

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE ESTIÉRCOL BOVINO

Proyecto Final Ingeniería Electromecánica

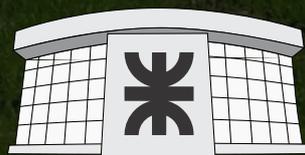
Tutores

Dante Piedrafita
Ariel Goñi

Autores

Leonardo Agustín Barreiro
Jeremías Gamboa
Juan Pablo Pueyo
Franco Matías Temporín
Patricio Vasquez

Grupo BIOEMIA



Índice	1
Abstract	5
Agradecimientos	6
Introducción	7
Necesidades	8
Ambiente (atmósfera)	8
Sanidad humana (entorno).....	8
Sanidad animal (crianza)	9
Recolección y disposición final del estiércol (manejo)	9
Energía (disponibilidad)	9
Fundamentación	11
Objetivos.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos	12
Árbol de problemas	13
Marco del proyecto	15
Feedlots en la provincia de Mendoza	15
Emplazamiento.....	16
Instalaciones disponibles.....	18
Maquinarias disponibles	18
Servicios disponibles.....	19
Ciclo de crianza en el establecimiento	19
Ingesta de los animales	19
Estado actual del conocimiento	21
Generación del biogás.....	21
Biogás como combustible.....	21
Biogás en Argentina	22
Biogás en el mundo.....	25
Marco teórico	28
Compostaje.....	28
Digestión anaeróbica	28

Proceso biológico	28
Hidrólisis	28
Ácido-génesis	28
Aceto-génesis	28
Metano-génesis	29
Productos de la digestión anaeróbica.....	29
Gas	29
Bioabono	31
Biodigestores.....	34
Características del digestor	34
Ventajas del uso de un biodigestor	34
Desventajas de los biodigestores	35
Tipos de biodigestores	35
Evaluación técnica	39
Definición tipo sistema	39
Etapas básicas de proceso	40
Recolección de la materia orgánica.....	41
Homogeneización - Precarga.....	41
Carga.....	41
Biodigestión	41
Digestato - Descarga	41
Fertilizante - Envasado.....	41
Operación del Gas	41
Generación de energía.....	42
Diseño de proyecto	42
Ubicación de la planta.....	42
Diseño de planta.....	43
Operación de planta	83
Resultados de planta	90
Experimentación	98
Generación	98
Resultados de experimentación.....	99
Producción de biogás	99
Procedimiento	99

Biogás producido a volumen constante	99
Resumen de resultados	101
Importancia de la temperatura y rangos.....	101
Aspectos organizacionales	102
Dimensionamiento mano de obra	102
Recolección de estiércol	102
Homogeneización y precalentamiento de estiércol en pileta de carga - Carga de materia orgánica dentro del digestor.....	102
Procesamiento de materia orgánica dentro del digestor	103
Procesamiento del gas	103
Producción de energía eléctrica	103
Envasado de fertilizante	104
Comercialización de fertilizante	104
Organigrama.....	105
Distribución de actividades y carga horaria.....	105
Marco legal.....	107
Feedlot - Medio ambiente.....	107
Ley nacional 25.675– Leyes provinciales 5961 y 8461/2012.....	107
Plantas de Biogás	108
Normativa nacional.....	108
Normativa provincial	111
Normativa Municipal	111
Autoridades competentes	112
Digestato - Fertilizante	113
Seguridad e higiene	115
Leyes Laborales	116
Evaluación de impacto ambiental	118
Estudio de impacto ambiental (EIA)	118
Evaluación económica.....	122
Modelo de negocio (economía circular)	123
Análisis FODA.....	124
Fortalezas	125
Oportunidades	125
Debilidades	126
Amenazas.....	126

Costos de Inversión.....	126
Costos Operacionales.....	131
Costos fijos	131
Costos variables.....	131
Retorno de inversión.....	132
Fertilizante	132
Agroquímicos utilizados	133
Digestato como fertilizante	134
Consumo interno de biofertilizante	136
Biofertilizante en el mercado.....	136
Energía eléctrica.....	139
Generador 100kVA.....	140
Financiamiento del proyecto	142
Fondo para la transformación y el crecimiento (FTyC)	143
Ministerio de desarrollo productivo.....	143
Flujo de caja	144
Ingresos.....	147
Depreciación	147
Utilidad antes de impuesto	148
Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)	148
Análisis de sensibilidad.....	149
Sensibilidad año 1	149
Sensibilidad año 4	151
Sensibilidad año 15	152
Discusiones y conclusiones	154
Conclusiones particulares (respondiendo a los objetivos).....	154
Conclusión general	158
Trabajos citados	159
Índice de figuras.....	160
Índice de tablas	162
Índice de gráficos	164

El “feedlot” o engorde intensivo de bovinos a corral, es una técnica que ha sido implementada exitosamente en la provincia de Mendoza durante los últimos años, presentando ventajas desde el punto de vista de la optimización de la crianza de los animales, con el consiguiente aumento de la producción y abastecimiento de carnes del mercado local.

Estos establecimientos presentan como contrapartida la concentración de orina y heces generadas por los animales en estos recintos, lo que trae asociado no solamente un problema ambiental de contaminación de suelos y alta emisión de gases de efecto invernadero, sino también de condiciones insalubres para el ganado bovino. Las heces de los animales de feedlot tienen gran capacidad de producción de metano y pueden tratarse con tecnología de fermentación anaeróbica para lograr un tratamiento efectivo de estos residuos, obteniendo como resultado biogás y biofertilizante como subproducto.

A través del análisis de datos de feedlots locales se determinó la conveniencia de evaluar un proyecto de inversión para la adaptación de un establecimiento en particular de engorde a corral, ubicado en Colonia Elena, distrito de Cuadro Nacional. Esto implica la construcción de una planta (biodigestor) que permitiría obtener biogás y energía eléctrica. El análisis técnico, económico, administrativo, legal y ambiental permitió determinar que, en un período de al menos 10 años y contando con las líneas de financiamiento disponibles actualmente a nivel provincial, es viable la implementación de un ciclo de economía circular a partir de la integración de las actividades preexistentes. Llevando a cabo este proyecto se lograría mejorar las condiciones sanitarias de cría de los bovinos, reducir el impacto ambiental de la instalación, dar una solución a la disposición final a la excreta bovina y aumentar la rentabilidad del establecimiento.

Agradecimientos

Este proyecto representa el cierre de nuestra carrera profesional y creemos oportuno agradecer a todos aquellos que fueron partícipes de nuestro camino durante estos años. Nuestra gratitud hacia la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, por formarnos profesional y humanamente, brindarnos todo lo necesario en nuestro desarrollo y permitirnos cumplir nuestro sueño.

Agradecemos especialmente a nuestros tutores, ingenieros Ariel Goñi y Dante Piedrafita, por su orientación profesional, su dedicación y sus útiles recomendaciones que, a través de su reconocida y vasta experiencia, supieron transmitirnos en el desarrollo del presente proyecto.

Queremos reconocer particularmente la participación del ingeniero Miguel Fortunato, por su dedicación, su desinteresado apoyo, su tiempo y amplio conocimiento que, desde el inicio del proyecto y en todo momento, nos brindó y transmitió.

A su vez, queremos gratificar la colaboración de Osvaldo Fernandez y Roberto Rios, por brindarnos valiosos y certeros datos, suma experiencia y el acceso a sus instalaciones de engorde a corral (finca Renacer).

En particular queremos reconocer y gratificar la inmensa participación de nuestros compañeros de estudio, Emmanuel Herrera Poblet y Gabriel Chernikoff, que colaboraron en el inicio y en parte del desarrollo del proyecto.

Agradecemos también a todas aquellas personas que nos apoyaron y contribuyeron en el transcurrir del proyecto como lo son familiares, colaboradores, compañeros de estudio y amigos. Sin la participación y entusiasmo de todas las personas aquí nombradas, nuestra formación académica y la realización de este trabajo no podría haberse llevado a cabo.

Capítulo 1

Introducción

El Departamento de San Rafael, provincia de Mendoza, tiene una reconocida reputación en la producción frutihortícola, en particular de durazno, damasco, ciruela y uva. Este sector productivo, a lo largo de la historia, se ha establecido como un pilar fundamental en el sustento de grandes y pequeños productores primarios, como así también de aquellos productores secundarios que forman parte de la cadena productiva del vino, frutos secos y conservas.

Sin embargo, a lo largo de los últimos años, estos sectores se han visto afectados principalmente por los bajos precios de mercado a los cuales se transan estos productos y por las constantes inclemencias climáticas características de la zona. Esto da como resultado una baja rentabilidad económica en estos rubros y produce una notable salida de productores de la cadena de valor originaria del lugar, obligando a los mismos a buscar alternativas económicas viables en función del contexto productivo y económico. Una de las alternativas más elegidas por los productores es migrar de la industria agrícola a la ganadera.

Tradicionalmente, la producción ganadera se ha desarrollado en grandes extensiones de tierra con pastoreo directo, ya que esta forma de crianza permite aprovechar las pasturas naturales del terreno. La productividad resultante de este sistema es baja, alternante y con terminaciones no uniformes de los animales. Esto se debe a que en gran parte el crecimiento del animal depende de las condiciones climáticas de la zona, no pudiendo así proveer de materia prima constante y homogénea a la industria frigorífica.

Dentro de las técnicas más eficientes para producir ganado se encuentra la cría o engorde intensivo de bovinos a corral o feedlot. Esta técnica consiste en la cría dentro de un área confinada con comodidades adecuadas para una alimentación intensiva y formulada de ganado bovino, con propósitos productivos. La principal ventaja de este sistema radica en el hecho que el animal es engordado más rápidamente, reduciendo así drásticamente el tiempo de cría y, a su vez, el gasto alimentario. Además, los establecimientos

de engorde intensivo son menos propensos a inclemencias climáticas y permiten liberar tierra para otros aprovechamientos productivos rentables, como por ejemplo la urbanización.

Necesidades

Ambiente (atmósfera)

Uno de los problemas asociados a este tipo de explotación es el potencial riesgo ambiental que supone la gran cantidad de orina y heces que se encuentran concentradas en un mismo lugar. Las actividades agrícolas y ganaderas contribuyen directamente a la emisión de gases de efecto invernadero. La mayor parte de estas emisiones es ocasionada por la ganadería que, después del sector energético, es la actividad más comprometida; este sector aporta el 35% de las emisiones totales del país¹.

Los animales en feedlot, alimentados con dietas altamente energéticas, generan estiércol con gran capacidad de producción de metano (CH₄), mientras que el ganado mantenido con forrajes de baja concentración energética, producen estiércol con la mitad de capacidad de formación de metano que en el caso de un feedlot.

Los gases de efecto invernadero tienen diferente capacidad de calentamiento global, basada en su impacto radiactivo y su duración en la atmósfera. El gas de referencia tomado como unidad es el dióxido de carbono (CO₂) y el potencial de calentamiento global se expresa en millones de toneladas de carbono equivalente (MTCE). El metano posee aproximadamente 21 veces mayor potencial de calentamiento que el dióxido de carbono².

Sanidad humana (entorno)

Además de ser un potencial problema ambiental, la crianza en feedlots provoca incomodidades sanitarias para el ser humano en los alrededores de los emplazamientos. Esto se debe principalmente a los olores que se desprenden de las heces de los animales que suelen acumularse en el suelo de los corrales o en pilas esperando a su disposición final. Es debido a ello que muchas de estas instalaciones no cuentan ni pueden acceder a las habilitaciones municipales correspondientes. Para poder funcionar suelen recurrir a emplazarse en lugares alejados a los centros urbanos, intentando de esta forma afectar en menor medida al entorno humano.

¹ Influencia de la ganadería argentina, Dr. Guillermo Berra e Ing. Agr. Laura Finster Instituto de Patobiología, INTA Castelar

² Influencia de la ganadería argentina, Dr. Guillermo Berra e Ing. Agr. Laura Finster Instituto de Patobiología, INTA Castelar

Sanidad animal (crianza)

La crianza intensiva a corral deriva de la crianza por pastoreo tradicional a campo abierto, planteando las mismas condiciones de suelo e infraestructura, pero en menor escala, es decir, suelo de tierra y alambrados construidos en madera y alambre. Esto trae como consecuencia que la gran cantidad de estiércol que se produce en forma permanente en un feedlot, debido a la gran concentración de animales, se acumule en el suelo generando condiciones insalubres de crecimiento para los mismos (infecciones, alteraciones en la alimentación, acumulación de moscas, etc). Es decir que, los animales, en todo su paso por el feedlot se encuentran prácticamente sobre sus propias heces. Este problema se ve incrementado por las inclemencias climáticas tales como la lluvia y la nieve, produciendo lodos de tierra y estiércol.

Recolección y disposición final del estiércol (manejo)

La elevada cantidad de estiércol producido diariamente implica un serio inconveniente logístico para los productores que intentan mitigar los problemas relacionados con la sanidad del animal. Resulta, en gran escala, muy complejo retirar la materia fecal del recinto de los animales sin producir un estrés sobre los mismos. Esto se debe a que la extracción de estiércol debe realizarse mediante cargadoras hidráulicas tales como palas o tractores adaptados para tal uso.

Pese a que, la definición de estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que pueden ser utilizados para fertilizar orgánicamente los cultivos (provenientes de aves, vacunos, equinos, etc.), el tratamiento o disposición final de estos resulta complejo en función de la magnitud de desechos producidos. Esto se debe a que su rendimiento directo como fertilizante es bajo con respecto a fertilizantes de origen químico, lo que da como resultado que el precio como fertilizante orgánico directo sea muy bajo. En numerosos casos, estos desechos terminan conglomerados contaminando canales de riego, napas de agua subterránea e incluso la tierra circundante al emplazamiento del feedlot.

Energía (disponibilidad)

La energía eléctrica es una fuente muy utilizada en los feedlots para la operación de motores eléctricos de máquinas, tanto para el bombeo de agua como para procesar el alimento que se les suministra a los animales a diario. Debido a que los emplazamientos de estos emprendimientos ganaderos generalmente se sitúan en zonas alejadas del radio urbano, el acceso a la conexión eléctrica a grandes potencias no es viable a un costo razonable. Es por ello que se identifica además como una necesidad el autoabastecimiento eléctrico.

Además, teniendo en cuenta el inconveniente que afronta la humanidad frente a la escasez de energía y también de la necesidad de reducir la dependencia los combustibles fósiles, surge como alternativa la posibilidad de

incorporar una bioenergía que permita, no solo abastecer eléctricamente a la instalación en cuestión, sino también colaborar con el medio ambiente.

Fundamentación

En el presente proyecto se planea brindar una solución a las problemáticas expuestas utilizando las excretas bovinas como materia prima para producir biogás y biofertilizante. Disponiéndose de una fuente de materia orgánica con gran potencial energético, este proyecto supone un abordaje integral a una problemática de la región. Se llevará a cabo la investigación requerida para el desarrollo de todo el proyecto de inversión: estudio de mercado, análisis técnico, económico, administrativo, legal y ambiental.

Mediante el análisis se intentará comprobar la viabilidad de instalar una planta de tratamiento de estiércol bovino en un establecimiento que posea corrales de engorde intensivo (feedlot) ya en funcionamiento. Se pretende mejorar las condiciones sanitarias de cría de los bovinos, reducir el impacto ambiental que presentan estas instalaciones, dar una disposición final correcta a la excreta bovina y, por supuesto, también aumentar la rentabilidad del establecimiento. Esto último se abordará tanto desde las distintas aplicaciones del biogás como fuente de energía, así como de la aplicación del lodo residual como fertilizante.

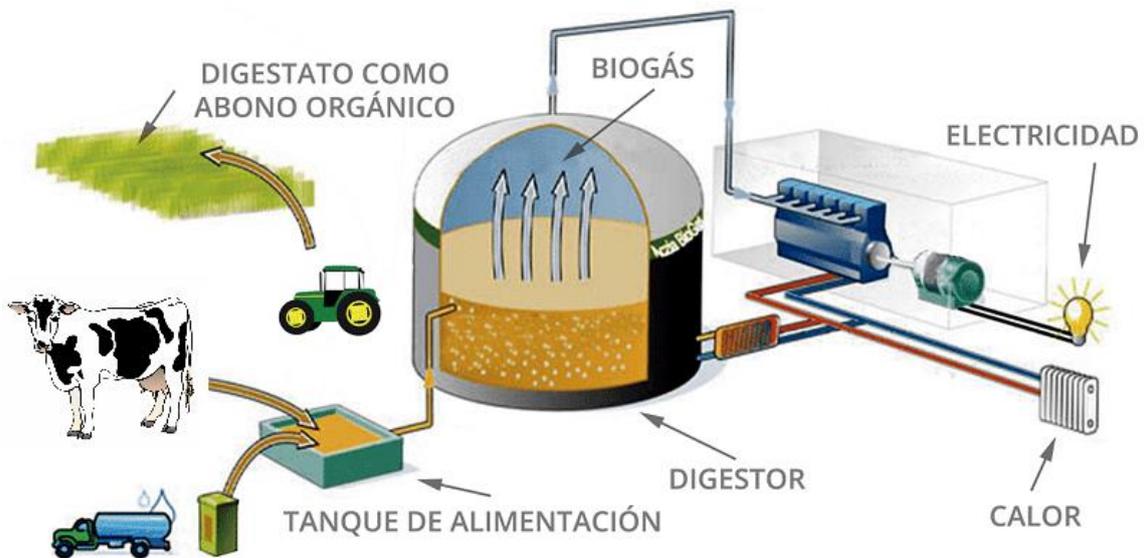


Figura 1. Esquema de planta para tratamiento de estiércol bovino

Objetivos

Objetivo general

Formular y evaluar un proyecto de inversión para la construcción de una planta de generación de biogás y producción de biofertilizante a partir del tratamiento de excreta bovina en un sistema de engorde a corral (feedlot), buscando implementar un ciclo de economía circular con la integración de las actividades preexistentes.

Objetivos específicos

- Determinar y analizar las problemáticas que se manifiestan en un establecimiento de engorde intensivo a corral.
- Establecer el impacto ambiental que produce en su entorno.
- Analizar el mercado competente de feedlots en la provincia de Mendoza.
- Definir el estado actual del conocimiento respecto al funcionamiento de los feedlots.
- Plantear las soluciones técnicas necesarias para solucionar las problemáticas existentes.
- Analizar la viabilidad económica de las soluciones técnicas necesarias.
- Estudiar la factibilidad legal de introducir la planta de tratamiento en la provincia de Mendoza.
- Determinar la inversión requerida para el desarrollo del proyecto.
- Analizar los mercados relacionados que permitan generar un retorno de inversión viable.
- Calcular la rentabilidad que tendrá el proyecto en la zona local.

Árbol de problemas

El árbol de problemas será la técnica que empleada para identificar los problemas principales que entendemos se manifiestan en los feedlot y a los cuales intentaremos solucionar mediante la intervención de un proyecto, utilizando una relación de tipo causa-efecto.

A continuación, se visualizan dos árboles de problemas con los principales problemas identificados en los feedlots y se analizan, de esta manera, sus causas y efectos.

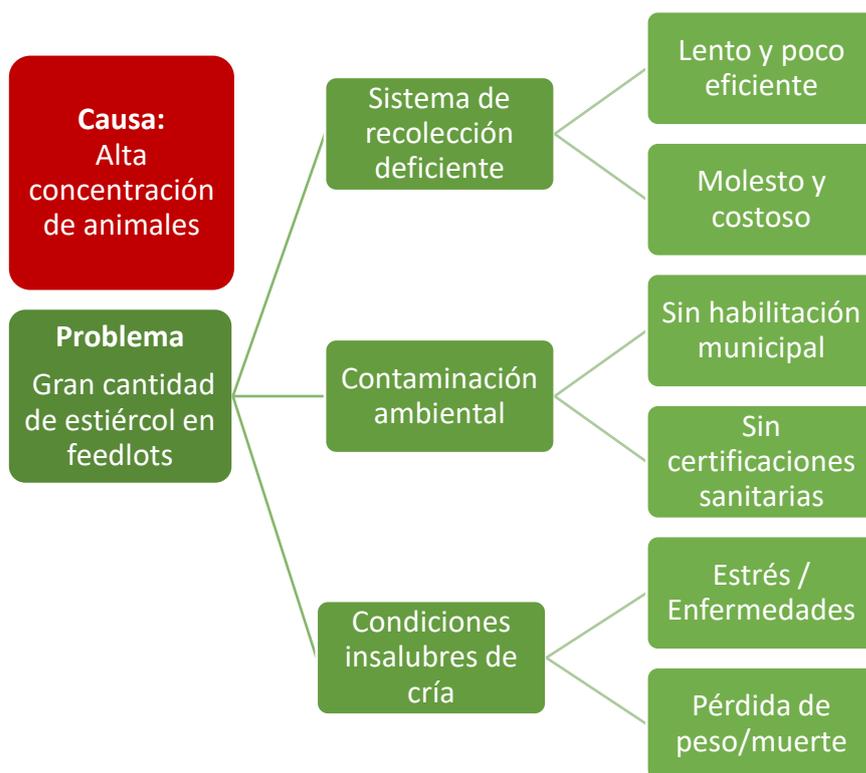


Gráfico 1. Árbol de problema (causa y efecto) en relación a la gran concentración de estiércol

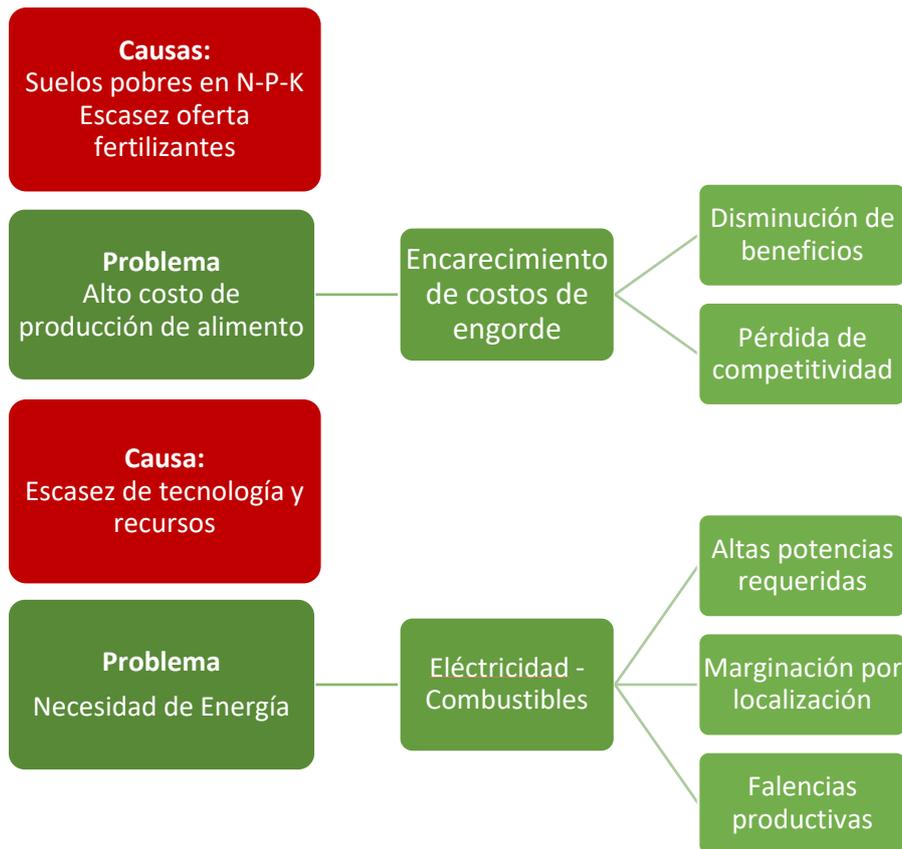


Gráfico 2. Árbol de problema (causa y efecto) en relación a la escasez de energía y altos costos de los fertilizantes

Capítulo 2

Marco del proyecto

La producción ganadera en el sur mendocino se ha presentado en alza en los últimos años debido principalmente a la migración de productores del sector agrícola. Este sector se entiende más estable, redituable y fácilmente expandible dentro del mercado disponible.

En un sondeo previo por la zona pueden identificarse establecimientos de tamaños pequeños, medianos y algunos pocos de porte mayor. Dichos establecimientos poseen diferentes razas de animales y ciclos de crianza. Acudiendo a la información que declaran los productores registrados en la zona, frente a la Cámara de comercio, industria y agropecuaria de San Rafael³, se pueden identificar los siguientes feedlots en la provincia de Mendoza.

Feedlots en la provincia de Mendoza

De acuerdo con los datos analizados según Anexo 1 – Estudio de Mercado, el 20% de los feedlots registrados se encuentra en el norte de Mendoza, esto incluye a 3 instalaciones en Mendoza capital y 1 en Luján. Lo anterior indica que el 80% del mercado está en el sur de Mendoza, equivalente a 16 feedlots. Es menester recalcar que estos 20 emplazamientos no son la totalidad de instalaciones en la provincia, sino que son aquellos de los que se conoce su ubicación y se encuentran registrados en la ya citada Cámara Específica de Ganadería.

³ Avda. El Libertador 78, San Rafael, Mendoza. Sitio web: <https://camarasanrafael.com.ar/>

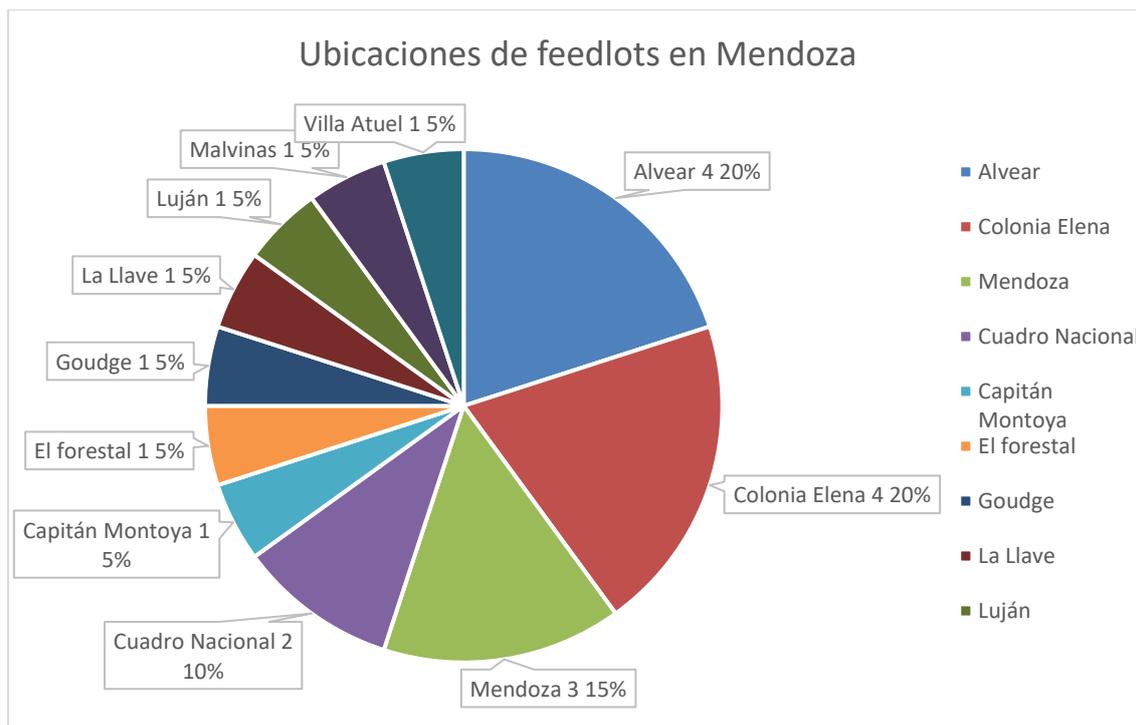


Gráfico 3. Ubicación de feedlots en la provincia de Mendoza

Para acotar la infinidad de variables que se presentan en los distintos emplazamientos que persiguen el mismo objetivo dentro de la región mendocina, es decir, la crianza intensiva de bovinos a corral, se propone analizar un emplazamiento en particular, que presente todas las problemáticas ya expuestas en las necesidades del proyecto. Esto permitirá guiar el mismo dentro de un contexto real, accesible, acotado y con límites lógicos para su correcto desarrollo.

Emplazamiento

Este proyecto se centra en la evaluación de la instalación una planta generadora de biogás en un establecimiento de engorde a corral llamado finca “Renacer”, ubicado en Resolana, ruta provincial 154, Colonia Elena, distrito de Cuadro Nacional, departamento de San Rafael, Provincia de Mendoza.

A continuación, se muestra una imagen aérea del citado establecimiento y algunas imágenes relevantes para el presente proyecto.



Figura 2. Imagen aérea del establecimiento de engorde a corral, Resolana, Colonia Elena

En la imagen satelital anterior puede observarse que el emplazamiento cuenta con 952958m², es decir, aproximadamente 96 hectáreas en total. De estas últimas la mayoría se utilizan para plantar pasturas que sirven, con la adición de ciertos rezagos de la industria alimenticia (soja, porotos, maíz, etc.), de alimento para los animales propios.



Figura 3. Imagen de los corrales, establecimiento de engorde a corral, Resolana, Colonia Elena

Actualmente, el feedlot citado cuenta con aproximadamente 1000 cabezas instantáneas de bovinos. El análisis de mercado realizado según Anexo 1 –

Estudio de mercado, arroja que esta cantidad de animales se ajusta perfectamente a los intereses particulares de desarrollo del presente proyecto y será, de aquí en adelante, el pilar utilizado para calcular, proyectar y evaluar la instalación de una planta de tratamiento de excreta bovina.

Instalaciones disponibles

El emplazamiento cuenta básicamente de las siguientes instalaciones que se describen a continuación. Para mayor profundidad consultar Anexo 2 – Relevamiento feedlot “Renacer”.

- Corrales: Destinados al confinamiento de los animales separados por edad (relacionado directamente con el tamaño), momento de ingreso a las instalaciones, problemas de salud, o condiciones particulares como, por ejemplo, vacunación, marcado, revisiones, etc. Estos ocupan aproximadamente 1.6 hectáreas del terreno total.
- Galpón: Utilizado para el almacenamiento de semillas para el sembrado de pasturas, agroquímicos empleados para la fertilización del suelo y, como ya se dijo, algunos de los rezagos de la industria alimenticia en bolsas (soja, porotos, maíz, etc.) que sirven posteriormente para la fórmula de alimento para los animales. Además, posee un área destinada a taller de mantenimiento para la maquinaria propia del feedlot. Posee aproximadamente en total 400m² de superficie cubierta.
- Área de siembra: Destinada a la plantación de pasturas (cebada, maíz, centeno, etc.) para la alimentación de los animales. Cubren aproximadamente 100 hectáreas del emplazamiento en cuestión.
- Área de silobolsas: Utilizada para el almacenamiento de las pasturas ya cosechadas en silobolsas tipo manga. Estos silobolsas albergan el alimento que será posteriormente utilizado a lo largo del ciclo de crianza de los animales. Para esta área se dispone de aproximadamente 1.8 hectáreas.
- Silo: Empleado para el almacenamiento de granos. Posee la capacidad de moler y administrar el grano directamente sobre el carro utilizado para la alimentación de los animales.
- Tanque de agua: Empleado como reservorio de agua para los animales. Posee una capacidad aproximada de 10000L. El agua utilizada es extraída de la primera napa freática (aproximadamente 3m) y no tiene ningún tratamiento en particular.

Maquinarias disponibles

- Tractores
- Carro alimentador
- Carro fertilizador de abono sólido
- Carro mezclador

- Sembradoras
- Cosechadoras
- Chimangos
- Desmalezadoras

Servicios disponibles

- **Energía eléctrica:** El establecimiento dispone de energía eléctrica en baja tensión (380V) con un transformador exclusivo dentro del propio terreno. Esto se debe a que a través del mismo existe una línea de media tensión (13.2kV) que alimenta posteriormente a tres bombas dentro del mismo emplazamiento y otros establecimientos linderos.
- Agua potable.
- No se dispone de acceso al gas natural.

Ciclo de crianza en el establecimiento

El ciclo de crianza de este feedlot en particular está contemplado en el período de marzo a octubre, constituyendo una estadía en los corrales de aproximadamente 245 días. Esto implica que los animales están dentro del feedlot aproximadamente 8 meses, hasta que son retirados para ser faenados.

El proceso de engorde de los animales se lleva a cabo básicamente en dos etapas: la etapa inicial, denominada “recría”, la cual contempla el período desde el ingreso de los animales al Feedlot hasta que alcanzan los 300kg en la instalación y la etapa final, denominada “invernada” o “terminación”.

Los animales al momento del ingreso son novillos y hembras de un peso aproximado de 120 kgf. Según el sexo, los pesos de salida varían; las hembras son retiradas del confinamiento una vez que las mismas alcanzan los 330 kgf y los machos con un peso de 380 kgf.

- **Recría:** Esta etapa comienza a partir del ingreso de los animales a la instalación, entre los meses de febrero y marzo, hasta el mes de agosto.
- **Terminación:** Compreendida entre los meses de septiembre y octubre, donde los animales aumentan su ingesta diaria, depositando mayor cantidad de grasa en su cuerpo, y donde, por lo tanto, su aumento de peso diario es mayor a la etapa de recría.

La raza que se utiliza en el ciclo del feedlot es la británica. Esta presenta ciertas características especiales como que, según su alimentación, puede depositar grasa a cualquier edad y ser terminados. Esto implica que su mercado es muy flexible, ya que pueden terminarse para ser vendidos como terneros gordos a los 200 - 220 Kg., como novillos a los 400- 440 Kg., o cualquier peso intermedio (novillitos) si están terminados.

Ingesta de los animales

Los animales se alimentan de comederos que se disponen longitudinalmente en los corrales, generalmente en la periferia, donde se les suministra una mezcla de alimentos compuesta por: maíz, cebada, restos de la industria (soja,

porotos y algunas legumbres en general). Las cantidades de alimentos ingeridas por animal por día son de aproximadamente el 3% de su peso vivo en materia seca y en materia húmeda en un rango aproximado del 7 al 10%, dependiendo de las condiciones climáticas y las condiciones del alimento.

Estado actual del conocimiento

Generación del biogás

El biogás es un tipo de biocombustible que surge de la digestión de materia orgánica, por parte de distintos microorganismos, en un ambiente que carece de la presencia de oxígeno. Está compuesto principalmente por una mezcla de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). Además, posee otros componentes en menor proporción tales como nitrógeno, amoníaco, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, entre otros.

El proceso de obtención del gas se lleva a cabo en dispositivos herméticos llamados biodigestores, donde se realiza una digestión anaeróbica (DA), es decir, como ya se dijo, sin la existencia del oxígeno ambiental ni adicional. Además del biogás, este proceso da como resultado un biofertilizante (abono orgánico), que puede ser utilizado directamente para mejorar las propiedades de la tierra.

Biogás como combustible

El biogás es una fuente de combustible extremadamente versátil y por ello todas las alternativas para su aprovechamiento deben ser evaluadas. Es un tipo de gas combustible que, al ponerse en contacto con oxígeno en presencia de calor, produce llama. Presenta en forma natural un olor similar al gas licuado de petróleo (conocido como GLP), lo que permite detectarlo al olfato, aunque al ser quemado en una cocina no presenta mal olor.

Luego del proceso de obtención primaria de biogás, dependiendo del uso final que se pretenda darle, su aprovechamiento puede ser de las siguientes formas:

- Directa: En quemadores, calderas o elementos calefactores como estufas o cocinas.
- Indirecta: En motores de combustión interna (previo filtrado) para obtener energía mecánica útil.
- Cogeneración: En distintos tipos de generadores de electricidad.

En contraposición a otras energías renovables, el biogás puede estar disponible en todo momento debido a su gran facilidad para ser almacenado (en garrafas, pulmones, entre otros).

A continuación, podemos observar distintas formas de uso del biogás como fuente de energía, según sea para la generación de energía eléctrica, para el empleo como gas combustible inyectado en una red de gas entubada o bien, para almacenamiento en garrafas o recipientes a presión con destino doméstico o industrial.

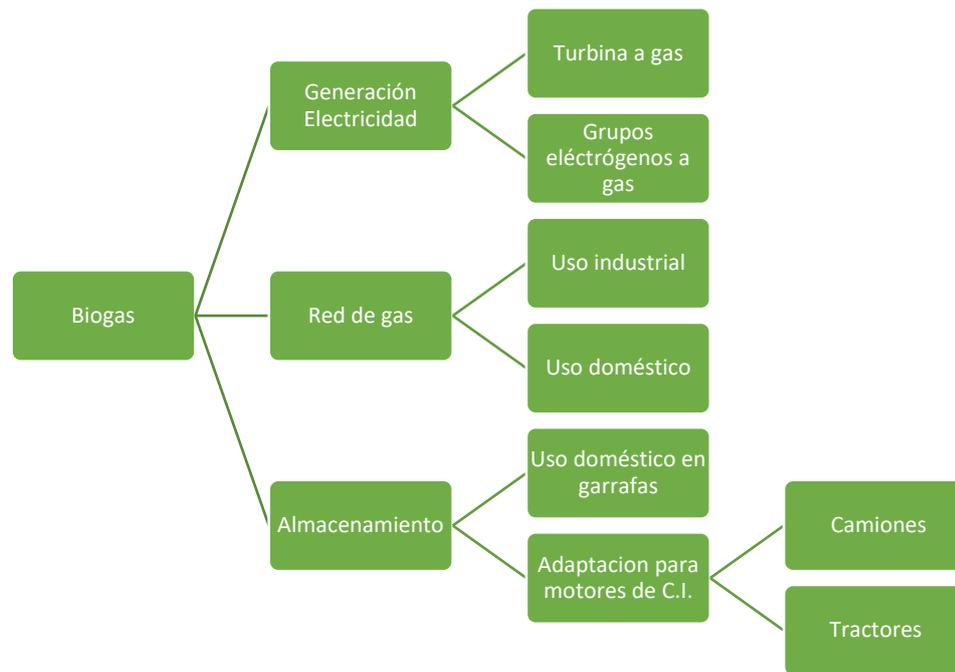


Gráfico 4. Posibles usos del Biogás - Fuente: Elaboración propia

Biogás en Argentina

La matriz energética argentina está conformada, en su gran mayoría, por combustibles fósiles (aproximadamente el 87%⁴). El petróleo y el gas alcanzan casi el 85% del total de la oferta energética del país, pero no consume cantidades significativas de carbón (2% del total), a diferencia de otros países como China, Estados Unidos o Alemania, donde el carbón es una de las fuentes más utilizadas. Desde el punto de vista ambiental, el uso de gas es una ventaja, pues es un combustible más limpio que el carbón, ya que produce una emisión de dióxido de carbono menor.



Gráfico 5. Matriz energética de la República Argentina. Fuente: Ministerio de Energía y Minería

4 Fuente: Ministerio de Energía y Minería, Fundación YPF y Sistema de Información de Petróleo y Gas - IAPG

En este escenario, en 2015, la República Argentina promulgó la Ley 27191, que modificó la Ley 26190 (**Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica**, año 2006), con el objetivo de fomentar la participación de las fuentes renovables hasta que alcancen un 20% del consumo de energía eléctrica nacional en 2025.

La implementación de estas leyes, sumado a la ejecución del programa GENREN (generación de electricidad a partir de fuentes renovables, 2009) y el Plan Renovar (Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, 2016) han dado como resultado la incorporación de nuevas centrales eléctricas a partir de fuentes renovables tales como eólicas, hidroeléctricas, solares y biomasa, entre otras. En lo que respecta al biogás, puede verse en el esquema siguiente⁵ (Ronda 1 y 2 plan Renovar) que existen alrededor de 67 plantas declaradas de producción de energía eléctrica a partir de este recurso. Esto implica que en realidad existen en el país muchas más plantas de generación de biogás de menor escala que no se encuentran identificadas por ser de muy pequeña escala, como son las instalaciones rurales o de investigación.

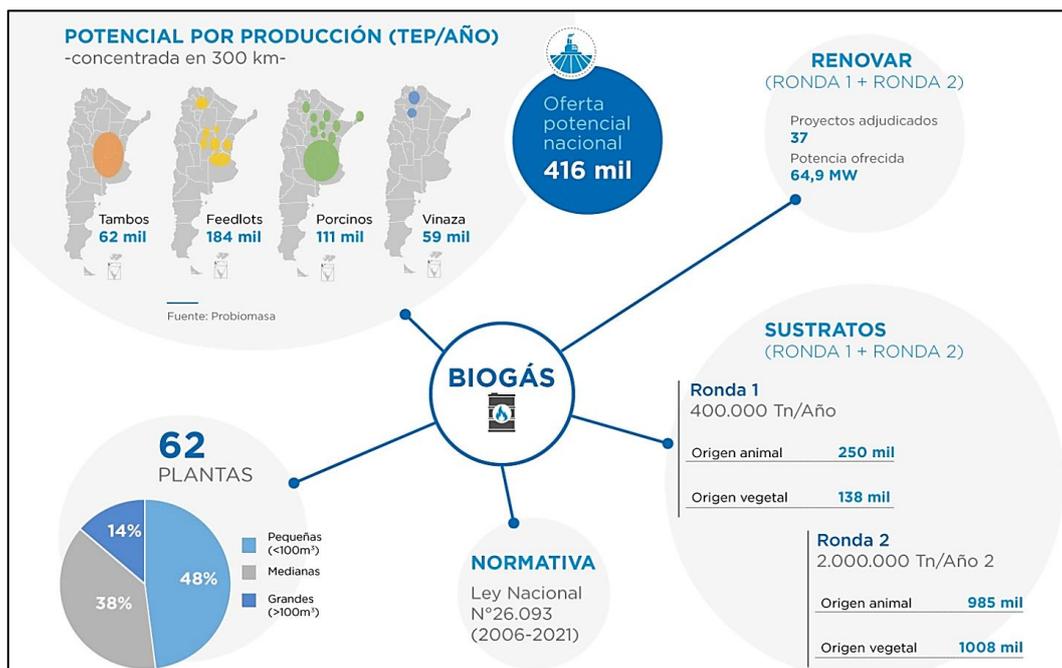


Figura 4. Potencial de generación de biogás en la República Argentina, plan Renovar

En las siguientes gráficas, podemos visualizar cómo ha sido la evolución a nivel nacional de la cantidad de energía producida en los últimos años en plantas de biogás y también el crecimiento de la capacidad instalada.

⁵ Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina.

