como transportadores de energía.

Los oligoelementos también son importantes para la supervivencia de las bacterias pero en las plantas de biogás agrícolas estos requerimientos se cubren cuando a estas se las alimenta con estiércol animal. Las deficiencias de oligoelementos son comunes en plantas de mono-fermentación de los cultivos energéticos.

Los elementos que requieren las arqueas metanogénicas son cobalto (Co), níquel (Ni), molibdeno (Mo) son necesarios como co-factores para reacciones esenciales de su metabolismo, selenio (Se), magnesio (Mg), hierro (Fe) y manganeso (Mn) importantes para el transporte de electrones y funcionamiento de ciertas enzimas.

Es recomendable determinar la concentración de micronutrientes en el digestor antes de añadir los oligoelementos, ya que una sobre dosis puede resultar en una concentración alta de metales pesados en el digestato (residuo de fermentación) que exceda el nivel permisible para uso agrícola, en cuyo caso el digestato no se podrá utilizar como fertilizante orgánico.

### **Mezcla y agitación<sup>26</sup>**

El fin de la agitación dentro del fermentador es:

- Lograr un óptimo contacto del sustrato fresco con el material semilla
- Distribución uniforme del calor y de los nutrientes
- Evitar la formación de capas de escoria y destrucción de las misma (estas impedirían la salida del gas desde las profundidades hacia la superficie)
- Óptima extracción del biogás a partir del sustrato

Los agitadores que se usan en esta planta son agitadores de motores sumergibles (SMA) impulsado por motores eléctricos, estos están sumergidos completamente en el sustrato y recubiertos por una membrana especial para resistir la corrosión y ser herméticas.

---

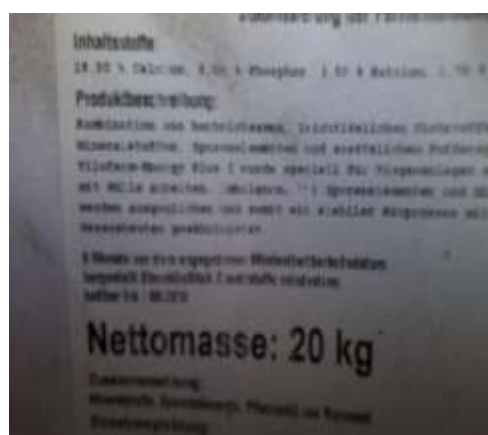
<sup>26</sup> Guía sobre el biogás capítulo 5 “Operación de la planta de biogás”.

## Trampa de espuma y control de espuma<sup>27</sup>

En los procesos de digestión húmeda y según la composición del sustrato, puede formarse espuma la cual taponaría las tuberías de salida del gas. La solución a este problema sería ubicar las descargas del gas en las partes más elevadas o colocar sensores de espuma o rociar inhibidores de espuma dentro del biodigestor.

### Tareas realizadas en el establecimiento:

- Una vez por semana se colocaba junto con el sustrato de fermentación 7 kg de un estabilizador del proceso, que contenía micronutrientes para las bacterias.



Fotos 57 y 58: Estabilizador, composición del mismo

- Controlar y llenar el recipiente que contenía el lubricante para el sistema de agitación.

<sup>27</sup> Guía sobre el biogás capítulo 5 “Operación de la planta de biogás”.



**Foto 59: Recipiente contenedor de lubricantes**



**Foto 60: Ventana de inspección.**

- Controlar a través de la ventana de inspección del fermentador la presencia o no de espuma y la formación de burbujas, ya que esto indicaría que el proceso de biodigestión se está llevando a cabo de una manera óptima.

### **Inhibidores:**

Estas son sustancias que inhiben o hacen más lento al proceso de descomposición. Se debe hacer una distinción de aquellos inhibidores que ingresan al digestor a través del sustrato y de aquellos que se forman como productos intermedios a partir de las etapas individuales de descomposición.

Sustancias como antibióticos, desinfectantes, solventes, herbicidas, sales y metales pesados que en cantidades pequeñas podrían afectar a todo el proceso.

No es así para los compuestos de cobre que ya son tóxicos en concentraciones bajas de 40-50 miligramos por litro debido a su efecto antibacteriano. Estos entrarían al ciclo al trabajar en la desinfección de los cascos de los animales.