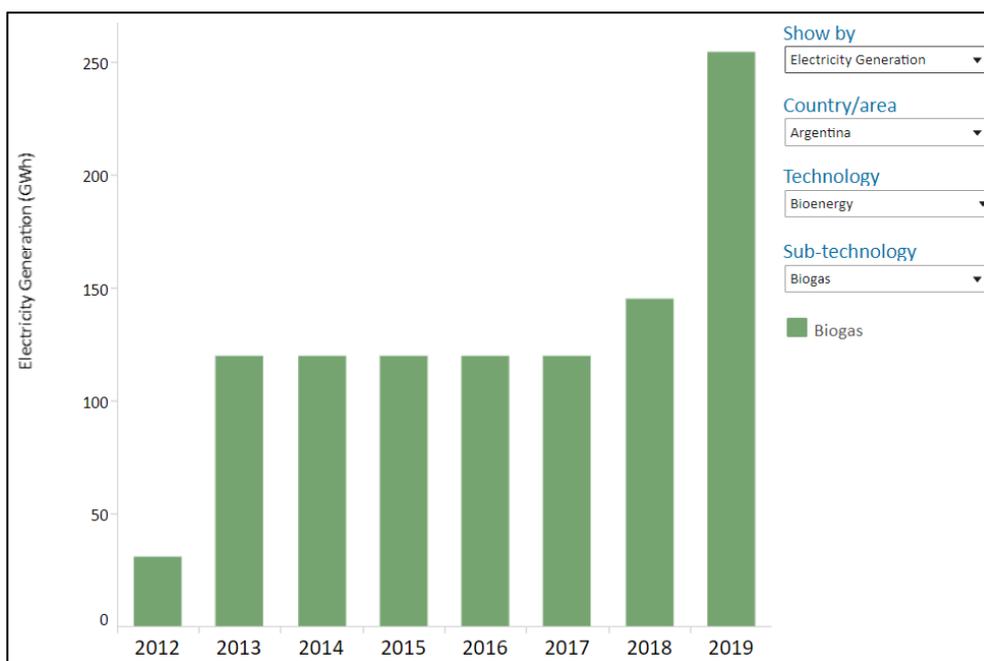


Figura 5. Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en MWh) en Argentina – Fuente: IRENA (International Renewable Energy Agency)

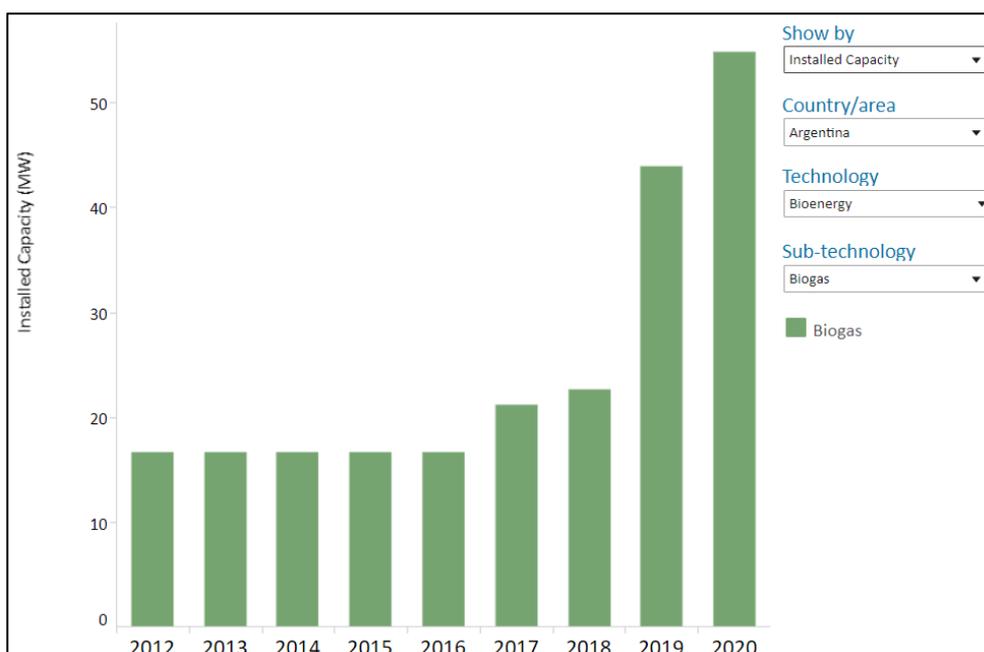


Figura 6. Evolución de la capacidad instalada de bioenergía a partir de biogás (en MW) en Argentina – Fuente: IRENA

A continuación, se muestran algunos ejemplos⁶ de las mencionadas centrales de producción de biogás en la República Argentina que se encuentran hoy en día en operación comercial. Estas centrales, así como todas aquellas centrales renovables que estén dentro del SADI (Sistema Argentino de Interconexión) operarán dentro del denominado MATER (Mercado a término de Energías

6

<https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/plantas-de-energia-renovable>

Renovables), donde se transacciona energía entre comercializadores/generadores y Grandes Usuarios dentro del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

PLANTAS DE ENERGÍA RENOVABLE EN OPERACIÓN COMERCIAL (ARGENTINA)					
ORIGEN	TECNOLOGÍA	NOMBRE DEL PROYECTO	POTENCIA ADJUDICADA (MW)	PROVINCIA	REGIÓN
Renovar Ronda 1	Biogás	C.T. Río Cuarto I	2,00	Córdoba	Centro
Renovar Ronda 1	Biogás	C.T. Yanquetruz	1,20	San Luis	Centro
Renovar Ronda 1	Biogás	C.T. San Pedro Verde	1,42	Santa Fe	Litoral
GENREN	Biogás de Relleno Sanitario	C.T. San Martín Norte	5,00	Buenos Aires	Buenos Aires
GENREN	Biogás de Relleno Sanitario	C.T. San Miguel Norte	10,00	Buenos Aires	Buenos Aires
Renovar Ronda 1	Biogás	C.T. Río Cuarto II	1,20	Córdoba	Centro
Renovar Ronda 2	Biogás	C.T. Ampliación Bioeléctrica Dos	1,20	Córdoba	Centro
Renovar Ronda 2	Biogás de Relleno Sanitario	C.T. Ensenada	5,00	Buenos Aires	Buenos Aires
Renovar Ronda 2	Biogás	C.T. Avellaneda	6,00	Santa Fe	Litoral
Renovar Ronda 2	Biogás	C.T. Citrusvil	3,00	Tucumán	NOA
Renovar Ronda 2	Biogás	C.T. Ampliación 2 Central Bioeléctrica	1,20	Córdoba	Centro

Tabla 1. Plantas de biogás en operación dentro de la República Argentina

Biogás en el mundo

Actualmente, el biogás es una fuente de combustible utilizada tanto a nivel industrial como doméstico. Gracias a su explotación se ha logrado impulsar el desarrollo económico sostenido y proporcionar una fuente energética renovable alternativa a lo convencionalmente conocido y más empleado, carbón y el petróleo (FAO, Manual de Biogás, 2011).

Por una parte, podemos analizar el biogás como combustible empleado para la generación de energía eléctrica, el cual ha tenido un importante desarrollo en los últimos años, demostrando que ha despertado un gran interés a nivel mundial. En la siguiente gráfica, podemos visualizar el crecimiento en cantidad de energía eléctrica generada a partir de biogás en el período comprendido entre 2010 a 2019 en el mundo.

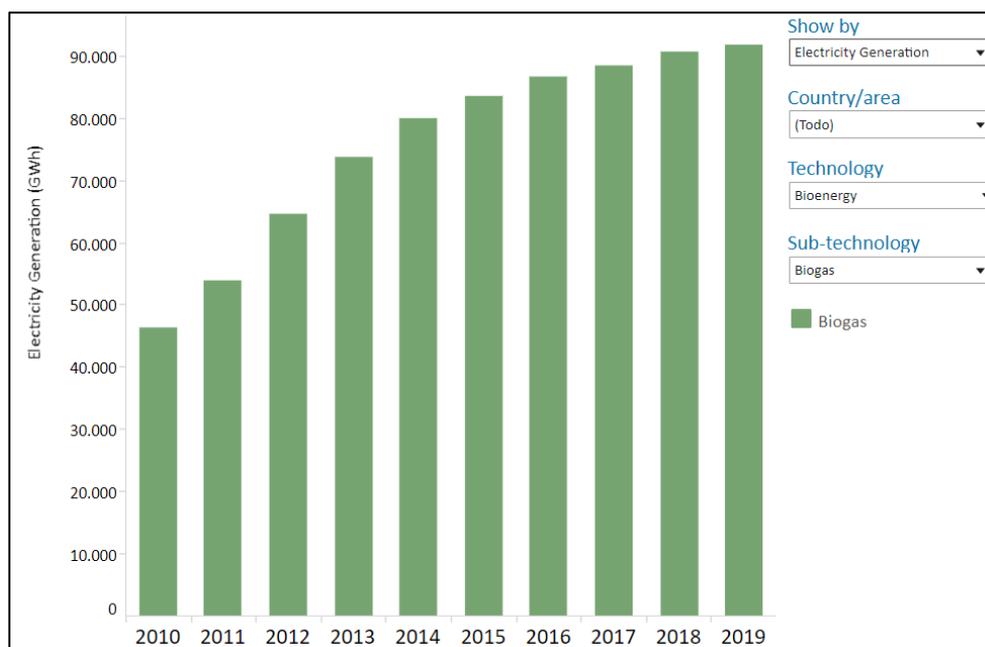


Figura 7. Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en GWh) en el mundo – Fuente: IRENA

Podemos ver también a continuación, el crecimiento continuado de la capacidad instalada de energía eléctrica a nivel mundial.

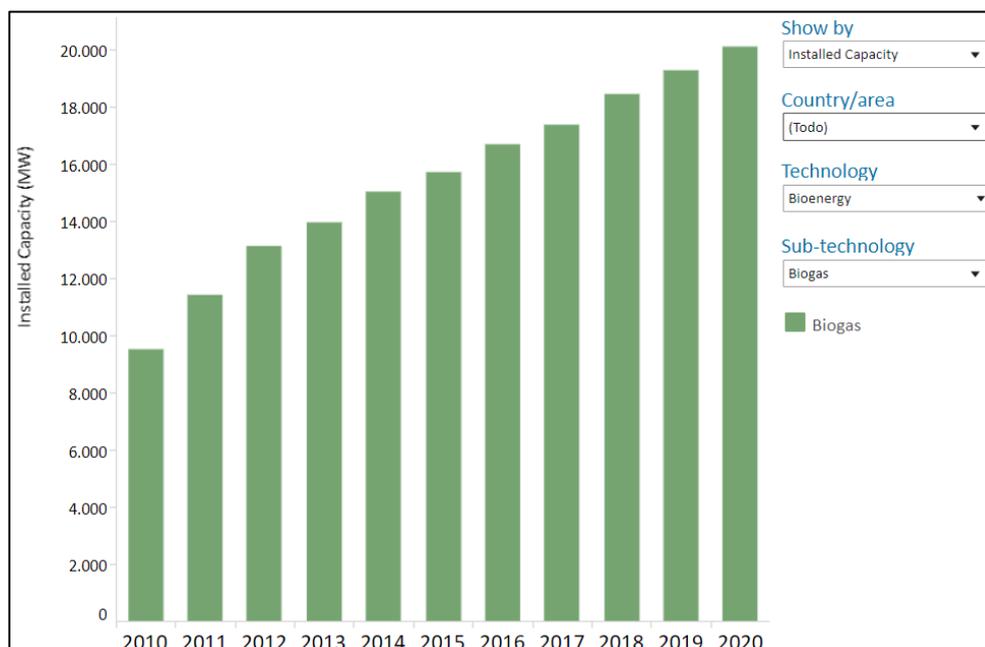


Figura 8. Evolución de la capacidad instalada de energía eléctrica a partir de biogás (en MW) en el mundo – Fuente: IRENA

Por otra parte, se puede también analizar la utilización del biogás que se procesa a través de un proceso denominado “upgrading” que logra el enriquecimiento del mismo para dar lugar al biometano. El biometano se inyecta en las redes de gas natural favoreciendo de esta manera el consumo distribuido geográficamente.

Los países que mayor proporción de biogás transforman en biometano son Suecia (22%), Reino Unido (15%), Holanda (8%) y Suiza (5%). Alemania convierte solo el 1,7% aunque en valores absolutos tiene la mayor producción de Europa, por su enorme producción de biogás.

A pesar de que el biometano presenta múltiples ventajas, su economía actual se ve afectada mayormente por los precios de la energía y por las políticas gubernamentales en distintos ámbitos como son el desarrollo regional, la gestión de los residuos, otras energías renovables o el cambio climático. Todo lo anterior modifica la forma en que se valora económicamente los múltiples beneficios ambientales que trae este tipo de combustible y el desarrollo de este nuevo tipo de industria.

Marco teórico

Compostaje

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener compost, un abono natural. Existen básicamente dos tipos de compostaje: el aerobio se basa en un proceso biológico, que se realiza en condiciones de fermentación aerobia (con aire), y el anaerobio, que ocurre sin presencia de aire y oxígeno.

Digestión anaeróbica

La digestión anaerobia, también conocida como biometanización, es un proceso natural que sucede en condiciones de ausencia de oxígeno. En este proceso microbiológico se fermenta la materia orgánica transformándola por la acción bacteriana en biogás (compuesto por metano y dióxido de carbono principalmente) y produciendo un fertilizante rico en nutrientes mineralizados y por tanto en disposición inmediata para las plantas. Los biodigestores son reactores cerrados en donde se produce la digestión anaerobia y proporcionan una atmósfera anaeróbica para los organismos responsables de dicho proceso.

Proceso biológico

La digestión anaerobia es un proceso multi-etapa y de reacciones paralelas donde diferentes tipos de bacterias degradan la materia orgánica sucesivamente. Se identifican cinco grandes poblaciones bacterianas, las cuales actúan catalizando tres procesos consecutivos: hidrólisis, acidogénesis (formación de ácidos) y metanogénesis (formación de metano). A continuación, se describen cada una de las etapas.

Hidrólisis

La hidrólisis es el primer paso del proceso de descomposición anaeróbica y ocurre gracias a la acción de enzimas hidrolíticas extracelulares que hidrolizan moléculas de cadena larga como grasas, carbohidratos y proteínas para obtener ácidos grasos, azúcares simples y aminoácidos, en orden para que la siguiente etapa ocurra.

Ácido-génesis

Las mismas bacterias degradan los productos obtenidos en la hidrólisis, produciendo ácidos grasos volátiles (AGV) (ácidos propiónico, butírico y valérico) ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Aceto-génesis

En esta etapa los compuestos intermedios se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono gracias a la actividad de las bacterias acetogénicas. La descomposición anaerobia de los ácidos propiónico y butírico no es termodinámicamente posible para presiones parciales del hidrógeno relativamente elevadas y por lo tanto es necesaria la presencia de poblaciones

bacterianas capaces de eliminar el hidrógeno generado en la etapa. El hidrógeno puede ser consumido por las bacterias metanogénicas hidrogenófilas, y también por bacterias homoacetogénicas capaces de producir ácido acético a partir de hidrógeno y dióxido de carbono.

Metano-génesis

La cuarta y última etapa conlleva la transformación bacteriana y el ácido acético producidos en las etapas anteriores en metano y dióxido de carbono. Se distinguen dos tipos de bacterias, las metanogénicas acetoclásticas que transforman el acetato en metano, y las metanogénicas hidrogenófilas que convierten el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano. Aproximadamente el 70% del metano producido en esta etapa se genera por medio de las bacterias acetoclásticas, y el 30% restante gracias a las hidrogenófilas.

En la figura se muestra el diagrama del proceso de digestión anaerobia.

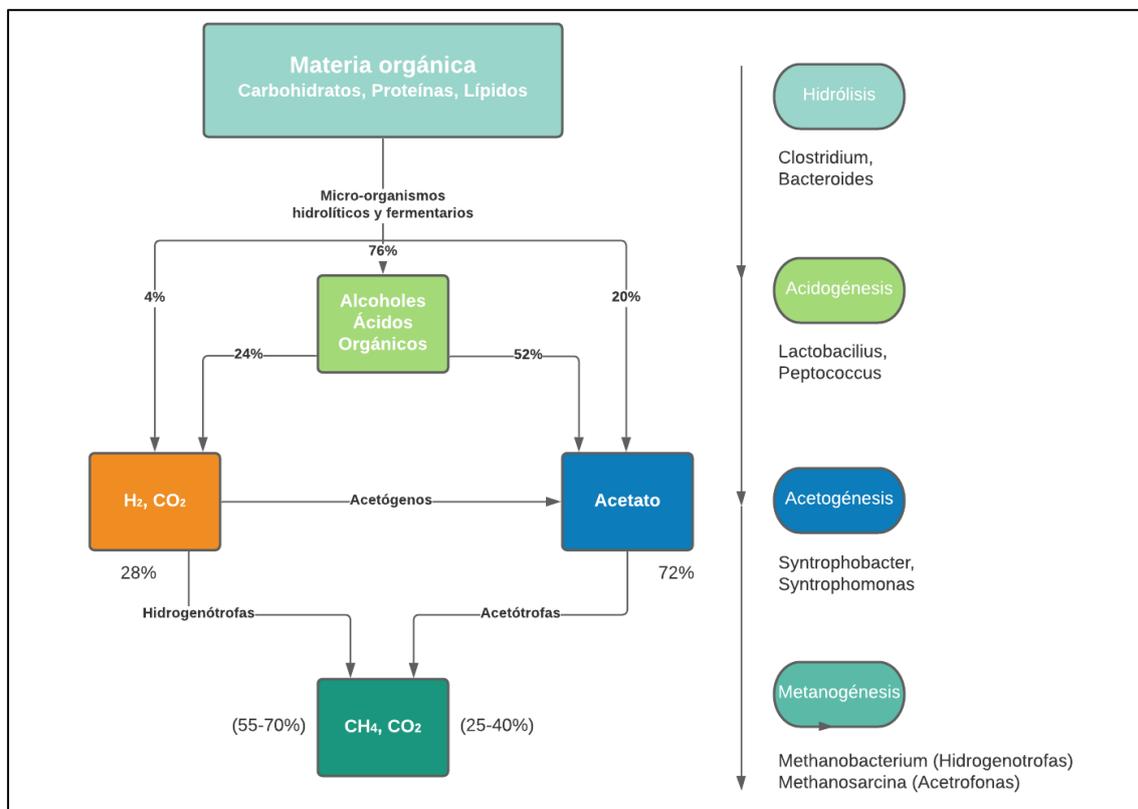


Figura 9. Diagrama de la cadena trófica del compostaje anaeróbico. Fuente: Elaboración propia

Productos de la digestión anaeróbica

Los principales productos de este tipo de tratamiento son el biogás y el bioabono (lodos) que son utilizados como fuente de energía y como fertilizante respectivamente.

Gas

En general, la composición del biogás resulta variable según el tipo de materia orgánica que se utilice para su materia prima, el estado de descomposición de la misma y el modo en que sea procesado el mismo para su obtención y

posterior filtrado. En el siguiente gráfico pueden visualizarse los componentes principales y rangos de proporción como valores aproximados.

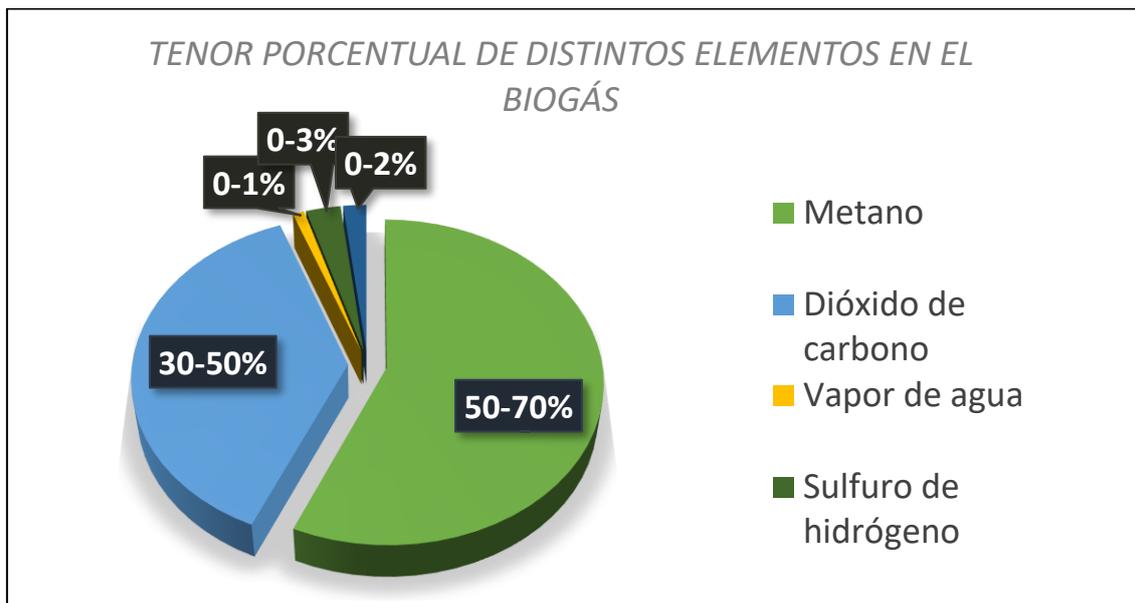


Gráfico 6. Tenor porcentual de distintos elementos que componen el biogás. Fuente: elaboración propia

En comparación con otras fuentes de energía, podemos mencionar que el biogás tiene un potencial que puede resultar prometedor dado que puede ser capaz de reemplazar prácticamente a cualquier otro tipo de combustible con el debido procesamiento necesario para su obtención. El siguiente diagrama muestra, a modo de resumen las equivalencias que presenta 1m³ de biogás con proporción 70% metano (CH⁴) y 30% de dióxido de carbono (CO²), con otras fuentes de energía.

Comparativa en energía equivalente del Biogás con otras fuentes de gas

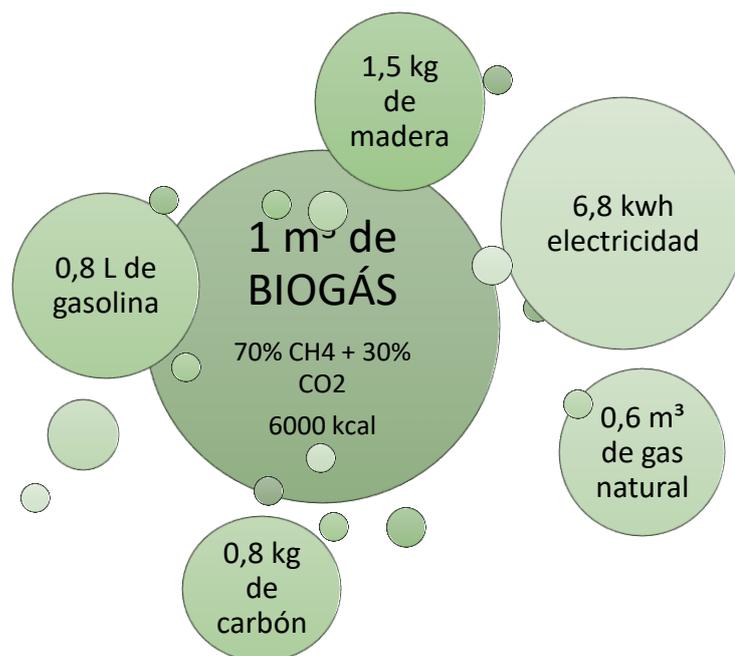


Figura 10. Equivalencias del biogás con otras fuentes de energía - Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - España

Energía equivalente (Valor Energético) Biogás Vs. otras fuentes

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor Calorífico (Kwh/ m ³)	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

* Composición promedio del biogás: CH₄ (65%) – CO₂ (35%)

Figura 11. Composición biogás. Fuente: Manual de Biogás – María Teresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 2011

Bioabono

En el proceso de digestión la biomasa metanogenizada, se convierte, como resultado de la fermentación de los residuos en un “fango” con alta calidad fertilizante. Este “fango” es separado en dos componentes: el componente líquido conocido como “Biol” el cual representa la mayor parte del fango resultante y el componente sólido conocido como “Biosol”.

Dependiendo de las características de los residuos a fermentar, se tiene que en promedio el “fango” saliente del Biodigestor representa aproximadamente entre el 85 – 90 % de la materia entrante. De esto, aproximadamente el 90% corresponde al Biol y el 10% al Biosol. Estos porcentajes varían según los residuos a fermentar y del método de separación empleado.

El mencionado fango o “lodo” (como también se le denomina) tanto en su fase sólida como líquida, presenta una muy alta calidad agronómica ya que tiene cualidades excepcionales como permitir la mejora de absorción de nutrientes y promover el crecimiento de tallos, frutos, y raíces (gracias a las hormonas vegetales de crecimiento).

Existen biodigestores que utilizan solo la fase líquida (con separación de sólidos antes del biodigestor), por tanto, el digestato será líquido, y es aplicable directamente con sistemas de riego por aspersión o con sistemas de carro que erogan la mezclan con picos de salida. Estos carros son comúnmente denominados “purineros”. Otros biodigestores diseñados para alimentarse con ambas fases (mezcla de sólidos y líquidos), producen digestato con una mezcla de Biol y Biosol. Para regar esta mezcla se debe utilizar un carro purinero o separar las fases para poder usar el Biol en un sistema de riego por aspersión (para evitar que se tapen las boquillas de los equipos de riego).

A continuación, se ha colocado una tabla resumen de dos fuentes con las composiciones de dos bioles distintos obtenidos ambos a partir de estiércol bovino (Robles, 2008).

Componente	Fuente 1	Fuente 2
pH	7.96	6.7-7.9
Materia Seca	4.18 %	1.4%
Nitrógeno total	2.603 g/Kg.	0.9 g/Kg
NH4	1.27 g/Kg.	No menciona
Fósforo	0.43 g/Kg.	0.048 mg/Kg
Potasio	2.66 g/Kg.	0.29 mg/Kg
Calcio	1.05 g/Kg.	2.1 g/Kg
Magnesio	0.38 g/Kg.	0.135%
Sodio	0.404 g./Kg.	No menciona
Azufre	No menciona	0.33 mg/l
Carbono	No menciona	0.23 - 0.30
Aluminio	No menciona	No menciona
Boro	No menciona	No menciona
Zinc	No menciona	0.05 mg/l

Tabla 2. Componentes de bioles obtenidos de distintas fuentes

De la tabla anterior podemos concluir que el biol presenta una baja presencia de materia seca (sólidos totales) que van entre 1,4 a 4,8%. Respecto a la cantidad de sus nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, etc.) estos varían según la materia prima que haya sido fermentada.

Ventajas del uso del Biol (fase líquida) y del Biosol (fase sólida)

Tanto el Biol como el Biosol presentan ventajas al momento de ser aplicadas a los suelos y cultivos respecto de otros fertilizantes. Según Avila Grothusen, Sotomayor Bohle, Erlwein Vicuña, & Cerda Rosenberg (2016) las que se mencionan a continuación:

Dentro de las ventajas del uso del Biol, podemos mencionar las siguientes:

- En forma similar a otros fertilizantes de origen orgánico, permite un mejor intercambio catiónico (capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos) en el suelo, ampliando la disponibilidad de nutrientes. Igualmente, ayuda a mantener la humedad y mantiene un microclima adecuado para los organismos vegetales. En el caso de purines, la biodigestión de estos aumentaría la disponibilidad de nitrógeno de la biomasa residual.

- Se puede aplicar junto con agua en sistemas de irrigación.
- En pequeñas cantidades, cuando presenta compuestos orgánicos bioestimuladores del crecimiento, es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para el enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular o las raíces de la planta), mejora el follaje, mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traduciéndose todo esto en un potencial aumento significativo de las cosechas.
- Ensayos realizados con diferentes cultivos en diversas partes del mundo muestran que utilizar solo biol sería suficiente para lograr la misma o mayor productividad que usando fertilizantes químicos.

Cabe destacar que los desechos orgánicos sometidos al proceso de biodigestión eliminan la mayoría de patógenos, reduciendo drásticamente el riesgo de transmitir enfermedades y dispersar semillas de malezas.

Sobre el Biosol, el cual alberga la mayor parte de carbono, los autores afirman que sus características principales respecto de otros fertilizantes son:

- Regula la nutrición de las plantas. Los cultivos pueden ser fortalecidos y ocurrir una mejora del rendimiento o en la calidad del suelo.
- Confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión, mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo.
- Mejora la estructura y la capacidad de retención de la humedad favoreciendo la actividad biológica del suelo y la porosidad del mismo.
- Al combinarlo con materia orgánica acelera el proceso de compostaje.
- Reduce la aplicación de abono, al haberse digerido buena parte de la materia orgánica durante el proceso de biodigestión. Esto es especialmente relevante en relación al purín fresco.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a los organismos vegetales.
- Al fortalecer la biología y fertilidad del suelo, reduce los factores de erosión.
- Mejora la disponibilidad de algunos nutrientes en comparación con el purín, tal como se mencionó para el Biol.

Un beneficio adicional de este tipo de procesamiento es que la carga de organismos patógenos en los lodos es muy baja y la masa de lodos comparados con los de otros tratamientos tradicionales también lo es, lo que se traduce en costos operacionales bajos, ya que en muchos casos no se deben tratar estos lodos para ser usados o dispuestos.

Biodigestores

Un biodigestor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos, habitualmente mezclados con agua, para ser digeridos por distintos microorganismos. Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como, por ejemplo, ladrillos, acero, concreto, plástico, etcétera.

El biogás se produce en biodigestores, que constituyen unidades donde se presenta el medio y las condiciones óptimas para que se produzcan una serie de procesos biológicos, químicos y físicos que finalizan en la producción de gas metano. Un biodigestor tiene líquido en su interior que posee ácidos orgánicos y que debe trabajar en condiciones anaeróbicas.

El biogás producido por la descomposición se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana puede ser rígida o flotante, y en algunos casos está separada del digestor, tomando el nombre de gasómetro. La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo.

Características del digestor

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire ya que interfiere con la digestión anaeróbica y, a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados y correctamente aislados.
- Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Tener acceso para el mantenimiento.
- Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.
- Aun no siendo un recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.

Ventajas del uso de un biodigestor

- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más costosos y que para su obtención se contamina el medio ambiente.
- Es una fuente de diversidad de usos energéticos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como los elementos

menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. En los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno⁷.

- Control de patógenos: Aunque el nivel de destrucción de patógenos varía de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive el proceso de biodigestión. En condiciones de laboratorio con temperaturas de 35° C, los coliformes fecales fueron reducidos entre el 50 y el 70%, y los hongos en 95% en 24 horas⁸.
- El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.

Desventajas de los biodigestores

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- Es posible que, como subproducto, se obtenga SH_2 (Sulfuro de Hidrógeno), el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfato reductoras. La presencia de SH_2 hace que se genere menos CH_4 disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.
- Se necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor.
- Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

Tipos de biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

- Continuos: Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido y el efluente que descarga es igual al material de carga, con producciones de biogás uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente éste se aprovecha en aplicaciones industriales.
- Semicontinuos: Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se

⁷ Lucena Bonny, Antonio. Energías alternativas y tradicionales: sus problemas ambientales. España, 1998.

⁸ Manilla Pérez, Efrain. Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas. México, 2000.

mantienen las condiciones de operación. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor hindú y chino.

- Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo iniciando un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch.

A fin de simplificar el análisis y comprensión de los distintos tipos de digestores en utilización se agruparán los mismos en el siguiente esquema:

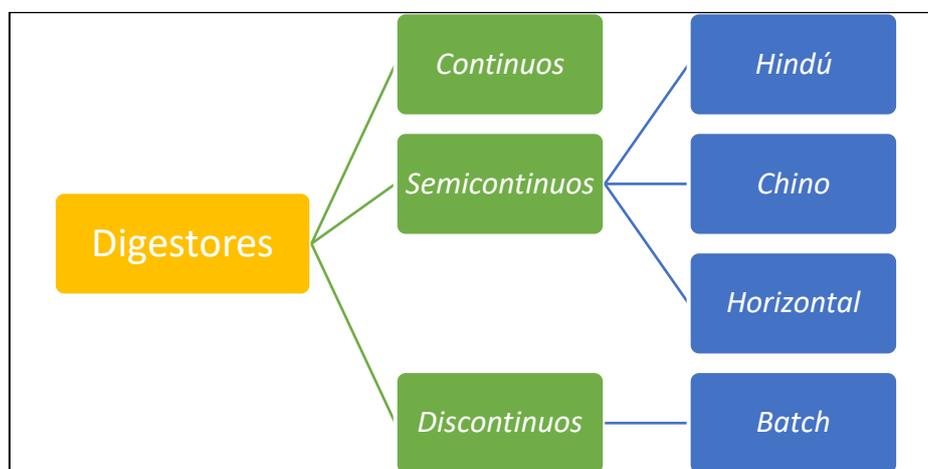


Gráfico 7. Tipos de biodigestores. Elaboración propia

Más del 80% de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el chino y el hindú⁹.

Modelo Chino

La forma del modelo chino se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidro-presión. Estos digestores se cargan en forma semicontinua realizándose una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inóculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad, y luego se continúa cargando como un digestor continuo. Luego de 120 a 180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo.

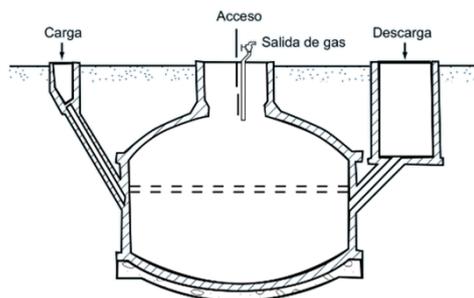
Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados. Al iniciar el proceso,

⁹ Manual para la producción de Biogás, INTA – Castelar, Ing. A. Hilbert

el digester se llena, y una vez cargado es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digester.

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digester, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones de hasta 0,1 atm. Se generan entre 0,15 y 0,20 volúmenes de gas por volumen de digester/día. Como consecuencia de la variación de presión, (aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste), se reduce la eficiencia en los equipos consumidores.

A pesar de que el digester chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bio-abono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú.

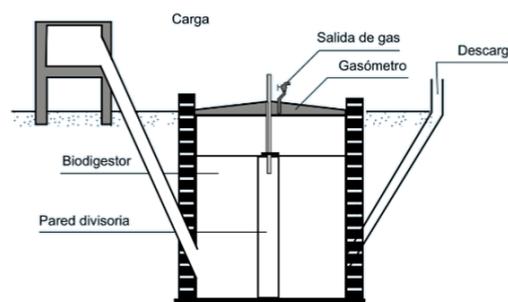


Modelo Hindú

Estos digestores en general son enterrados y verticales. Poseen una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica generalmente construida en hierro. La salida del efluente se efectúa por rebalse.

Se cargan por gravedad entre una vez al día y una vez cada dos/tres días (según sea la disponibilidad de materia prima), con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. El vaciado completo sólo se realiza en el caso de requerir alguna reparación o limpieza.

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 0,03 atm. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores.

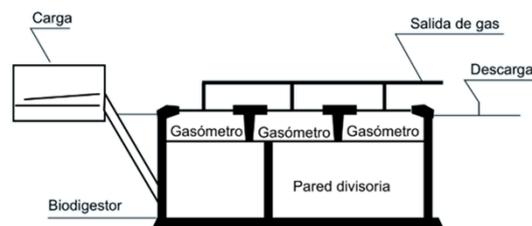


La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia prima, posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente.

Este tipo de digester presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 y 1 volumen de gas por volumen de digester por día.

Biodigestores Horizontales

Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 10:1 e inclusive más. Pueden ser de sección transversal



circular, cuadrada o en "V", y por lo general se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digester y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.

Digestor Agroindustrial de doble membrana

Un acumulador de doble membrana consta de una cubierta externa de PVC tratada con aditivos especiales para resistir en intemperie y está firmemente montado en la parte superior de los biodigestores, es decir, los tanques donde las bacterias descomponen la materia orgánica para obtener metano.



Es instalado en bases de concreto y está compuesto por una membrana exterior y una interior. Entre ambas membranas se insufla aire para mantener una presión constante y evitar fricciones, lo que le da forma esférica a la cubierta.

La membrana interna es la que funciona como almacén de gas flexible que se expande o contrae según la producción que fluctúa con las condiciones de temperatura. El almacenamiento de biogás se realiza entre la membrana interior y el cuerpo del digester.

Capítulo 3

Evaluación técnica

Definición tipo sistema

Analizando la situación particular en la que se encuadra el proyecto, es decir, la instalación de un biodigestor en un feedlot con una gran disponibilidad de materia prima (estiércol de aproximadamente 1000 cabezas instantáneas de bovinos, con tendencia a ampliar este número), en un contexto netamente agropecuario con gran disponibilidad de terreno y, comparando a su vez las características descritas anteriormente respecto a las tecnologías que se utilizan para construir los distintos tipos de biodigestores, es decir, sus correspondientes condiciones de operación, sus ventajas y desventajas, se considera, en este caso en particular, que la configuración más adecuada es diseñar y construir un biodigestor tipo hindú con geomembrana.

Este tipo de tecnología es idónea para grandes producciones y, aunque resulta más costosa al momento de su construcción y mantenimiento, es mucho más versátil en términos de producción y operación. Es importante destacar que la generación de estiércol, en este feedlot en particular, por las actividades que realiza, no es constante durante el año sino creciente en forma aproximadamente lineal (en la misma proporción que el animal aumenta de peso) desde el mes de febrero hasta octubre. Esto ocurre debido a que, como ya se vio, en este período de tiempo se completa el denominado ciclo de “recrea del animal”.

Por ser la zona de instalación considerablemente fría en el período invernal, resulta importante analizar la posibilidad de enterrar el biodigestor aprovechando, de esta forma, la inercia térmica que ofrece el terreno. Con ello se pretende disminuir la cantidad de energía necesaria en tal período para calefaccionar debidamente al digestor.

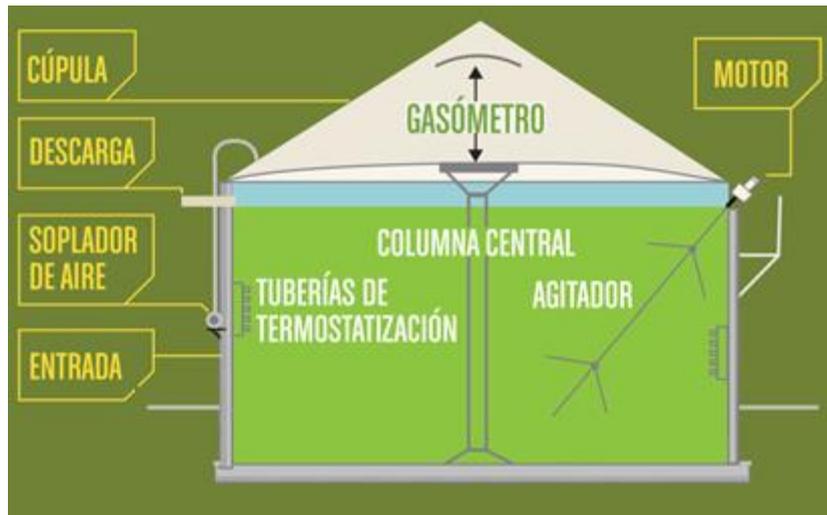


Figura 12. Esquema de tecnología de digestor adoptada, tipo "Hindú con geomembrana"

Etapas básicas de proceso

Se realizará una breve explicación de las etapas necesarias para el proceso entero de biodigestión, las cuales serán desarrolladas en profundidad y con detenimiento posteriormente. A continuación, se muestra el proceso entero explicado en el Gráfico 8 – Etapas básicas de proceso.

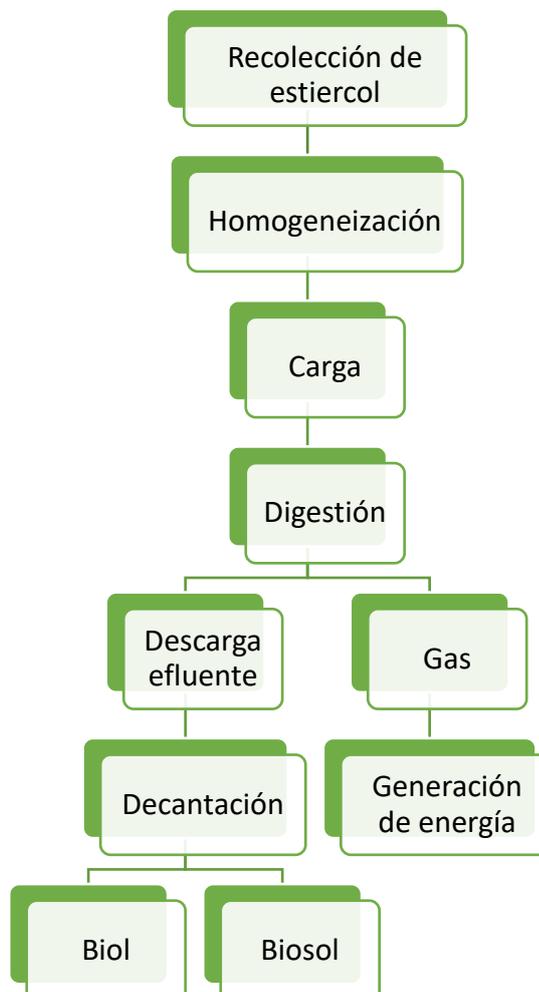


Gráfico 8. Etapas básicas de proceso. Elaboración propia

Recolección de la materia orgánica

La recolección de la materia prima es una de las etapas fundamentales del proceso. En ella, se debe evitar que la materia prima se contamine con agentes externos que alteren el futuro proceso de biodigestión. Además, una recolección eficiente asegurará un aumento de materia prima que se traducirá en mayor cantidad de gas producido.

La materia recolectada se acumula en la pileta de carga y sufrirá un proceso de homogeneización como se describe a continuación.

Homogeneización - Precarga

En esta etapa, se intenta que la mezcla adquiera propiedades homogéneas, lo cual facilitará el proceso de biodigestión y permitirá, desde el punto de vista técnico, manejar un fluido regular. Esto se logrará a través de mezcladores electromecánicos. Además, debe controlarse la temperatura de la materia orgánica para evitar alterar el proceso interno del digestor al ingresar al mismo.

Carga

El estiércol homogeneizado y precalentado se carga al biodigestor por la parte inferior, lo que permite desplazar el digestato de menor densidad (en la parte superior, ya digerido).

Biodigestión

El fluido homogéneo, a través de un proceso anaerobio, genera biogás. Se debe controlar cuidadosamente dentro del digestor las variables:

- PH
- Temperatura
- Proporción sólido en líquido
- Presión del gasómetro
- Humedad
- Tiempo de retención hidráulico

Digestato - Descarga

El digestato que es extraído del digestor como lodo es depositado en una pileta de descarga donde debe residir un determinado tiempo hasta que decante y logre separarse en dos fases: el Biol (líquido) y Biosol (sólido), mencionados y ya descriptos previamente.

Fertilizante - Envasado

El digestato que ha decantado y se ha separado en dos fases, es extraído por medio de bombas para ser depositado dentro de recipientes. El fertilizante envasado puede ser destinado a ser vendido o utilizado dentro de los cultivos.

Operación del Gas

El biogás que es extraído del gasómetro del digestor, gracias a la presión positiva que suministra un soplador, es obligado a pasar a través de una etapa

de acondicionamiento (filtrado) y posterior regulación de presión para poder ser utilizado como combustible en el generador.

Generación de energía

Esta etapa comprende el arranque y parada del generador a biogás en determinados momentos en los que convenga inyectar energía a la red eléctrica en baja tensión.

Diseño de proyecto

A continuación, se desarrollarán todos los puntos fundamentales para el diseño técnico de la planta que se proyecta instalar en el feedlot estudiado.

Ubicación de la planta

Si bien existe una gran extensión disponible en la propiedad para construir la planta de biogás, lo conveniente desde el punto de vista de operación de la explotación es afectar lo menos posible la condición de operación ya existente. Esto se debe a que la experiencia del propietario y los empleados, con el correr de los años, ha permitido gestionar el proceso de forma eficiente y cómoda tanto para los animales como para ellos mismos.

A continuación, podemos visualizar un esquema actual planta de la distribución de las instalaciones del feedlot "RENACER".

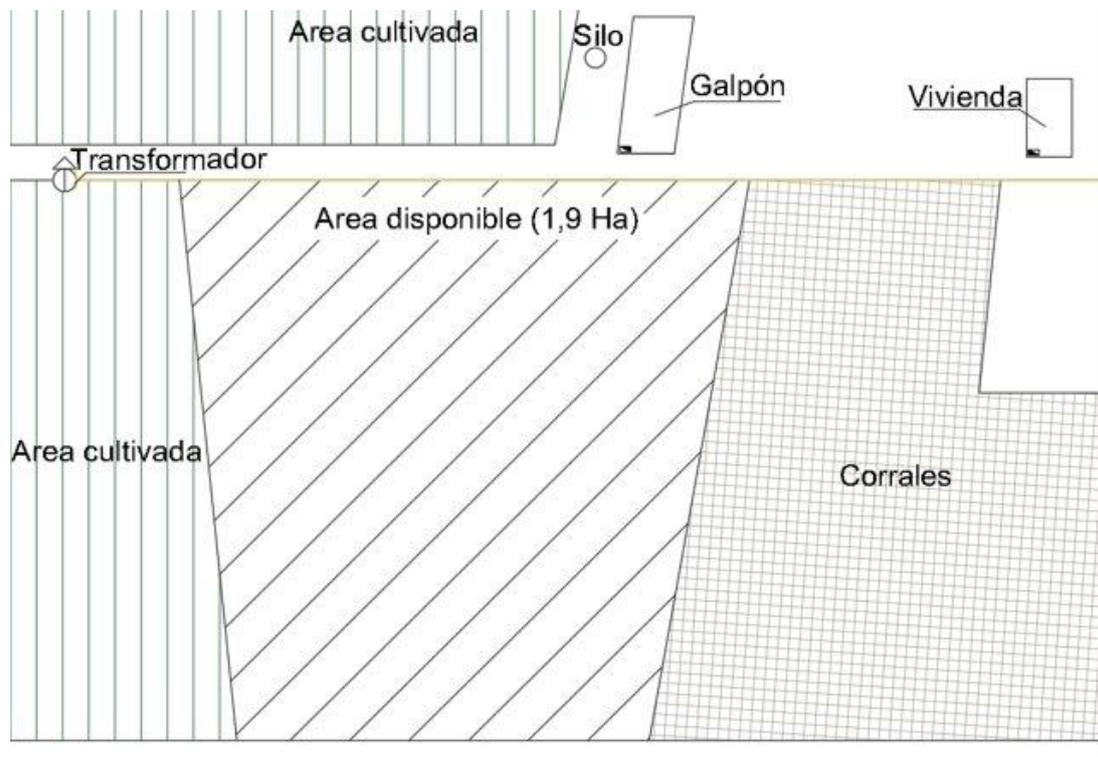


Figura 13. Esquema de feedlot indicando las diferentes partes. Elaboración propia

En la imagen se visualiza el área disponible para construir las nuevas instalaciones (sombreado en rojo), donde actualmente se disponen silobolsas, pero no de forma permanente. A estas dimensiones nos acotaremos y se

analizará la disposición de los corrales y de cada parte de la planta, posterior de su correspondiente dimensionamiento.

Diseño de planta

Corrales

El entorno de funcionamiento de los feedlots es totalmente agrario, lo que provoca que, en la condición más usual de funcionamiento, sea con suelo de tierra. Esto trae como consecuencia que el estiércol se compacte y forme una capa densa e inestable, debido a la presencia permanente de la orina y su filtrado hacia capas inferiores, pudiendo llegar a las napas superficiales y empeorando aún más las condiciones de absorción. Además, existe el agravante de que la concentración de estiércol impermeabiliza el suelo en forma heterogénea, desarrollando problemas de grandes charcos ante eventuales lluvias, que perjudican el hábitat y sanidad de los animales.

Para poder resolver este problema, resulta de vital importancia la impermeabilización del suelo de los corrales con hormigón, logrando con esto una mejora para los animales y una clara simplificación desde el punto de vista del posterior proceso de recolección del estiércol y orinas.

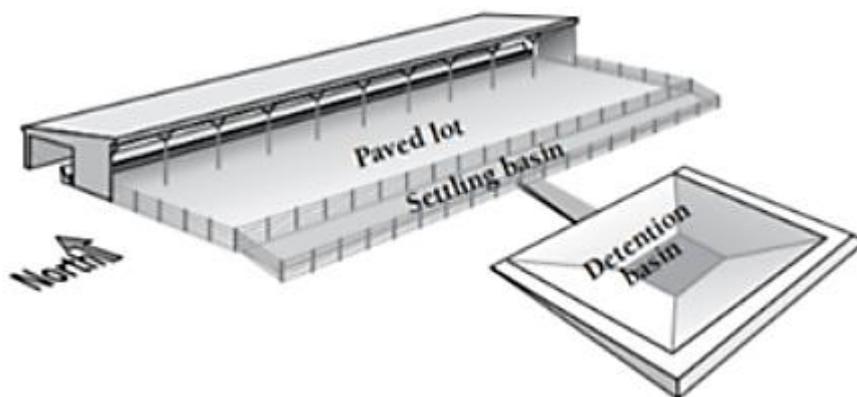


Figura 14. Corral abierto con piso hormigonado. Fuente: Beef Feedlot Systems Manual 1 -2015 Figura 3 - Página 10

Las razones para hormigonar el suelo son evidentes y dado el gran costo económico que esto implica, es que debe proponerse una distribución de los corrales que favorezca principalmente a condiciones de crianza adecuadas, permitiendo a los animales circular con comodidad dentro de los corrales y que las posibilidades de acceso para los encargados de proveer la alimentación de los animales sea la correcta. Además, la disposición debe adecuarse con una forma de recolección eficiente del estiércol, debiendo ser la mejor posible para que el sistema de recolección tenga una tarea más sencilla de realizar.

Los corrales deben contener una zona destinada para los comederos, bebederos, una zona para que el animal descanse (cubículos) y la zona de barrido del Scraper (rascador). Esta última debe disponerse de tal forma que el animal siempre defaque sobre la misma, logrando así acumular convenientemente el estiércol y con ello requerir de un área de barrido mucho

menor. Si no se contempla este último aspecto es imposible barrer toda el área necesaria para un animal en forma continua de forma económica y sin alterar el bienestar del animal.



Figura 15. Ejemplo de cubículos para descanso de los animales y zona de barrido de estiércol

Según las recomendaciones del manual "*Beed Feedlot Systems Manual*" *IOWA State University* para suelos hormigonados y con sombra es necesario al menos un área de 6.5m² por animal. Las recomendaciones particulares del dueño del feedlot para la zona y el tipo de crianza requieren un área un tanto mayor (alrededor de 10m²). Se intentará aprovechar lo mejor posible el área disponible para promover la comodidad del animal.

El proceso de diseño de la distribución de corrales pasó por varias modificaciones hasta culminar en la que se muestra a continuación. Para ver el proceso, y las versiones que se fueron desarrollando debe consultarse el Anexo 3 – Rascador hidráulico de estiércol bovino.

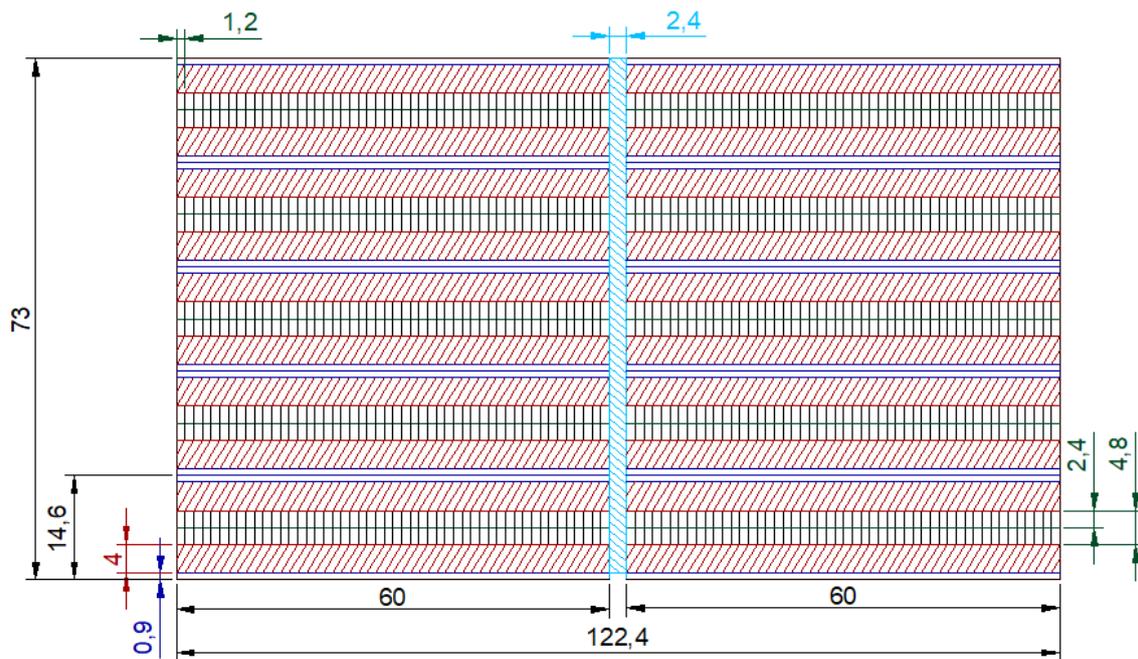


Figura 16. Distribución de corrales. Elaboración propia

Área por animal

El área resultante por animal (incluyendo el cubículo de descanso y su correspondiente proyección sobre el área de barrido) es de 7.68 m², un poco superior a la recomendación mínima.

Scrapper central
Scrapper de corredor
Cubículos
Comederos
Cantidad de animales=1000
Área total: 73mx122.4m=8935.2m ²
Ancho del cubículo=1.2m
Largo del cubículo=2.4m
Ancho del scrapper (de cubículo)= 4m
Cantidad de scappers (de cubículos)=10
Ancho del scrapper central=2.4m
Área por animal=(2.4m+4m)x1.2m=7.68m ²

Figura 17. Condiciones resultantes del diseño de corrales

Comederos

Como se puede observar en la Figura 16 – Distribución de corrales, los comederos (marcados en color azul) están ubicados de tal forma que el animal para comer tenga que necesariamente estar de pie sobre el área de barrido (marcada en color rojo). Esta disposición espacial se eligió en base a la observación sobre el actual emplazamiento del feedlot, ya que los animales defecan en su mayoría cerca del área donde se encuentra el comedero, debido a que pasan la mayor parte del día comiendo o esperando la comida (ver Figura 20 - Acumulación de estiércol en la zona cercana al comedero). De esta forma se obliga a los animales a salir de los cubículos y se tiene la certeza de que defecarán sobre la zona de barrido.

Se prevé que la alimentación de granos y pasturas en los comederos sea de forma automática mediante un sistema de cinta transportadora en forma “alfombra” que recorre longitudinalmente los mismos. El carro alimentador debe colocarse en una de las puntas del emplazamiento y descargar sobre la cinta a medida que la misma avanza. Este sistema puede apreciarse a continuación y para mayor detalle puede consultarse el link de la fuente 10.



Figura 18. Descarga de alimento sobre la cinta transportadora



Figura 19. Avance de la cinta transportadora

De no disponerse de un sistema automatizado de alimentación, puede realizarse mediante un carro con descarga lateral que avance sobre el área de rascado. Esto implica desplazar a los animales y, por supuesto, alterar su hábitat cada vez que se los alimenta.

Recolección de estiércol

Ver Anexo 3 – Rascador hidráulico de estiércol bovino

10 Empresa FeedStar: <https://www.youtube.com/watch?v=s9lTPu1U07s>

En un “feedlot” (corral de engorde intensivo) se producen grandes cantidades de excreta a nivel diario, debido a la alta concentración de animales en poca superficie y a las grandes cantidades de ingesta diaria de los mismos.



Figura 20. Acumulación de estiércol en la zona cercana al comedero

Ante esta problemática, se hace necesario contar con un sistema capaz de quitar con eficiencia y velocidad el estiércol producido, con el propósito no solo de mejorar las condiciones de crianza de los animales, en cuanto a sanidad y reducción del estrés de los animales en su desplazamiento por los corrales, sino también con la intención de evitar la contaminación de las napas de agua que se encuentran debajo del nivel superficial.

Inmersos en un contexto de aprovechamiento del estiércol disponible, para su posterior uso como fuente de alimentación de un digestor de fermentación anaeróbica para la producción de biogás, se pretende que a su vez el sistema recolector diseñado deposite el estiércol en una pileta, para posteriormente ser depositado dentro del digestor, por otro sistema de carga.

Rascadores de estiércol

Se propone implementar un rascador de estiércol central (en forma de canal) al cual confluyen dos rascadores laterales por cada corredor (ver figura 16 – Distribución de corrales). Esto, en principio, reduce la carrera de cada rascador (60m) a la mitad de los diseños anteriores (120m) e implica la necesidad de utilizar uno de cada lado. Es decir que cada rascador estará destinado a 50 animales y tendrá una carrera individual de 60m. Esto se planteó en base a las aproximaciones de cálculo que se fueron realizando, ya que la cantidad de estiércol a barrer por pasada (para 100 animales) era demasiado elevada.

Los animales no deben poder acceder al área del rascador central, ya que el mismo en partes (o completamente) será abierto y tendrá una profundidad considerable (para albergar todo el estiércol que se esté recogiendo).

Además, al utilizar un solo rascador central, se tiene todo el volumen de estiércol recolectado en forma más direccionada a un solo punto. Anteriormente se tenían varios corredores (los cuales albergaban cada uno un rascador), lo que implicaba la necesidad de una pileta de recolección de prácticamente 73m de largo (igual que el ancho del emplazamiento). De la forma planteada en la presente configuración, las dimensiones de la pileta quedan totalmente a criterio de diseño en función de la capacidad necesaria de la misma.

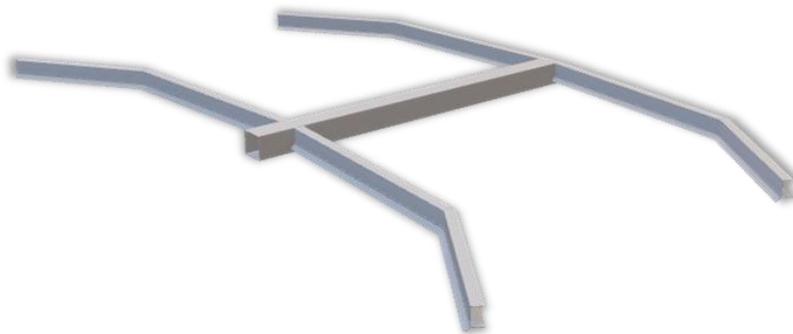


Figura 21. Modelo propuesto de rascador lateral para 50 animales

Se determinó que las condiciones del estiércol que se intenta recoger implican que cada scraper deba ser doble para cumplir con los requerimientos establecidos en cuanto a la cantidad de material a recoger, en el tiempo disponible y a la velocidad recomendada (Ver Anexo 3 – Rascador hidráulico de estiércol bovino, Inciso 3.2 Modelado del Rascador).

Las alas de los rascadores son plegables y permiten, de esta forma, la circulación por el área de barrido de tractores o vehículos. Para mayor detenimiento y explicación detallada del funcionamiento hidráulico y mecánico ver Anexo 3 – Rascador hidráulico de estiércol bovino.

Carga de materia orgánica

La materia orgánica que fue previamente recolectada por los rascadores de estiércol hacia el canal central del sistema de recolección, es introducida dentro de la pileta de carga, donde se homogeneizará para posteriormente llevar esa materia orgánica hacia el digestor a través por una bomba.

Evidentemente es necesario que la materia orgánica se encuentre en un estado lo suficientemente líquida como para que la misma sea manipulable por la bomba, para lo cual un límite práctico conocido es de un 12% de sólido en líquido.

Los animales del feedlot producen una cantidad de excreta que posee un 90% de humedad, es decir un 10% de sólido en líquido, en principio esto demuestra que la materia orgánica obtenida de las vacas, no sería necesaria mezclarla con agua, pero existe un factor contraproducente que se conoce como evapotranspiración.

La evapotranspiración es la cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado, es un proceso que comprende la evaporación de todos los tipos de superficie, y en la cual influyen factores meteorológicos (radiación solar y terrestre, temperatura del aire y de la superficie evaporante, velocidad del viento, humedad relativa del aire en contacto con la superficie y la presión atmosférica) y factores del suelo (contenido de agua, propiedades físicas, exposición).

Debido a la dificultad para medir esta variable, generalmente se calcula por medio de ecuaciones calibradas con datos reales medidos bajo condiciones controladas.

Determinación de Evapotranspiración en San Rafael

Para poder obtener un valor de evapotranspiración se consultó en la página web de la dirección de agricultura y contingencias climáticas donde el modelo utilizado para el cálculo es el de Penman Monteith, para el cual, afirman que ese modelo se adapta bien al cálculo diario de evapotranspiración y está basado en la combinación entre el balance energético y la transferencia de masa. El problema fue que dentro de la página web no se obtuvieron datos sobre la evapotranspiración en San Rafael.

Debido a esto se decidió tomar un ejemplo de cálculo de pérdidas de calor en baños descubiertos del libro “transferencia de calor y masa” de Yunus Cengel, que relaciona la convección natural sobre superficies y la transferencia de masa, para poder determinar la evapotranspiración en San Rafael. Para el mismo se necesitó determinar las temperaturas de trabajo para realizar el cálculo.

Se investigó la temperatura a lo largo del día en San Rafael para consiguientemente poder determinar el delta de temperaturas para el cálculo de la evapotranspiración. (spark, 2020)

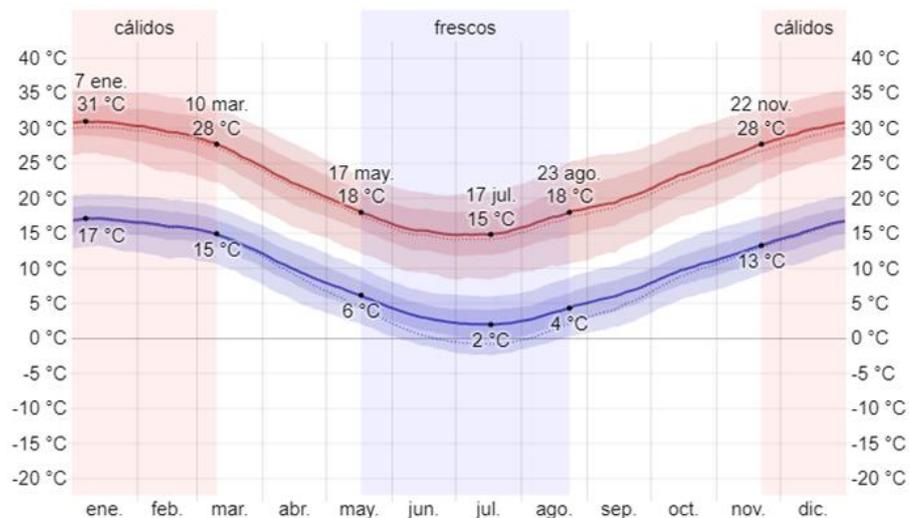
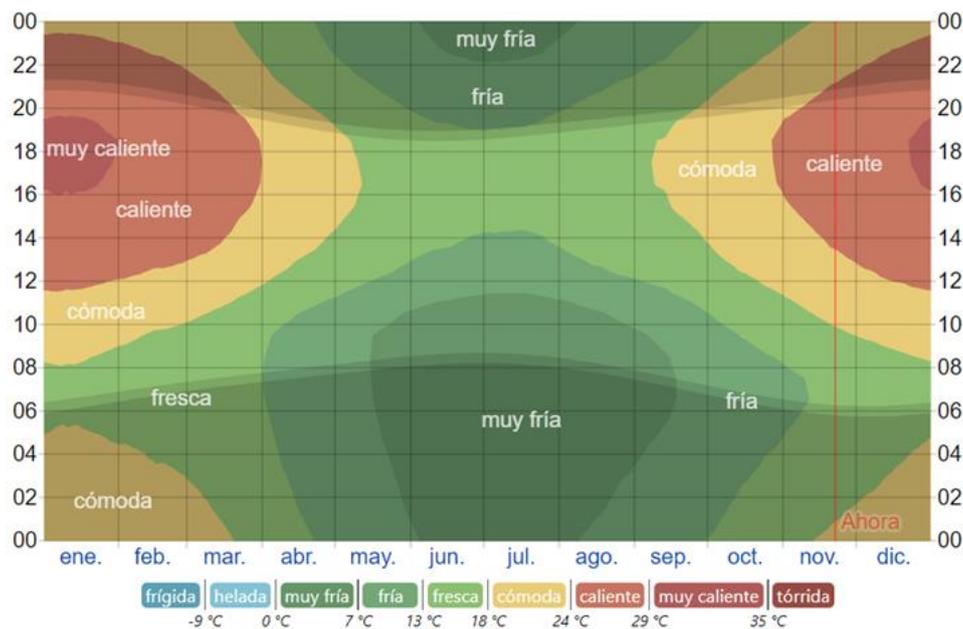


Figura 22. Temperatura promedio en San Rafael

La temperatura máxima corresponde a la línea roja y la temperatura mínima corresponde a la línea azul. La figura siguiente muestra las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora.



La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

Figura 23. Temperatura promedio por hora en San Rafael

Además de analizar la temperatura en la localidad, se debió estudiar la temperatura del agua en el departamento. En la siguiente imagen se muestran valores mínimos, máximos y medios mensuales sobre la temperatura de agua en San Rafael. (seatemperature.info, 2021)

Mes	Prom.	Mín	Máx	
enero	23.8°C	21°C	28°C	cálido
Temperatura del agua en San Rafael en enero				
febrero	20.9°C	20°C	24°C	cálido
Temperatura del agua en San Rafael en febrero				
marzo	20.8°C	16°C	25°C	cálido
Temperatura del agua en San Rafael en marzo				
abril	16.9°C	15°C	19°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en abril				
mayo	12.5°C	10°C	15°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en mayo				
junio	8.1°C	4°C	12°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en junio				
julio	6.8°C	4°C	9°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en julio				
agosto	9.7°C	7°C	13°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en agosto				
septiembre	13.7°C	10°C	17°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en septiembre				
octubre	16.3°C	11°C	22°C	frío
Temperatura del agua en San Rafael en octubre				
noviembre	21.4°C	19°C	23°C	cálido
Temperatura del agua en San Rafael en noviembre				
diciembre	24.4°C	22°C	26°C	cálido
Temperatura del agua en San Rafael en diciembre				

Tabla 3. Temperaturas mensuales del agua en San Rafael

Para poder hacer un análisis se observó los meses más críticos de verano e invierno, los cuales fueron enero y julio, donde se observó detenidamente las temperaturas máximas y mínimas, y también las mayores diferencias de temperatura entre la temperatura del ambiente comparada con la del agua. Con estos datos se realizó una tabla estimativa de la variación de la temperatura a lo largo del día en estos meses.

TEMPERATURA MESES CRITICOS SAN RAFAEL						
Hora	Temperatura ambiente verano (enero)	Temperatura agua verano (enero)	Delta temperatura verano	Temperatura ambiente invierno (julio)	Temperatura agua invierno (julio)	Delta temperatura invierno
0	24	24,4	-0,4	2	4	-2
1	23	23,8	-0,8	2,5	4,3	-1,8
2	22	23,2	-1,2	3	4,6	-1,6
3	21	22,6	-1,6	3,5	4,9	-1,4
4	20	22	-2	4	5,2	-1,2
5	19	21,6	-2,6	4,5	5,5	-1
6	18	21,2	-3,2	5	5,8	-0,8
7	17	21	-4	6	6,1	-0,1
8	18	21,4	-3,4	7	6,4	0,6
9	20	22,2	-2,2	8,5	6,8	1,7
10	22	23	-1	10	7,3	2,7
11	24	23,4	0,6	11,5	7,7	3,8
12	25	24	1	13	8,1	4,9
13	26	24,6	1,4	13,5	8,4	5,1
14	27	25,2	1,8	14	8,7	5,3
15	28	25,8	2,2	15	9	6
16	29	26,4	2,6	14,5	8,6	5,9
17	30	27,3	2,7	14	8	6
18	31	28	3	13	7,5	5,5
19	30	27,4	2,6	11	6,9	4,1
20	29	26,8	2,2	8	6,1	1,9
21	27	26,2	0,8	5	5,4	-0,4
22	26	25,6	0,4	4	4,8	-0,8
23	25	25	0	3	4,2	-1,2

Tabla 4. Diferencia de temperatura diaria entre ambiente y agua en Enero y Julio

Se consultó con profesionales del área, y luego de haberse realizado los cálculos necesarios, se confirmó que la evapotranspiración es mayor en los meses de verano, como se mostrará en el siguiente cuadro (cálculo realizado para el mes de enero).

TEMPERATURA MESES CRITICOS SAN RAFAEL			
Hora	Temperatura ambiente verano (enero)	Temperatura agua verano (enero)	Evapotranspiración [mm/hr]
0	24	24,4	0,11911
1	23	23,8	0,12569
2	22	23,2	0,12627
3	21	22,6	0,12874
4	20	22	0,14944
5	19	21,6	0,13127
6	18	21,2	0,13035
7	17	21	0,12924
8	18	21,4	0,11946
9	20	22,2	0,11841
10	22	23	0,10943
11	24	23,4	0,08469
12	25	24	0,09142
13	26	24,6	0,07732
14	27	25,2	0,05153
15	28	25,8	0,03891
16	29	26,4	0,04238
17	30	27,3	0,05712
18	31	28	0,07598
19	30	27,4	0,06612
20	29	26,8	0,05008
21	27	26,2	0,08462
22	26	25,6	0,10649
23	25	25	0,11002

Tabla 5. Evapotranspiración máxima según hora del día

Se concluyó que la evapotranspiración es mayor en los momentos del día donde la temperatura del agua es mayor que la del ambiente, la máxima obtenida fue de 0,14944 mm por hora, lo que es aproximadamente 3,59 mm por día (Ver Anexo 4 – Cálculo evapotranspiración).

Relación líquido/sólido

Como se dijo anteriormente, la materia orgánica debe estar en un estado lo suficientemente líquida para que la misma sea bombeable al digestor, ya que la excreta bovina contiene un 10% de sólido en líquido y conocido el valor de la evapotranspiración, se logró determinar la cantidad de agua que se le debe adicionar a la materia orgánica para no perder la relación de líquido/sólido deseada, la cual no debe ser superior a 12%.

Para calcular la humedad que perdía la materia orgánica se optó por analizar el mayor tiempo que permanecería la materia orgánica sin ser recolectada en los corrales, que es en donde se produce la mayor pérdida de líquido debido a la superficie de los mismos (aproximadamente 9.000 metros cuadrados).

Por ello se debió estimar un horario en el que las vacas comiencen a generar materia orgánica, este horario se decidió que fuese las 6 am, y también se determinó que el horario en el que comenzaría a trabajar el sistema de recolección sería a las 8 am. En este lapso de tiempo se obtuvo una

evapotranspiración promedio de 0.12635 mm por hora, por lo tanto, la cantidad de agua perdida en ese tiempo es de aproximadamente 2.300 litros al día, contando la evapotranspiración en los corrales y el tiempo que este la materia orgánica en la pileta de carga, por esta razón se debió incorporar un tanque de agua de 2.500 litros para reserva y abastecer esta pérdida de líquido en la materia orgánica teniendo en cuenta esta adición de agua para el último día del ciclo de crianza.

Dimensionamiento pileta de carga

El tamaño de la pileta de carga se definió con el criterio de que, por alguna causa, ya sea por mantenimiento u algún eventual problema que imposibilitase la carga de la materia orgánica desde la pileta de carga al digestor, se pudiese contener la máxima cantidad de materia orgánica generada en un día y la del día siguiente dentro de la misma.

Para dimensionar la pileta de carga se determinó el volumen máximo de materia orgánica que se podía generar, es decir cuando las vacas están en la última parte del ciclo de crianza, donde ya han alcanzado su mayor peso y generan la mayor cantidad de materia orgánica posible, esta cantidad obtenida fue de aproximadamente 25.600 kg por día, teniendo en cuenta la pérdida de humedad por evapotranspiración y el agregado del agua necesaria para mantener la relación de solido/liquido en la materia orgánica de un 12% de solido en líquido, la cantidad de excreta determinada en la pileta de carga será de 25.000 kg por día, lo que es igual a decir 25 m³ de la misma.

Di a	Total excret a (kg/di a)	Total excre ta sólida (kg/di a)	Total excret a líquida (L/dia)	Total excreta líquida permiti da (L/dia)	Líquido luego de la evapotranspir ación (L/dia)	Agrega do de agua diaria (L/día)	Total excret a en pileta de carga (kg/di a)	Total excret a en pileta de carga (m3/d ia)
1	8730,8 3	873,0 8	7873,5 0	7698,5 3	5573,50	2125	8571,6 1	8,57
2	8800,0 7	880,0 1	7935,9 3	7759,5 8	5635,93	2124	8639,5 9	8,64
3	8869,3 0	886,9 3	7998,3 7	7820,6 3	5698,37	2122	8707,5 6	8,71
4	8938,5 4	893,8 5	8060,8 0	7881,6 7	5760,80	2121	8775,5 3	8,78
5	9007,7 7	900,7 8	8123,2 4	7942,7 2	5823,24	2119	8843,5 0	8,84
6	9077,0 0	907,7 0	8185,6 7	8003,7 7	5885,67	2118	8911,4 7	8,91
7	9146,2 4	914,6 2	8248,1 1	8064,8 2	5948,11	2117	8979,4 4	8,98

8	9215,4 7	921,5 5	8310,5 5	8125,8 7	6010,55	2115	9047,4 1	9,05
9	9284,7 0	928,4 7	8372,9 8	8186,9 1	6072,98	2114	9115,3 8	9,12
23	25000, 6	2500, 08	22545, 81	22044, 79	20245,81	1799	24544, 87	24,54
23	25070, 7	2507, 00	22608, 24	22105, 84	20308,24	1798	24612, 84	24,61
23	25139, 8	2513, 93	22670, 68	22166, 89	20370,68	1796	24680, 81	24,68
23	25208, 9	2520, 85	22733, 11	22227, 93	20433,11	1795	24748, 78	24,75
24	25277, 0	2527, 77	22795, 55	22288, 98	20495,55	1793	24816, 75	24,82
24	25346, 1	2534, 70	22857, 98	22350, 03	20557,98	1792	24884, 73	24,88
24	25416, 2	2541, 62	22920, 42	22411, 08	20620,42	1791	24952, 70	24,95
24	25485, 3	2548, 54	22982, 85	22472, 12	20682,85	1789	25020, 67	25,02
24	25554, 4	2555, 47	23045, 29	22533, 17	20745,29	1788	25088, 64	25,09
24	25623, 5	2562, 39	23107, 73	22594, 22	20807,73	1786	25156, 61	25,16

Tabla 6. Cantidad de materia orgánica en pileta de carga (en kg)

Con lo mencionado anteriormente, consideramos dos días consecutivos, por lo tanto, se optó por una pileta de carga de 50 m³, donde se determinó que la pileta debía tener 12.5 m de largo, 2 m de ancho y 2 m de profundidad.

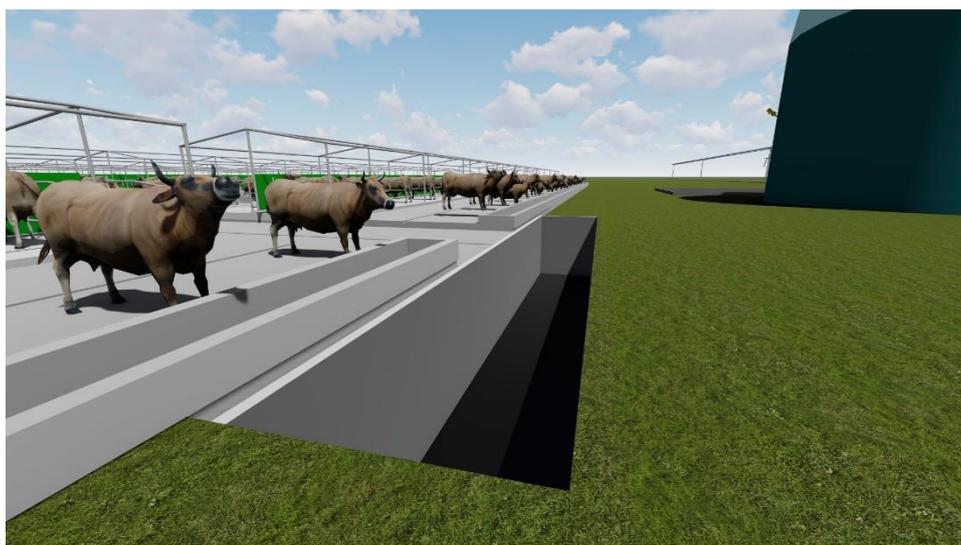


Figura 24. Esquema de pileta de carga diseñada

Pre calentamiento

En primera instancia no se consideró realizar un pre calentamiento de la materia orgánica ingresante, pero debido a que la materia orgánica

proveniente del exterior se encuentra a una temperatura inferior a la requerida dentro del digestor y que esto podría provocar cierta inestabilidad en el proceso de digestión, por ende, una disminución en la producción de biogás, por lo tanto, se decidió realizar un precalentamiento de la materia orgánica aprovechando la pileta de carga.

Se resolvió que, utilizando nuevamente el ejemplo de cálculo de pérdidas de calor en baños descubiertos antes mencionado para el cálculo de la evapotranspiración en San Rafael, las pérdidas de calor debidas a la evaporación, convección, conducción y también para elevar la temperatura de la excreta ingresante a la temperatura deseada para que ingrese luego al digestor fueron de aproximadamente 30.900 kcal/h (Ver Anexo 5 – Cálculo pérdidas de calor en pileta de carga).

Este valor, sumado a la cantidad de kilocalorías perdidas por el digestor para mantener la temperatura deseada dentro del mismo, permitirá seleccionar la caldera necesaria para abastecer estas pérdidas de calor.

Cabe resaltar que el precalentamiento solo tendrá función en un lapso de 6 horas, ya que es el tiempo de los ciclos de trabajo de los scrappers, hasta que la materia orgánica sea ingresada al digestor, por lo tanto, el funcionamiento de la caldera para esta utilidad será momentáneo.

Para poder distribuir el calor en la pileta de carga se diseñó un serpentín de 2 vueltas para mejorar la distribución del calor y que bordee la pared de la pileta, el mismo será de acero inoxidable para que no sufra corrosión por parte de la materia orgánica. El serpentín se decidió que debe ser de 1 pulgada de diámetro nominal y con una longitud de aproximadamente 60 metros. Para mejorar aún más la distribución del calor se decidió incorporar un agitador (Ver Anexo 6 – Piping pileta de carga).

Digestor

VARIABLES A CONTROLAR

A continuación, se describirán todas las variables a controlar dentro del biodigestor, las cuales serán de vital interés para el posterior dimensionamiento del mismo.

Nivel de acidez de la materia (pH)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución determinada. Se puede afirmar que el PH guarda una relación con la actividad de los iones hidrógeno y los procesos de generación y degradación de ácidos orgánicos dentro del digestor. Resulta fundamental controlar este factor ya que el sistema biológico es altamente dependiente del pH, en especial los microorganismos metanogénicos encargados de la producción de metano.

El pH puede variar como consecuencia de las características de la mezcla que ingresa al biodigestor y debido a los procesos que ocurren allí dentro (por ejemplo, acidogénesis). Es fundamental entonces realizar un control periódico del pH, tanto del material que ingresa como del que sale, a fin de prepararse

para realizar correcciones antes de que disminuya a un punto de no retorno, en el que se inhiba el metabolismo de los microorganismos metanogénicos y no se produzca biogás.

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6,0 ni subir de 8,0. En muchos casos, para mantener el pH óptimo en el reactor, es necesaria la suplementación de alcalinidad utilizando químicos tales como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoníaco, cal, hidróxido de sodio y potasio. De por sí, el estiércol vacuno, materia prima de este trabajo, tiene un pH natural de aproximadamente 7,51 puntos.

Potencial redox

Para que los microorganismos metanogénicos puedan desarrollarse de forma óptima, es necesario que se encuentren en un medio que sea reductor. Los valores de potencial redox para que ocurra esto están comprendidos entre -350 y -220mV en correspondencia con un pH 7.0 (FAO, Manual de Biogás, 2011).

Presión

La presión de generación de biogás es de aproximadamente 20 mbar. Esta presión puede aumentarse dentro del gasómetro por medio de un ventilador centrífugo para obligar de esta forma al biogás a salir hacia las tuberías.

Temperatura

La temperatura de operación del digestor es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos; **psicrófilos** (por debajo de 25°C), **mesófilos** (entre 25 y 45°C) y **termófilos** (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psychophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Tabla 7. Fermentación y rangos de temperatura - Fuente: Manual de Biogás – María Teresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 2011

El régimen mesofílico de operación es el más utilizado, a pesar de que en la actualidad se está implementando cada vez más el rango termofílico, para conseguir una mayor velocidad del proceso, lo que implica, a la vez, un aumento en la eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el régimen termofílico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de

operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga. Debido a esto, se decidió mantener una temperatura de 35°C dentro del digestor y a medida que aumente la producción de estiércol debido al crecimiento de los animales se irá incrementando la temperatura dentro del digestor hasta llegar cerca de los 45°C.

Como ya se mencionó anteriormente para el cálculo de las pérdidas calóricas de la piletta de carga las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden generar la desestabilización del proceso y la disminución de la producción de biogás. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un control eficiente de la temperatura.

Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico (TRH) indica el tiempo medio de permanencia del sustrato en el biodigestor, sometido a la acción de los microorganismos, en este tiempo las condiciones ambientales logran estabilizarse dentro del digestor y permiten que la materia orgánica sea degradada.

Esta variable determina el volumen del reactor y se encuentra directamente relacionada con la temperatura y, en consecuencia, con la tecnología a utilizar. Para producir una determinada cantidad de biogás en rangos psicrófilos se requieren valores de TRH mayores que en rangos mesófilos o termófilos. A mayor temperatura, menor TRH.

Entonces retomando la información brindada por el manual del biogás de “María Teresa Varnero Moreno”, para el rango mesófilo, el tiempo de fermentación es entre 30 y 60 días. Según los estudios y cálculos realizados, se determinó que en nuestro caso el tiempo de retención hidráulico será de 48 días.

Dimensionamiento

Para dimensionar un biodigestor resulta necesario conocer la tasa diaria de alimentación y el TRH. Esta última variable guardará una relación directa con la temperatura de operación elegida. El producto del volumen de carga por el Tiempo de Retención (TR) determina el volumen total con el que debe contar el digestor:

$$\text{Volumen}_{\text{Digestor}} = (kg_{\text{estiércol}} + kg_{\text{agua}}) * TR$$

Como se definió anteriormente el tiempo de retención es de 48 días, luego de la primera carga de materia orgánica, las dimensiones del digestor fueron fijadas de forma tal que el mismo tuviese la capacidad de acumular la materia orgánica producida durante estos 48 días, donde se comenzaría a retirar la materia orgánica degradada.

La carga de materia orgánica durante estos 48 días será aproximadamente de 500.000 kg, este valor comprende el porcentaje de estiércol y de humedad contenida, incluyendo el adicional de agua debido a la evapotranspiración. Realizando el cociente entre esta cantidad producida y la densidad de la materia orgánica que es de alrededor de los 1.000 kg/m³, obtenemos un volumen de 500 m³.

Para dicho volumen se propuso un biodigestor de forma cilíndrica de 13 metros de diámetro interior con una altura de 6 metros, obteniendo como volumen de digestor 570 m³. El volumen restante será utilizado como gasómetro.

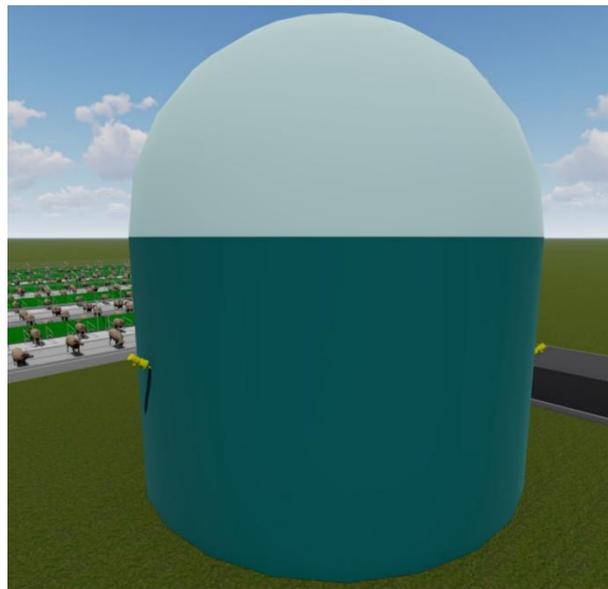


Figura 25. Esquema de digestor diseñado

A nivel estructural, el biodigestor se ha calculado en anexo 7 “Análisis XX y cálculo de cargas en el digestor” teniendo en cuenta las cargas de gravitatorias, la acción del viento, sismo y nieve. A partir del cálculo de cargas se procede al dimensionamiento del digestor.