### **3.5 Almacenamiento del residuo de fermentación, tratamiento y esparcimiento en el campo**

El tipo de almacenamiento y los cuidados de este dependerán si el digestato es sólido o líquido en este caso se trataba de un producto líquido.

### **Digestato líquido o residuo de fermentación.**

El almacenamiento del digestato se realiza en un depósito de concreto de aproximadamente 10-15 metros de alto sin cubierta superior y que se conecta al segundo digestor a través de tuberías subterráneas.

La carga del depósito se realiza diariamente, de forma automática ya que por cada 14 toneladas de sustrato de silo y 7 metros cúbicos de estiércol de cerdos que se enviaban al fermentador esta misma cantidad de residuo de fermentación salía en dirección al almacenamiento final.

Este tanque está equipado con un agitador el cual se lo hace funcionar cada vez que se disponía a extraer el digestato y llevarlo al campo

Este tanque final de almacenamiento de digestato no posee una cobertura y por lo tanto se realizan pérdidas de gas todavía, por lo cual no recibe los beneficios, para poder obtener estos beneficios es necesario cubrirlo a prueba de escapes de gases.

### **Calidad y utilización del digestato. Biofertilizante**

El efluente de la digestión anaerobia en los digestores se denomina biofertilizante y su composición varía de acuerdo al material orgánico. En los casos comunes de biodigestores rurales se utiliza estiércol diluido, el biofertilizante resultante es una suspensión homogénea cuyo valor no está dado por la cantidad de nutrientes químicos para las plantas (por ejemplo nitrógeno y fósforo), sino como activador de la población microbiana del suelo con la resultante dinamización de toda la actividad biológica y la mejora de las propiedades físicas del suelo (que son las que regulan la aireación y la dinámica del agua)<sup>28</sup>

### **Contaminantes en los digestatos:**

La concentración de contaminantes en los digestatos varían de acuerdo a los sustratos utilizados. Las cantidades absolutas de metales pesados en los digestatos no cambian durante el proceso de biogás pero luego de la digestión se incrementan por la degradación de la materia orgánica.

---

<sup>28</sup> Frioni, Lilian : Microbiología básica, ambiental y agrícola

Los valores límites para metales pesados estipulados en BioAbfV (Ordenanza sobre Bio-residuos) se permite un máximo de para plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y mercurio (Hg) es del 17 % y del 70% y 80 % para cobre (Cu) y zinc (Zn).

La bosta de cerdo tiene concentraciones más elevadas de Pb, Cd, Cu y Zn. A pesar de que el Cu y el Zn son clasificados como metales pesados también son micronutrientes para la vida microbiológica además de los animales y plantas. Por esto no se estipuló en la ordenanza valores límites. A estas concentraciones no se espera que la utilización del digestato en tierras de cultivos origine alguna contaminación de los suelos o curso de agua.

### **Aspectos sanitarios:<sup>29</sup>**

El tratamiento de los desechos por vía anaerobia elimina la acumulación de desechos orgánicos en ambientes abiertos evitando así la proliferación de plagas transmisoras de enfermedades.

Debido a las características de la temperatura de fermentación como así el tiempo de retención reduce el porcentaje de semillas de malezas como así también de patógenos de animales como ser Estafilocos , Salmonella , Pseudomonas.

### **Efecto de los digestatos sobre el suelo**

El aumento de los precios de los fertilizantes minerales en los últimos años hace interesante pensar en la utilización de los digestatos de las plantas de biogás como fertilizantes en tierras agrícolas ya que se estaría entregando una gran cantidad de materia orgánica a la fauna del suelo favoreciéndose así a una estrategia en términos de su equilibrio de energía.

La composición del efluente le brinda una rápida descomposición y liberar los nutrientes disponibles mientras que los ácidos húmicos que contiene contribuyen a mejorar la estructura del suelo en cuanto a su porosidad y capacidad de intercambio catiónico.