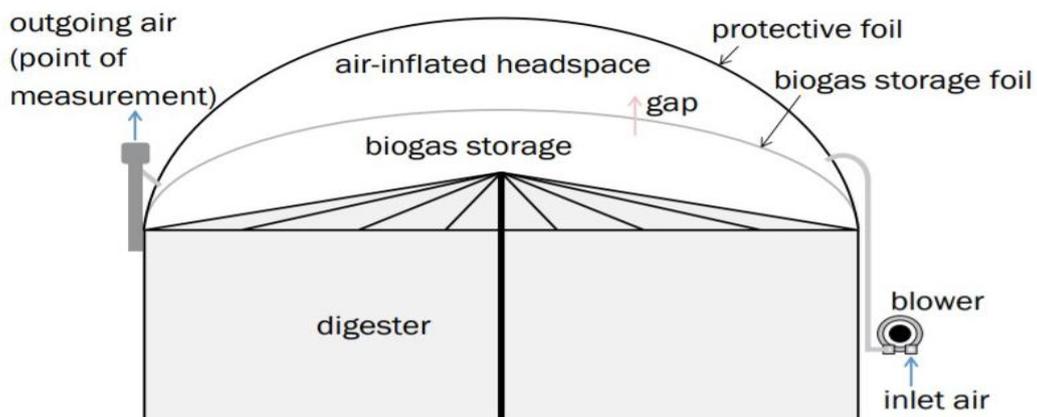


Figura 26. Esquema de partes internas de biodigestor

Internamente, el digestor cuenta con un pilar central, (calculado en Anexo 8 – Pilar central) - el cual es el que recibe las cargas transferidas por medio de lingas que soportan el peso de la membrana en los momentos en que el digestor no tiene gas dentro. El pilar estará fijo a la base del digestor, teniendo su respectiva fundación, calculada en Anexo 9 - Fundación Pilar Central.

Calefacción

Retomando el análisis de la temperatura en San Rafael realizado para el cálculo de la evapotranspiración, se decidió tomar un promedio entre la temperatura máxima y mínima de los días de invierno para la temperatura exterior.

Consecuentemente se debió obtener las pérdidas de calor del digestor, para el cual se tuvo en cuenta las pérdidas por paredes y suelo únicamente, ya que, para la tapa del mismo, al tener un colchón de aire entre las membranas se consideró como un muy buen aislante térmico por el cual no habría pérdidas calóricas.

Primeramente, se consideró un digestor construido solamente de hormigón para el cual se obtuvieron una cantidad de aproximadamente de 56.300 kcal/h de pérdidas calóricas, por ello se analizó la posibilidad de enterrar una parte del digestor, para lo cual se debió estudiar donde se encontraba la capa freática de la zona, el dueño de la instalación brindó el dato de que las napas de agua se encontraban de 3 a 4 metros por debajo de la superficie, por tal razón es que se decidió enterrar el biodigestor un metro para evitar riesgos de entrar en contacto entre la base de hormigón del digestor con la napa, con esta decisión se determinó que las pérdidas calóricas son de aproximadamente de 53.500 kcal/h.

Al sumar estas pérdidas con las de la pileta de carga, la caldera que se debía seleccionar era extremadamente grande, por lo que se analizó la opción de colocar aislantes para disminuir las pérdidas de calor. Se decidió colocar una primera capa impermeable interna de acrílico sellador o resina epoxy, la segunda capa seguirá siendo el hormigón el cual será recubierto por lana de vidrio y por fuera de la misma llevará una lámina metálica para cubrir y proteger la lana de vidrio. Con estas capas, se resolvió que las pérdidas de calor del digestor para mantener la temperatura interior constante son de aproximadamente 31.700 kcal/h (Ver Anexo 10 – Cálculo pérdidas de calor en digestor).

Con estas pérdidas, al igual que para la pileta de carga, se determinó que para poder distribuir el calor en el digestor se diseñó un serpentín de acero inoxidable del mismo diámetro, pero de cuatro vueltas, el largo de este serpentín será de aproximadamente 140 metros y también se adicionó un sistema de agitación para mejorar la distribución del calor en todo el volumen del digestor (Ver Anexo 11 – Piping digestor).

Para poder mantener el digestor a 35°C y solventar las pérdidas temporales del precalentamiento de la materia orgánica, se decidió que la caldera que

debía estar dimensionada para esta situación, en la que se consideró el invierno como época del año y que la materia ingresante se debía calentar desde una temperatura lo suficientemente baja.

Se optó por una caldera marca CALDAIA de 16.000/70.000 kcal/h con la finalidad de no solo contrarrestar las pérdidas de calor, sino también de tener un margen para poder elevar la temperatura dentro del digestor a 45°C y de esa forma aumentar la producción de biogás, de acuerdo al aumento de la generación de estiércol de los animales del feedlot conforme aumenta su crecimiento. Además, la caldera posee una bomba circuladora con la capacidad de soportar la pérdida de carga y mover el caudal necesario para los dos serpentines, como así también, el trayecto entre la sala de máquinas, donde se encontrará dicha caldera, con el digestor y la pileta de carga.



Para poder analizar el consumo que generará dicha caldera, se realizó un análisis de la cantidad de gas que consumiría para mantener el interior del digestor en 35°C y también el consumo que tendría para precalentar la materia orgánica. Se determinó que al arrancar el ciclo de crianza se requieren aproximadamente 85 m³ por día de gas, lo cual sería el 28% de lo producido. A medida que se incremente la cantidad de estiércol producida por los animales, se irá incrementando la temperatura dentro del digestor hasta los 45°C, donde se resolvió que se requerirán aproximadamente 110 m³ por día y la producción de biogás será de 885 m³ por día, lo que sería entonces un 12% de lo generado lo que se consumiría diariamente.

Agitadores

El término “agitación” resume dos formas de homogeneizar el sustrato o mezclarlo con agua:

- Mezclar y homogeneizar el sustrato en la cámara de mezcla
- Agitación dentro del digestor

Ambas homogeneizaciones se recomiendan realizarlas varias veces al día, debido a las siguientes razones:

- Para evitar y destruir las capas de natación y hundimiento
- Para mejorar la actividad de las bacterias mediante la liberación de biogás y la provisión de nutrientes frescos.
- Mezclar sustrato fresco y fermentador para inocular el anterior.
- Para llegar a una distribución uniforme de la temperatura, proporcionando así condiciones uniformes dentro del digestor.

Incluso sin dispositivo de mezcla, hay una cierta agitación a través del gas de elevación, a través del movimiento de sustratos con diferentes temperaturas y por la entrada de sustrato fresco. Esta agitación, sin embargo, generalmente es insuficiente. Un sustrato bien agitado puede aumentar su producción de biogás en un 50%.

La agitación, como regla general, debe realizarse tanto como sea necesario pero lo menos posible. Una mezcla demasiado frecuente con dispositivos de agitación mecánica de rotación rápida puede alterar los procesos biológicos en el sustrato de fermentación. Además, una mezcla demasiado minuciosa del contenido total del digestor puede conducir a un sustrato medio digerido que abandona el digestor prematuramente.

Para esto, lo que se ha realizado es el cálculo de un agitador estándar, para cubrir dichas necesidades de forma correcta.

En primera instancia se determinaron los materiales a utilizar en el eje y los álabes del mismo. Para ambos casos se optó utilizar acero inoxidable AISI 304 debida a la alta corrosión del medio en el que trabajará.

Se analizó la disposición que tendrá el agitador en el biodigestor, junto con la cantidad de álabes, dimensiones y forma.

Luego de la realización de los cálculos correspondientes volcados en el Anexo 12 - Cálculo Agitador, los resultados obtenidos son los siguientes:

- Potencia del motor utilizado 3hp
- Diámetro del eje utilizado 10cm

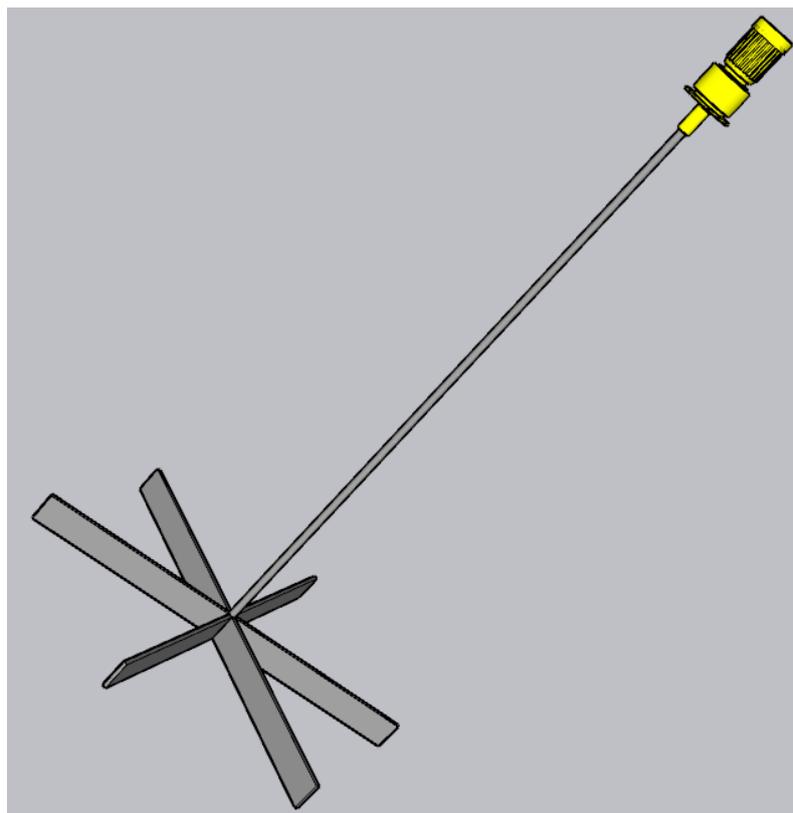


Figura 28. Esquema de agitador diseñado

Dimensionamiento pileta de descarga

El tamaño de la pileta de descarga se ha dimensionado de forma tal que tenga una capacidad de carga de aproximadamente la mitad del volumen del digestor, lo que equivale a alrededor de 12 días de acumulación de la máxima carga de materia orgánica al digestor. La pileta tendrá las siguientes dimensiones: un largo de 20 metros, un ancho de 10 metros y una profundidad de 1,5 metros, obteniendo un volumen total de 300 m³.

Como ya se dijo anteriormente, la materia orgánica degradada será enviada a esta pileta en donde se deberá retener un tiempo determinado para que decante y así obtener Biol y Biosol. La pileta de descarga será construida con geomembrana, ya que es más económica que realizarla de hormigón debido a sus dimensiones. Además, posee las características necesarias para poder contener el biofertilizante sin degradarse,

Como la pileta de carga debe soportar la degradación que le puede ocasionar el biofertilizante y así no contaminar el suelo, se decidió que la pileta debía ser construida con geomembrana, ya que además de poseer estas características, es más económica que realizarla de hormigón y tiene una larga vida útil.

Selección de bombas de carga y descarga

Para poder realizar el bombeo de la materia orgánica de la pileta de carga hasta el digestor y realizar la descarga del digestor hacia la pileta de

descarga, se tuvo en cuenta la generación de excreta en el último día del ciclo de crianza siendo de aproximadamente 25 m³ de estiércol.

Para mover esta cantidad de estiércol se decidió que podía ser realizada en el lapso de 2 horas, por lo tanto, el caudal a mover es de 12,5 m³/h, la bomba encargada de realizar este trabajo será de la marca VARISCO, la misma tiene una potencia de 1,1 kW a 1450 rpm. Teniendo en cuenta la pérdida de carga en la tubería y la altura de elevación (5 metros) hasta el digestor, consideramos que tendremos una pérdida de presión de alrededor de 7 metros de columna de agua, además se requiere que la bomba sea autocebante y apta para fluidos cloacales. Se decidió optar por colocar otra bomba de las mismas características para la descarga de efluentes del digestor hacia la pileta de descarga.



AZIONAMENTI / ENTRAINEMENTS / ACCIONAMIENTOS



ST-R S

- Albero libero
- Arbre nu
- Eje libre

Modello Modèle Modelo	Bocche Orifices Bocas		B mm	H mm	H1 mm	L mm	L1 mm	D j6 mm	Peso Poids Peso Kg
	in	mm							
ST-R2S	2"	50	340	490	518	584	586	28	100
ST-R3S	3"	80	432	599	688	678	730	32	190
ST-R4S	4"	100	502	691	743	773	813	32	270
ST-R6S	6"	150	578	788	896	808	924	42	370
ST-R8S	8"	200	714	964	1068	979	1024	55	560

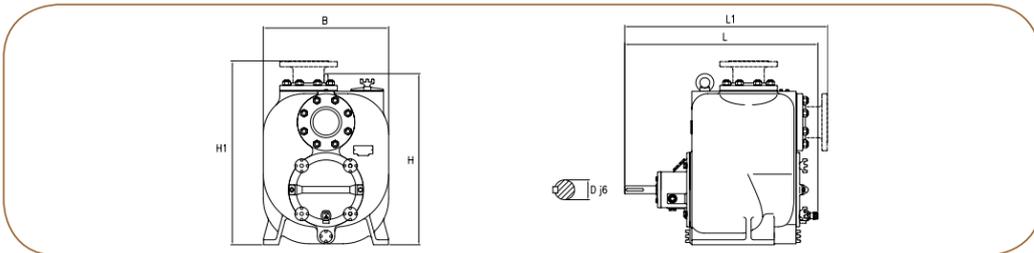


Figura 29. Especificaciones técnicas de bomba seleccionada

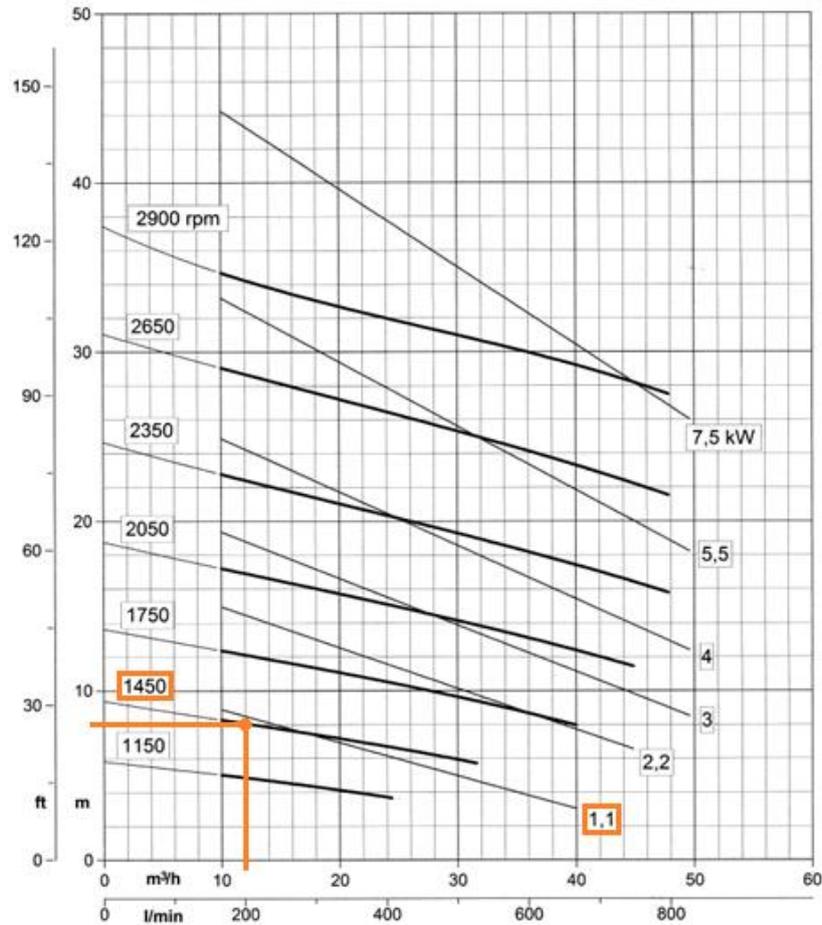


Figura 30. Curva caudal – altura

de bomba seleccionada

Con el caudal de la bomba y considerando la velocidad sugerida de circulación de agua de 1,5m/s dividimos el caudal sobre esa velocidad para obtener la sección mínima de circulación del fluido, siendo de aproximadamente 0.0022m², con dicha sección obtenemos el diámetro mínimo que debe tener la cañería de acero inoxidable el cual es de aproximadamente de 54 mm, por lo tanto, optamos por el inmediato superior comercial, que es de 2 ½" (60.3mm) de la marca FAMIQ.



CAÑO REDONDO CON
COSTURA MATE (A-554) 304L
60.3 x 1.5 mm

INDUSTRIA	NOMINAL	DIÁMETRO	2" - 60.3
CALIDAD	304L	ESPESOR (MM)	1.5
FORMA	REDONDO	NORMA	A-554
DIÁMETRO (MM)	60.3	TERMINACIÓN	MATE
DIÁMETRO (PULG)	2"	GRUPO DE MATERIAL	CAÑO NOMINAL
			C/COSTU

Figura 31. Especificaciones técnicas del caño para calefacción

Habiendo estimado 23 metros entre la pileta de carga y el digester, y otros 3 metros entre el digester y la pileta de descarga, la cantidad de caño necesaria será de 26 metros.

Circuito de biogás

A continuación, se muestra esquemáticamente el circuito de gas necesario para toda la instalación (ver Figura 32. Esquema de circuito de gas.). El circuito parte desde el biodigester donde, mediante el soplador de aire, se logra evacuar el biogás del mismo. A partir de allí, el gas pasa a través de un caudalímetro que permite cuantificar la cantidad de biogás producido.

Seguidamente, el circuito se abre en dos ramas. La superior contempla la antorcha de seguridad que permite la combustión de biogás ante una situación anormal del sistema, como puede ser una falla en la caldera o en el generador, que no permita consumir correctamente el gas. Este último, por motivos medioambientales y de seguridad, no puede ser liberado en forma de metano (CH₄) directamente a la atmósfera, sino que debe combustionarse y liberarse en forma de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO). Lo anterior se debe a que el metano (CH₄) es un gas de efecto invernadero aproximadamente 25 veces más contaminante que el dióxido de carbono (CO₂)¹¹.

Continuando con el circuito, la rama inferior está dirigida hacia la caldera y el generador, por lo que deberá estar correctamente filtrada para evitar que la suciedad y la presencia de distintos gases corrosivos lleguen a estas dos unidades. Tanto la caldera como el generador deberán contar con su correspondiente regulación e indicación de presión, según la necesidad de cada equipo.

¹¹ <https://www.carbono.news/energia/que-es-el-metano-y-por-que-es-mucho-mas-contaminante-que-el-co2/>

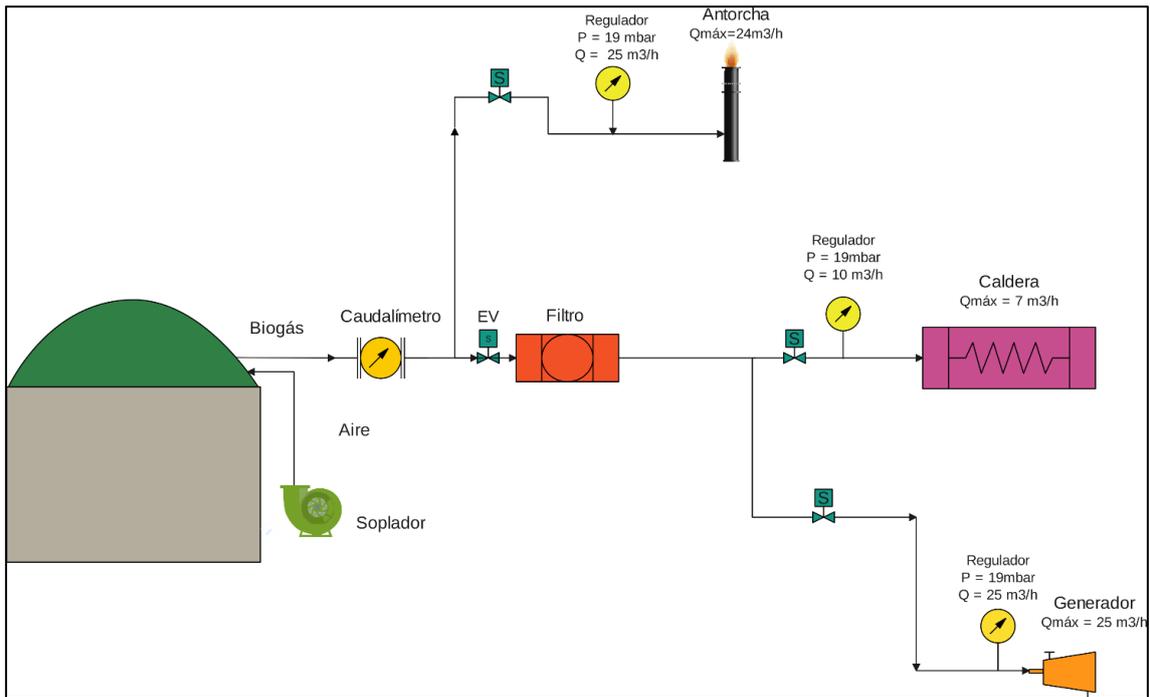


Figura 32. Esquema de circuito de gas - Fuente: Elaboración propia

Componentes del circuito

A continuación, se mencionarán brevemente las características de los componentes del circuito de gas, luego se han colocado los costos de los equipos y mano de obra de instalación en Tabla 33 - Costos de construcción civil de biodigestor con sus periféricos.

Caudalímetro de gas

Se utilizará un medidor de flujo másico de gas para poder monitorear el caudal del biogás de salida con el rango de medición adecuado al caudal y presión de gas de funcionamiento.

Electroválvulas

Se utilizarán electroválvulas que se puedan comandar a distancia. Los diámetros nominales serán dimensionados según el caudal requerido y las pérdidas de carga admisibles.

Reguladores de gas

Se utilizarán tres regulares de gas: uno para regular la presión y caudal de gas correspondiente a la caldera, otro para la antorcha y otro para el generador. Todos ellos regulan la presión de salida a 19mbar, que es la correspondiente a la entrada de los tres equipos. El caudal en cambio se corresponde con el consumo de gas del respectivo equipo.

Soplador

Se utilizará un ventilador para presurizar la cámara de aire superior que obliga al biogás a salir del digestor.



Figura 33. Partes de la cúpula del biodigestor

La curva característica de los ventiladores se obtiene a partir del dibujo en ejes coordenados los distintos valores caudal-presión, los cuales se obtienen a partir de ensayos en laboratorios. El objeto del ensayo de ventiladores es determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve.

En la figura siguiente se tiene representada la curva característica de un ventilador. Se observan curvas diferentes y que cada una representa un valor distinto, con sus respectivas escalas a la izquierda de la figura.

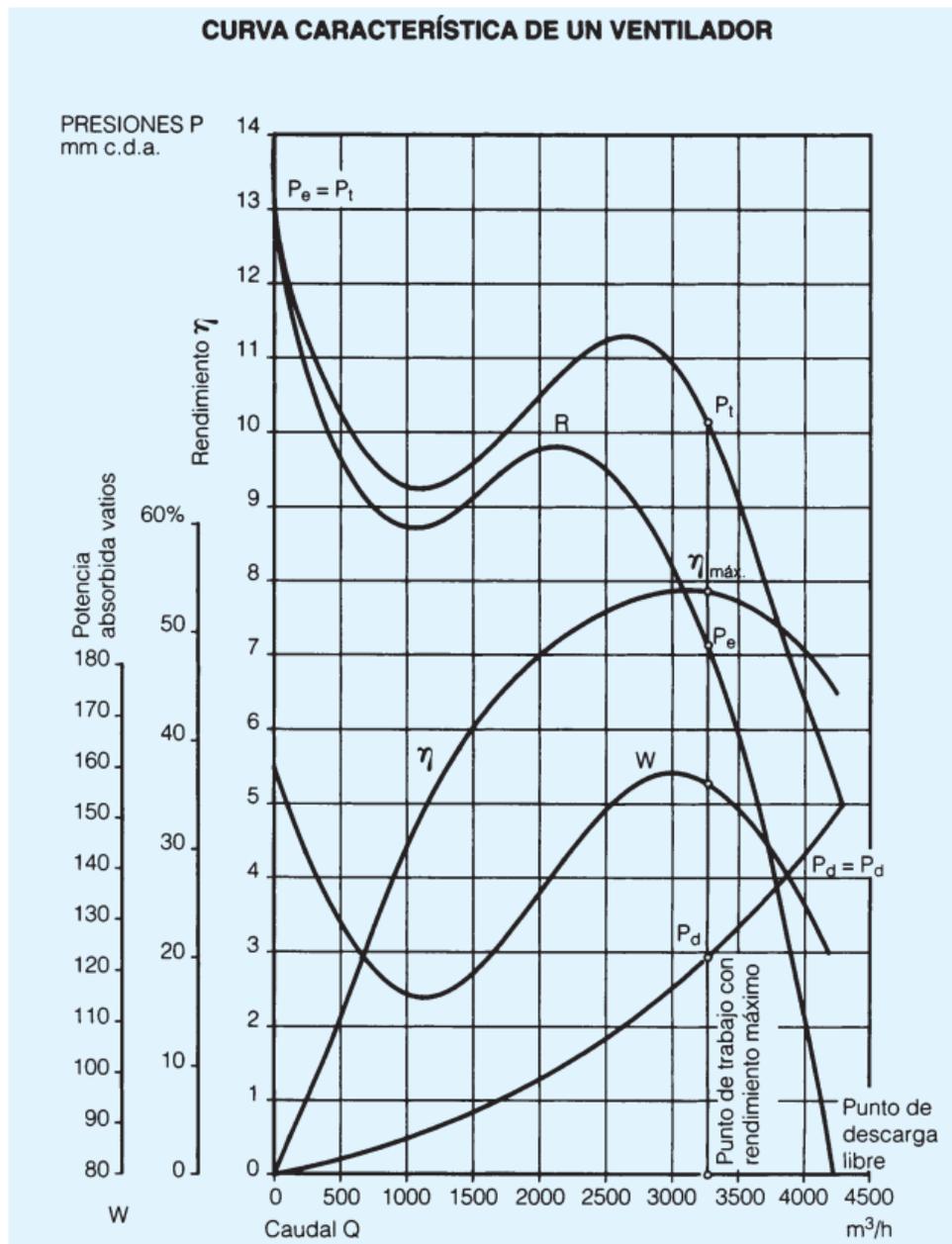


Figura 34. Curva característica de un ventilador

Manual Práctico de Ventilación- Catálogo Técnico 2da edición - Salvador Escoda S.A.

Tres curvas se relacionan con la presión que da el ventilador para distintos caudales:

- P_e: Presión estática
- P_d: Presión dinámica
- P_t: Presión total

En todo momento se cumple que:

$$P_t = P_e + P_d$$

Como puede observarse, a descarga libre la presión estática (P_e) es nula y por tanto el ventilador da el máximo caudal, siendo la presión total igual a la dinámica. A la inversa, cuando el ventilador está obturado, da el mínimo caudal siendo la presión dinámica nula y, por tanto, la presión total igual a la estática.

Otra curva es la de potencia absorbida que otorga la potencia que consume el motor que acciona el ventilador. Finalmente, el rendimiento del ventilador se representa por otra curva y se puede ver que depende del caudal que se está moviendo. El punto ideal de funcionamiento de un ventilador es el correspondiente al máximo rendimiento y representa el punto para el cual ha sido diseñado el mismo.

El punto R de la figura 34 – Curva característica de un ventilador, se conoce como punto de desprendimientos, y delimita dos zonas: la zona a la izquierda de este, que es la de funcionamiento inestable del ventilador, y la zona a la derecha, que representa el funcionamiento estable.

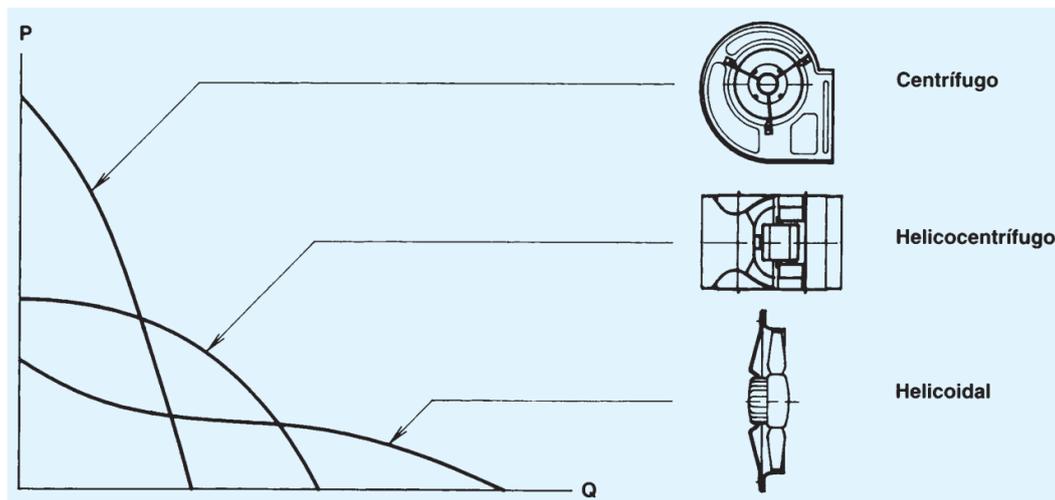


Figura 35. Curvas de distintos tipos de ventiladores

En la figura 35, se han representado las curvas características de los tipos fundamentales de ventilación, en donde los tres ventiladores comparados tienen el mismo diámetro de rodete.

Puede observarse que a igualdad de caudal impulsado (Q), los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicocentrífugos y éstos a su vez, más que los helicoidales. También puede verse que los centrífugos mueven caudales menores que los helicocentrífugos, y éstos menos que los helicoidales.

Punto de trabajo

La curva característica de un ventilador, depende únicamente del ventilador y solamente variará si varía la velocidad de rotación del mismo. Se debe determinar en qué punto se encontrará trabajando el ventilador, aceptándose

en principio que la curva característica es independiente del sistema de conductos al que se acople.

Podemos encontrar de forma sencilla el punto de trabajo de un ventilador simplemente superponiendo las curvas características del ventilador y resistente del conducto según se indica en la figura 35.

Selección de Soplador

Deben determinarse para la selección, los parámetros de presión y caudal para de esta forma evaluar el punto de trabajo del soplador.

- Presión

La presión que debe ejercer el soplador sobre el gasómetro está dada por la presión a la que se desea que sea expulsado el biogás por la tubería de salida. En el circuito de gas se requiere de una presión aproximada de al menos 40mbar para poder superar la etapa las pérdidas de por fricción de la tubería, las pérdidas del filtrado y de los accesorios y finalmente, llegar con las presiones adecuadas tanto al generador como a la caldera. Por ello, se buscará un soplador que tenga una presión de 60mbar, de forma de tener una reserva en presión.

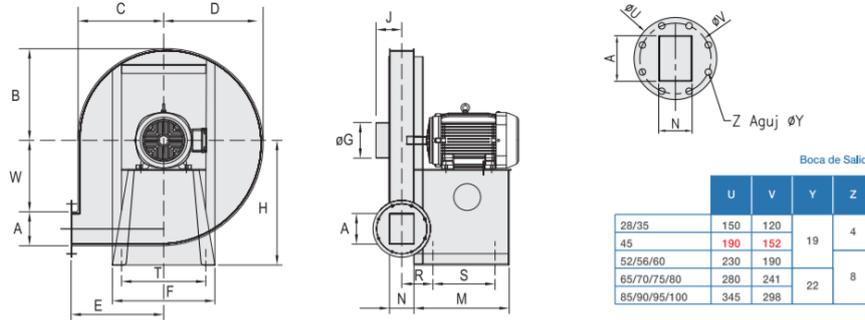
- Caudal

El soplador debe tener un caudal suficiente para tener en cuenta todas las pérdidas de aire y aún mantener la presión interna requerida. Las pérdidas de aire que pueden calcularse son la porosidad del tejido y otros orificios que puedan existir. Las pérdidas de aire a través del sellado y otros cierres no son, en su mayor parte, susceptibles de cálculos y deben determinarse de forma experimental.

Se ha seleccionado un ventilador del tipo centrífugo, de palas radiales de bajo caudal y alta presión. En estos aparatos la trayectoria del aire sigue una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial a la salida. Es decir, la entrada y la salida están en ángulo recto.

Se selecciona un soplador de la marca Chicago Blower Argentina, que tiene una presión máxima de 60mbar con un caudal de 3m³/min. Las especificaciones técnicas del mismo se muestran a continuación.

DIMENSIONES GENERALES



Tamaño	HP (Carcasa)	A	B	C	D	E	F	øG	H	J	K	M	N	R	S	T	W
28/50	0.25 (63)	49	184	173	195	190	237	66	270	50	217	155	40	65	110	234	147
28/100	0.25 (63)									52	219		44	67			
35/50	0.5 (71)	63	227	213	240	235	300	83	310	60	245	175	47	65	115	254	181
35/100	0.5 (71)									63	247		52	67			
45/50	1 (80)									70	267	200	57	77		130	230
45/100	1.5 (80)	83	288	270	305	300	380	106	390		271		64	80		310	230
45/100	2 (90S)									73	271				160		
52/50	2 (90S)									80	302	220	66	99	140	400	266
52/100	3 (90L)	95	331	311	351	360	440	123	450	83	330	250	74	93	175		
56/50	3 (90L)									80	328		70	95	170		
56/100	4 (100L)	103	355	333	377	375	474	132	475	85	375	280	78	99	195	420	286
56/100	5.5 (112M)									85	393	300			220		
60/50	4 (100L)	110	398	356	403	400	508	142	500	110	371	270	80	102	175	470	307
60/100	5.5 ó 7.5 (112M)									115	394		90	107	205		

Figura 36. Especificaciones técnicas de soplador seleccionado

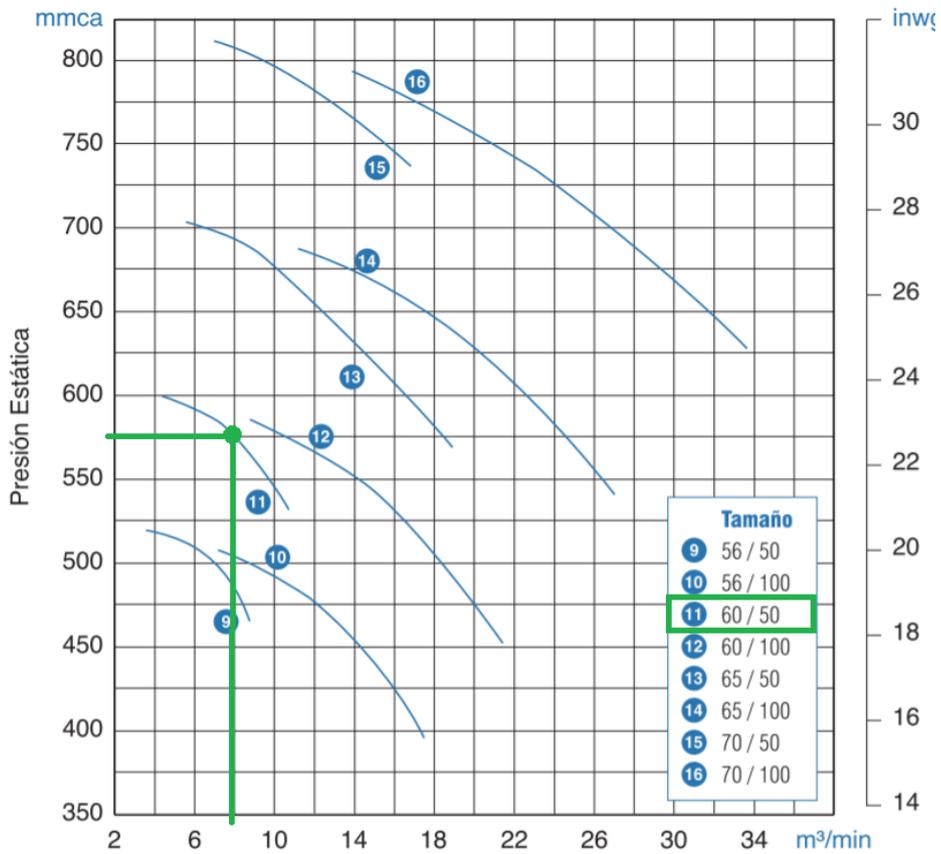


Figura 37. Curva característica de soplador

Cabe aclarar que, el sistema deberá estar equipado con una válvula de retención que asegure el mantenimiento de la presión en el gasómetro durante el tiempo suficiente, incluso durante un corte de energía temporal.

Tuberías de gas

El diámetro de las tuberías de gas está determinado por la fórmula de Renoard Lineal, la cual resulta válida para presiones relativas inferiores a 0,05 bar = 50mbar, por lo que está dentro del rango de la presión en la que operará el gas de nuestro circuito. La fórmula es:

$$P_1 - P_2 = 25078 * s * Le * Q^{1,82} * D^{-4,82}$$

Siendo

- P_1 = Presión relativa inicial [mbar]
- P_2 = Presión relativa final [mbar]
- D = Diámetro interior de la tubería [mm]
- Le = Longitud equivalente de la tubería = 15 [m]
- s = Densidad ficticia o de cálculo del gas (sin unidades)
- Q = Caudal de gas $\frac{m^3n}{h}$ en condiciones normales.

Se verifica la caída de presión entre los puntos inicial y final de la tubería, a partir de la propuesta de un diámetro de tubería determinado. Se debe colocar el caudal máximo en condiciones normales a circular por la tubería, la longitud equivalente y la densidad ficticia o de cálculo del gas.

Las cañerías de gas que se emplearán serán las aprobadas por el ENARGAS a nivel nacional que son de acero y con recubrimiento anticorrosivo EPOXI, cuya capa es de 300 micrones.

El dimensionamiento de las tuberías de gas se realizó conforme al NAG 200 “Reglamento Técnico para la ejecución de instalaciones internas domiciliarias de gas”. Según el esquema se plantean los ramales en los que se verificará la caída de presión. El cálculo se encuentra en Anexo 13 – Dimensionamiento de cañería de gas.

Tramo	Identificación	Accesorios	Long. g. Real	Long. Cálculo (m)	Consumo m3/h	D. inicial	Long. Equiv. (m)	Long. Recalc. (m)	D. final
A-B	Principal	2 codo 90°	5m	5	43	2"	3,06	8,06	2"
B-C	Filtro	2 codo 90°- 1 EV -2te	10m	15	43	2"	8,16	23,16	2 1/2"
C-D	Caldera	3 codo 90°- 1 EV	4m	19	7	1 1/4"	6,08	25,08	1 1/4"
C-E	Generador	3 codo 90°- 1 EV	4m	19	36	2"	9,69	28,69	2 1/2"

B-F	Antorcha	3 codo 90°- 1 EV	10m	15	24	2"	9,69	24,69	2"
-----	----------	---------------------	-----	----	----	----	------	-------	----

Tabla 8. Resumen de diámetros de cañería según tramo

En la tabla 8 se encuentra la sección mínima por tramo a colocar para tener una caída de presión inferior a 10 mbar.

Filtrado del biogás

El biogás ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) no es absolutamente puro, puesto que contiene partículas y trazas de otros gases. Todas estas impurezas deben ser removidas dependiendo del tipo de utilización que tendrá el biogás.

La purificación del biogás es importante por dos razones principales:

- para aumentar el poder calorífico del biogás
- cumplir los requerimientos de algunas aplicaciones del gas (motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc.).

Actualmente, existen tecnologías de purificación de biogás de tipo fisicoquímico y métodos biológicos de purificación. Las primeras se basan fundamentalmente en mecanismos de absorción, adsorción PSA y métodos de filtración por membrana. Mediante técnicas biológicas, distintos tipos de microorganismos pueden utilizarse como agentes de transformación, conformando biofiltros con potencialidad de separar mezclas gaseosas. A continuación, se desarrollan los métodos más difundidos:

Absorción

El metano y el dióxido de carbono presentan afinidades distintas a diversos líquidos. Usando agua como agente de lavado, los componentes ácidos del biogás tales como CO_2 , son disueltos más fácilmente que los componentes hidrofóbicos apolares tales como los hidrocarburos. El proceso consiste en hacer circular en contrasentido al gas y al líquido absorbente, y por medio de filtrados sucesivos ir logrando la pureza deseada. Estos filtros pueden trabajar por platos perforados, columna empaquetada, lluvia-spray o bien burbuja, donde la diferencia principal es la forma en que se realiza el cruce entre el gas a limpiar y el líquido. El biogás sale por la parte superior de la columna con una concentración de metano mayor a 95%.

Otros absorbentes que tienen buena aceptación incluyen mezclas de dimetil éter y polietilenglicol, particularmente porque no son tóxicos ni corrosivos.



Figura 38. Filtrado por absorción

Adsorción con tecnología de oscilación de presión (PSA - Pressure Swing Adsorption)
Esta tecnología permite obtener un metano muy puro y se basa en el hecho de que, bajo ciertas presiones, los gases tienden a ser atraídos hacia superficies sólidas (adsorbidos). Mientras mayor sea la presión, una mayor cantidad de gas será adsorbido. Cuando la presión se reduce, el gas es liberado o desorbido.

Se pueden utilizar como adsorbentes: carbón activado, zeolitas (compuestos de aluminio y silicio), tamices moleculares de zeolitas y tamices moleculares de carbón. El sistema opera a temperaturas cercanas a la ambiental. El material adsorbente bajo condiciones de altas presiones adsorbe el CO₂ del biogás. El proceso luego cambia las condiciones y la presión baja para desorber el CO₂ del material adsorbente y ser liberado. Cada recipiente sigue un ciclo de presurización-adsorción-despresurización-desorción.

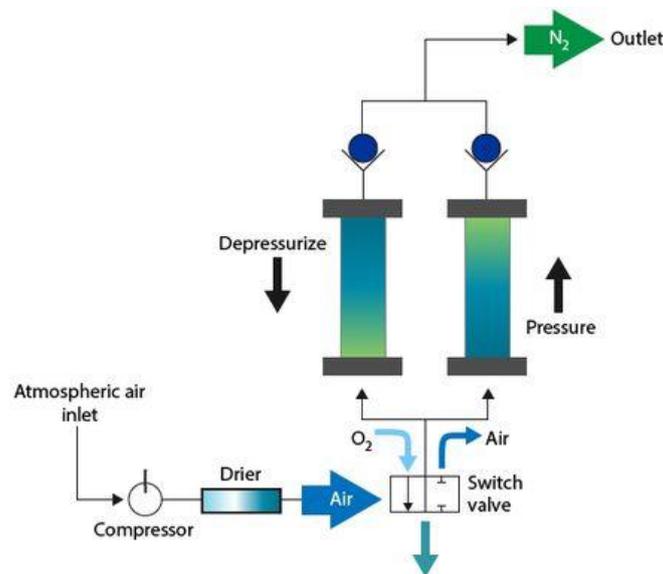


Figura 39. Ciclo de Filtrado por adsorción

Remoción del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

En general, uno de los principales problemas que presenta el biogás es que tiene incorporado entre otros gases el sulfuro de hidrógeno que se produce por descomposición anaeróbica de restos orgánicos. La eliminación de este compuesto del biogás es relevante, pues este gas inflamable e incoloro, es

altamente tóxico y corrosivo. Por ejemplo, en combinación con el vapor de agua en el biogás crudo, puede formar ácido sulfúrico el cual es muy corrosivo para los motores y sus componentes.