La digestión anaeróbica reduce el contenido de materia seca dando como resultado que en el digestato se estreche la relación C: N pasando de 10:1 a 6:1 debido a la digestión del metano, esto hace que se incremente la cantidad de amonio disponible para los cultivos

---

<sup>29</sup> Manual para la producción de biogás

Es importante tener en cuenta que la eficacia del nitrógeno en el digestato está muy influenciada por método y momento de aplicación como así también del clima, tipo de suelo y tipos de cultivos.



**Foto 61: Almacenamiento final del digestato y tanque cisterna para su distribución en el campo**

**Otros uso:**<sup>30</sup> El digestato puede también ser usado para la elaboración de compost, como sustrato para favorecer el crecimiento de algas en estanques con peces llevando así adelante lo que se ha dado a llamar las granjas integradas siendo esta la base para un pleno desarrollo sostenible.

### **Técnicas de aplicación en tierras agrícolas**

En el establecimiento Wöhler se utiliza un aplicador de manguera remolcada, con un ancho de entre 6 y 24 metros y una distancia entre mangueras de 5 a 10 cm

---

<sup>30</sup> Manual para la producción de biogás



**Foto 61: Aplicación del digestato en los campos**

### **3.6 Almacenamiento del gas<sup>31</sup>**

El biogás producido es almacenado temporariamente dentro del fermentador (tanques de almacenamiento integrado). Son láminas de plástico que forman un sello a prueba de fugas alrededor de la parte superior del tanque. En el tanque se coloca una estructura de soporte, cuando no hay suficiente gas, las láminas de plástico están dobladas encima. Estos son tanques de almacenamiento de techo flotante, que tienen en general una segunda lámina por encima de esta que la protege de los factores externos, la lámina externa contiene unos soportes que la mantiene estirada mientras que la lámina interior se adapta al contenido de gas. La presión de gas es prácticamente constante.

### **Procesamiento del gas y sus opciones de utilización<sup>32</sup>**

El biogás crudo está saturado por vapor de agua, metano ( $\text{CH}_4$ ) dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

El sulfuro de hidrógeno y el vapor de agua se combinan y forman ácido sulfúrico. Este ácido es muy corrosivo y daña los motores y tuberías, debido a esto el gas crudo debe ser desulfurado y secado.

---

<sup>31</sup> Guía sobre el biogás capítulo 3 “Tecnología de la planta para la recuperación del biogás”.

<sup>32</sup> Guía sobre el biogás Capítulo 6 “Procesamiento del Biogás y sus opciones de utilización”

### **Desulfuración biológica en el digestor:**

En el interior del fermentador y en presencia de oxígeno, la bacteria *Sulfobacter oxydans* convierte el sulfuro de hidrogeno en sulfuro elemental, el cual posteriormente se descarga desde el reactor al digestato.

Las bacterias están presentes dentro del fermentador por lo cual no es necesario añadirlas mientras que el oxigeno es proporcionado por un mini compresor.



**Foto 62: Mini compresor para inyectar oxígeno**

### **Precipitación del sulfuro**

Este método consiste en la adición de compuesto de hierro al digestor lo que enlaza químicamente el azufre en la digestión, impidiendo que este sea liberado como sulfuro de hidrogeno. Este método es conveniente para plantas de biogás pequeñas o de baja carga de  $H_2S$  menor de 500 ppm.

### **Adsorción con carbono activado:**

Esta técnica es un método de desulfuración fina que consiste en la oxidación catalítica del sulfuro de hidrogeno en la superficie del carbono activado.

## **Secado<sup>33</sup>**

La cantidad de vapor de agua que puede contener el biogás depende de la temperatura del gas pero en general la humedad relativa del biogás en el digestor es del 100 %, lo cual significa que el gas se satura con vapor de agua.

### **Secado por condensación**

El método consiste en la separación del condensado enfriando el biogás por debajo de su punto de rocío. El biogás se enfría en tuberías y el condensado se recolecta en un recipiente colocado en el punto más bajo de la tubería de gas; con esta técnica además de eliminar el vapor de agua se logra eliminar otros elementos no deseados como los gases solubles en agua y los aerosoles del biogás.