A concentraciones sobre 100 ppm en volumen, el H_2S es también muy tóxico. El carbón activado puede utilizarse para remover el H_2S y CO_2 . El carbón activado actúa como catalizador convirtiendo el H_2S en azufre elemental (S). Otra forma de lavar el sulfuro de hidrógeno es usando soluciones de NaOH, agua o sales de hierro. El óxido de hierro remueve el H_2S transformándolo en sulfuro de hierro.

Los métodos de purificación por adsorción presentan la ventaja de ser muy efectivos en la reducción y remoción de contaminantes, pero presentan costos de operación altos, debido al consumo eléctrico de los compresores que alcanzan presiones altas, por lo que su aplicación en países en vías de desarrollo se encuentra limitada.

Desulfuración biológica

El uso de microorganismos en la remoción de sulfuro de hidrógeno presente en el biogás se basa en la oxidación microbológica de H_2S a compuestos de azufre de fácil eliminación, como azufre elemental (S^0) o sulfatos (SO_4^{2-}). El sulfuro de hidrógeno es absorbido en agua y es oxidado biológicamente. La oxidación del H_2S puede ocurrir en presencia o ausencia de oxígeno.

Selección de equipo de filtrado

Si bien la mejor forma de filtrar el biogás comprende la remoción tanto del CO_2 como del H_2S , adquirir un equipo que sea capaz de filtrar ambos componentes resulta inviable respecto de la escala de este proyecto. Por ello, el método que emplearemos para filtrar será el de carbón activado, el cual presenta las ventajas de ser aplicable a pequeña escala y que elimina el H_2S , el cual es el principal agente que daña los motores de combustión interna por corrosión a causa de la formación de H_2SO_4 (ácido sulfúrico).

Teniendo en cuenta la producción de biogás máxima en el último día de crianza, la cual es de aproximadamente $40 Nm^3/h$, el medio filtrante que fue seleccionado es de carbón activado impregnado u óxido de hierro de la marca AquaLimpia para separar el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y tiene un costo de USD 8600.



AQL – 100
CAUDALES
20-100 m³

Figura 40. Filtro seleccionado de carbón activado

El filtro de biogás, incluido el fondo del tamiz, se fabrica en acero inoxidable ST 316. Esto asegura que el sulfuro de hidrógeno incluso en concentraciones más altas no puede provocar daños por corrosión en el sistema. El filtro de carbón activado está diseñado para su instalación en exteriores y para que se pueda instalar en la línea de gas entre el soplador de presión de gas y el generador o caldera.

Caldera

El consumo de gas de la caldera podrá ser como máximo de 7m³/hora, por lo que deberá dimensionarse la cañería en forma acorde y ser seleccionado el regulador correspondiente.

Antorcha

Como mecanismo de seguridad, se debe colocar una antorcha quemadora del biogás en caso de ocurriese un problema de presión dentro del digestor, como el caudal promedio de generación es de aproximadamente de 25 Nm³/h, la antorcha optada es de la marca ZORG BIOGAS, que posee una capacidad para quemar gas de 24 m³/h a una presión entre 2 y 40mbar, además tiene la opción de ser controlada tanto manualmente como automáticamente.



Figura 41. Antorcha seleccionada

Grupo generador

El tipo de generadores que se utilizará para producir energía eléctrica posee una potencia de 100kVA, el mismo tiene una capacidad de soportar hasta 20 ppm de ácido sulfhídrico.

El consumo máximo del generador de biogás para este tipo de generador es de 36 m³/hora.



Figura 42. Generador cabinado a gas 100kVA marca New Holland

Compresor - Acumulador

Se analizó la posibilidad de acumular el biogás generado en un tanque acumulador previo paso por el generador, para de esta forma tener una reserva de gas que permita combustionarlo en los intervalos deseados según el valor de la energía eléctrica. Sin embargo, esta idea fue refutada debido a que, si se observa la curva de generación de biogás, lo producido puede ser enviado directamente al quemador del generador, sin pasar por una etapa de acumulación y no habría una limitación para la generación, siempre que la pérdida de carga en el filtro no supere los 25 mbar. En caso contrario, sería

necesario mínimamente colocar un compresor de gas que permita transportar el gas de salida hacia los equipos con la presión deseada a la entrada de los reguladores.

Lay Out - Definición de dimensiones generales

Conforme a las dimensiones preestablecidas del establecimiento donde se encuentra ubicado el Feedlot, se propone una distribución de la planta que se adecue lo mejor posible a las instalaciones previas de los corrales y lugares de acceso.

A continuación, puede visualizarse un esquema de la calle de ingreso al Feedlot y la disposición de la nueva planta, ubicada al noreste de los corrales y limítrofe con las instalaciones del feedlot preexistente.

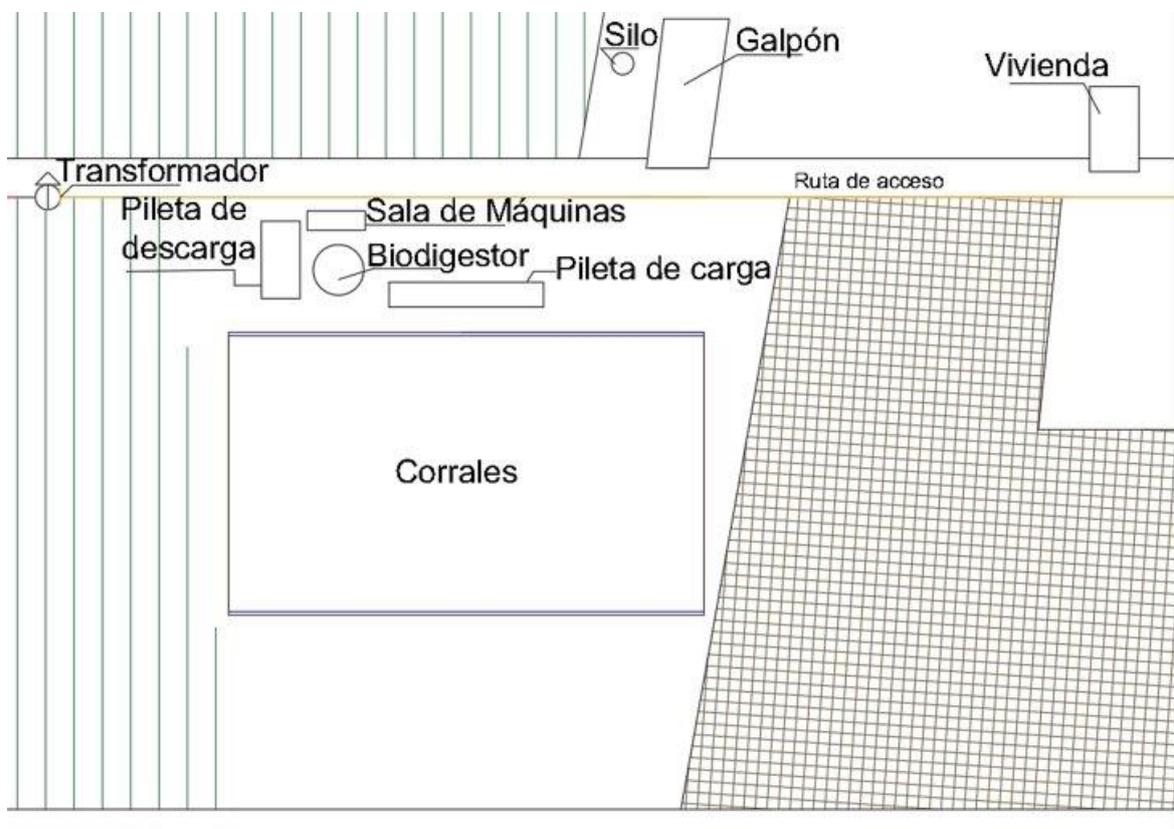


Figura 43. Esquema de instalación indicando las diferentes partes de la planta

Recorriendo las partes de la planta, podemos notar lo siguiente:

La disposición propuesta, se ha realizado estratégicamente conforme a lo acordado con el dueño del feedlot y de forma tal que respondan a las operaciones que se desea realizar cuando la planta entre en funcionamiento. De esta manera, se determinó como punto fundamental la utilización del terreno disponible, sin afectar las plantaciones aledañas.

Otro punto importante para la disposición fue la ubicación del transformador y la línea de MT, debido a la cercanía para el consumo eléctrico y la inyección a la red.

Como se ve en la imagen, debido a la cercanía de fuente de biogás, se propuso la colocación del digestor de forma contigua a la sala de máquinas, junto a la pileta de descarga y a los correales, donde existirá un consumo eléctrico considerable, debido a que se debe alimentar scrapers, luminarias y elementos ubicados en la etapa de carga, como agitador y bombas.

A continuación, se mostrará el diseño de la planta por partes, para permitir una mejor visualización y comprensión de las etapas que la componen.



Figura 44. Comederos y scraper

Como se puede observar, los animales se encuentran comiendo en sus respectivos comederos, parados sobre el recorrido del scraper a fin de realizar una correcta limpieza hacia el centro de los corrales.



Figura 45. Corrales

Mientras los animales no se encuentran comiendo, o duermen, estos se ubicarán en sus corrales, al reparo del sol, mediante una tela media sombra, ubicada en la estructura tubular que se observa en la imagen.

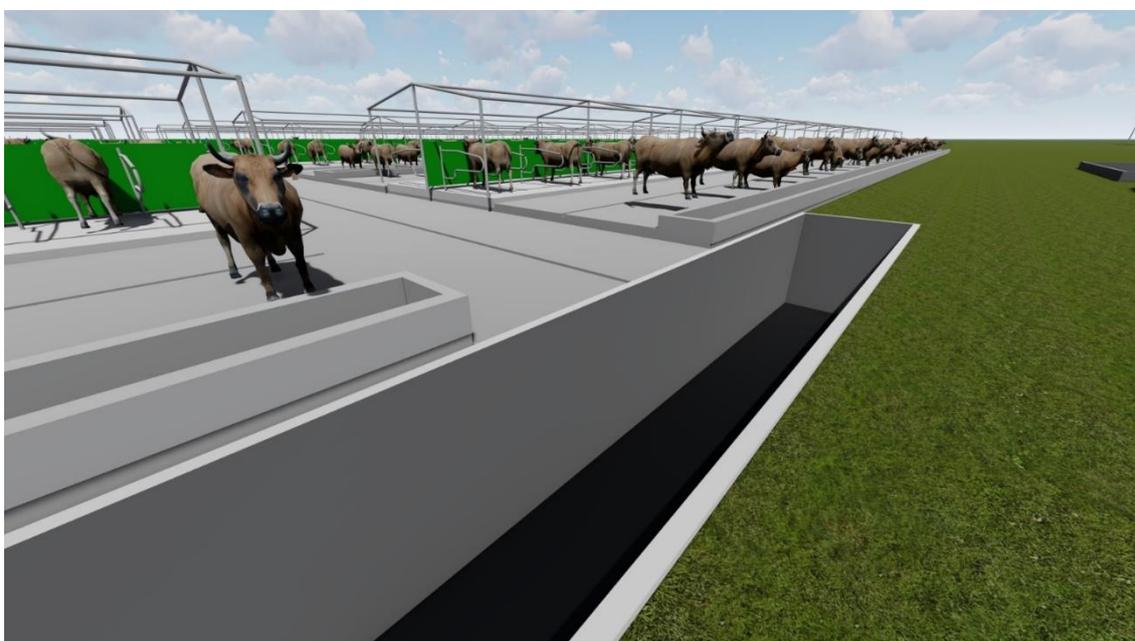


Figura 46. Pileta de carga

En la imagen anterior se puede observar la pileta de carga, donde mediante el scraper central, se recogerá el acumulado de los scraper laterales, a fin de llenar dicha pileta y poder bombear el estiércol al interior del digestor

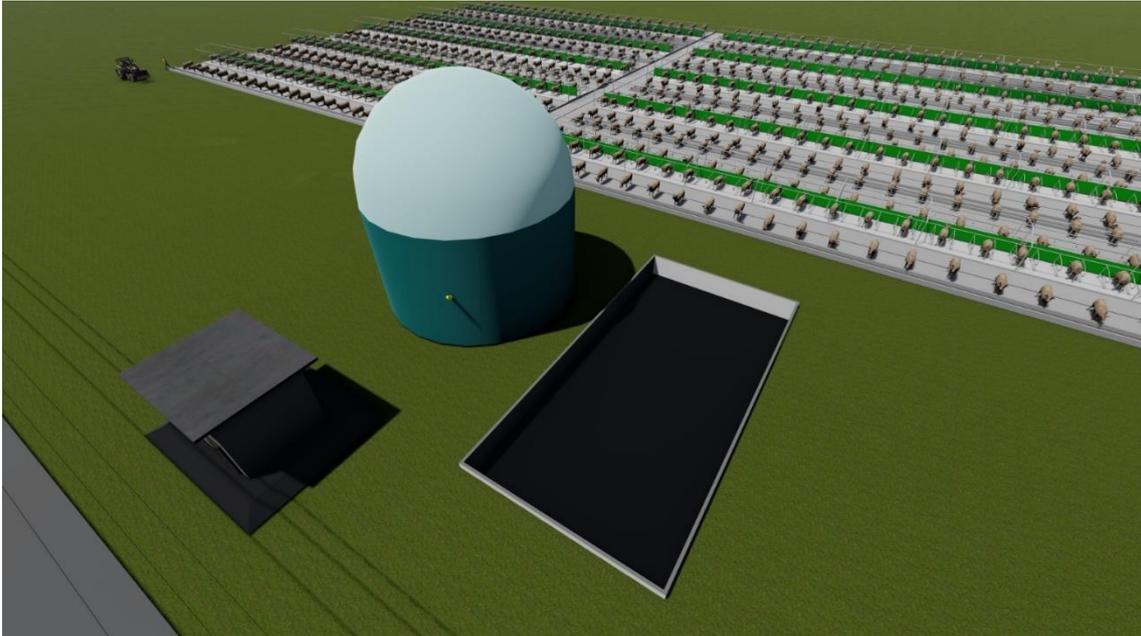


Figura 47. Digestor y pileta de descarga

Como se observa tanto la pileta de carga, como digestor y pileta de descarga se encuentran muy cerca, permitiendo una fácil relación entre estos tres, de manera de disminuir las pérdidas de carga y el encarecimiento de los equipos.

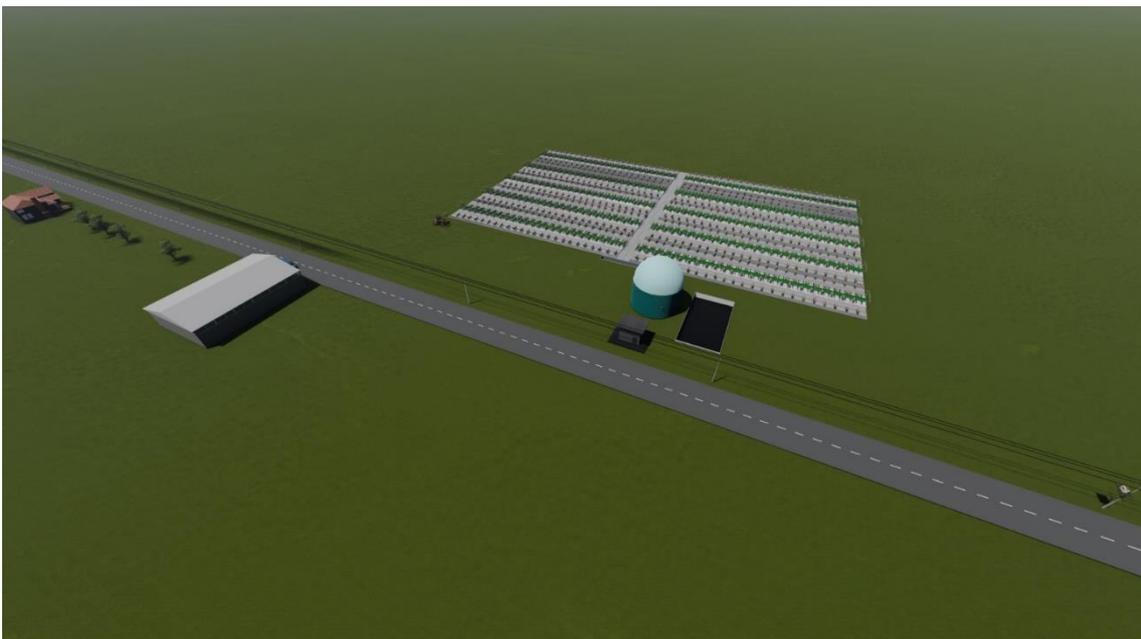


Figura 48. Planta general

Finalmente se puede apreciar una vista general de la planta, con los corrales, digestor, piletas de carga y descarga, sala de máquinas, línea de MT y subestación, junto a lo existente previamente en dicho terreno, como el galpón y la casa.

Operación de planta

Recolección de estiércol

El sistema de recolección, por medio de rascadores, está diseñado de forma tal que pueda operar automáticamente, cada intervalos determinados, y se frenará ante posibles fallas por atascamiento del rascador, sobre temperatura de la unidad central de aceite o calentamiento de los motores. (Ver anexo 33 – Rascador hidráulico de estiércol).

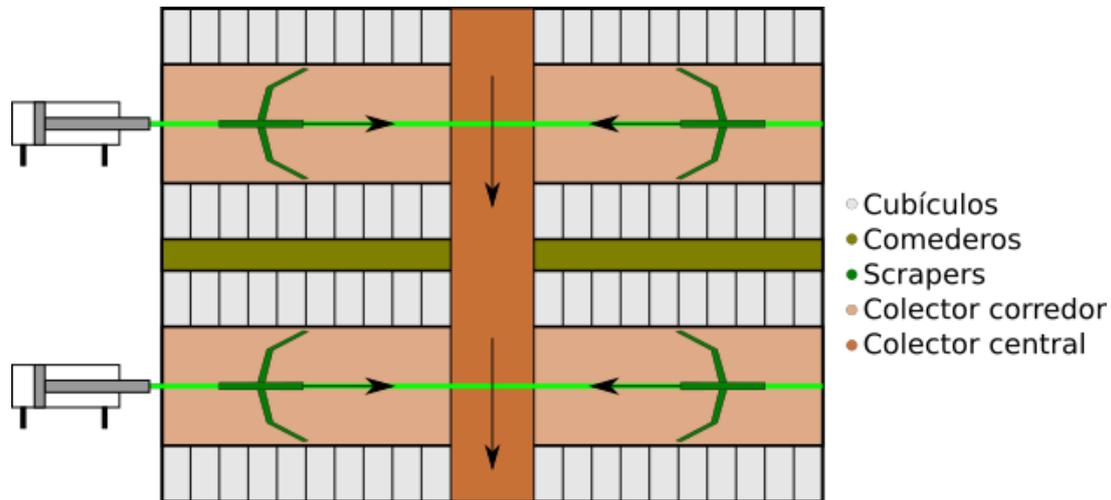


Figura 49. Esquema rascadores

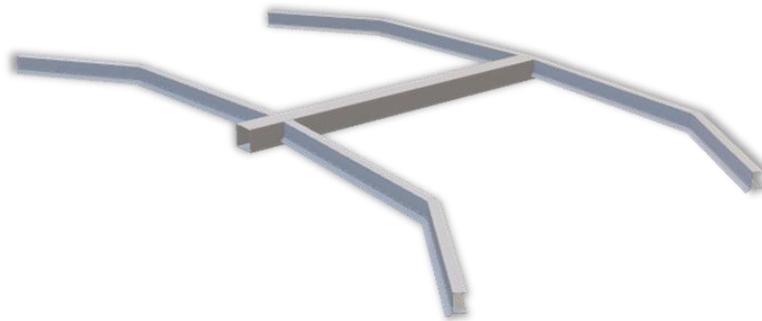


Figura 50. Rascador - Detalle constructivo

Homogeneización y precalentamiento de estiércol en pileta de carga - Carga de materia orgánica dentro del digestor

En esta etapa, la materia orgánica es depositada en las piletas a lo largo del día, a partir del funcionamiento del sistema de recolección, para ser mezclada por medio de un agitador y calentada gracias a un sistema transferencia de calor.

Procesamiento de materia orgánica dentro del digestor

Dentro del reactor la materia orgánica será controlada por equipos que toman mediciones periódicas de las variables, temperatura, PH y presión y unidades de salida encargadas de actuar para regular los parámetros de forma tal que la descomposición del digestato y generación del gas sea lo más constante

posible. Se tendrá en todo momento capacidad de visualizar el estado de las variables a través de pantallas y un sistema HMI que permita operar remotamente los equipos desde una sala de control. Los equipos actuadores que nos permitirán manejar las variables:

- **Agitadores:** que se encuentren operativos y funcionando durante los períodos preestablecidos.
- **Soplador:** deben mantener una presión positiva dentro del gasómetro de forma tal de permitir la salida del gas. Para ello debe ser monitoreada la presión del gasómetro.
- **Caldera:** es la encargada de operar en forma permanente calentando el fluido de intercambio (agua) que aportará el calor necesario dentro del digestor. A través del control de la temperatura dentro del digestor y de la presión de la red de gas para su alimentación, se obtendrán las variables de entrada para que la caldera opere en consecuencia.
- **Válvula de salida de gas:** se abre o cierra según la presión que exista dentro del gasómetro, la cual es proporcional a la cantidad de gas existente dentro del mismo.
- **Bombas de carga y descarga de materia orgánica:** el equipo de descarga funcionará conforme al nivel determinado que exista en la pileta de carga y homogeneización, dado que no debe descargarse materia prima si antes no existe seguridad de que el digestor pueda seguir con su continuidad de carga. La bomba de carga en cambio actuará siempre que el nivel interno del digestor lo permita, y podrá hacerlo posteriormente o en simultáneo a la bomba de descarga, de forma tal de que se garantice la transición de materia nueva entrante y saliente dentro del digestor.

Operación del gas

El gas generado durante la metanogénesis y concentrado dentro del digestor será forzado a salir por medio de la presión que se ejerza mediante un ventilador centrífugo sobre el domo (ubicado en la parte superior). Posteriormente, el gas será entubado y tendrá distintos destinos posibles, los cuales se detallan a continuación:

- **Filtrado (eliminación de azufre):** El biogás contiene impurezas y gases contaminantes que corroen y dañan los generadores, calderas, equipos de combustión, etc. Uno de los principales agentes es el sulfuro de hidrógeno (H_2S). A su vez pueden encontrarse humedad, espumas y partículas en suspensión que tienen que reducirse o eliminarse para evitar daños y así garantizar una larga vida útil de los equipos.

Todo el biogás que se emplee para generar, comprimir o calentar deberá necesariamente ser filtrado., excepto el gas que sea derivado por motivos de seguridad a ser venteado en la antorcha.

- **Combustionado en caldera:** tanto la materia orgánica dentro del digestor como también la que está en etapa de homogeneización y precalentamiento en la pileta de carga para ser insertan dentro del mismo, requieren del aporte de calor que es suministrado por la caldera, la cual combustiona biogás filtrado. A la caldera se le adaptarán los picos de salida de gas y se utilizará un regulador de presión para que esté conforme a los parámetros de gas (caudal y presión) necesarios para su correcta combustión.
- **Generación de energía eléctrica:** para la generación de energía se utilizará un generador de gas natural, el cual tenga tolerancia a pequeñas cantidades de azufre o siloxanos que pudieran quedar en el gas posteriormente a ser filtrado. Al igual que con la caldera, se debe proveer los equipos necesarios para adecuar el biogás en términos de presión y caudal equivalente de biogás respecto al gas natural para que el generador funciones en forma correcta.
- **Salida a chimenea de venteo:** Se utilizará como última opción en aquellas situaciones donde no se pueda almacenar el gas, no pueda ser combustionado en el generador o exista alguna sobrepresión peligrosa. En estas condiciones (no típicas) es necesario deshacerse del gas producido de una forma conveniente para el medio ambiente (no en forma de metano, ya que es uno de gases más importantes de efecto invernadero) y sin generar un riesgo potencial de incendio (por su alta inflamabilidad).

Para ello se emplea una antorcha que combustiona el metano (CH_4) transformándolo completamente Dióxido de Carbono (CO_2). Pese a que este último también está incluido dentro de los gases de efecto invernadero, su potencial contaminante está unas 84 veces por debajo de la del Metano¹². A su vez, su inflamabilidad es nula si es combustionado totalmente.

Además, el diseño del sistema de combustión la antorcha debe ser el adecuado para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Energía eléctrica

Análisis de demanda de la instalación

Para determinar las potencias demandadas dentro de la planta, lo que se realizó fue un análisis a partir de los datos obtenidos en el relevamiento inicial realizado en feedlot, (Ver Anexo 2 - Relevamiento Feedlot Renacer) y de las futuras cargas que deberán ser energizadas según lo diseñado para la planta de biogás a instalar.

Las cargas relacionadas con la actividad del feedlot son:

¹² <https://www.technologyreview.es/s/11183/convertir-metano-en-co2-la-nueva-estrategia-contr-a-el-cambio-climatico>

1. Bomba de agua de bebederos
2. Motor de chimango
3. Motor de picadora de maíz (silo)
4. Galpón
5. Casa

Si bien el momento de demanda de estas cargas podría variarse levemente, se ha intentado establecerlas, según los horarios normales de actividad del feedlot que fueron dados por el propietario de la instalación. Los consumos tanto del galpón como de la casa se han estimado en función de los equipos disponibles y del histórico de la factura de energía del lugar.

Las nuevas cargas que formarán parte de la operación de la plata de biogás son:

1. Motores de bombas hidráulicas de rascador (scraper)
2. Bomba de carga
3. Bomba de descarga
4. Luminarias
5. Agitadores
6. Control de planta
7. Motor de bomba de caldera
8. Compresor

Las potencias de dichas cargas, se han tabulado en base a lo calculado en cada uno de los anexos respectivos de cada parte de la planta.

En la siguiente tabla se muestra el tipo de carga, potencia, factor de potencia, tiempo de funcionamiento y factor de utilización.

Identificación	Elemento	Potencia (kW)	FP	Tiempo (hs)	fu
M1-Bomba bebedero animales	Motor trifásico	0,75	0,8	4	1
Casa	Tomas - Luces - Heladera	2	0,85	12	0,7
M2-Silo	Motor trifásico	8,6	0,82	3	0,6
M3-Chimango	Motor trifásico	6,3	0,8	3	0,6
Galpón-Consumo Feedlot	Tomas - Luces -	3	0,85	4	0,6
M4-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M5-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M6-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1

M7-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M8-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M9-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M10-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M11-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M12-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M13-Recolección Corral	Motor trifásico	0,75	0,85	12	1
M14-Recolección Canal	Motor trifásico	1	0,85	12	1
M15-Homogeneizador	Motor trifásico	1	0,85	12	1
M16- Bomba de carga	Motor trifásico	1	0,85	4	1
M19 - Mezclador	Motor trifásico	3	0,85	12	1
M20 - Mezclador	Motor trifásico	3	0,85	12	1
M21 - Mezclador	Motor trifásico	3	0,85	12	1
M22- Bomba de descarga	Motor trifásico	1	0,85	4	1
M24 - Bomba Filtrado	Motor trifásico	2,2	0,8	12	1
Caldera	Monofásico	0,14	0,85	24	1
M25- Bomba calefacción	Motor monofásico	0,5	0,85	8	1
Control Planta	Fuente PC	0,5	0,95	24	1
Iluminación	Luces- Tomas	3	0,85	6	0,5
Compresor acumulador	Trifásico	0	0,85	8	1
Soplador	Trifásico	1	0,85	6	1
Soplador	Trifásico	1	0,85	6	1

Tabla 9. Cargas eléctricas de la instalación con planta. Fuente: elaboración propia

Evaluación técnica

A continuación, puede visualizarse la distribución de los consumos de cada carga en función de los horarios del día, ubicados en columnas categorizadas en pico, resto y valle tal como está determinado el precio estacional de la energía conforme al mercado eléctrico mayorista.

Identificación	Horas del día																							
	Valle					Resto												Pico						
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
M1-Bomba bebedero animales	0,25	0,29	0,33		0,75				0,75								0,75						0,75	
Casa								1,40			1,40		1,40		1,40		1,40			1,40				
M2-Silo									5,16							5,16								
M3-Chimango									3,78						3,78									
Galpón-Consumo Feedlot									1,80	1,80									1,80	1,80				
M4-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M5-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M6-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M7-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M8-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M9-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M10-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M11-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M12-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M13-Recolección Corral		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M14-Recolección Canal		0,38		0,38		0,38		0,38	0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38		0,38	
M15- Homogeneizador			1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
M16- Bomba de carga	1,00						1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
M19- Mezclador			3,00		3,00		3,00	3,00		3,00	3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00	
M20- Mezclador			3,00		3,00		3,00	3,00		3,00	3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00	
M21- Mezclador			3,00		3,00		3,00	3,00		3,00	3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00	
M22- Bomba de descarga	1,00						1,00					1,00							1,00					
M24- Bomba Filtrado							2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20				
Caldera	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	
M25- Bomba calefacción	0,50	0,50		0,50		0,50		0,50		0,50		0,50		0,50		0,50		0,50		0,50		0,50	0,50	
Control Planta	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Planta iluminación	1,50																		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
Compresor acumulador																								
Soplador		1,00				1,00				1,00					1,00				1,00				1,00	
Soplador		1,00				1,00				1,00					1,00				1,00				1,00	
	4,89	7,56	10,97	5,27	11,39	7,27	12,64	17,87	13,53	10,77	16,54	15,97	7,24	17,97	14,18	15,97	5,99	17,97	9,04	19,77	4,54	17,27	4,39	15,27

Tabla 10. Consumos según horario feedlot. Fuente: elaboración propia

En la gráfica siguiente podemos ver la energía consumida a cada hora, y así determinar en qué sección de la curva de demanda eléctrica (pico, resto o valle) tenemos los consumos del feedlot.

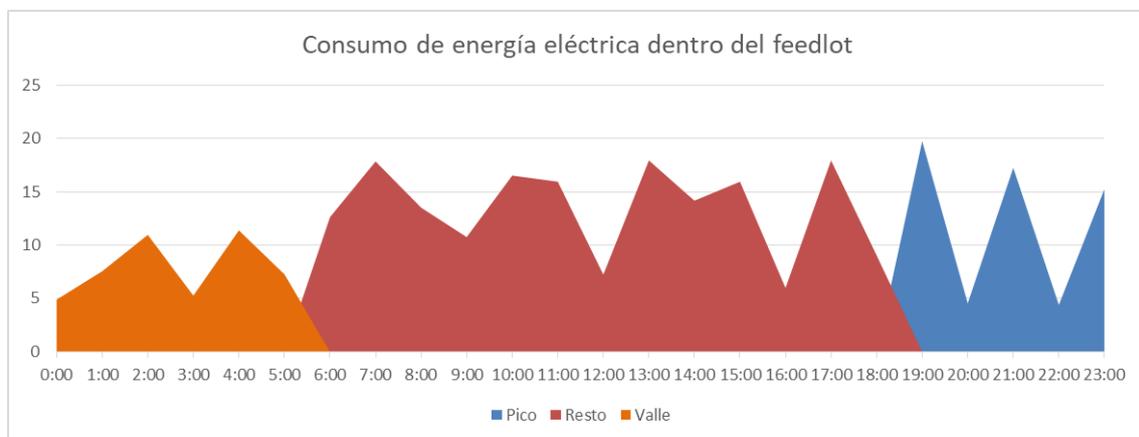


Gráfico 9. Consumo de energía eléctrica de la planta. Fuente: elaboración propia

Debemos tener en cuenta que existen diferentes tarifas para cada momento del día, según si se encuentra dentro de la franja horaria de valle, resto o pico.

En el siguiente cuadro tarifario, se señala la categoría correspondiente que debe solicitarse para la instalación, dado que se tiene una demanda máxima de potencia de 17,97 kW de potencia.

Grandes Demandas (Potencias mayores a 10 kW)			
Conectado a la Red de Distribución y Bornes de Transformador			
Concepto	Unidad	\$	Energía volcada
T2 Especial con potencias hasta 50 kw			
Cargo de Comercialización	\$/Mes	659.293	-
Cargo Fijo	\$/Mes	256.223	-
Cargo Variable	\$/kWh	8.4455	2.6207
T2 Red Baja Tensión			
Potencias superiores a 10 kw e inferiores a 300 kw			
Cargo de Comercialización	\$/Mes	1310.114	-
Uso de Red	\$/kW - Mes	1942.295	-
Consumo de Potencia	\$/kW - Mes	121.04	-
Consumo de Energía			
- Pico (P) de 18 a 23 hs.	\$/kWh	2.7282	2.7282
- Resto (R) de 05 a 18 hs.	\$/kWh	2.6176	2.6176
- Valle (V) de 23 a 05 hs.	\$/kWh	2.5069	2.5069
Potencias iguales o superiores a 300 kw			
Cargo de Comercialización	\$/Mes	1310.114	-
Uso de Red	\$/kW - Mes	1942.295	-
Consumo de Potencia	\$/kW - Mes	121.04	-
Consumo de Energía			
- Pico (P) de 18 a 23 hs.	\$/kWh	8.4299	8.4299
- Resto (R) de 05 a 18 hs.	\$/kWh	8.0797	8.0797
- Valle (V) de 23 a 05 hs.	\$/kWh	7.7283	7.7283

Tabla 11. Cuadro tarifario vigente. Fuente: EDEMSA

A continuación, se muestra la tabla que resume el total de energía según el momento del día y sus respectivos costos diarios y mensuales, estos últimos determinados a partir del anterior cuadro tarifario.

Hora	Pico	Resto	Valle
00:00			4,89
01:00			7,56
02:00			10,97
03:00			5,27
04:00			11,39
05:00			7,27
06:00		12,64	
07:00		17,87	
08:00		13,53	
09:00		10,77	
10:00		16,54	
11:00		15,97	
12:00		7,24	
13:00		17,97	
14:00		14,18	
15:00		15,97	
16:00		5,99	
17:00		17,97	
18:00		9,04	
19:00	19,77		
20:00	4,54		
21:00	17,27		

22:00	4,39			
23:00	15,27			
Total	61,23	175,65	47,34	Total
Costo diario (\$)	167,03	459,78	118,68	745,49
Costo mensual (\$)	5011,02	13793,44	3560,29	22364,76

Tabla 12. Totales de energía y costos. Fuente: elaboración propia

Salida del digerido

El digestato que ha permanecido durante un determinado tiempo en las piletas decantándose, debe ser succionado por medio de una bomba a recipientes para posteriormente realizar el mezclado del mismo con agroquímicos. Finalmente, el fertilizante preparado debe envasarse para poder comercializarlo.

Resultados de planta

Producción de estiércol

La producción de estiércol por animal será directamente proporcional a su peso vivo. Es por ello que, surge la necesidad de analizar la evolución diaria del peso del mismo en su paso por el establecimiento pudiendo, a partir de ello, obtener la cantidad de materia producida diariamente.

A continuación, se resumen en la tabla 13 – Resumen datos animales feedlot “Renacer” los datos utilizados para calcular la producción diaria de estiércol. Para consultar los cálculos realizados con los que se obtuvieron los diferentes coeficientes a continuación detallados se debe consultar el Anexo 14 – Producción de estiércol.

Concepto	Unidad	Cantidad
Cantidad total de animales	adim	1000
Coficiente de sexo	adim	0,5
Cantidad de machos	adim	500
Cantidad de hembras	adim	500
Peso de ingreso	kgf	120
Peso de salida machos	kgf	380
Peso de salida hembras	kgf	330
Ingesta diaria por animal de materia seca	%	3,00%
Digestibilidad de la materia seca	%	80,00%
Humedad	%	90,00%
Tiempo de engorde total	días	245
Ganancia diaria machos	kgf/día	1,06
Ganancia diaria hembras	kgf/día	0,86

Tabla 13. Resumen datos animales feedlot “Renacer”

Los resultados obtenidos mediante los coeficientes anteriormente expuestos y los cálculos citados se resumen en la Tabla 14 – Extracto producción total de estiércol diaria. Esta última contempla la producción desde el día 1 hasta el 245, pero solo se mostrará un extracto de la misma (Consultar Anexo 14 –

Producción de estiércol). Mediante los datos obtenidos de materia orgánica se calculará posteriormente la capacidad diaria y total de producción de biogás.

Tiempo de confinamiento (días)	Peso macho	Peso hembra	Excreta húmeda macho	Excreta húmeda hembra	Total excreta (kg)
1	121,1	120,9	8,74	8,72	8730,83
2	122,1	121,7	8,81	8,79	8800,07
3	123,2	122,6	8,89	8,85	8869,30
4	124,2	123,4	8,97	8,91	8938,54
5	125,3	124,3	9,04	8,97	9007,77
6	126,4	125,1	9,12	9,03	9077,00
7	127,4	126,0	9,20	9,09	9146,24
8	128,5	126,9	9,27	9,16	9215,47
9	129,6	127,7	9,35	9,22	9284,70
10	130,6	128,6	9,43	9,28	9353,94

• • •

235	369,4	321,4	26,66	23,20	24931,56
236	370,4	322,3	26,74	23,26	25000,80
237	371,5	323,1	26,82	23,32	25070,03
238	372,6	324,0	26,89	23,39	25139,26
239	373,6	324,9	26,97	23,45	25208,50
240	374,7	325,7	27,05	23,51	25277,73
241	375,8	326,6	27,12	23,57	25346,96
242	376,8	327,4	27,20	23,63	25416,20
243	377,9	328,3	27,28	23,70	25485,43
244	378,9	329,1	27,35	23,76	25554,67
245	380,0	330,0	27,43	23,82	25623,90
				TOTAL	4208454,90

Tabla 14. Extracto producción total de estiércol diaria

Producción de biogás

En base a los resultados de producción de materia prima, es decir, de producción de estiércol obtenido diariamente (Tabla 14 – Extracto producción total de estiércol diaria) y en base a la capacidad potencial del mismo de producir metano (Tabla 15 – Potencial de generación del estiércol), se obtendrá su correspondiente producción diaria.

BIOGAS	
PARAMETRO	Valor
Volumen de Biogás generado por tonelada de estiércol (m3/kg)	0,0345

Tabla 15. Potencial de generación del estiércol

El potencial de generación del estiércol bovino mostrado en la tabla anterior surge del promedio obtenido según la siguiente tabla (Tabla 16 – Potencial de generación del estiércol de diferentes animales). Para mayor profundidad consultar Anexo 15 – Generación de biogás.

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

Δ: rango de valores medidos; ∅: promedio

Tabla 16. Potencial de generación del estiércol de diferentes animales

Fuente: Guía sobre el Biogás - Desde la producción hasta el uso - Página 79. [2-1] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag; Berlín, Heidelberg, Nueva York, 2001.

Como puede verse en la Tabla 14 – Extracto de producción diaria de biogás, el volumen del digestor, es decir, los 500m³ (consultar inciso “diseño del digestor”) se completan desde el inicio pasados los 49 días. A partir de este día, necesariamente deberá salir materia ya digerida equivalente al estiércol producido en el día y próximo a entrar.

Es importante destacar que, pese a que en la Tabla 14 – Extracto de producción diaria de biogás, puede observarse la producción de metano desde el primer día, la producción inicial del digestor de metano no comienza hasta que la digestión comienza a producirse. Esto provocará cierta inercia productiva de metano que dará como resultado que el digestor siga produciendo pasados los 245 días en los que ya no ingresa nueva materia a digerir.

Al igual que la producción de estiércol, la producción de metano aumenta proporcionalmente a medida que el animal comienza a ganar peso y a defecar más. Esto da como resultado que la máxima producción de metano se produzca a los 245 días con un volumen 36.8 Nm³/hora. Este valor será fundamental para el análisis de consumo de metano destinado a la calefacción del digestor y a la producción de energía eléctrica a través de un generador.

Para consultar la producción en detenimiento de biogás consultar Anexo 16 – Producción de biogás.

Tiempo de confinamiento (días)	Total excreta (kg/día)	Total excreta acumulada (kg)	Metano producido (Nm3/día)	Metano producido (Nm3/hora)
1	8730,83	8730,83	301,2	12,6
2	8800,07	17530,90	303,6	12,7
3	8869,30	26400,20	306,0	12,7
4	8938,54	35338,74	308,4	12,8
5	9007,77	44346,51	310,8	12,9
6	9077,00	53423,51	313,2	13,0
7	9146,24	62569,75	315,5	13,1
8	9215,47	71785,22	317,9	13,2
9	9284,70	81069,92	320,3	13,3
10	9353,94	90423,86	322,7	13,4
11	9423,17	99847,04	325,1	13,5
12	9492,41	109339,44	327,5	13,6
13	9561,64	118901,08	329,9	13,7
14	9630,87	128531,96	332,3	13,8
15	9700,11	138232,07	334,7	13,9
16	9769,34	148001,41	337,0	14,0
17	9838,58	157839,98	339,4	14,1
18	9907,81	167747,79	341,8	14,2
19	9977,04	177724,84	344,2	14,3
20	10046,28	187771,11	346,6	14,4
21	10115,51	197886,63	349,0	14,5
22	10184,75	208071,37	351,4	14,6
23	10253,98	218325,35	353,8	14,7
24	10323,21	228648,56	356,2	14,8
25	10392,45	239041,01	358,5	14,9
26	10461,68	249502,69	360,9	15,0
27	10530,91	260033,61	363,3	15,1
28	10600,15	270633,75	365,7	15,2
29	10669,38	281303,14	368,1	15,3
30	10738,62	292041,75	370,5	15,4
31	10807,85	302849,60	372,9	15,5
32	10877,08	313726,69	375,3	15,6
33	10946,32	324673,01	377,6	15,7
34	11015,55	335688,56	380,0	15,8
35	11084,79	346773,34	382,4	15,9
36	11154,02	357927,36	384,8	16,0
37	11223,25	369150,62	387,2	16,1
38	11292,49	380443,10	389,6	16,2
39	11361,72	391804,82	392,0	16,3
40	11430,96	403235,78	394,4	16,4
41	11500,19	414735,97	396,8	16,5
42	11569,42	426305,39	399,1	16,6
43	11638,66	437944,05	401,5	16,7
44	11707,89	449651,94	403,9	16,8
45	11777,12	461429,06	406,3	16,9
46	11846,36	473275,42	408,7	17,0
47	11915,59	485191,01	411,1	17,1
48	11984,83	497175,84	413,5	17,2
49	12054,06	500000,00	415,9	17,3
50	12123,29	500000,00	418,3	17,4
51	12192,53	500000,00	420,6	17,5
52	12261,76	500000,00	423,0	17,6
53	12331,00	500000,00	425,4	17,7
54	12400,23	500000,00	427,8	17,8
55	12469,46	500000,00	430,2	17,9

235	24931,56	500000,00	860,1	35,8
236	25000,80	500000,00	862,5	35,9
237	25070,03	500000,00	864,9	36,0
238	25139,26	500000,00	867,3	36,1
239	25208,50	500000,00	869,7	36,2
240	25277,73	500000,00	872,1	36,3
241	25346,96	500000,00	874,5	36,4
242	25416,20	500000,00	876,9	36,5
243	25485,43	500000,00	879,2	36,6
244	25554,67	500000,00	881,6	36,7
245	25623,90	500000,00	884,0	36,8

Tabla 17. Extracto de producción diaria de biogás

Metano para calefacción

El consumo de metano de la caldera será variable según la generación de estiércol, tal como se ha mencionado previamente. Al principio, la demanda será menor y posteriormente, a medida que aumente la cantidad de excreta ingresante al biodigestor, se irá aumentando la temperatura para reducir el tiempo de retención hidráulica y acelerando la degradación de la materia orgánica y, por ende, el consumo de biogás será mayor cuando el ciclo de crianza esté finalizando.