**Foto 66: Recipientes que recolectaban el agua de condensación**

### **Remoción del dióxido de carbono.**

Existen varias formas para la eliminación del dióxido de carbono, como ser, adsorción por variación de presión (PSA), limpieza con agua, limpieza química con amina, limpieza física (Selexol, Genosorb), separación criogénica. En esta planta de biogás se utiliza la limpieza con agua a elevada presión que es el método más difundido en Europa. Una vez que

---

<sup>33</sup> Guía sobre el biogás Capítulo 6 “Procesamiento del Biogás y sus opciones de utilización”

el gas fue pre –tratado luego de la remoción de gotas de agua se comprime a 3 bar y luego a 9 bar para luego fluir a contra-flujo a través de la torre de adsorción cargada de  $H_2O$  (reactor de cama de goteo). En esta torre el dióxido de carbono como así también el sulfuro de hidrogeno y el amoniaco se disuelven en agua. Estas sustancias son eliminadas del sistema cuando se reduce la presión del agua.

#### **Remoción de otros gases traza.**

Los gases trazas como ser amoníaco, siloxanos, benceno, tolueno y xileno no se encuentran en altos niveles en plantas de biogás agrícola y en general estos gases son eliminados durante todo el proceso de purificación antes descripto.

#### **Trabajos realizados en el establecimiento Wöhler:**

- La etapa de purificación del biogas consiste en cargar en recipientes hidroxido de hierro e introducirlo dentro del fermentador, una vez por semana.



**Foto 63: Recipientes con hidróxido de hierro**

- Se realizaron trabajos de mantención de los filtros cargandolos con carbono activado e instalaciòn de filtros nuevos



**Foto 64: Carbono activado**



**Foto 65 Instalación del filtro de carbono**

- Diariamente se elimina el agua de condensación, al iniciar y al finalizar la jornada de trabajo.

### **3.7 Extracción del calor**

El calor producido por los motores durante el proceso de generación de electricidad es utilizado para la calefacción del establecimiento de cerdos y para mantener la temperatura adecuada en el fermentador, para lograr esto se utilizaban intercambiadores de calor.

La mayor cantidad de calor se puede obtener de los sistemas de agua de enfriamiento del motor mientras que la temperatura del gas de escape está entre 460° y 550° C.

El biodigestor necesita entre el 20 y el 40 % del calor total producido.

Además del uso del calor in situ se puede optar por vender el calor producido, este proceso goza de un bono de asistencia según la ley de Fuentes de Energía Renovable. Esta planta no gozaba de este beneficio.

### **3.8 Parámetros para monitorizar el proceso biológico<sup>34</sup>**

El objetivo en toda planta de biogás es la de lograr una tasa de producción de gas constante, para ello hay ciertas variables que el operador debe asegurar, controlar y que están asociadas al tamaño y diseño de la planta; como ser la tasa de carga orgánica, el tiempo de retención, el grado de degradación y la tasa de producción de gas. Pero siempre surgen perturbaciones que afectan directa o indirectamente al proceso de degradación, como ser mal estado del sustrato, averías en bombas, averías en los motores, rupturas en general las cuales deben repararse lo más inmediatamente posible.

Se describirán a continuación los métodos para la evaluación del proceso biológico utilizados comúnmente en esta planta.

#### **Tasa de producción de biogás**

La tasa de producción de biogás es la cantidad de gas producida por unidad de tiempo y con un volumen de alimentación conocido. En el caso de esta planta era de aproximadamente de 3000 metros cúbicos por día. Es importante medir la cantidad de biogás producido para equilibrar los procesos metabólicos y evaluar la eficiencia de las poblaciones metanogénicas.

El caso particular de esta planta que era un tanque de almacenamiento integrado la cantidad de biogás se media por un dispositivo que estaba ubicado en la pared lateral de planta a simple vista. También existía la posibilidad de observar a través de la ventana de observación y ver si se formaban burbujas sobre el sustrato lo cual indicaba un proceso correcto o en la sala de control se disponía de un dispositivo electrónico para tal uso.

---

<sup>34</sup> Guía sobre el biogás. Capítulo 5 “Operación de las plantas de biogás”



**Foto 68 y 69: Dispositivo en la pared del fermentador**, conectado a la parte superior del mismo; cuando la producción de gas era óptima, la cobertura superior se elevaba empujado un cable indicando que el fermentador estaba cargado de biogás, en caso contrario la cobertura descendía y el cable también.

### 3.9 Peligros de incendio y explosión <sup>35</sup>

El biogás en combinación con el aire puede formar una atmosfera explosiva y dependiendo de la probabilidad de presencia de esta y de acuerdo con BGR-104- Reglas de Protección contra Explosiones, se divide las distintas partes de la planta de biogás en categorías de aéreas de peligro, dentro de cuales se deben tomar las medidas de precaución y seguridad apropiadas.

**Zona 0:** En esta zona está presente constantemente una atmosfera explosiva por largos periodos de tiempo. Pero en general no se encuentran zonas así en plantas de biogás, ni siquiera un tanque digestor de fermentación se clasifica en esta categoría.

**Zona 1:** Son áreas en las que se pueden formar una atmosfera explosiva durante la operación normal de la planta. Estas son zonas cercanas a lugares de retención de gas del tanque de fermentación, lugares cercanos a los sistemas de alivio, válvulas de alivio de la presión o las vengalas de gas; las advertencias de seguridad de la zona 1 deben colocarse dentro de un radio de 1 metro (con ventilación natural)

<sup>35</sup> Guía sobre el biogás. Capitulo 5 “Operación de las plantas de biogás”

Zona 2: Son áreas que no se espera que ocurran mezclas explosivas de gas y aire en circunstancias normales. Estas aéreas cubren zonas como pozos de inspección, el interior del digestor aperturas de aireación y ventilación a los tanques de almacenamiento de gas, en estas zonas se deben tomar las medidas de seguridad para evitar fuentes de ignición o superficies calientes.

Estas zonas deben estar señaladas en un radio de 1-3 metros.



**Foto 70: Indicación de peligro de explosión**



**Foto 71: Mecanismo de seguridad**

### **3.10 Protección ambiental<sup>36</sup>**

#### **Requisitos de higienización**

El objetivo de la higienización es desactivar cualquier germen o patógeno que esté presente en el sustrato y asegurar que sea inócuo desde el punto de vista epidemiológico y citohigienico.

Las normas y requisitos de higienización se encuentran en el Reglamento No. 1774/2002 de la Comunidad Europea y Ordenanzas sobre Bio-residuos, el reglamento de la Comunidad Europea incluye reglas sanitarias.

Sin embargo, este reglamento rara vez se aplica a plantas de biogás agrícola. Si los únicos sub-productos animales utilizados son residuos de alimentación

---

<sup>36</sup> Guía sobre el biogás. Capítulo 5 “Operación de las plantas de biogás”

### **Control de la contaminación del aire**

Los requisitos se relacionan principalmente con el mal olor y a las emisiones de contaminantes y polvo. Las bases legales se encuentran en la Ley de control de la Contaminación de Alemania y sus reglamentos de implementación junto con las Instrucciones Técnicas sobre el Control de la Calidad de Aire. Su objetivo principal es de proteger al medio ambiente.

### **Reducción del ruido**

Con respecto a la generación de ruido, se espera que la mayor frecuencia e intensidad de estos en una planta de biogás se deba a la circulación de maquinas durante los periodos de carga del fermentador, elaboración del silo.

En el caso de los motores de generación eléctrica se instalan en áreas cerradas a prueba de ruido.

### **Control de la contaminación del agua**

Para evitar impactos negativos sobre el ambiente y más precisamente sobre el recurso agua la planta de biogás debe de ser construida de tal manera que no se afecte las aguas superficiales como así también las subterráneas. Las disposiciones legales son diferentes en cada región pero en general las sustancias que escurren con mayor frecuencia en las plantas de biogás agrícola, como el lodo, la bosta liquida y el efluente del ensilaje, caen dentro de la categoría de sustancias peligrosas para el agua de clase 1 (ligeramente peligrosas para el agua).