La determinación del consumo de biogás de la caldera se hizo en base a la cantidad de metano que demanda el equipo dada por la energía térmica que se requiere, conforme a los datos que provee el fabricante.

Descripción	Unidad		
	M60 M60P	M60E M60EP	M70I M70IP
Potencia máxima consumida	Kcal/h	61.000	70.000
Potencia mínima consumida	Kcal/h	16.000	
Potencia Entregada máxima	Kcal/h	56.100	64.400
Potencia Entregada mínima	Kcal/h	14.700	
Rendimiento nominal	%	92	

Tabla 18. Especificaciones de potencia nominal de caldera seleccionada

Debido a que el metano obtenido luego del filtrado será lo suficientemente puro, se tomó como referencia el poder calorífico del gas natural (11,98 kWh/Nm³= 10.303 kcal/Nm³) para determinar la cantidad de gas consumido. Realizando la relación entre las kilocalorías consumidas por la caldera y el poder calorífico del gas natural, se obtiene el volumen de gas natural consumido, que es de 6,8 Nm³/h. Teniendo en cuenta que la caldera requiere de una presión de alimentación de gas natural de 18mbar, el consumo de gas natural a esa presión es de 6,9 m³/h.

A continuación, se expone la cantidad de gas que consume la caldera por día y hora, de acuerdo a la cantidad de excreta producida por las vacas.

Día	Consumo de gas [m ³ /día]	Consumo de gas [m ³ /hr]	Metano producido (Nm ³ /día)	Porcentaje consumido de lo generado (%)
-----	--------------------------------------	-------------------------------------	---	---

1	84,66	3,53	301,21	28%
2	84,79	3,53	303,60	28%
3	84,91	3,54	305,99	28%
4	85,03	3,54	308,38	28%
5	85,15	3,55	310,77	27%
6	85,27	3,55	313,16	27%
7	85,39	3,56	315,55	27%
8	85,51	3,56	317,93	27%
9	85,63	3,57	320,32	27%
236	107,94	4,50	862,53	13%
237	108,02	4,50	864,92	12%
238	108,11	4,50	867,30	12%
239	108,19	4,51	869,69	12%
240	108,27	4,51	872,08	12%
241	108,36	4,51	874,47	12%
242	108,44	4,52	876,86	12%
243	108,52	4,52	879,25	12%
244	108,61	4,53	881,64	12%
245	108,69	4,53	884,02	12%

Tabla 19. Extracto de consumo de biogás de caldera por día

En la tabla anterior se muestra un extracto entre el metano producido por la planta y la relación de lo que se consume de lo producido (para consultar la tabla completa ver Anexo 17 – Consumo de metano para calefacción). Como se mencionó al principio el consumo es menor al comienzo del ciclo de crianza y mayor al finalizarlo, siendo al comienzo del ciclo, aproximadamente el 28% del metano producido lo que consumiría la caldera, pero luego al aumentar la producción de metano, al finalizar el ciclo llega ser aproximadamente un 12% del metano producido consumido por la caldera en su máximo estado de consumo.

Producción de energía eléctrica

En función del biogás producido y descontando lo empleado en consumo interno para calefacción según se vio en el punto anterior, se procederá a calcular la capacidad de producir energía eléctrica mediante un generador. El análisis económico (ver inciso XX – Evaluación económica) dio como resultado

que la opción más conveniente resulta la utilización de un generador de 100kVA sin la utilización de una etapa compresora y de acumulación. Los datos más importantes del mismo pueden observarse en la Tabla 20 – Especificaciones técnicas generador 100 kVA.

Datos generador 100kVA	Valor
PCI=Poder calorífico inferior del metano (kWhr/m ³ CH ₄)	10,25
Presión relativa de admisión generador (mbar)	35,5
Q_biogas_generador a presión relativa (Nm ³ CH ₄ /hr)	35,6
Q_biogas_generador normal (m ³ CH ₄ /hr)	36,85
nt=Rendimiento térmico de la generación (nt)	0,24
Precio generador (\$)	2.500.000
Precio generador (U\$D)	24883

Tabla 20. Especificaciones técnicas generador 100 kVA

Debido a que el precio de la energía eléctrica varía según el horario en el cual la misma es inyectada a la red, resulta atractivo producir en los horarios en los que la misma posee mayor valor. A continuación, se detallan los precios de la energía eléctrica para inyección según cada rango horario (Tabla 21 – Precio de la energía eléctrica por rango horario según tarifa vigente).

Precio s/horario	Precio (\$kW/h)
Precio Hora Pico (P) de 18 a 23hs	2,7282
Precio Hora Resto (R) de 05 a 18hs	2,6176
Precio Hora Valle (V) de 23 a 05 hs	2,5069

Tabla 21. Precio de la energía eléctrica por rango horario según tarifa vigente. Fuente: EDEMSA

Lo anterior significa que, cuando se disponga de cierta cantidad de metano, se inyectará primeramente en las 5hs de Pico (de 18 a 23hs) y si se dispone de gas sobrante se realizará en las 13hs de Resto (de 05 a 18hs). Pasado el horario de Resto y con sobrante de metano, se procederá a inyectar en las 6hs de Valle (de 23 a 05hs).

Una vez que se dispone del consumo del generador seleccionado (Tabla 20 – Especificaciones técnicas generador 100 kVA) y la disponibilidad de ganas diaria (Tabla XX – Extracto de producción diaria de biogás) se detalla a continuación la producción potencial del generador y el resultado en términos de energía generada (ver Tabla XX – Extracto de producción horaria y diaria de energía eléctrica).

Posteriormente, dentro del análisis económico del proyecto (Ver capítulo 5 – Evaluación económicaF), se analizará el rédito económico obtenido inyectando de la forma más conveniente posible.

Tiempo de confinamiento (días)	Metano para generación (Nm3/día)	Horas pico	Horas resto	Horas valle	Energía generada (kVAh)
1	216,5	5,00	0,88	0,00	587,72
2	218,8	5,00	0,94	0,00	593,87
3	221,1	5,00	1,00	0,00	600,02
4	223,4	5,00	1,06	0,00	606,18
5	225,6	5,00	1,12	0,00	612,33
6	227,9	5,00	1,18	0,00	618,49
7	230,2	5,00	1,25	0,00	624,65
8	232,4	5,00	1,31	0,00	630,80
9	234,7	5,00	1,37	0,00	636,96
10	237,0	5,00	1,43	0,00	643,12
235	752,3	5,00	13,00	2,42	2041,70
236	754,6	5,00	13,00	2,48	2047,95
237	756,9	5,00	13,00	2,54	2054,21
238	759,2	5,00	13,00	2,60	2060,46
239	761,5	5,00	13,00	2,67	2066,72
240	763,8	5,00	13,00	2,73	2072,97
241	766,1	5,00	13,00	2,79	2079,23
242	768,4	5,00	13,00	2,85	2085,49
243	770,7	5,00	13,00	2,92	2091,74
244	773,0	5,00	13,00	2,98	2098,00
245	775,3	5,00	13,00	3,04	2104,26

Tabla 22. Extracto de producción horaria y diaria de energía eléctrica en términos de potencia

Como puede observarse en la tabla anterior, con la disponibilidad existente los rangos horarios de Pico (de 18 a 23hs) y Resto (de 05 a 18hs) logran cubrirse completamente, no así el de Valle (de 23 a 05hs). Para consultar la producción de energía eléctrica en detenimiento consultar el Anexo 18 – Producción de energía eléctrica.

Experimentación

Generación

Para ensayar la materia orgánica deberá emplearse fundamentalmente un ambiente de temperatura controlada y homogénea donde se lleve a cabo el proceso de digestión, cámaras de gas donde puedan almacenarse el biogás y sensores correspondientes para caracterizar al ambiente de digestión y al biogás en presión, volumen y composición.

Dado que las curvas de generación se obtienen mediante digestores de tipo batch, a volumen constante, es de utilidad para el proyecto obtener las curvas homólogas para un sistema de presión constante equiparable al que se utilizará en la instalación final. Con estos elementos se boceta entonces el siguiente esquema funcional:

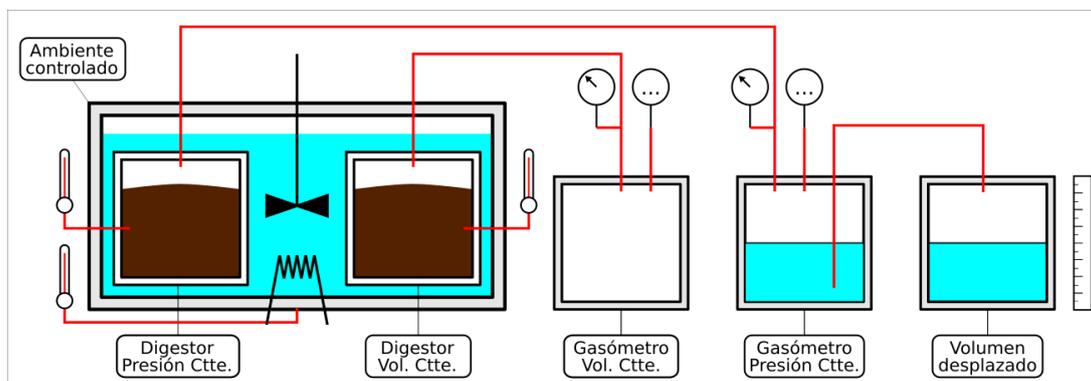


Figura 51. Modelo de experimentación

El ambiente de control estará compuesto por un recipiente con el mayor grado de hermeticidad posible, con agua en su interior calefaccionada a la temperatura objetivo de 39 °C, estudiado en Apartado 2.3.3.

En su interior se alojarán dos recipientes con materia orgánica, conformando cada uno un digestor, que se conectarán uno al sistema de presión constante, y otro al de volumen constante. En los circuitos de conexión existirán puntos de medición donde se realizarán las lecturas de presión y composición del biogás.

En la cámara de presión constante, como el volumen es variable, se necesita un método indirecto para leer la cantidad de gas que entra en la cámara. Para esto deberá implementarse un sistema en el que el biogás ingrese en un confinamiento (gasómetro a presión ctte que hace las veces de vaso desplazador) y al aumentar la cantidad de moles del mismo, vencerá una columna de presión hidrostática, desplazando agua hacia otro recipiente donde puede medirse indirectamente el volumen de gas que ha sido ingresado en la cámara primera.

Para mantener una temperatura constante en el interior del recipiente hermético, será necesario un elemento calefactor controlado por lazo cerrado, por lo cual se requiere conocimiento de las temperaturas del ambiente de control y una referencia de los recipientes de materia orgánica. Además, será necesario implementar un elemento agitador que permita mejorar la convección y transferencia de energía provista por el elemento calefactor hacia los biodigestores.

Resultados de experimentación

Producción de biogás

Inicialmente, el experimento comenzó con la presencia de aire dentro de cada biodigestor y gasómetro a la temperatura y presión ambiente. Posteriormente, al calefaccionar el ambiente de control comenzó a elevarse la temperatura, con el consecuente aumento de la presión interior de aire. Esto implica que la presión generada y el volumen desplazado no representa únicamente al biogás producido, sino también al aire. A continuación, mediante las citadas leyes se obtendrán los resultados de cada uno de los gases que intervienen en el proceso de experimentación realizado.

Procedimiento

Para obtener la cantidad de biogás generado y poder distinguirlo del aire que había dentro del recipiente se establecerá el número de moles de aire en el estado inicial según su presión, volumen y temperatura. Posteriormente se identificarán los puntos en los que se realizaron las descargas de biogás de cada sistema, es decir, su presión, volumen y temperatura, obteniendo de esta forma el número de moles de la composición total del interior de los recipientes. Se supone, en primera instancia, que la primera descarga realizada evacúa todo el aire en el interior y solo queda biogás dentro de cada recinto, lo que permitirá obtener la diferencia de moles entre cada estado.

Biogás producido a volumen constante

En la siguiente tabla se resumen los resultados de cada punto estudiado antes de realizar las descargas correspondientes al sistema de digestión a volumen constante. A continuación, se resumen las consideraciones estipuladas para realizar los cálculos.

- El volumen libre correspondiente al sistema digestor-gasómetro es de 38L (el inicialmente ocupado por aire).
- Extracciones realizadas a las 24,89 horas, 47,28 horas y 95,48 horas.
- Se supone una composición de biogás de 65 % de metano (CH₄) y 35 % de dióxido de carbono (CO₂).

Volumen constante	
Número moles totales	4.82
Número moles aire	1.53
Número moles biogás	3.29
Número moles metano	2.14
Masa de biogás (gramos)	84.95
Masa metano (gramos)	55.22
Masa CO ₂ (gramos)	29.73
Proporción CH ₄ /Total	44 %

Tabla 23 - Tabla resumen de cálculos de experimentación, volumen constante

La producción extraída del sistema a volumen constante posee una proporción del 44 % de metano sobre el total, lo que representa un gran problema al momento de combustionarlo.

Es por ello que, se recomienda disminuir el volumen libre de los recipientes al momento de iniciar la experimentación, obteniendo así una menor proporción de aire.

Biogás producido a presión constante

En la siguiente tabla se resumen los resultados de cada punto estudiado antes de realizar las descargas correspondientes al sistema de digestión a presión constante. A continuación, se resumen las consideraciones estipuladas para realizar los cálculos.

- El volumen de agua cargado en el gasómetro (vaso intermedio) es de 13L.
- El volumen libre correspondiente al sistema digestor-gasómetro es de 25L (el inicialmente ocupado por aire).
- Extracciones realizadas a las 24,9 horas y 118,7 horas.
- Se supone una composición de biogás de 65 % de metano (CH₄) y 35 % de dióxido de carbono (CO₂).

Presión constante	
Número moles totales	2,64
Número moles aire	1,00
Número moles biogás	1,63
Número moles metano	1,06
Masa de biogás (gramos)	42,17
Masa metano (gramos)	27,41
Masa CO ₂ (gramos)	14,76
Proporción CH ₄ /Total	0,40

Tabla 24 - Tabla resumen de cálculos de experimentación, presión constante

La producción extraída del sistema a volumen constante posee una proporción del 40 % de metano sobre el total, proporción similar a la extraída del sistema de volumen constante.

Resumen de resultados

Parámetros	CP	CV
Número moles totales	2.64	4.82
Número moles aire	1.00	1.53
Número moles biogás	1.63	3.29
Número moles metano	1.06	2.14
Masa de biogás (gramos)	42.17	84.95
Masa metano (gramos)	27.41	55.22
Masa CO ₂ (gramos)	14.76	29.73
Proporción CH ₄ /Total	0.40	0.44

Tabla 25 - Tabla resumen de cálculos de experimentación, combinados

Importancia de la temperatura y rangos

La temperatura juega un papel fundamental en la generación, siendo esta la variable clave a controlar durante el proceso, dado que produce variaciones en el ambiente de control. Se eligió el rango mesofílico de temperatura y el objetivo fue 39°C.

Cabe aclarar que existe un riesgo asociado con la temperatura objetivo, dado que el valor máximo admisible del rango mesofílico es de 45°C y puede pasarse al rango termofílico, eliminándose las colonias de bacterias del rango anterior perjudicando inmediatamente la generación de biogás.

El valor de 39°C pudo lograrse dentro del ambiente de control con ciertas oscilaciones en torno a dicho valor, esto debido a la disposición del sensor encapsulado e introducido dentro de la botella con fines de aislación eléctrica.

Por otra parte, los sensores de temperatura ubicados en los biodigestores tuvieron inconvenientes y no brindaron datos fehacientes desde el comienzo de la experimentación, por lo que los mismos fueron descartados imposibilitando el control preciso de la temperatura del proceso de digestión.

Capítulo 4

Aspectos organizacionales

Dimensionamiento mano de obra

Se hará un breve resumen de las actividades a realizar por el personal en cada una de las etapas principales de operación que se llevarán a cabo dentro de la planta. Estas etapas fueron descritas anteriormente en la sección de operación de planta.

Recolección de estiércol

Las actividades a realizar en esta etapa comprenden:

- Control periódico diario de los rascadores, verificando visualmente que no haya atascamientos del rascador.
- Verificación del estado de los mecanismos del rascador semanalmente.
- Verificación de fallas por detenimiento de los motores, pérdidas de aceite en circuitos hidráulicos, etc.

Este tipo de control puede ser realizado por una sola persona en intervalos periódicamente durante el día, dando un recorrido por los corrales e inspeccionando visualmente la operación y las posibles alertas que se manifiestan en los sistemas de seguridad provistos.

Homogeneización y precalentamiento de estiércol en pileta de carga - Carga de materia orgánica dentro del digestor

Las actividades que deben ser realizadas por personal humano comprenden:

- Medición y control de la temperatura de la carga orgánica en la pileta.
- Medición de densidad y proporción de sólido en líquido
- Control visual de niveles para evitar sobrecarga
- Inspección visual de homogeneización de la carga
- Control de atascamientos en tubería de carga hacia el digestor

Al igual que en la etapa anterior, una sola persona puede realizar esta actividad en intervalos fijos de tiempo, siendo fundamental el control en los

momentos en que la pileta se encuentra cerca del nivel máximo, y el tiempo en el cual funciona la bomba de carga.

Procesamiento de materia orgánica dentro del digestor

Las actividades a desarrollar son:

- Monitoreo de variables de importancia dentro del digestor a través de sistema de acceso remoto
- Disponibilidad ante fallas o eventos que se manifiesten en las pantallas de control
- Revisar que en el sistema de operación y control remoto todos los equipos mencionados se encuentren operando correctamente

Dado que la operación de la planta es continua y está automatizada, se espera que una persona esté pendiente a lo largo del día en todo momento de las eventuales fallas que pueda haber en el sistema. Esta tarea es de vital importancia para el funcionamiento de la planta y presenta márgenes de tiempo de resolución de pocas horas. Esto último se debe a que, si por alteración de alguna variable de control se detiene el proceso de digestión anaerobia, el biogás deja de producirse y puede resultar necesario un tiempo de corrección prolongado (varios días) para volver a retomar el normal funcionamiento.

Procesamiento del gas

El procesamiento del gas exige, conforme a lo explicado anteriormente en *operación del gas*, las siguientes actividades:

- Monitoreo de presiones de gas y estado de limpieza de filtros
- Inspección visual diaria de manómetros
- Inspección visual de quemador de antorcha
- Chequeo diario de reguladores de presión
- Inspección de gasómetro

Para ello será necesario contar con una persona que sepa operar este tipo de equipos y que realice estas actividades diaria o periódicamente, según corresponda.

Producción de energía eléctrica

En la producción de energía, podemos separar por un lado las operaciones relacionadas con el mantenimiento del generador y, por otra parte, debemos mencionar que la operación del generador se comandará de acuerdo a lo mencionado previamente respecto de las horas del día, precios regulados de inyección y a la disponibilidad de gas filtrado para tal fin. Por lo tanto, será necesario una persona que se encuentre delante de la pantalla de control y que tome las decisiones necesarias que garanticen una operación controlada

y que genere los máximos beneficios en términos de inyección y venta de energía.

- Control de ruidos, nivel de aceite, etc. durante los períodos en los cuales el mismo se encuentre funcionando.
- Mantenimiento periódico durante los tiempos en que se encuentra detenido.
- Operación y control de generación de energía eléctrica

Envasado de fertilizante

Las actividades a desarrollar son:

- Movimiento y operación del equipo atmosférico de succión de biofertilizante
- Mezclado de fertilizante con agroquímicos
- Envasado de fertilizante
- Traslado y distribución de recipientes

Estas actividades pueden ser realizadas por una persona durante los períodos en que la operación de la planta se encuentre funcionando correctamente, dado que no resulta crítico el momento de envasado del fertilizante para el normal funcionamiento de la planta. Puede realizarse estas actividades periódicamente, en intervalos de 2 o 3 horas diarias o 12 horas semanales.

Comercialización de fertilizante

Implica la publicidad y venta del fertilizante, así como la logística involucrada en la comercialización y el manejo del stock de unidades.

Las actividades a llevar a cabo dentro de esta área comprenden:

- Diagrama de operaciones de carga y preparado de compuesto fertilizante
- Manejo de página web de publicidad y venta de fertilizante
- Organización de logística de comercialización
- Manejo de stock e inventario
- Atención a clientes

Las tareas mencionadas pueden ser llevadas a cabo por una única persona especializada en el área de ventas y logística. Contempla una tarea administrativa

Organigrama

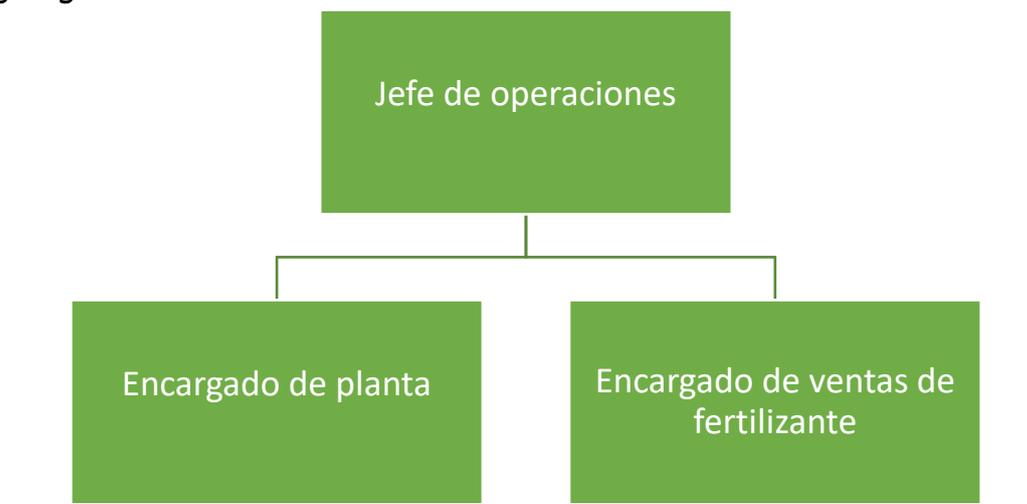


Gráfico 10. Organigrama de operarios

Distribución de actividades y carga horaria

ETAPA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	HORAS
Recolección de estiércol	Control periódico diario de los rascadores, verificando visualmente que no haya atascamientos del rascador.	Encargado de planta	1,5
	Verificación del estado de los mecanismos del rascador	Encargado de planta	0,25
	Verificación de fallas en posibles detenimientos de los motores, pérdidas de aceite en circuitos hidráulicos, etc.	Encargado de planta	0,5
Carga de materia orgánica	Medición y control de la temperatura de la carga orgánica en la pileta.	Encargado de planta	0,5
	Medición de densidad y proporción de sólido en líquido	Encargado de planta	0,5
	Control visual de niveles para evitar sobrecarga	Encargado de planta	0,15
	Inspección visual de homogeneización de la carga	Encargado de planta	0,25
	Control de atascamientos en tubería de carga hacia el digestor	Encargado de planta	0,1
Operación del digestor	Monitoreo de variables de importancia dentro del digestor	Jefe de operaciones	2
	Disponibilidad ante fallas o eventos que se manifiesten en las pantallas de control	Jefe de operaciones	2
	Revisar que en el sistema de operación y control remoto de equipos	Jefe de operaciones	1
Operación de gas	Monitoreo de presiones de gas y estado de limpieza de filtros	Jefe de operaciones	1
	Inspección visual diaria de manómetros	Encargado de planta	0,25

	Inspección visual de quemador de antorcha	Encargado de planta	0,2 5
	Chequeo diario de reguladores de presión	Encargado de planta	0,5
	Inspección visual de estado de gasómetro	Encargado de planta	0,2 5
Producción de energía eléctrica	Control de ruidos, nivel de aceite, etc.	Encargado de planta	0,2 5
	Mantenimiento periódico durante los tiempos en que se encuentra detenido.	Encargado de planta	0,2 5
	Operación y control de generación de energía eléctrica	Jefe de operaciones	1,5
Envasado de fertilizante	Movimiento y operación del equipo atmosférico de succión de biofertilizante	Encargado de planta	0,5
	Mezclado de fertilizante con agroquímicos	Encargado de planta	0,5
	Envasado de fertilizante	Encargado de planta	1
	Traslado y distribución de recipientes	Encargado de planta	0,5
Venta de fertilizante	Diagrama de operaciones de carga	Jefe de operaciones	0,5
	Manejo de página web de publicidad y venta de fertilizante	Administrativo	1,5
	Organización de logística de comercialización	Administrativo	2,5
	Manejo de stock e inventario	Administrativo	2
	Atención a clientes	Administrativo	2

Tabla 26. Distribución de operarios

RESPONSABLE	HORAS SEMANALES
Jefe de operaciones	8
Encargado de planta	8
Administrativo	8

Tabla 27. Carga horaria semanal del personal de planta

Marco legal

Feedlot - Medio ambiente

Ley nacional 25.675– Leyes provinciales 5961 y 8461/2012

La ley provincial 8461 “Habilitación y funcionamiento, de los establecimientos productivos que se dediquen a la cría/recría y/o engorde de ganado bovino” regula la habilitación y el funcionamiento de los establecimientos productivos que se dediquen a la cría-recría y/o engorde de ganado bovino dentro de los límites provinciales. El órgano de aplicación es la Dirección Provincial de Ganadería.

La norma diferencia lugares de encierre permanentes (que tienen corrales con animales, por más de 4 meses al año, en forma continua o discontinua) y transitorios, que se utilizan menos de 4 meses al año. Para el caso del feedlot analizado, entraría dentro de la categoría de lugar de encierre permanente.

Entre lo destacable de esta ley podemos citar el siguiente extracto: “Los productores tendrán que elaborar un estudio de impacto ambiental, que luego será sometido a una audiencia pública para recibir la habilitación correspondiente”. El estudio de impacto ambiental se corresponde con lo explícito en la Ley 5961 “Preservación del medio ambiente”.

También se menciona respecto al impacto ambiental que es el productor quien debe contratar a personal idóneo para realizar el estudio que contempla, entre otras cosas, capacidad de encierre de animales, dirección y frecuencia de los vientos predominantes a fin de evitar emisiones de olores y polvos que afecten áreas vecinas, cantidad y calidad de agua de bebida disponible. Luego, este informe será evaluado en audiencia pública.

Además, respecto de los permisos de habilitación, se establece:

“La autoridad municipal deberá extender los permisos de habilitación, hasta un plazo máximo de cinco (5) años, renovables por 5 años más de manera automática si el propietario no ha infringido ninguna especificación de la primera autorización, como cantidad de animales por metro cuadrado, o si no se ha modificado el entorno, como por ejemplo la construcción de un barrio cercano. En este caso se tendrá que volver a realizar el estudio de impacto ambiental.”

Según lo establecido en la Ley nacional General del Ambiente 25.675, aquellos proyectos que sean capaces de degradar el entorno ambiental, alguno de sus componentes o afectar la calidad de vida de la población en forma significativa deben contar con una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Pese a esto, el inconveniente radica en el hecho de que no existe una normativa nacional de presupuestos mínimos al momento de realizar dicha EIA.

Plantas de Biogás

En general podemos decir que, debido a que aún no está regulada específicamente la actividad que se realiza dentro de este tipo de instalaciones, tanto a nivel nacional, como provincial o municipal, resulta imposible generalizar el análisis desde el punto de vista de leyes de las índoles mencionadas o bien, tomar como cierto otros casos de aplicación de plantas que hoy están operando en otros sitios del país distintos de San Rafael, Mendoza. Si bien pueden tomarse datos que sirvan como referencia de antecedentes legales para el proyecto analizado, cada municipio y provincia respectiva, tiene sus propias reglamentaciones a las cuales debe justarse el proyecto para ser emplazado y funcionar acorde a lo permitido legalmente.

Normativa nacional

En la jurisdicción nacional no existe una normativa específica que regule la producción de biogás ni su incorporación como fuente energética dentro de un establecimiento o proceso particular. En vez de ello, todas las normas vigentes están dictadas sobre el transporte y la distribución de gas natural dentro del territorio de la República Argentina¹³.

La Ley nacional 26.093/2006 estableció un régimen de fomento de la producción y uso de biocombustibles, pero el biogás sólo es mencionado tangencialmente.

El Decreto reglamentario 109/2007 y la Resolución SE 1296/2008 –que estableció las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las plantas de elaboración, almacenamiento y mezcla de biocombustibles– pone el foco en la habilitación de plantas de biodiesel y bioetanol. No hay, en cambio, una regulación orientada a la habilitación de plantas de producción de biogás.

¹³ Guía técnico-regulatoria para la habilitación de plantas de biogás y homologación de artefactos y equipos para su uso – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Buenos Aires, 2019.

Leyes
✓ Ley 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación. 🔗
✓ Ley 26.190: Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica 🔗
✓ Ley 25.019: Régimen nacional de energía eólica y solar 🔗
✓ Ley 26.093: Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles 🔗
✓ Ley 25.675: Ley general del ambiente 🔗
✓ Ley 26.331: Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos 🔗
✓ Ley 26.639: Régimen de presupuestos mínimos para la preservación de los glaciares y del ambiente periglacial. 🔗
✓ Ley 24.051: Residuos peligrosos 🔗

Decretos
✓ Decreto 531/2016: Reglamentación de la Ley N° 27.191 🔗
✓ Decreto 562/2009: Reglaméntase la Ley N° 26.190 🔗

Resoluciones
✓ Resolución 108/2011: Habilitase la realización de Contratos de Abastecimiento entre el Mercado Eléctrico Mayorista y las ofertas de disponibilidad de generación y energía asociada. 🔗
✓ Resolución 280/2008: Habilitase a los Prestadores del Servicio Público de Distribución de Energía Eléctrica de jurisdicción provincial y/o municipal a OED la operación de unidades de generación inferior a 2000 kW. 🔗
✓ CAMMESA - Los Procedimientos 🔗

Figura 52. Normativa Nacional para energías renovables

Ley Nacional 27.424/2017

La instalación de una planta de biogás como tal no se encuentra reglamentada directamente. En vez de ello se fomenta y reglamenta la generación de energía eléctrica distribuida a partir de fuentes renovables, tanto para autoconsumo como para la inyección a la red pública.

Todo esto se encuentra dispuesto según la Ley Nacional 27424/2017 - RÉGIMEN DE FOMENTO A LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA RENOVABLE INTEGRADA A LA RED ELÉCTRICA PÚBLICA. A continuación, se citan algunos artículos de interés para el análisis del presente proyecto:

ARTÍCULO 1°.- La presente ley tiene por objeto fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias.

ARTÍCULO 4°.- Todo usuario de la red de distribución tiene derecho a instalar equipamiento para la generación distribuida de energía eléctrica a partir de fuentes renovables hasta una potencia equivalente a la que éste tiene contratada con el distribuidor para su demanda, siempre que ésta se encuentre en el marco del artículo 6° de la presente ley y cuente con la autorización requerida.

El usuario de la red de distribución que requiera instalar una potencia mayor a la que tenga contratada para su demanda deberá solicitar una autorización especial ante el distribuidor, conforme lo defina la reglamentación de la presente.

El capítulo III de la nombrada Ley establece el esquema de facturación que se implementa para el caso de la generación distribuida. Esto será de vital importancia al momento de analizar los factores económicos que generarán el retorno de inversión de la instalación de una planta de biogás. A continuación, se cita tal capítulo.

CAPÍTULO III

Esquema de facturación

ARTÍCULO 12.- Cada distribuidor efectuará el cálculo de compensación y administrará la remuneración por la energía inyectada a la red producto de la generación distribuida de energía eléctrica a partir de fuentes renovables bajo el modelo de balance neto de facturación en base a los siguientes lineamientos:

- a) El usuario-generador recibirá una tarifa de inyección por cada kilowatt-hora que entregue a la red de distribución. El precio de la tarifa de inyección será establecido por la reglamentación de manera acorde al precio estacional correspondiente a cada tipo de usuario que deben pagar los distribuidores en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) conforme el artículo 36 de la ley 24.065, y sus reglamentaciones;*
- b) El valor de la tarifa de inyección de cada usuario-generador registrá a partir del momento de la instalación y conexión por parte del distribuidor del equipo de medición correspondiente;*
- c) El distribuidor reflejará en la facturación que usualmente emite por el servicio de energía eléctrica prestado al usuario-generador, tanto el volumen de la energía demandada como el de la energía inyectada por el usuario-generador a la red, y los precios correspondientes a cada uno por kilowatt-hora. El valor a pagar por el usuario-generador será el resultante del cálculo neto entre el valor monetario de la energía demandada y el de la energía inyectada antes de impuestos. No podrán efectuarse cargos impositivos adicionales sobre la energía aportada al sistema por parte del usuario-generador. Facúltase a la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP) a dictar las normas complementarias necesarias para instrumentar y regular los aspectos impositivos correspondientes a lo establecido en el presente inciso;*
- d) Si existiese un excedente monetario por los kilowatt-hora inyectados a favor del usuario-generador, el mismo configurará un crédito para la facturación de los periodos siguientes. De persistir dicho crédito, el usuario-generador podrá solicitar al distribuidor la retribución del saldo favorable que pudiera haberse acumulado en un plazo a determinar por la reglamentación, que no será superior a seis (6) meses. El procedimiento para la obtención del mismo será definido en la reglamentación de la presente;*

- e) *Mediante la reglamentación se establecerán mecanismos y condiciones para cesión o transferencia de los créditos provenientes de la inyección de energía entre usuarios de un mismo distribuidor. El distribuidor no podrá añadir ningún tipo de cargo adicional por mantenimiento de red, peaje de acceso, respaldo eléctrico o cualquier otro concepto asociado a la instalación de equipos de generación distribuida.*

Normativa provincial

Ley 9084/2018 – Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública

Cabe destacar que en esta ley si se nombra específicamente al biogás como una fuente de energía renovable.

De la citada ley interesan los siguientes artículos primero y noveno:

En el primer artículo se menciona la adhesión de la provincia de Mendoza a la Ley Nacional 27.424 incluyéndose por tanto dentro del *Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable destinada a la Red Eléctrica Pública*.

En el noveno artículo queda explícito que el biogás es considerado como una fuente de energía renovable.

Normativa Municipal

Extractos de interés del código de edificación del Departamento de San Rafael, Mendoza:

II.2.6.3 Almacenamiento y fraccionamiento de materiales inflamables

El almacenamiento y fraccionamiento de materiales inflamables o fácilmente combustible debe hacerse Independientemente y cumpliendo las disposiciones contra incendios especificadas en el presente Código, y en puntos alejados de las escaleras o puertas principales de salidas.

Prohibiese la Instalación de los locales para fraccionamiento de gas en garrafas, salvo que los mismos se ubiquen en un predio rodeado por la vía pública y/o férrea aprobados y autorizados por Gas del Estado.

Cuando el número de garrafas llenas sobrepase de cinco, deberán depositarse en locales abiertos o en su defecto bien ventilados. En los locales destinados a la venta de garrafas, ubicados en planta baja de edificios de un piso alto o más, podrán almacenarse en forma transitoria y/o circunstancial, no más de 100 Kg de gas licuado. En los de planta baja solamente se podrá almacenar hasta 300 Kg.

Prohibiese destinar locales para depósito permanente de garrafas llenas, como así mismo vacías, sótanos y plantas bajas de edificios de más de una planta, en este último caso y a nivel de planta baja sólo podrán almacenarse

en patios y/o galerías abiertas, colocadas en una sola capa o en anaqueles que aseguren una libre ventilación, hasta una cantidad de 500 Kg.

En los edificios de planta baja solamente, podrán colocarse en depósitos, siempre que se asegure una correcta ventilación de los mismos, mediante elementos mecánicos y/o naturales, capaces de remover el aire con un flujo que naciendo del nivel del piso lo expulse al exterior.

De requerirse la instalación de elementos eléctricos, se deberán tomar las providencias necesarias a los efectos de evitar chispas en las instalaciones.

III.3 De las instalaciones de gas

Las mismas se registrarán por las normas de Ecogás, o el ente que lo reemplace.

Autoridades competentes

El Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS) es un organismo autárquico creado mediante la Ley N.º 24.076 —Marco Regulatorio de la industria del gas natural— en el año 1992. Se encuentra en el ámbito de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Nación, y cumple con las funciones de regulación, control, fiscalización y resolución de controversias, que le son inherentes en relación con el servicio público de transporte y distribución de gas de la República Argentina.

Sin embargo, este ente nacional no posee jerarquía sobre aquellos ámbitos privados donde se produzca y consuma biogás, siempre y cuando este no se inyecte sobre la red de gas natural.

Norma ENARGAS NAG-602 – 2019 Calidad de gas natural

Esta norma contempla no solo al gas natural sino también otros gases como el gas de síntesis y el gas procedente de fuentes no convencionales como el biogás en la medida que presenten características análogas al gas natural y que cumplan con las especificaciones que en esa norma se establecen.

En el capítulo 4, punto 4.6 – Recepciones de gas no convencional - dice lo siguiente:

Aquellos gases que, sin ser gas natural, como el gas sintético o el gas procedente de fuentes no convencionales como el biogás u otros tipos de gases, podrán ingresar a los sistemas de transporte y/o distribución de gas natural, siempre que, consistan primordialmente en metano; y que resulte técnicamente posible y segura su inyección.

Para ello, quien pretenda el ingreso, deberá contar con el consentimiento del Transportista o Distribuidor que opere el sistema en cuestión y cumplir con todos los estándares de calidad para el gas natural, establecidos en esta norma.

No obstante, el ingreso de estos gases estará condicionado a la evaluación del riesgo que otros posibles componentes minoritarios presentes en estos gases, puedan representar para la salud de las personas o para la integridad de las instalaciones o aparatos de consumo.

Lo anterior expuesto da lugar a la inyección del biogás producido a la red de gas natural empleada para la distribución pública, siempre y cuando se cumplan con todos los requerimientos de adecuación y calidad necesarios. Pese a que el emplazamiento del biodigestor que se está analizando no dispone en la cercanía de una red de gas natural no deja de ser motivo de análisis para obras futuras o emplazamientos con distinta ubicación.

En el capítulo 5 — especificaciones del gas natural en condiciones básicas – dice lo siguiente:

El gas que ingrese en los sistemas de transporte y distribución deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1– Especificaciones de calidad de gas natural en condiciones básicas

Parámetro	Unidad	Condición básica	Referencia de control
Dióxido de carbono (CO ₂)	% molar	2 (5.1)	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
Total de inertes (CO ₂ + N ₂)	% molar	4 (5.2)	ASTM D 1945 / GPA 2261 / ISO 6976 / IRAM-IAP A 6852
Oxígeno (O ₂)	% molar	0,2	ASTM D 1945 / GPA 2261 / IRAM-IAP A 6852
Vapor de agua (H ₂ O)	mg/m ³	65	ASTM D 1142 / IRAM-IAPG A 6856
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	mg/m ³	3	GPA 2377 / IRAM-IAPG A 6860
Azufre entero (S _{TOT})	mg/m ³	15	GPA 2377 IRAM-IAPG A 6860 / IRAM-IAPG A 6861
Punto de rocío de hidrocarburo (PRHC)	°C	<-4 @ 5500 kPa	GPA 2286 y Ecuación de Estado
Poder calorífico superior (PCS)	kcal/m ³	8850 – 10200	GPA 2172 / ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854 / ASTM D3588
	MJ/m ³	37,04 – 42,70	
Índice de Wobbe (IW)	kcal/m ³	11300 – 12470	ISO 6976 / IRAM-IAPG A 6854
	MJ/m ³	47,30 – 52,20	
Partículas sólidas y líquidas	-	(5.3)	Ver 6.9
Temperatura máxima	°C	50	-

Tabla 28. NAG 602 Año 2019 – año 2019, página 19

Digestato - Fertilizante

El digestato obtenido a la salida de la planta (Biol y Biosol) mencionado previamente, puede tener dos destinos posibles: por una parte, puede aplicarse en forma directa al campo propio del feedlot, en forma líquida o bien

sólida a través de carros o bien, puede ser envasado para su posterior comercialización.

Además de considerarse las condiciones ambientales en la correspondiente EIA mencionada previamente, se debe regular la utilización del digerido como fertilizante. El digestato debido a su contenido de nutrientes, puede contaminar el suelo y agua por eutrofización en caso de que sea usado erróneamente (FAO, Guía técnico-regulatoria para la habilitación de plantas de biogás y homologación de artefactos y equipos para su uso. Colección Informes Técnicos N°1, 2019), tal como sucede con cualquier otro fertilizante, y el suelo donde se vierte el digerido puede que no sea apto su aplicación.

Cabe destacar que hasta el año 2019 el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) no había incorporado aún en la Resolución 264/2011 al digerido, por lo tanto, no era apto para su registro impidiendo la comercialización de los digeridos obtenidos en las plantas de biogás.

La Secretaría de Ambiente en la Resolución 19/2019 regularizó la implementación de digeridos provenientes de las plantas de generación de biogás. Esta resolución aprueba la *Norma técnica para la aplicación de digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica*, la cual tiene por objeto “fijar los criterios generales y establecer los requisitos mínimos que debe cumplir el digerido proveniente de plantas de digestión anaeróbica, a efectos de asegurar que su aplicación agrícola sea sustentable”

Desde un punto de vista técnico, puede afirmarse que, dado que el digerido está compuesto en aproximadamente, un 90% de agua, su transporte implica altos costos en función de su relativa baja concentración. Resulta por ello necesario tener reglas claras de procedimiento que permitan menorar el desarrollo de estos proyectos.

En el caso de aplicar el fertilizante dentro de las instalaciones, puede hacerse desde el punto de vista legal, ya que las normativas locales no presentan impedimento alguno. Es cierto que, desde un punto de vista estricto, se requiere la aprobación de un profesional asociado que certifique que este fertilizante no dañará el suelo ni generará concentraciones peligrosas o fuera de los límites de lo establecidos, al igual que ocurre con cualquier otro fertilizante.

En cambio, si se opta por comercializarlo, se requiere inscribir previamente en el registro de Fertilizantes debiendo cumplirse previamente con los requisitos mencionados en el reglamento para el Registro de Fertilizantes de SENASA Resolución 264/2011 y conforme con lo estipulado en los anexos de la Resolución 19/2019. Se debe tener en cuenta que debe estar inscripto previamente el ente que explota las instalaciones del Feedlot.

Seguridad e higiene

Ley de Seguridad e Higiene N° 19.587 – Decretos Reglamentarios 351/79 y 1338/96

Esta ley establece las condiciones de higiene y seguridad a cumplir por parte de cualquier actividad industrial en Argentina y también los requisitos de Servicios de Higiene, Seguridad y Medicina Laboral. En particular, esta ley y su decreto dan las pautas a seguir desde el punto de vista de la protección de contra incendios.

Conforme a lo mencionado en el capítulo 18 del reglamento de esta ley, la protección contra incendios queda reglamentada en los artículos 160 y 164. A continuación, los extractos más importantes de ambos.

En el artículo 160, los objetivos a cumplimentar para la protección contra incendios son:

- 1) Dificultar la protección contra incendios.*
 - 2) Evitar la propagación del fuego y los efectos de los gases tóxicos*
 - 3) Asegurar la evacuación de las personas.*
 - 4) Facilitar el acceso y las tareas de extinción del personal de bomberos.*
 - 5) Proveer las instalaciones de detección y extinción.*
-

El artículo 164 hace referencia a las plantas de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos minerales, líquidos o gaseosos y agrega a las pautas establecidas en la 13660 y su reglamentación, lo siguiente:

- 1. Se prohíbe el manejo, transporte y almacenamiento de materias inflamables en el interior de los establecimientos cuando se realice en condiciones inseguras y en recipientes que no hayan sido diseñados especialmente para los fines señalados.*
- 2. Se prohíbe el almacenamiento de materias inflamables en los lugares de trabajo, salvo aquellos donde debido a la actividad que en ellos se realice, se haga necesario el uso de tales materiales. En ningún caso, la cantidad almacenada en el lugar de trabajo superará los 200 litros de inflamables de primera categoría o sus equivalentes.*
- 3. Se prohíbe la manipulación o almacenamiento de líquidos inflamables en aquellos locales situados encima o al lado de sótanos y fosas, a menos que tales áreas estén provistas de ventilación adecuada, para evitar la acumulación de vapores y gases.*
- 4. Se prohíbe la manipulación o almacenamiento de líquidos inflamables en aquellos locales situados encima o al lado de sótanos y fosas, a menos que tales*

áreas estén provistas de ventilación adecuada, para evitar la acumulación de vapores y gases.

5. En cada depósito no se permitirá almacenar cantidades superiores a los 10.000 litros de inflamables de primera categoría o sus equivalentes.

6. Queda prohibida la construcción de depósitos de inflamables en subsuelos de edificios y tampoco se admitirá que sobre dichos depósitos se realicen otras construcciones

Leyes Laborales

En el marco laboral, simplemente podemos mencionar las leyes que serán necesarias tener en cuenta para la contratación de personal adicional al que ya se encuentra trabajando en las instalaciones del feedlot. Estas leyes son las que cualquier empleador debe tener presentes al momento de contratar un empleado, por lo que no se hará mayor hincapié en ellas, por el hecho de que no presentan particularidades especiales.

Ley de Contrato de Trabajo N° 20.744

Régimen del contrato de trabajo

Ley de Régimen Laboral N° 25.877

Ordenamiento del régimen laboral. Derecho individual del trabajo. Periodo de prueba. Extinción del contrato de trabajo. Preaviso. Promoción del empleo. Derecho colectivo de trabajo. Negociación colectiva.

Conflictos colectivos de trabajo. Balance social. Administración del trabajo. Inspección del trabajo. Simplificación registral. Cooperativas de trabajo. Disposiciones finales.

Deroga a la ley N° 25.250 y sus normas reglamentarias

Ley de Protección del Trabajo N° 24.013

Determina el ámbito de aplicación, regularización del empleo no registrado, promoción y defensa del empleo, protección de trabajadores desempleados, indemnización por despido injustificado.

Ley de Riesgos de Trabajo - N°24.557

Objetivos y ámbito de aplicación. Prevención de los riesgos del trabajo. Contingencia y situaciones cubiertas. Prestaciones dinerarias y en especie. Determinación y revisión de las incapacidades. Régimen financiero. Gestión de las prestaciones. Derechos, deberes y prohibiciones. Fondos de garantía y reserva. Entes de regulación y supervisión. Responsabilidad civil del empleador. Órgano tripartito de participación.

Ley de Reforma Laboral N°25.013

Establecerse un régimen de reforma laboral que incluye la modificación de algunos aspectos de la regulación del contrato de trabajo y de las leyes: 24.013, 24.465 y 24.467, como así también de la normativa vigente en materia de convenciones colectivas de trabajo.

Ley de Trabajo Agrario 26.727

En el artículo 11 de esta ley se define el contrato de trabajo agrario y se define como tal a aquellas obras que se ejecuten o servicios que se presten en el ámbito rural, definiendo entre las actividades agrarias implicadas a la pecuaria. Esta ley contempla a los trabajadores que trabajan realizando actividades dentro del feedlot.

Existe un Indicador Mínimo de Trabajadores (IMT) para la actividad de feedlots que se relaciona directamente con la cantidad de cabezas de ganado del feedlot que son manejadas en un mismo período. Para el caso del feedlot en cuestión analizado, la cantidad es inferior a 2000 por lo que corresponde tres empleados como mínimo y podría resultar beneficiosa la posibilidad de que los empleados del Feedlot puedan hacer actividades de mantenimiento de la planta. De esa forma se lograría que la cantidad de gente requerida permanente en forma exclusiva para reducir los costos operativos relacionados con el personal de la planta. Sin embargo, seg

Sin embargo, en el artículo tercero de la Ley de Trabajo Agrario se exceptúa de este régimen legal al personal que se desarrolle en establecimientos denominados mixtos o agrario-industriales o agrario-comerciales, así como también los administrativos. Por lo tanto, resultaría difícil poder enmarcar un empleado que se dedique a las actividades del feedlot y que al mismo tiempo pueda realizar actividades operativas de la planta de biogás.

Evaluación de impacto ambiental

La evaluación del impacto ambiental surge como una herramienta indispensable de la planificación física, en orden al comportamiento de la naturaleza donde se busca emplazar las futuras actividades humanas.

Estudio de impacto ambiental (EIA)

Se ha realizado una EIA (Estudio de impacto ambiental) de la instalación de la planta, donde se describió el proyecto y las acciones a realizar, se establecieron las alternativas técnicas viables examinadas y se justificó la solución adoptada. Se debió realizar un aviso de proyecto para poder solicitar la excepción de dicha evaluación, el cual se conforma por los siguientes ítems:

1. Datos del Proponente.
2. Nombre de la persona física o jurídica
3. Domicilio Legal – real y teléfono del Proponente.
4. Datos y domicilio real y legal del responsable profesional.
5. Denominación y descripción general del Proyecto.
6. Objetivos y beneficios Socioeconómicos del Proyecto.
7. Localización con indicación de la jurisdicción Municipal.
8. Población involucrada en el proyecto.
9. Superficie del terreno, superficie existente y a construir.
10. Inversión a realizar.
11. Etapas del Proyecto y Cronograma.
12. Consumo y origen de energía por unidad de tiempo en las diferentes etapas. Factibilidad del prestador.
13. Consumo y origen de agua por unidad de tiempo en las diferentes etapas. Factibilidad del prestador.
14. Consumo y origen de combustible por unidad de tiempo en las diferentes etapas. Factibilidad del prestador.
15. Detalles de otros insumos.
16. Descripción de la tecnología a utilizar.
17. Ensayos, estudios de campo, de laboratorio, datos estadísticos aplicables al proyecto.
18. Caracterización de los residuos, su generación y gestión final, con aprobación del/los entes receptores.

19. Necesidad de infraestructura y equipamiento que genera directa e indirectamente el proyecto.
20. Organismos, entes y/o empresas involucradas en el proyecto.
21. Normas y/o criterios Municipales, Provinciales, Nacionales, Extranjeras, consultadas y de aplicación en el proyecto.
22. Justificación del Profesional para acogerse a la excepción.
23. Medidas de Mitigación.
24. Plan de Contingencias.

Dentro del aviso de proyecto, con la matriz de impacto ambiental, se logró identificar y dar un valor a los impactos que se producirían con las distintas alternativas y la optada, a través del siguiente criterio.

NATURALEZA DEL IMPACTO		INTENSIDAD DEL IMPACTO (IN) (Grado de Destrucción)		EXTENSIÓN DEL IMPACTO (EX) (Área de Influencia)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1	Puntual	1
Impacto perjudicial	-	Media	2	Parcial	2
		Alta	4	Extenso	4
		Total	12	Total	8
PERSISTENCIA DEL IMPACTO (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)		IMPORTANCIA (I)	
Fugaz	1	Corto Plazo	1	$I = \pm(3IN + 2EX + PE + RV)$	
Temporal	2	Medio Plazo	2		
Permanente	4	Irreversible	4		

Tabla 29. Naturaleza del impacto - Matriz de impacto ambiental

A continuación, se adjuntó la valoración de los impactos de la matriz de impacto ambiental

ETAPA DE CONSTRUCCION									
FACTORES ACCIONES	MEDIO BIÓTICO		MEDIO ABIÓTICO				MEDIO SOCIO ECONÓMICO CULTURAL		
	A	B	C	D	E	F	G	H	
	FLORA	FAUNA	AIRE	AGUA	SUELO	PAISAJE	SOCIO CULTURAL	i) Beneficio Neto	ii) Generación de puestos de trabajo
1 DESMONTE Y EMPAREJAMIENTO DEL SUELO	-16	-16	-10	0	-16	-16	-7	11	8
2 EXCAVACIONES	-7	-7	-10	0	-7	-7	-7	17	8
3 COMPACTACIÓN	-7	-7	-10	0	-7	-7	-7	11	8
4 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASEOSOS	-9	0	0	0	-8	-8	0	0	0
5 CONSTRUCCIÓN DE OBRA CIVIL	-11	-8	-10	-8	-17	-11	0	17	8
6 HORMIGONADO	0	0	0	-11	-8	-8	0	17	8
7 RUIDOS	0	-17	0	0	0	0	-18	0	0

Tabla 30. Matriz de Impacto Ambiental etapa de construcción

ETAPA DE FUNCIONAMIENTO									
FACTORES ACCIONES	MEDIO BIÓTICO		MEDIO ABIÓTICO				MEDIO SOCIO ECONÓMICO CULTURAL		
	A	B	C	D	E	F	G	H	
	FLORA	FAUNA	AIRE	AGUA	SUELO	PAISAJE	SOCIO CULTURAL	i) Beneficio Neto	ii) Generación de puestos de trabajo
8 FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR	0	0	24	20	0	0	28	22	7
9 SISTEMA DE RASCADORES	0	-14	0	0	0	-1	0	22	0
10 GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS	-24	0	-22	-22	-24	-14	-14	22	0
11 TRABAJO DE PERSONAL	0	0	0	0	0	0	13	10	16
12 RUIDOS	0	-18	0	0	0	0	-15	0	0
13 EMISIÓN DE GASES	0	0	-18	0	0	-13	0	7	0

Tabla 31. Matriz de Impacto Ambiental etapa de funcionamiento

ETAPA DE ABANDONO									
FACTORES ACCIONES	MEDIO BIÓTICO		MEDIO ABIÓTICO				MEDIO SOCIO ECONÓMICO CULTURAL		
	A	B	C	D	E	F	G	H	
	FLORA	FAUNA	AIRE	AGUA	SUELO	PAISAJE	SOCIO CULTURAL	i) Beneficio Neto	ii) Generación de puestos de trabajo
14 DESMANTELAMIENTO DE ESTRUCTURA	-13	-13	-10	0	-7	0	0	-10	0

Tabla 32. Matriz de Impacto Ambiental etapa de abandono

En general, las conclusiones que ha demostrado el estudio realizado (ver Anexo 20 – Aviso de Proyecto - Biogás) son que, desde el punto de vista ambiental, de ejecución y de funcionamiento de la planta generadora de biogás, el proyecto presenta un **impacto negativo bajo**, con **impactos positivos predominantes** en el medio socioeconómico. La construcción de esta planta constituye una excelente posibilidad de fomentar una industria incipiente en el departamento, como lo es la ganadera, y permitir a su vez que pueda insertarse de una manera sustentable en la

comunidad, por lo que se solicita la excepción a la presentación de la **MANIFESTACION GENERAL DE IMPACTO AMBIENTAL**, aceptando el presente **AVISO DE PROYECTO**, según lo determinado en Ley 5961 y Decreto 2.109.

Capítulo 5

Evaluación económica

La evaluación económica constituye la parte final y más importante del análisis de factibilidad del presente proyecto. En la misma se encontrará concentrada toda la información generada en los capítulos anteriores y darán lugar o no a la viabilidad del mismo.

Se determinarán los costos de construcción, operativos y de funcionamiento, como así también todos los ingresos generados. Sobre estos se aplicarán métodos de evaluación económica que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, permitiendo así proyectar una posible situación de operación futura de la planta.

El objeto del presente proyecto surge como la creación de un nuevo negocio que se adaptará solidariamente a las condiciones preexistentes del feedlot. La finalidad de realizar un estudio económico del mismo permitirá evaluar rentabilidad del mismo y será el determinante para su realización o no.

A continuación, se resume de forma gráfica el desarrollo planteado para el análisis de instalación de la planta de efluentes bovinos, dentro del establecimiento de engorde a corral, para obtener biogás y biofertilizante.

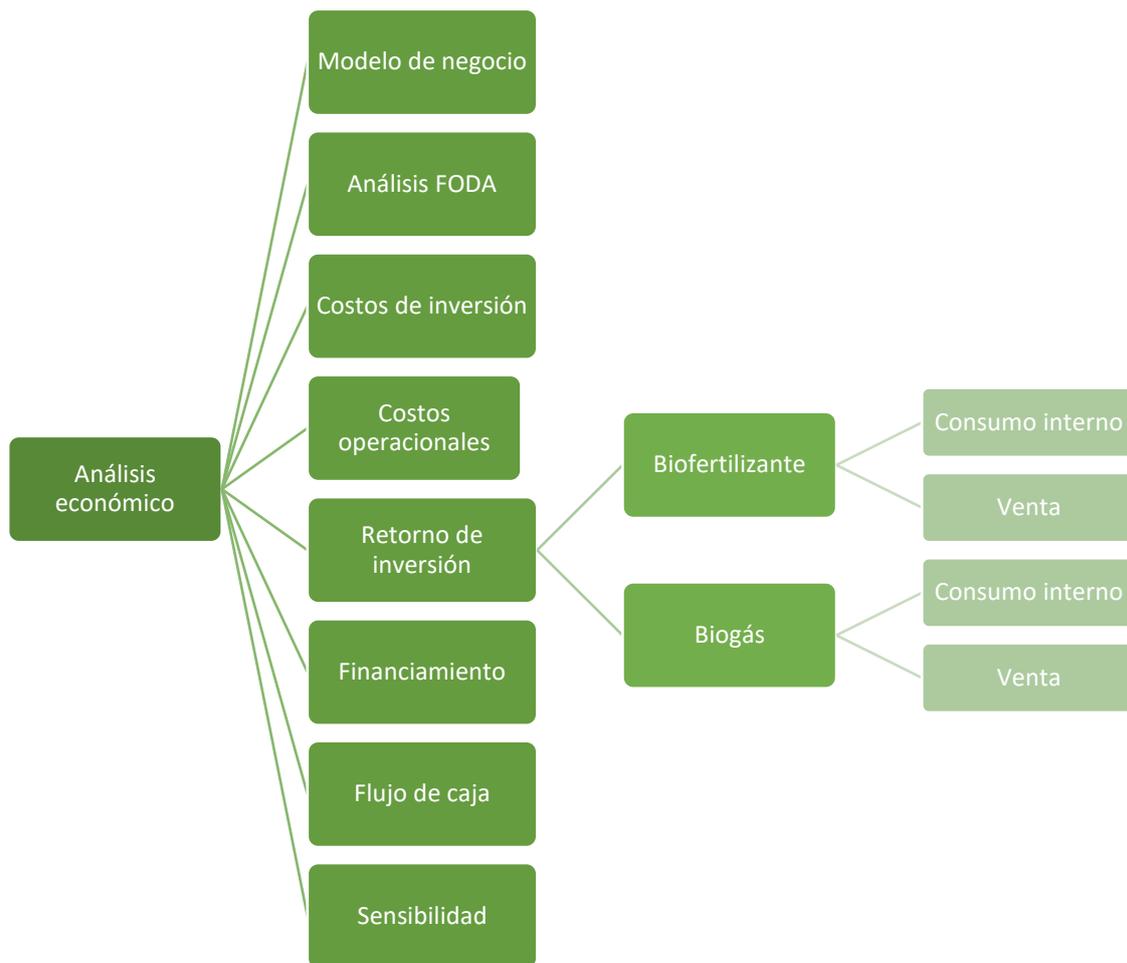


Gráfico 11. Desarrollo del análisis económico del proyecto. Elaboración propia.

Modelo de negocio (economía circular)

El modelo de negocio del feedlot en cuestión tiene, como uno de sus pilares fundamentales, la producción de alrededor de 30 hectáreas de maíz y 70 hectáreas de cebada para la alimentación de los animales que son criados. Sin la producción propia de alimento resultaría imposible sostener y obtener rédito económico del engorde intensivo de bovinos en confinamiento.

La siembra de maíz demanda cada año la incorporación de fertilizantes de origen químico para promover y mejorar los rendimientos de la plantación. Debido a que las cantidades requeridas y los costos del fertilizante son elevados en relación con los números de todo el ciclo del negocio, resulta interesante analizar la posibilidad de incorporar el biol y biosol obtenidos como efluente del digestor en los campos de forma tal de reducir los costos de producción y poder, de esa manera, maximizar los beneficios de la instalación en su conjunto. Además, se analizará la digestato excedente como producto para poder comercializarlo dentro del mismo mercado (otros feedlots con pasturas).

Por otra parte, la generación de biogás nos provee de un gas combustible que es utilizado en parte para la calefacción del digestor y también de un excedente que puede ser utilizado, como se ha mencionado antes, entre otras formas, para producir energía eléctrica. La planta consumirá energía eléctrica para su funcionamiento, así como también lo hace actualmente la instalación en sus condiciones actuales (motores de picadoras de alimentos, chimangos, bombas, iluminación, etc.). De utilizarse un generador a gas para la producción de energía e incorporando un sistema ON-GRID para inyección a la red, conforme a los requerimientos de la empresa distribuidora de energía, se lograría tener un ahorro monetario en el gasto energético de toda la instalación. El excedente energético, es decir, toda aquella energía eléctrica que no sea consumida por el feedlot, será vendida a la distribuidora de energía del lugar (actualmente EDEMSA S. A.).

Desde el punto de vista de integración de un nuevo modelo de producción y consumo que garantiza el crecimiento sostenible en el tiempo, se puede decir que este es un negocio de economía circular, en donde se promoverá la optimización de recursos, la reducción del consumo de materias primas y el aprovechamiento de los anteriormente considerados residuos, para su aplicación dentro del campo.

Análisis FODA

Es una herramienta de planificación estratégica, diseñada para realizar un análisis tanto interno, como pueden ser las fortalezas y debilidades, como externo, siendo las oportunidades y amenazas que se pueden presentar ante el proyecto. Desde este punto de vista la palabra FODA es una sigla creada a partir de cada letra inicial de los términos mencionados anteriormente.

Se recurrió al análisis FODA para desarrollar una estrategia de negocio que sea sólida a futuro. Si existiera una situación compleja, dicho análisis puede hacer frente a ella de forma sencilla y eficaz. Enfocándose en los factores que tienen mayor impacto en la organización se tomarán eficientes decisiones y las acciones pertinentes.

En la siguiente imagen se definieron las diferentes fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que hemos identificado en el proyecto.

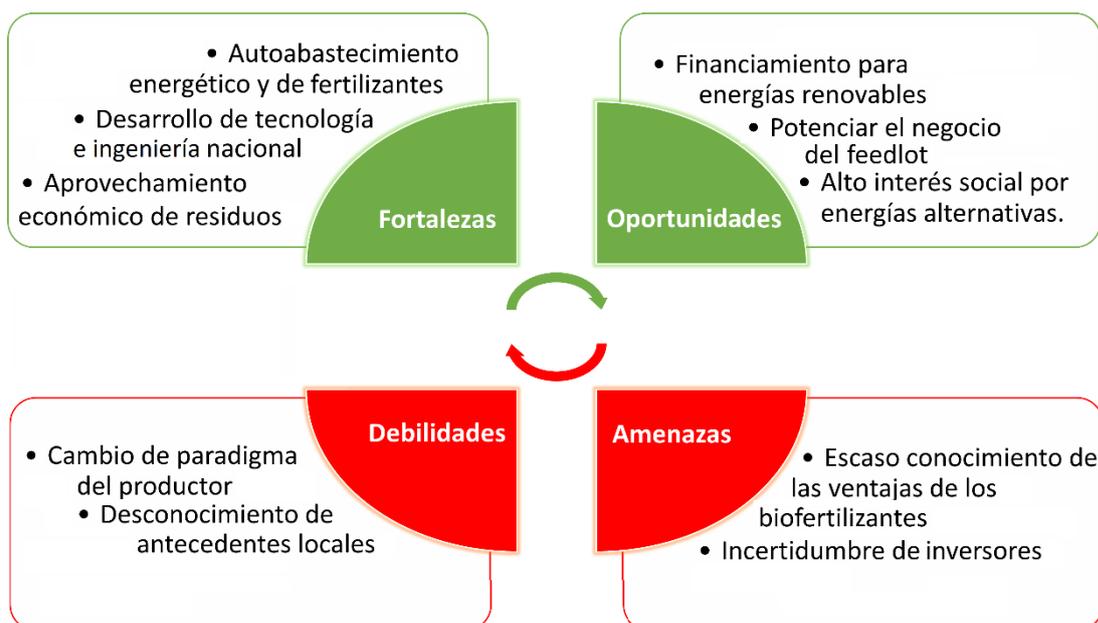


Gráfico 12. Análisis FODA del proyecto. Elaboración propia

Fortalezas

- En el primer punto se hizo referencia a que, gracias a la producción de biogás como fuente de energía, esta se utilizará para consumo propio para el precalentamiento de la materia orgánica y la calefacción del biodigestor, así como también se utilizará el gas en un generador para producir energía eléctrica, con el fin de autoabastecerse e inyectar a la red eléctrica.
- La segunda fortaleza apunta a que el propietario del establecimiento no tendrá la necesidad de recurrir a otros tipos de fertilizantes del mercado para, como ya se dijo, fertilizar sus pasturas.
- En relación con la tercera, apunta al hecho de aplicar un tratamiento directo a lo que antes representaba un residuo (acumulación de estiércol en los corrales de tierra) y obtener un rédito económico de ello.
- La última fortaleza está en base a que es un proyecto verde, es decir, un proyecto que tiende a reducir las emisiones de metano al ambiente (por la metanización natural del estiércol al ambiente).

Oportunidades

- Actualmente existen planes de financiamiento para proyectos de energías sustentables, como lo pueden ser el fondo para la transformación y el crecimiento, Mendoza activa, entre otros, que apoyan proyectos de esta índole.
- La segunda oportunidad planteada fue pensada en base a la tecnología existente que puede ayudar a la construcción, ejecución y control del

feedlot que actualmente desarrolla sus actividades con técnicas sumamente rudimentarias.

- Debido a la crisis energética mundial y al aumento de la población mundial, la sociedad se encuentra en búsqueda de energías alternativas, es por ello que se tomó como tercera oportunidad el interés por este tipo de proyectos.

Debilidades

- La primera debilidad planteada es que hoy en día en Mendoza no existen plantas generadoras de biogás que comercialicen el subproducto como fertilizante, por lo tanto, sería un proyecto pionero dispuesto a encontrarse con la experiencia por delante.
- El segundo punto es una realidad que existe a nivel país, ya que no es fácil disponer de un gran capital económico, sumado a la inflación y demás factores que afectan a la economía de la Argentina.
- Como tercera debilidad se propuso el cambio de pensamiento del productor, ya que debe adaptarse a un nuevo estilo de trabajo, en donde la tecnología propuesta permite procesar lo que antes era considerado un residuo para transformarlo en un producto.
- La cuarta debilidad propuesta radica en el hecho de que no existen antecedentes de tecnologías aplicadas dentro de la región que permitan determinar la funcionalidad y el comportamiento de las variables manejadas dentro del proceso, lo que impone cierto desconocimiento.

Amenazas

- Las primeras dos amenazas giran en torno a los compradores del biofertilizante, ya que con el correr de los años han desarrollado una conducta tradicionalista sobre el consumo de agroquímicos fertilizantes.
- La tercera amenaza es por parte de los inversores, ya que por falta de conocimiento y sobre todo por la escasez de plantas generadoras de biogás en la localidad, puedan considerar la inversión como un gran riesgo.
- La última amenaza radica en que la inversión que debe realizarse para la ejecución del proyecto es muy alta, lo que implica que el retorno de inversión se realice en un período considerablemente largo en comparación con otros proyectos.

Costos de Inversión

El costo de inversión que se deberá afrontar para la realización de la solución técnica planteada, es decir, la construcción de un biodigestor en hormigón

para el tratamiento de estiércol de 1000 bovinos, sumado a todos los periféricos necesarios para el funcionamiento de este (piletas de carga y descarga, calefacción, automatización, etc.) se resume en la tabla a continuación.

Se tomó el dólar operado en el mercado oficial para referenciar todos los costos a una moneda estable y comparable en otros mercados.

LISTADO DE INSUMOS BIODIGESTOR 500m3					
Hormigonado de corrales					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Limpieza del terreno (hora)	16	\$3.500,00	\$56.000,00	USD 519
2	Nivelado del terreno (hora)	24	\$3.500,00	\$84.000,00	USD 778
3	Hormigón elaborado (m3) para 10.000m2 - Espesor=5cm	500	\$5.500,00	\$2.750.000,00	USD 25.465
4	Hormigón armado incluye acero (m2)	24	\$500,00	\$12.000,00	USD 111
5	Mano de obra hormigonado (m2)	10000	\$300,00	\$3.000.000,00	USD 27.780
6	Cubículos madera materiales	1000	\$1.500,00	\$1.500.000,00	USD 13.890
7	Cubículos mano de obra	1000	\$300,00	\$300.000,00	USD 2.778
8	Alambre 17/15 por rollo 5000m	10	\$16.500,00	\$165.000,00	USD 1.528
9	Comederos x metro	1.200,0	\$2.500,00	\$3.000.000,00	USD 27.780
Total				\$10.867.000,00	USD 100.630
Sistema de recolección					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Central hidráulica	1	\$400.000	\$400.000	USD 3.704
2	Cilindro hidráulico	10	\$23.000	\$230.000	USD 2.130
3	Guía metálica x m	1200	\$800	\$960.000	USD 8.890
4	Rascador	20	\$16.000	\$320.000	USD 2.963
5	Manguera hidráulica xm	400	\$650	\$260.000	USD 2.408
6	Automatización sistema	1	\$350.000	\$350.000	USD 3.241
7	Alimentación eléctrica	1	\$250.000	\$250.000	USD 2.315
Total				\$2.770.000	USD 25.651
Pileta de carga					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Caño redondo con costura mate 2" (6m)	1	\$17.258	\$17.258	USD 160
2	Mano de obra (m2)	24	\$500	\$12.000	USD 111
3	Excavación máquina (hora)	4	\$3.500	\$14.000	USD 130
4	Hormigón armado incluye acero (m2)	24	\$500	\$12.000	USD 111

Evaluación económica

5	Bomba de carga 4 hp	1	\$301.410	\$301.410	USD 2.791
6	Mezclador	2	\$58.000	\$116.000	USD 1.074
7	Pintura epoxi (L) (1 litros/10 m2)	7	\$1.200	\$8.400	USD 78
8	Tanque Agua Eternit Clásico Tricapa 2500 Lts	1	\$47.000	\$47.000	USD 435
Total				\$528.068	USD 4.890
Digestor					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Mano de obra (m3)	100	\$1.100	\$110.000	USD 1.019
2	Excavación máquina (hora)	17	\$2.500	\$42.500	USD 394
3	Hormigón elaborado (m3)	100	\$7.500	\$750.000	USD 6.945
4	Hierro armado (kg/m3)	9000	\$220	\$1.980.000	USD 18.335
5	Aislación térmica lana de vidrio (rollo 20 m2)	7	\$4.000	\$28.000	USD 259
6	Boca de hombre acero inox.	1	\$95.000	\$95.000	USD 880
7	Agitador	3	\$75.000	\$225.000	USD 2.084
8	Pintura epoxi (L) (1 litros/10 m2)	32	\$1.200	\$38.400	USD 356
Total				\$3.268.900	USD 30.270
Cúpula					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Lámina de gasómetro gas PEBD (m2) + PVC ext. (m2)	150	\$2.800	\$420.000	USD 3.889,25
2	Bulones acero inox. 1" x 3 3/4"	40	\$1.000	\$40.000	USD 370,40
3	Brocas galvanizadas M10 x 85mm	130	\$100	\$13.000	USD 120,38
4	Soplador presurizador	1	\$220.000	\$220.000	USD 2.037,23
5	Mano de obra (m2)	1	\$240.000	\$240.000	USD 2.222,43
6	Mástil acero inox. AISI 304 4" x 6mm (m)	7	\$8.000	\$56.000	USD 518,57
7	Perfiles U A. Inox. 50mmx10mmx1mmx2,50m	16	\$900	\$14.400	USD 133,35
8	Platinas A. Inox. 50mmx10mmx6m	16	\$4.500	\$72.000	USD 666,73
9	Aleta de aire de escape	2	\$16.000	\$32.000	USD 296,32
10	Tubería de impulsión soplador (m)	8	\$1.300	\$10.400	USD 96,31
11	Indicador de llenado con señal 4-20 mA	2	\$4.500	\$9.000	USD 83,34
12	Válvula de sobrepresión A. Inox. DN 200	1	\$17.000	\$17.000	USD 157,42
13	Cinta protectora contra intemperie	16	\$420	\$6.720	USD 62,23
Total				\$1.150.520	USD 10.654
Filtrado					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Unidad de filtrado del biogás	1	\$864.042	\$864.042	USD 8.001,13

Evaluación económica

2	Cañerías 2" Acero Inoxidable (6m)	4	\$4.600	\$18.400	USD 170,39
3	Válvula esférica acero inoxidable 2"	2	\$8.500	\$17.000	USD 157,42
4	Accesorios Acero Inoxidable 2"	6	\$1.600	\$9.600	USD 88,90
Total				\$909.042	USD 8.417,83
Calefacción					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Caldera agua caliente 100.000 kcal/hr	1	\$310.000	\$310.000	USD 2.870,64
2	Cañería acero inoxidable 32mm x 1,5mm x 6m	40	\$2.200	\$88.000	USD 814,89
3	Accesorios acero inoxidable	100	\$1.700	\$170.000	USD 1.574,22
4	Mano de obra	1	\$250.000	\$250.000	USD 2.315,03
Total				\$818.000	USD 7.574,78
Control - Automatización					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Sensor PH	3	\$7.500	\$22.500	USD 208
2	Sensor temperatura	3	\$6.000	\$18.000	USD 167
3	Sensor de presión	2	\$4.000	\$8.000	USD 74
4	Sensor de caudal	1	\$40.000	\$40.000	USD 370
5	Contactador trifásico	2	\$3.000	\$6.000	USD 56
6	Controlador lógico	1	\$31.000	\$31.000	USD 287
7	Fuente	2	\$5.500	\$11.000	USD 102
8	Gabinete	3	\$7.850	\$23.550	USD 218
9	HMI	1	\$45.000	\$45.000	USD 417
10	Mano de obra (hora)	80	\$250	\$20.000	USD 185
Total				\$225.050	USD 2.084
Circuito biogás					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Caño Epoxi 2"	3	\$36.750	\$110.250	USD 1.021
2	Caño Epoxi 2 1/2"	3	\$49.500	\$148.500	USD 1.375
3	Caño Epoxi 1 1/4"	1	\$6.900	\$6.900	USD 64
4	Codo 90 2"	5	\$4.500	\$22.500	USD 208
5	Codo 90 2 1/2"	5	\$9.075	\$45.375	USD 420
6	Codo 90 1 1/4"	3	\$1.860	\$5.580	USD 52
7	Electroválvula 2"	3	\$73.000	\$219.000	USD 2.028
8	Electroválvula 1 1/4"	1	\$23.500	\$23.500	USD 218
9	Regulador 19mbar 25m3/h	1	\$12.700	\$12.700	USD 118

10	Regulador 10mbar 25m3/h	1	\$5.900	\$5.900	USD 55
11	Regulador 19mbar 40m3/h	1	\$17.200	\$17.200	USD 159
12	Medidor flujo gas 600PA	1	\$150.000	\$150.000	USD 1.389
Total				\$767.405	\$7.106
Pileta de descarga + Salida de fertilizante					
N°	Descripción	Cantidad	P/ unitario (ARS)	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
1	Caño redondo con costura mate 2" (6m)	4	\$17.258	\$69.032	USD 639,24
2	Mano de obra (colocación por m2)	172	\$150	\$25.800	USD 238,91
3	Excavación máquina (hora)	10	\$2.500	\$25.000	USD 231,50
4	Geomembrana polietileno 500 micrones (m2)	172	\$500	\$86.000	USD 796,37
5	Bomba de descarga 4 hp	1	\$301.410	\$301.410	USD 2.791,09
6	Equipo atmosférico	1	\$250.000	\$250.000	USD 2.315,03
Total				\$757.242	USD 7.012,15
			TOTAL GRAL.	P / Total (ARS)	P / Total (USD)
				\$22.061.227,00	USD 204.290

Tabla 33. Costos de construcción civil de biodigestor con sus periféricos. Elaboración propia

Los costos detallados anteriormente contemplan únicamente la mano de obra empleada para la construcción civil del digestor y sus periféricos (por parte de una constructora) no así las demás operaciones y gastos (seguros, energía eléctrica, viáticos, combustible, etc.). Es por ello que, a continuación, se detallan en conjunto todos estos ítems sumados a la construcción civil anteriormente detallada y, además, el costo de adquisición e instalación de un generador de 100kVA.

La construcción implica un período estimado de un año, con lo cual, se detallan los costos en los que se incurre para su realización.

Egresos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL (ARS)
Construcción civil	5.515.307	-	-	5.515.307	-	-	-	5.515.307	-	-	-	5.515.307	22.061.227
Generador 100kVA	2.800.000	-	300.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.100.000
Sueldos mano de obra	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	259.696	3.116.352
Seguros	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	144.000
Equipo seguridad e higiene	70.000	-	-	-	-	70.000	-	-	-	-	-	-	140.000
Viáticos	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	360.000
Energía eléctrica	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	120.000
Combustible	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	480.000
Préstamo	408.333	408.333	408.333	408.333	408.333	408.333	862.037	854.475	846.914	839.352	831.790	824.228	7.508.796
TOTAL EGRESOS	9.145.336	760.029	1.060.029	6.275.336	760.029	830.029	1.213.733	6.721.478	1.198.610	1.191.048	1.183.486	6.691.231	37.030.375

Tabla 34. Costo total de construcción biodigestor 500m3 para 1000 bovinos. Elaboración propia

La tabla anterior sintetiza el costo total de construcción del ciclo de biodigestión necesario para el tratamiento del estiércol de 1000 bovinos. Los mismos son totalmente escalables en mayor y menor medida, lo que permite ver el comportamiento de los costos según la cantidad de animales.

Costos Operacionales

Los costos de operación necesarios para el funcionamiento de la planta se dividen en dos grupos principales: costos fijos y costos variables. A continuación, se detallan cada uno de ellos en particular.

Costos fijos

Los costos operacionales fijos básicos serán todos aquellos costos permanentes en los que incurrirá la planta independientemente de su funcionamiento o no y que necesariamente deben ser cubiertos todo el año. A continuación, se detallan en forma mensual y el resultado anual de la sumatoria de los mismos.

Costos fijos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL (ARS)
Sueldos permanentes	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	215.834	2.590.005
Internet	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	18.000
Energía eléctrica	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	22.365	268.377
TOTAL COSTOS FIJOS	239.698	2.876.382											

Tabla 35. Costos operacionales fijos. Elaboración propia

Costos variables

Los costos variables serán aquellos que dependen principalmente de la producción y planificación (insumos y mantenimiento) y del mes en el año que se encuentre funcionando la planta. A continuación, se detallan los costos operacionales variables básicos que tendrá la planta. Nuevamente se detallan en forma mensual y se obtiene su correspondiente sumatoria anual.

Costos variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL (ARS)
Gastos operativos	31.500	23.500	31.500	23.500	31.500	23.500	31.500	23.500	31.500	23.500	31.500	23.500	330.000
Aguinaldos	-	-	-	-	-	107.917	-	-	-	-	-	107.917	215.834
Mantenimiento	-	25.000	-	-	50.000	-	-	-	25.000	-	-	50.000	150.000
TOTAL COSTOS VARIABLES	31.500	48.500	31.500	23.500	81.500	131.417	31.500	23.500	56.500	23.500	31.500	181.417	695.834

Tabla 36. Costos operacionales variables. Elaboración propia

El salario del personal y las categorías corresponden será el dispuesto según el acuerdo salarial entre UOMRA (Unión Obrera Metalúrgica de la República Argentina) y las cámaras según Convenio Colectivo de Trabajo N° 260/75, el cual entrará en vigor a partir del 1 de enero de 2022 y fue firmado el 12 de octubre de 2021.

En el anexo A del Convenio Colectivo de Trabajo N° 260/75 se encuentra contemplada la rama 17, la que comprende entre ellas a la rama electromecánica, dentro del cual están comprendidas las categorías que son de interés para nosotros. El personal será mensualizado, con salario fijo.

Conforme a lo dispuesto en los aspectos organizacionales, se tendrán 3 empleados para conformar el personal de la planta.

Se empleará como jefe de operaciones a un técnico de 6ta categoría, dado que es un oficial múltiple que debe ser capaz de dominar varios oficios del tipo tradicionales. En este caso se espera que el jefe de operaciones dirija la operación planta y sea capaz de operar en forma remota los equipos de control de la planta.

Como encargado de planta se empleará un técnico de 4ta categoría, correspondiente a la categoría de medio oficial. Estará encargado de las operaciones de verificación y operación de los equipos asociados a la planta, así como también del mantenimiento de los mismos.

Se tendrá un empleado administrativo que se encargará del manejo y administración del negocio del fertilizante, incluyendo esto el manejo de publicidad y atención a clientes, así como también la comercialización del producto.

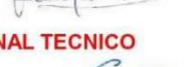
II) PERSONAL MENSUALIZADO				
a) GRUPO "A" - PERSONAL ADMINISTRATIVO				
Cat. Administrativo de 1ª		\$49.606,46	\$ 51.375,59	\$ 53.144,73
Cat. Administrativo de 2ª		\$55.053,76	\$ 57.017,17	\$ 58.980,57
Cat. Administrativo de 3ª		\$63.567,73	\$ 65.834,77	\$ 68.101,81
Cat. Administrativo de 4ª		\$69.425,85	\$ 71.901,81	\$ 74.377,76
b) GRUPO "B" - PERSONAL TECNICO				
Cat. Técnico de 1ª		\$49.606,46	\$ 51.375,59	\$ 53.144,73
Cat. Técnico de 2ª		\$55.062,27	\$ 57.025,98	\$ 58.989,68
Cat. Técnico de 3ª		\$58.852,62	\$ 60.951,50	\$ 63.050,39
Cat. Técnico de 4ª		\$66.760,17	\$ 69.141,06	\$ 71.521,95
Cat. Técnico de 5ª		\$69.428,55	\$ 71.904,61	\$ 74.380,66
Cat. Técnico de 6ª		\$76.016,78	\$ 78.727,79	\$ 81.438,80

Figura 53. Anexo I, II y III - Rama N° 17 Metalmecánica y Otras. Acuerdo salarial entre UOMRA y las Cámaras

Retorno de inversión

El retorno de inversión del proyecto surgirá sencillamente de dos pilares que serán analizados en particular a continuación. Uno de ellos está constituido por la venta de biofertilizante, resultante del proceso de digestión (biol preparado), y otro por la venta de energía eléctrica sobrante, producida al combustionar el biogás en un generador eléctrico e inyectar energía a la red de baja tensión.

Fertilizante

Todo dueño de feedlot debe necesariamente alimentar a sus animales durante todo el transcurso de crianza, siendo este período variable según las etapas de engorde que se busquen y el kilaje que se pretenda dar a los animales. Con el fin de proveerse de alimentos, una práctica común de los propietarios de

feedlots es sembrar sus propias pasturas intentando, de esta forma, disminuir los costos en materia de alimentación. De esta manera se consigue reducir los costos de transporte y agregados de la producción de granos permitiendo así, mejorar la rentabilidad del negocio del engorde intensivo a corral. Los cultivos habituales empleados incluyen alfalfa, cebada, maíz, soja, centeno, entre otros.

Uno de los costos más importantes al momento de la siembra son los agroquímicos necesarios para aumentar la fertilidad de la tierra y promover el desarrollo de las plantaciones. Esto se debe a que año a año se van plantando distintas pasturas y el rendimiento de la tierra se ve disminuido notablemente.