**Foto 72: Desague para el escurrimiento de los efluentes del silo y evitar la contaminación de las napas freáticas**

### **Conclusiones del capítulo 3:**

El uso de los biodigestores es adecuado para minimizar el impacto ambiental de los efluentes que produce la actividad porcina, a través del uso de éstos como sustrato de fermentación en el proceso de biodigestión anaeróbica. En el ámbito de la energías renovables y buscando la optimización del sistema con el fin de obtener energía eléctrica, es necesario la incorporación de cultivos energéticos que hacen más eficiente la producción de biogás y su posterior transformación en energía eléctrica y calor.

Además se obtiene un residuo de fermentación llamado biofertilizante que es utilizado en los campos para incrementar la materia orgánica, reponer macro y micro nutrientes al sistema y dinamizar la macro y micro vida.

Es indispensable la capacitación del operario de las plantas de biogás, su conocimiento minucioso de aquellos factores que intervienen en el proceso, como así también la disponibilidad inmediata de la asistencia técnica en caso de desperfectos en el sistema.

Además, es fundamental ser estricto con las normas de seguridad y respetar las disposiciones legales presentes para evitar problemas ambientales.

Una planta de biogás puede optimizarse de manera general en tres áreas: técnica, económica y ambiental. Estas áreas están interrelacionadas entre sí por lo que se asume que puede haber más de una solución posible, los criterios de evaluación pueden incluir por ejemplo, producción de biogás, costos y minimización del impacto ambiental.

**Optimización Técnica:** El objetivo es minimizar los tiempos de parada y asegurar un manejo continuo del proceso, esto se lograría utilizando la capacidad completa de la planta lo que traería un alto nivel de uso tecnológico y aumentaría los costos; por lo que se recomienda realizar un análisis beneficio-costos.

Para lograr una optimización técnica en reglas generales se debería:

- Respetar los intervalos de mantenimiento
- Instalar equipos de medición para detectar perturbaciones
- Almacenar repuestos importantes
- Asegurar la reposición rápida de los mecanismos averiados por parte de las empresas de mantenimiento
- Utilizar tecnologías y materiales de poco desgaste.

**Optimización económica:** Consiste en reducir los costos y aumentar los rendimientos a través del análisis y comparación de los siguientes datos económicos:

- Costos operativos
- Costos del personal
- Costos de mantenimiento
- Costos de reparación
- Costos de energía
- Costos de actualización
- Costos de inversión (depreciación), interés
- Ingresos por electricidad y calor generados
- Ingresos por sustratos
- Ingresos por residuos de fermentación/fertilizantes

**Minimización de impactos ambientales:** Se busca minimizar los efectos de la planta de biogás sobre el medio ambiente, para ello se considera la liberación de contaminantes al aire, agua y suelo:

- Agua de filtraciones (recolección y utilización de filtraciones de ensilaje, escurrentía de las áreas de almacenamiento)
- Emisiones de metano de la planta ( proporcionar a la planta un tanque de almacenamiento de digestato cubierto, identificación de fugas)
- Emisiones de olores ( instalaciones de carga, almacenamiento y tanque de digestato cubiertas, residuos de fermentación separados)
- Emisiones de ruido
- Luego de la aplicación del digestato: emisiones de amoníaco (técnicas de aplicación e incorporación)

## COMENTARIOS FINALES

Luego de la experiencia de vida y trabajo durante 12 meses en la localidad de Fuhrberg puedo concluir que la misma ha sido muy importante en mi formación profesional y personal, permitiéndome aplicar mis conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera y además, formarme y desarrollar mi capacidad de valoración, interpretación y superación. El gran volumen de información manejada me ha permitido desarrollar mi capacidad de síntesis e iniciativa, pues sobre las pautas marcadas por mi tutor, el Ingeniero Evaldo Steger, he dispuesto de la libertad de diseño y ejecución de este trabajo, con una impronta personal.

Más concretamente, los conocimientos y la experiencia adquirida en el área de las energías renovables, con todos sus aspectos técnicos, sociales, políticos, legales, educacionales, ambientales y económicos me permiten concluir que la generación de energía eléctrica para satisfacer la creciente demanda de la sociedad, debe ir acompañada de medidas concretas para disminuir el impacto ambiental y generar mano de obra en el ámbito rural.

Es imperioso tomar conciencia de los efectos del cambio climático y de los factores que lo provocan, tomando medidas directas y concretas para disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero en todas las actividades que desarrolla el hombre.

Está en manos de los ciudadanos y de las autoridades gubernamentales desarrollar los mecanismos legales para promover, incentivar y desarrollar el uso de las energías renovables y que sus beneficios sean distribuidos de forma equitativa en todos los eslabones de la cadena.

Es necesario leyes que promuevan la investigación y fundamentalmente, la educación de nuestros pueblos sobre la importancia de las energías renovables como generadoras de mano de obra y sus efectos para minimizar el cambio climático.

Es necesario buscar la eficiencia en todo el sistema y para ello se necesita agricultores con un alto nivel de capacitación, comprometidos, empresarios con responsabilidad social y una comunidad que esté formada en los valores de la igualdad, solidaridad y respeto por el medio ambiente y sobre todo que cumpla y que haga cumplir las normas y procedimientos.

Es necesario e imprescindible tener la certeza de que cada integrante de la sociedad sea cual fuera su función, lo hará en busca del bien común y ambiental.

En definitiva se necesitan políticas de estado claras y concretas y sanciones económicas, legales y sociales estrictas a aquellos que no la cumplan para llevar adelante un Programa de Energías Renovables.

Es necesario comprender que las energías renovables son un negocio y como tal se debe buscar la optimización técnica y económica y comprender que el medio ambiente es un socio fundamental en este negocio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bragachini, M y otros “Energías renovables: las oportunidades de Argentina para generar bioenergía en origen”. Sitio Argentino de Producción Animal, INTA-Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Artículo publicado en [http://www.produccionbovina.com.ar/Biodigestores/29-Energias\\_renovables.pdf](http://www.produccionbovina.com.ar/Biodigestores/29-Energias_renovables.pdf) consulta realizada el 02/02/2016
2. Frioni, Lilian. (2006) “Microbiología: básica, ambiental y agrícola” Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica de Uruguay”.
3. Gruber, Steffen y otros (2010) “Una planta de biogas en base de estiércol animal en mezcla de silaje forrajeras de maíz en el marco agropecuario argentino”, INTA N° Doc BC - INF-16-10. Publicado en [http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/06--generacion\\_electrica\\_con\\_biogas.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/06--generacion_electrica_con_biogas.pdf) consulta realizada el 10/12/2015.
4. Hazell P. y Pachaury R (2006) “Bioenergía y agricultura: Promesas y retos. Instituto internacional de investigación sobre políticas alimentarias”, International Food Policy Research Institute, en [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/bioenergia%20y%20agricultura.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/bioenergia%20y%20agricultura.pdf), consulta realizada el 30/01/2015.
5. Hilbert, Jorge. “Manual para la producción de biogás”. Instituto de Ingeniería Rural, I.N.T.A – Castelar
6. Hilbert, Jorge “Tecnología de procesos para la producción de biogás a partir de subproductos agrícolas” artículo publicado en <http://www.cpia.org.ar/agropost/201404/nota4.html> , consulta realizada el 10/05/2014
7. “Leitfaden Biogas”-“Guía sobre el biogás; desde la producción hasta el uso”, quinta edición (2010). Fachagentur Nach wachsen de Rohstoffe (FNR), Alemania.
8. Ruiz de Loizaga, Marta. “Sistemas de Apoyo para las Energías Renovables” artículo publicado en [www.a pea.com.es/pdf/ponencias/iii-jornadas/M4C1.PDF](http://www.a pea.com.es/pdf/ponencias/iii-jornadas/M4C1.PDF), consulta realizada el 20/06/2015.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por haber estado en cada segundo de mis días, durante la realización de este trabajo en Alemania y por formar parte de esta familia de la que estoy orgulloso.

Especialmente a mis hermanos Sigrid, Selva y Johann Sand, a mi Madre Ruth Bierozko y a mi padre Hugo Sand por haber confiado en mí y ayudado en todos estos años de estudio y en la realización de este trabajo.

A mis tías Ana y Pablina Piwniski y a mi abuela Antonia Piwniski por el acompañamiento.

Quiero agradecer a la Familia de Amalia Inés Radovancich y Carlos Luis Ortt y a Ramiro Sosa por el apoyo durante estos años de estudios.