Agroquímicos utilizados

Los fertilizantes comúnmente utilizados en la zona de San Rafael Mendoza son Urea y Superfosfato Triple (Fósforo). A continuación, se muestran los kilogramos por hectárea que se utilizan actualmente en el emplazamiento del feedlot “Renacer” para la fertilización de las tierras de cultivo y su correspondiente precio en dólares.

Fertilizante	Kg / hectárea	Precio (USD/kg)
Urea GE: 46-0-0	400	0,6
Fósforo GE: 0-46-0	100	0,6

Tabla 37. Cantidad y precios de fertilizante agroquímico por ha

Siendo el GE (Grado Equivalente) la proporción (porcentaje en peso) de Nitrógeno (primer dígito), porcentaje de fósforo (segundo dígito) y porcentaje de Potasio (tercer dígito). Es decir:

Fertilizante agroquímico	Proporción de N (g/Kg)	Proporción de P (g/Kg)
Urea	460	0
Fósforo	0	460

Tabla 38. Proporciones de nitrógeno y fósforo de fertilizantes agroquímicos

A continuación, se procede a mostrar los costos anuales en los que incurre cada productor en función de la cantidad de hectáreas a cultivar:

Cantidad de ha	Costo anual (USD)	Costo anual (ARS)
50	15.000,00	1.507.050,00
100	30.000,00	3.014.100,00
150	45.000,00	4.521.150,00
200	60.000,00	6.028.200,00

Tabla 39. Costos anuales de fertilizantes según cantidad de ha

En la tabla anterior se han resaltado las 100 hectáreas que servirán de referencia de aquí en adelante, por ser las hectáreas que dispone el emplazamiento en análisis (feedlot “Renacer”). Como puede observarse, los

costos en los que incurren los productores en fertilización son elevados y juegan un papel muy importante en las finanzas de los mismos.

Digestato como fertilizante

Teniendo en cuenta lo hasta aquí visto se procede a analizar el efluente del biodigestor y su potencialidad como fertilizante para las plantaciones. El Biol es el resultado de la fermentación de estiércol y agua a través de la descomposición y transformaciones químicas de residuos orgánicos en un ambiente anaerobio. Tras salir del biodigestor, este material no tiene olor y no atrae insectos.

Como podrá verse a continuación, la proporción en peso de Nitrógeno y Fósforo del digestato del biodigestor es muy bajo comparado con los agroquímicos analizados anteriormente¹⁴:

Componente	Fracción (g/Kg)
Nitrógeno total	2,5
Fósforo	1,7

Tabla 40. Proporción de nitrógeno y fósforo del digestato

La equivalencia química entre el biofertilizante y los fertilizantes químicos citados anteriormente resulta:

Fertilizante	Kg / hectárea
Urea GE: 46-0-0	400
Fósforo GE: 0-46-0	100
Biofertilizante B GE:0.25-0.17	73600

Tabla 41. Equivalencia química entre el biofertilizante y los fertilizantes químicos

Esto implica que el biofertilizante que sale del biodigestor no puede ser aplicado directamente sobre la tierra porque el rendimiento del mismo sería muy bajo o, en su defecto, la cantidad que debería administrarse para cumplir con la equivalencia agroquímica sería demasiado excesiva.

Los gastos de aplicación que traería aparejados resultarían muy elevados y provocaría una acumulación demasiado elevada sobre el terreno. Sin embargo, la capacidad de fertilización del biol es mayor al estiércol fresco debido a que el nitrógeno es convertido a amonio (NH₄), el cual es transformado en nitratos. A su vez, el biol es un mejorador de la disponibilidad de nutrientes del suelo, aumenta su disponibilidad hídrica, y crea un microclima adecuado para las plantas. Debido a su contenido de fitoreguladores promueve actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de las plantas, favorece su enraizamiento, alarga la fase de crecimiento de hojas (quienes serán las encargadas de la fotosíntesis), mejora la floración, activa el vigor y el poder germinativo de las semillas.

¹⁴ Fuente: Manual de Biol – Sistema BioBolsa.

Todos estos factores resultarán en mayor productividad de los cultivos y generación de material vegetal. El biol puede aumentar la producción de un 30 hasta un 50%, además que protege de insectos y recupera los cultivos afectados por heladas.

Todo esto implica que el biol efluente del digestor es una muy buena base orgánica para ser complementada con agroquímicos en baja proporción, aumentando así su rendimiento, mejorando el impacto sobre la tierra y principalmente disminuyendo el costo de fertilización final. En base a esto se prepara la siguiente mezcla¹⁵:

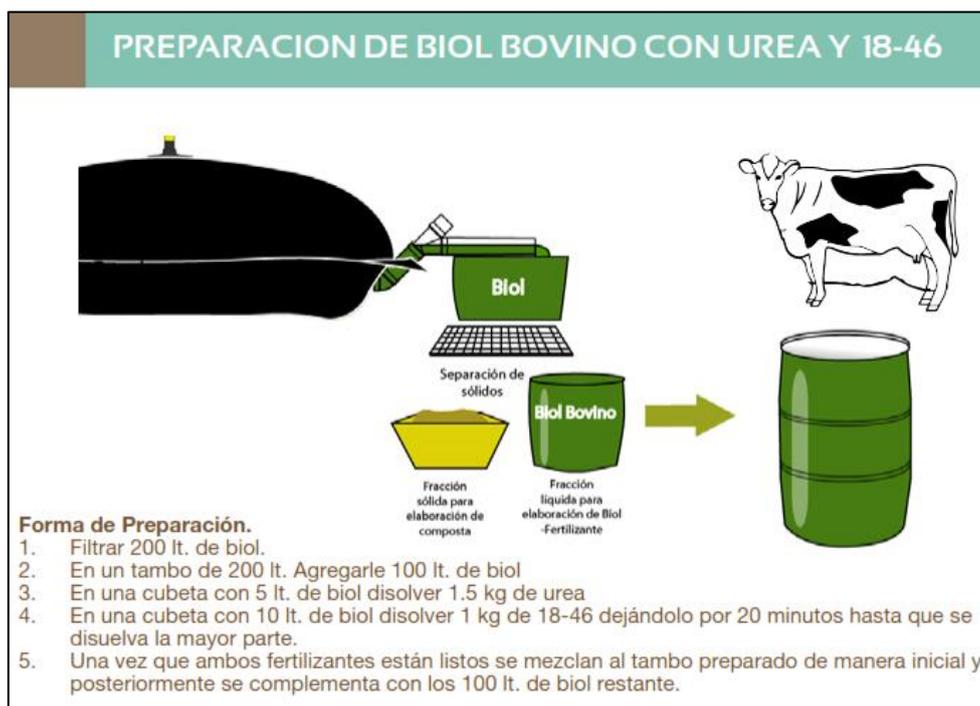


Figura 54. Preparación de biol bovino con urea y fertilizante 18-46

Cada 200 L de Biol efluente se agregan 1.5 kg de Urea y 1 kg de fertilizante 18-46 (18% de Nitrógeno en peso y 46% de fósforo en peso), lo que resulta en lo siguiente:

Componente	Gramos en 200L de efluente	1.5 kg urea	1 kg de 18-46	Total (200L)	Total g/kg	Precio 200L (USD)	Precio kg (USD)
Nitrógeno total (g)	500	690	180	1370	6,85	0,9	0,0045
Fósforo (g)	340	0	460	800	4	0,6	0,003
						TOTAL	0,0075

Tabla 42. Proporciones y costos del biofertilizante preparado

El costo obtenido de biofertilizante preparado corresponde solo a los agroquímicos necesarios para fortificar el mismo, pero no se ha tenido en cuenta el costo del propio digestor necesario para obtener el efluente. Esto se analizará, posteriormente, al tener en cuenta la amortización de la

¹⁵ Fuente: Manual de Biol – Sistema BioBolsa.

construcción del biodigestor junto con la inyección y venta de energía eléctrica.

Este preparado de biofertilizante con agroquímicos se recomienda aplicar en una proporción de 2100L por hectárea y por aplicación (por ejemplo, para producir maíz-grano)¹⁶.

Consumo interno de biofertilizante

Las 100 hectáreas a fertilizar tomadas como referencia anteriormente resultan aproximadamente las necesarias para complementar la alimentación de los 1000 animales. Por lo tanto, es posible determinar el consumo interno de biofertilizante preparado necesario para las 100 hectáreas y el sobrante que resulta de la diferencia entre lo producido y lo consumido internamente. El sobrante será el disponible para la venta y del que se obtendrá un rédito económico.

Aplicaciones biol por año	4
---------------------------	---

Cantidad de ha	Cantidad utilizada (kg/año)	Sobrante (kg/año)
50	420000	1.679.986
100	840000	3.359.973
150	1260000	7.139.947

Tabla 43. Consumo interno anual y sobrante de biofertilizante, feedlot Renacer

Este biofertilizante preparado y fortificado sobrante debe insertarse al mercado como un producto para obtener una rentabilidad sobre el mismo. A continuación, se analizará su capacidad de su inserción en el mercado.

Biofertilizante en el mercado

Las características que posee el biofertilizante, pese a que favorecen y enriquecen de forma significativa al suelo, también hacen que su aplicación como líquido no sea la convencional utilizada por los sembradores de pasturas locales, mediante agroquímicos. Estos últimos generalmente se compran y aplican en forma sólida, granulada, en forma de perlas y son esparcidos manualmente sobre el suelo.

Como ventaja frente a los agroquímicos convencionales se destacan la capacidad del biofertilizante de actuar como fungicida e insecticida natural. Esto no es un punto menor ya que dichos procesos son realizados mediante otros agroquímicos para tal uso, con su correspondiente costo de adquisición y aplicación.

Precio del biofertilizante

Para insertarse inicial y convenientemente en el mercado y, teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, resulta que el precio del biol no puede ser el mismo, ni mucho menos superior a los fertilizantes químicos, sino que debe

¹⁶ Fuente: Manual de Biol – Sistema BioBolsa.

ser una alternativa eficiente y más económica que el empleo de agroquímicos normales. La posterior evolución e inserción en el mercado permitirá, a su debido tiempo, que el precio y la competitividad del mismo aumente.

En base al anterior supuesto y debido a que no es posible encontrar fácilmente precios de biofertilizantes en el mercado (a gran escala, si para uso doméstico), se plantea que el cálculo del posible precio del biofertilizante se realice en base al precio de construcción del digestor (ya que sin él no podría obtenerse el efluente) y proponiendo un período de repago del mismo, únicamente considerando el hecho de vender fertilizante.

Este planteo es solo a fines de determinar un posible precio del biofertilizante y no será reflejado posteriormente en el flujo de caja. Este último, como se verá a continuación, considerará la otra fuente de ingresos del proyecto, es decir, la venta de energía eléctrica.

Período de repago (años) 4

		Considerando costo del digestor	Biol preparado (químicos + digestor)	(Vendiendo todo)
Cantidad de animales	Producción de biol (kg/año)	Precio de biol (USD/kg)	Precio biol preparado (USD/kg)	Ganancia anual (USD)
500	2104227,45	0,024271323	0,031771323	66854,08989
1000	4208454,90	0,012135661	0,0075	31563,41175
2000	8416909,8	0,006067831	0,013567831	114199,2075

Tabla 44. Precio estimado de biofertilizante al mercado. Fuente: Elaboración propia

En la tercera columna de la tabla anterior puede observarse el posible precio de venta, considerando el hecho de construir el digestor y su consecuente repago en un período propuesto de 4 años. La columna siguiente agrega a la anterior el costo de los agroquímicos necesarios para la formulación indicada.

Costo anual biol USD usado en 100Ha propias	6300	Ganancia biol propuesta (%)	250	Precio por kg biol (USD)	0,02625
Venta anual biol sobrante (USD)	88.421	Cant. Hectáreas sobrantes equiv.	400	Precio por 100Ha (USD)	22.050
Precio anual agroq. USD usado en 100Ha	30000	Años de repago resultantes	7	Factor de venta estimado	100%
				Ventas anuales estimadas (ARS)	9.548.685

Tabla 45. Resumen de variables intervinientes en el manejo del biofertilizante

En la tabla anterior y en el siguiente esquema se resumen los siguientes ítems:

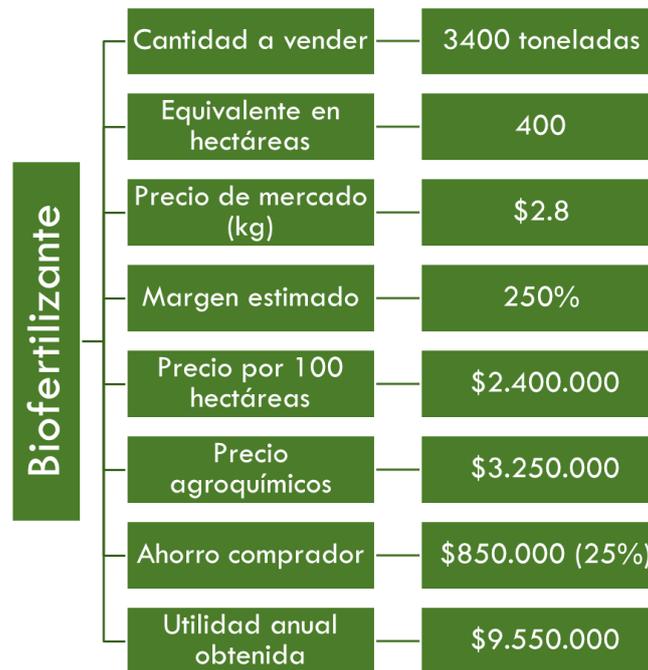


Gráfico 13. Resumen venta fertilizante

- Costo interno anual de biol (100Ha): Este representa el costo operativo en el que se incurre para fertilizar las 100 hectáreas propias de cultivo. Representa una propuesta muy atractiva desde el punto de vista económico respecto a los 30000 dólares actualmente empleados para la fertilización.
- Ganancia biol propuesta: Se propone una ganancia sobre el biol preparado para obtener el precio de venta al público. Este valor no puede ser excesivo para brindar, como ya se dijo, una alternativa atractiva y más económica que los precios actuales de los fertilizantes agroquímicos convencionales.
- Precio por 100Ha: Es el precio resultante de mercado al cual se oferta el producto terminado para el público (de las 100Ha tomadas como referencia). En comparación con el costo convencional actual de mercado, es decir, 30000 dólares, esta opción resulta altamente atractiva y viable. Pese a que cambia la metodología de fertilización, en rasgos generales representa el prácticamente el 75% del costo anterior.
- Factor de venta estimado: Pese a que la totalidad del fertilizante producido y disponible para la venta resulta equivalente a la cantidad necesaria para fertilizar 400Ha, no resulta una cantidad excesiva para vender en el mercado en cuestión.

- Ventas anuales estimadas: Es el resultado de todos los planteos anteriores de venta y será, de aquí en adelante, el retorno anual de inversión para el proyecto que será reflejado en el flujo de caja, desde el punto de vista de la venta de biofertilizante.

Energía eléctrica

La energía producida a partir de la combustión de biogás tiene dos fines fundamentales; por una parte, reducir al máximo los costos fijos relacionados con la energía eléctrica necesaria para la operación del feedlot y de la planta de biogás y, por otra parte, inyectar los excedentes de energía eléctrica generados a la red. La energía inyectada de esta manera permite tener un balance positivo de energía ante la distribuidora, generando un rédito económico.

Para analizar el régimen de inyección de energía antes deben tenerse en cuenta las condiciones del biogás, en términos de volumen de gas disponible, presión y condiciones de este. Como ya se mencionó anteriormente, el biogás no solo debe estar disponible para su consumo, sino que también debe pasar previamente por una etapa de filtrado y acondicionamiento de presión antes de ser introducido como alimentación para el generador.

La estrategia de inyección es sencilla; intentar inyectar siempre en los horarios pico, para los cuales la energía tiene mayor valor, seguido de ello, si queda gas disponible, combustionar gas para inyectar en los horarios resto y, el gas restante final, si hubiere, se quemaría en los horarios valle, que son los que valen menos, tal como se mostró anteriormente en el Tabla 46 - Precio de energía volcada, tarifa vigente. Fuente: EDEMSA, lo cual ahora se resume en la tabla siguiente.

Precio s/horario	Precio (\$kW/h)
Precio Hora Pico	2,7282
Precio Hora Resto	2,6176
Precio Hora Valle	2,5069

Tabla 46. Precio de energía volcada, tarifa vigente. Fuente: EDEMSA

La inyección es opuesta al consumo, ya que se intenta consumir la mayor cantidad de energía en los horarios valle y resto, dentro de lo que la operación de la instalación permita, para maximizar los ingresos por ventas de energía y minimizar los costos operativos de funcionamiento.

Según la potencia del generador seleccionado, se tendrá un caudal y presión determinados a los que debe ajustarse el gas de ingreso. A partir de ello, se obtienen los horarios del día y la cantidad de tiempo por día en los que el generador tendrá disponible gas para funcionar.

Debido a que las cantidades de gas producidas son limitadas y a que el volumen disponible para acumular gas está dado por el gasómetro del digestor, el cual tiene capacidad de almacenar 150m³ a una presión máxima

de 300mbar, se plantea a continuación la comparativa entre dos alternativas posibles:

- Utilizar un generador de 50 KVA y un equipo de compresión que permita acumular el biogás filtrado en un recipiente a alta presión (40 bar) para ser utilizado en los momentos de mayor aprovechamiento, los cuales están asociados con el precio de la inyección de energía.
- Utilizar un generador de 100 KVA sin ningún equipo adicional, utilizando únicamente el gasómetro como acumulador de baja presión.

De las posibilidades planteadas se desprende que, respecto de términos de retorno de inversión, la opción del generador de 100 KVA sin equipo de compresión de alta presión, resulta más rentable en el mediano y largo plazo, dado que:

- El monto de la inversión inicial entre un generador de 100 KVA y otro de 50 KVA con su equipo asociado de compresión y almacenamiento, es prácticamente idéntica.
- Utilizar un equipo de compresión, si bien parece tentador ya que permite almacenar energía en un recipiente para ser utilizada en momentos adecuados, no resulta conveniente dado que la energía acumulable en el gasómetro no da como resultado una diferencia económica apreciable. Esto se debe a que la generación, pasado cierto tiempo (aproximadamente a los 100 días de empezado el ciclo), supera el consumo del generador de 50kVA y el mismo debería funcionar las 24hs del día, sin poder utilizar lo disponible en el recipiente a presión (ver Anexo 22 – Producción generador 50kVA).

Por lo tanto, para hacer el análisis del flujo de caja total del proyecto, se utilizará el generador de 100 KVA.

Generador 100kVA

Como pudo observarse anteriormente en el Capítulo 3 Evaluación técnica – Generación de energía eléctrica, para el caso de un generador de 100 KVA las especificaciones técnicas son las siguientes:

Datos generador 100kVA	Valor
PCI=Poder calorífico inferior del metano (kWhr/m ³ CH ₄)	10,25
Presión relativa de admisión generador (mbar)	35,5
Q_biogas_generador a presión relativa (Nm ³ CH ₄ /hr)	35,6
Q_biogas_generador normal (m ³ CH ₄ /hr)	36,85
nt=Rendimiento térmico de la generación (nt)	0,24
Precio generador (\$)	2.500.000
Precio generador (U\$D)	24883

Tabla 47. Especificaciones técnicas generador 100 kVA



Figura 55. Generador 100kVA

PRESIÓN DE GAS		
POTENCIA	PRESIÓN REQUERIDA EN LA ENTRADA DEL EQUIPO	CONSUMO A PLENA CARGA EN M ³ /H.
8 KVA	17,8mBar	3.9
10 KVA		4.4
13 KVA		6.2
27 KVA		10
35 KVA		14.2
50 KVA		18.5
70 KVA	35,5mBar	24.4
100 KVA		35.6
150 KVA		

Figura 56. Generador 100kVA - Datos técnicos

Las cantidades de gas disponibles evolucionan en una forma prácticamente lineal y creciente, y se relacionan directamente con el crecimiento de los animales dentro de la instalación, que son los que entregan la materia orgánica, que es procesada posteriormente en el digestor.

Tiempo de confinamiento (días)	Metano para generación (Nm ³ /dia)	Horas pico	Horas resto	Horas valle	Energía generada (kVAh)	Ingresos (\$)
1	216,5	5,00	0,88	0,00	587,72	1593,70
2	218,8	5,00	0,94	0,00	593,87	1609,81
3	221,1	5,00	1,00	0,00	600,02	1625,92
4	223,4	5,00	1,06	0,00	606,18	1642,03
5	225,6	5,00	1,12	0,00	612,33	1658,14
6	227,9	5,00	1,18	0,00	618,49	1674,25
7	230,2	5,00	1,25	0,00	624,65	1690,37
8	232,4	5,00	1,31	0,00	630,80	1706,49
9	234,7	5,00	1,37	0,00	636,96	1722,61
10	237,0	5,00	1,43	0,00	643,12	1738,73

...

235	752,3	5,00	13,00	2,42	2041,70	5372,90
236	754,6	5,00	13,00	2,48	2047,95	5388,57
237	756,9	5,00	13,00	2,54	2054,21	5404,26
238	759,2	5,00	13,00	2,60	2060,46	5419,94
239	761,5	5,00	13,00	2,67	2066,72	5435,62
240	763,8	5,00	13,00	2,73	2072,97	5451,30
241	766,1	5,00	13,00	2,79	2079,23	5466,98
242	768,4	5,00	13,00	2,85	2085,49	5482,67
243	770,7	5,00	13,00	2,92	2091,74	5498,35
244	773,0	5,00	13,00	2,98	2098,00	5514,04
245	775,3	5,00	13,00	3,04	2104,26	5529,72
					Total ingresos	874621,27

Tabla 48. Extracto de producción horaria y diaria de energía eléctrica en términos económicos

Según puede verse en la tabla anterior, la evolución de los ingresos registrados a lo largo del ciclo de producción de biogás que comprende un período de 245 días, tal como se muestra en la gráfica a continuación (para mayor detenimiento consultar Anexo 18 – Producción de energía eléctrica). En esta última puede corroborarse que, en los primeros días, cuando la disponibilidad de gas es reducida, los ingresos por venta de energía apenas superan los \$1500 diarios, mientras que al final del ciclo (pasados los 235 días), se espera tener ingresos diarios que superen los \$5000.



Gráfico 14. Ingresos en pesos por inyección de energía eléctrica (100kVAh) según el transcurso de los días

Financiamiento del proyecto

Debido a que resulta imposible para el propietario de la instalación desembolsar la totalidad del dinero en el tiempo estimado de construcción y operación del proyecto analizado, resulta necesario acudir a préstamos que permitan financiar el proyecto a lo largo de los años de funcionamiento previstos.

A continuación, se muestran dos líneas de financiamiento disponibles y sus características.

Fondo para la transformación y el crecimiento (FTyC)

El FTyC es un organismo del Gobierno de Mendoza que otorga créditos en forma directa, o a través de alianzas con otros organismos públicos o privados, y desarrolla herramientas de financiamiento innovadoras y adecuadas a las necesidades de los distintos sectores de la economía, con emprendimientos radicados en la provincia.

Al ingresar al simulador de crédito disponible en la página web del ente¹⁷, podemos observar que al cargar los datos de la empresa que solicita el crédito, según el tamaño de la empresa del que se trate dado por el certificado MiPyME, que categoriza a las empresas según su facturación anual y número de empleados, es el monto máximo del préstamo y la tasa de interés que aplica. Para el caso en cuestión, este proyecto se enmarca en el sector industria y energía renovable, que será para construir una instalación que tiene como principal actividad la ganadería.

Ministerio de desarrollo productivo

Este crédito otorga un monto máximo de hasta 50.000.000 y está destinado a Micro Pequeñas y Medianas empresas (MiPyME) que tengan una actividad en la cual se requiera una adecuación para el saneamiento de efluentes líquidos y/o gaseosos, la optimización en el uso del agua o la gestión de los residuos de sus actividades productivas. Presenta una tasa anual del 20% y un plazo de devolución de 60 cuotas con un periodo de gracia de 6 meses.

En ANEXO 23 - Simulación de crédito FTyC puede visualizarse el crédito solicitado de \$19.200.000 (máximo posible) para la construcción de la planta, el cual es un financiamiento con sistema de amortización alemán, en el cual el importe de las cuotas no es constante, y estas van reduciéndose a medida que se va saldando la deuda. El sistema alemán presenta una amortización del capital constante, lo que implica que a la mitad del plazo se ha saldado el 50% del préstamo.

Por otra parte, en ANEXO 24 Ministerio de Desarrollo Productivo puede visualizarse el crédito solicitado de \$24.500.000 para la construcción de la planta, el cual es un financiamiento con sistema de amortización alemán, en el cual el importe de las cuotas no es constante, y estas van reduciéndose a medida que se va saldando la deuda. El sistema alemán presenta una amortización del capital constante, lo que implica que a la mitad del plazo se ha saldado el 50% del préstamo.

El crédito que se utilizará es el del Ministerio de Desarrollo Productivo, que presenta las siguientes ventajas:

- La tasa de interés es más baja
- El monto máximo a financiar es mayor
- Tiene posibilidad de período de devolución más largo

¹⁷ <https://www.ftyc.gob.ar/> Fondo para la transformación y el crecimiento.

Lo anterior resultó en un mejor flujo de caja

Por lo tanto, el crédito de \$24.500.000 se pagará en 60 meses, con una tasa de 20% y con un período de gracia de 6 meses, lo que implicará que durante los primeros seis meses del primer año la cuota se componga únicamente de intereses, para posteriormente comenzar a pagar en el mes 7 la cuota más alta y de ahí reducirla progresivamente a medida que disminuyen los intereses y la amortización se mantiene constante.

Este modelo de crédito tomado presenta características que, si bien permiten obtener un crédito que le da viabilidad al productor y dueño del feedlot, son perjudiciales si se compara con un sistema de amortización francés tradicional de cuota fija. Esto se debe a que, para el caso del alemán, en el primer año de funcionamiento de la planta (meses correspondientes a las cuotas 13 a 25), recién se habría terminado de construir la planta y no se ha logrado producir prácticamente biogás y fertilizante, que son los insumos motores para generar beneficios dentro del proyecto. Por tanto, se debe desembolsar montos elevados de dinero en términos de amortización e intereses en momentos críticos en los que el flujo de caja muestra valores negativos.

Flujo de caja

La construcción del flujo de caja se basa en una estructura general que se aplica a cualquier estudio de proyecto, independientemente de su finalidad según - Preparación y Evaluación de Proyectos, Nassir Sapag Chain Reinaldo y Sapag Chain, Quinta edición, página 299.

+ Ingresos afectos a impuestos
- Egresos afectos a impuestos
- Intereses del préstamo
- Gastos no desembolsables
= Utilidad antes de impuesto
- Impuesto
= Utilidad después de impuesto
+ Ajustes por gastos no desembolsables
- Egresos no afectos a impuestos
+ Beneficios no afectos a impuestos
+ Préstamo
- Amortización de la deuda
= Flujo de caja

Tabla 49. Flujo de caja con inversionista - Preparación y Evaluación de Proyectos, Nassir Sapag Chain Reinaldo y Sapag Chain

Debido a la gran inversión que implica la construcción de la planta el modelo de negocio se planteará, en principio, a largo plazo. Como vida útil del proyecto, es decir, el horizonte de evaluación del mismo, se tomaron 15 años, aunque la durabilidad del mismo y su potencial de funcionamiento superan este período por mucho.

Evaluación económica

Concepto	0	1	2	3	4	5
Ingresos	0	10.423.307	10.423.307	10.423.307	10.423.307	10.423.307
Costos variables	0	-695.834	-695.834	-695.834	-695.834	-695.834
Costos fijos	0	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382
Interés préstamo	0	-3.856.481	-2.767.593	-1.678.704	-589.815	0
Depreciación	0	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000
Utilidad antes de impuesto	0	544.610	1.633.499	2.722.388	3.811.276	4.401.091
Impuesto ganancias	0	6.707	-374.404	-755.515	-1.136.627	-1.343.062
Utilidad neta	0	551.317	1.259.094	1.966.872	2.674.650	3.058.030
Depreciación	0	2.450.000	2.450.000	2.450.000	2.450.000	2.450.000
Inversión inicial	-37.030.375	0	0	0	0	0
Ampliación / reparación	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-70.000					
Préstamo	24.500.000	0	0	0	0	0
Amortización préstamo	0	-5.444.444	-5.444.444	-5.444.444	-5.444.444	0
Valor de desecho	0	0	0	0		0
Ingreso indirecto		2.559.363	2.559.363	2.559.363	2.559.363	2.559.363
Flujo de caja	-12.600.375	116.235	824.013	1.531.791	2.239.568	8.067.393

Flujo acumulado	116.235	940.248	2.472.039	4.711.607	12.779.000
-----------------	---------	---------	-----------	-----------	------------

Tabla 50. Flujo de caja del proyecto (primeros 5 años)

Concepto	6	7	8	9	10
Ingresos	10.423.307	10.423.307	10.423.307	10.423.307	10.423.307
Costos variables	-695.834	-695.834	-695.834	-695.834	-695.834
Costos fijos	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382
Interés préstamo	0	0	0	0	0
Depreciación	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000
Utilidad antes de impuesto	4.401.091	4.401.091	4.401.091	4.401.091	4.401.091
Impuesto sobre ganancias	-1.343.062	-1.343.062	-1.343.062	-1.343.062	-1.343.062
Utilidad neta	3.058.030	3.058.030	3.058.030	3.058.030	3.058.030
Depreciación	2.450.000	2.450.000	2.450.000	2.450.000	2.450.000
Inversión inicial	0	0	0	0	0
Ampliación / reparación		-1.500.000	0	0	0

Capital de trabajo					
Préstamo	0	0	0	0	0
Amortización préstamo	0	0	0	0	0
Valor de desecho	0	0	0	0	0
Ingreso indirecto	2.559.363	2.559.363	2.559.363	2.559.363	2.559.363
Flujo de caja	8.067.393	6.567.393	8.067.393	8.067.393	8.067.393

Flujo acumulado	20.846.392	27.413.785	35.481.177	43.548.570	51.615.962
-----------------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabla 51. Flujo de caja del proyecto (año 6 al 10)

Concepto	11	12	13	14	15
Ingresos	10.423.307	10.423.307	10.423.307	10.423.307	10.423.307
Costos variables	-695.834	-695.834	-695.834	-695.834	-695.834
Costos fijos	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382	-2.876.382
Interés préstamo	0	0	0	0	0
Depreciación	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000	-2.450.000
Utilidad antes de impuesto	4.401.091	4.401.091	4.401.091	4.401.091	4.401.091
Impuesto ganancias	-1.343.062	-1.343.062	-1.343.062	-1.343.062	-1.343.062
Utilidad neta	3.058.030	3.058.030	3.058.030	3.058.030	3.058.030
Depreciación	2.450.000	2.450.000	2.450.000	2.450.000	2.450.000
Inversión inicial	0	0	0	0	0
Ampliación / reparación	0	0	0	0	0
Capital de trabajo					
Préstamo	0	0	0	0	0
Amortización préstamo	0	0	0	0	0
Valor de desecho	0	0	0	0	6.000.000
Ingreso indirecto	2.559.363	2.559.363	2.559.363	2.559.363	2.559.363
Flujo de caja	8.067.393	8.067.393	8.067.393	8.067.393	14.067.393

Flujo acumulado	9.683.355	67.750.748	75.818.140	83.885.533	97.952.925
-----------------	-----------	------------	------------	------------	------------

Tabla 52. Flujo de caja del proyecto (año 11 al 15)

	(ARS)	(USD)	Observación
Préstamo	24.500.000	226.873	-
Amortización anual (%)	10%	10%	Para inmuebles
Impuesto a las ganancias	35%	35%	Ver tabla AFIP Art. 94
Ingreso indirecto no sujeto a impuestos	2.559.363	23.700	Ahorro fertilizante
Capital de trabajo	70.000	648	Equipamiento oficina
Valor de desecho	6.000.000	55.561	
Tasa de descuento	15%	15%	
Inversión de ampliación / reparación	1.500.000	13.890,18	
Inversión propietario-necesaria	12.600.375		
Dólar oficial	107,99		

Tabla 53. Variables flujo de caja. Elaboración propia

Ingresos

En la tabla anterior, los ingresos se computaron en forma anual. Estos provienen fundamentalmente, como ya se vio en el retorno de inversión de dos orígenes: la venta de fertilizante orgánico (efluente del digestor, ver Retorno de inversión, biofertilizante en el mercado) y la venta de energía eléctrica (ver Retorno de inversión, energía eléctrica). A continuación, se detallan los ingresos mensuales obtenidos de cada uno de los orígenes mencionados.

Ingresos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL (ARS)
Venta de E. eléctrica	0	0	56.903	69.857	87.512	99.556	118.268	133.942	144.453	164.130	0	0	874.621
Venta de fertilizante	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	795.724	9.548.685
TOTAL INGRESOS	795.724	795.724	852.627	865.581	883.236	895.280	913.992	929.665	940.177	959.854	795.724	795.724	10.423.307

Tabla 54. Ingresos mensuales. Elaboración propia

Ingreso indirecto no sujeto a impuestos

Este ingreso en el flujo de caja representa el ahorro monetario real que el negocio del feedlot deja de gastar en agroquímicos fertilizantes cada año para los cultivos propios del emplazamiento. No está sujeto a impuesto a las ganancias debido a que no es un beneficio que produzca riqueza, sino que deriva de un ahorro monetario gracias a la instalación del biodigestor y del uso de su efluente como biofertilizante.

Depreciación

En el presente proyecto la depreciación representa principalmente el desgaste o pérdida de valor de los activos inmuebles (piletas, digestor, etc.), por el uso y la función que cumplen, que no puede ser compensado por reparaciones o mantenimiento. Debido a la baja degradación que sufren los bienes de este tipo se propone, como se vio en la Tabla 53 - Variables flujo de caja, una baja tasa de amortización (10%).

La inversión realizada, multiplicada por la tasa de amortización, representa la depreciación anual producida sobre los inmuebles y será descontada de la utilidad antes de calcular el impuesto a las ganancias.

Utilidad antes de impuesto

Representa el beneficio sujeto a impuesto a las ganancias, es decir, todos los ingresos netos menos los deducibles (intereses sobre deudas, depreciación de objetos, etc.).

Valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)

A continuación, se muestra el resultado del valor actual neto (VAN) del proyecto, es decir la diferencia entre los ingresos y los egresos expresados en moneda actual, proyectados a 15 años. Según las variables de contorno, se propuso una tasa de descuento del 15% (Tabla 53 - Variables flujo de caja).

A su vez, se expresa también la tasa interna de retorno (TIR), es decir, la máxima tasa exigible al proyecto, en este caso expresada en forma progresiva. Según Preparación y Evaluación de Proyectos, Nassir Sapag Chain Reinaldo y Sapag Chain, Quinta edición, página 323 la TIR “representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo”.

Año	Beneficio neto	VAN	TIR
0	- 12.600.375	-	-
1	116.235	- 10.868.957,62	-99%
2	824.013	- 10.327.155,76	-74%
3	1.531.791	- 9.451.349,46	-46%
4	2.239.568	- 8.337.888,12	-25%
5	8.067.393	- 4.850.131,70	0%
6	8.067.393	- 1.817.300,03	11%
7	6.567.393	329.592,24	16%
8	8.067.393	2.622.848,70	19%
9	8.067.393	4.616.984,76	22%
10	8.067.393	6.351.016,11	24%
11	8.067.393	7.858.869,46	25%
12	8.067.393	9.170.046,28	26%
13	8.067.393	10.310.200,05	26%
14	8.067.393	11.301.638,10	27%
15	14.067.393	12.804.946,76	27%

Tabla 55. VAN y TIR del proyecto

Como puede observarse, el valor actual neto del proyecto comienza a ser positivo a partir de los 7 años, con una tasa interna de retorno del 16%. Es a partir de allí donde se supera la tasa de descuento y se comienza a conseguir un beneficio de la inversión realizada. La particularidad del tipo de proyecto, que necesariamente implica una alta inversión inicial y costos operativos altos, conlleva a que su análisis de rentabilidad debe proyectarse a largo

plazo. Pese a ello, como pudo observarse en el flujo de caja (ver Tabla 52 – Flujo de caja) el negocio planteado logra cubrir en cada año los costos operativos, los costos fijos y, además, obtener un rédito económico positivo.

A su vez, el presente negocio se adhiere a un negocio rentable que actualmente ya se encuentra en funcionamiento y logra crear una economía circular sostenible en el tiempo. Es importante aclarar que, como se vio en las necesidades del proyecto, además del beneficio económico que se persigue, se atienden y mejoran factores sanitarios y ambientales que logran condiciones viables de crianza y funcionamiento dentro del emplazamiento.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad del proyecto estará enfocado básicamente en la posible disminución de los ingresos, situación que se produciría principalmente por la disminución de las ventas de biofertilizante al mercado, no así en la venta de energía eléctrica.

El anterior supuesto se basa principalmente en el hecho de que la venta de energía eléctrica en baja tensión y baja potencia (respecto a los grandes generadores) a la distribuidora de energía no está sujeta a la potencia demanda por el sistema. Esto se debe simplemente a que la potencia que se pretende entregar al sistema no interactúa con la curva del sistema interconectado nacional y no poseerá orden de predespacho, sino que simplemente se entrega a la red radial en baja tensión. La única posibilidad de que deje de venderse energía eléctrica radica en el hecho de una falla o rotura en el generador, situación muy particular, aislada y fácilmente solucionable.

A su vez, se analizará la sensibilidad del aumento de los gastos variables. Esto se produciría al tener problemas operativos, reparaciones inesperadas o una mala administración de todos aquellos elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la planta (principalmente insumos).

Con el análisis de sensibilidad se pretende obtener los límites económicos dentro de los cuales se puede operar sin obtener un balance negativo y dará previsibilidad para la administración del negocio.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de las dos variables planteadas y sus correspondientes consecuencias en los años 1 (comienzo del proyecto), 4 (finalización de pago del préstamo) y 15 (fin de la vida útil) de funcionamiento de la planta de tratamiento de estiércol bovino.

Sensibilidad año 1

En el primer año de funcionamiento, culmina el período de gracia de pago de la amortización del préstamo. Esto da como resultado un alto costo de operación ya que se debe pagar la cuota más alta del préstamo según se vio en el Capítulo 5 - Evaluación económica – Financiamiento del proyecto, con el método de amortización alemán.

A continuación, según Tabla XX – Variables para análisis de sensibilidad en el año 1, se resumen los ítems que afectan la sensibilidad del primer año. La utilidad neta es relativamente baja comparada con los años siguientes, según se verá en la sensibilidad del año 4 y 15.

Sensibilidad año 1	
Ingresos	10.423.307
Gastos variables	695.834
Gastos fijos	2.876.382
Interés préstamo	3.856.481
Impuesto sobre ganancias	- 6.707
Amortización préstamo	5.444.444
Ingreso indirecto (fertilizante)	2.559.363
Utilidad neta	116.235

Tabla 56. Variables para análisis de sensibilidad en el año 1

Según puede verse a continuación, Tabla 57 – Sensibilidad año 1 según disminución de ingresos y aumento de costos variables, en el primer año pueden aumentarse los costos variables hasta un 95% sin la posibilidad de prácticamente disminuir los ingresos (5%) para obtener una utilidad neta positiva (resaltada en color verde). Esta tendencia obliga a reforzar las estrategias de venta y la búsqueda de potenciales clientes.

		Disminución de ingresos (%)											
		0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
Aumento de costos variables	0%	116.235	11.322.345	10.756.228	10.190.111	9.057.876	7.925.642	6.793.407	5.661.173	4.528.938	3.396.704	2.264.469	1.132.235
	5%	695.834	1.015.273	449.156	116.961	1.249.196	2.381.430	3.513.665	4.645.899	5.778.134	6.910.368	8.042.603	9.174.837
	10%	730.625	980.482	414.364,51	151.752,74	1.283.987,24	2.416.221,74	3.548.456,24	4.680.690,74	5.812.925,24	6.945.159,74	8.077.394,24	9.209.628,74
	15%	765.417	945.690	379.572,83	186.544,42	1.318.778,92	2.451.013,42	3.583.247,92	4.715.482,42	5.847.716,93	6.979.951,43	8.112.185,93	9.244.420,43
	20%	800.209	910.898	344.781,14	221.336,11	1.353.570,61	2.485.805,11	3.618.039,61	4.750.274,11	5.882.508,61	7.014.743,11	8.146.977,61	9.279.212,11
	25%	835.000	876.107	309.989,46	256.127,79	1.388.362,29	2.520.596,79	3.652.831,29	4.785.065,80	5.917.300,30	7.049.534,80	8.181.769,30	9.314.003,80
	30%	869.792	841.315	275.197,77	290.919,48	1.423.153,98	2.555.388,48	3.687.622,98	4.819.857,48	5.952.091,98	7.084.326,48	8.216.560,98	9.348.795,48
	35%	904.584	806.523	240.406,09	325.711,16	1.457.945,66	2.590.180,17	3.722.414,67	4.854.649,17	5.986.883,67	7.119.118,17	8.251.352,67	9.383.587,17
	40%	939.376	771.732	205.614,40	360.502,85	1.492.737,35	2.624.971,85	3.757.206,35	4.889.440,85	6.021.675,35	7.153.909,85	8.286.144,35	9.418.378,85
	45%	974.167	736.940	170.822,72	395.294,53	1.527.529,04	2.659.763,54	3.791.998,04	4.924.232,54	6.056.467,04	7.188.701,54	8.320.936,04	9.453.170,54
	50%	1.008.959	702.148	136.031,03	430.086,22	1.562.320,72	2.694.555,22	3.826.789,72	4.959.024,22	6.091.258,72	7.223.493,22	8.355.727,72	9.487.962,22
55%	1.043.751	667.357	101.239,34	464.877,91	1.597.112,41	2.729.346,91	3.861.581,41	4.993.815,91	6.126.050,41	7.258.284,91	8.390.519,41	9.522.753,91	
60%	1.078.542	632.565	66.447,66	499.669,59	1.631.904,09	2.764.138,59	3.896.373,09	5.028.607,59	6.160.842,09	7.293.076,60	8.425.311,10	9.557.545,60	
65%	1.113.334	597.773	31.655,97	534.461,28	1.666.695,78	2.798.930,28	3.931.164,78	5.063.399,28	6.195.633,78	7.327.868,28	8.460.102,78	9.592.337,28	
70%	1.148.126	562.982	3.135,71	569.252,96	1.701.487,46	2.833.721,96	3.965.956,46	5.098.190,97	6.230.425,47	7.362.659,97	8.494.894,47	9.627.128,97	
75%	1.182.917	528.190	37.927,40	604.044,65	1.736.279,15	2.868.513,65	4.000.748,15	5.132.982,65	6.265.217,15	7.397.451,65	8.529.686,15	9.661.920,65	
80%	1.217.709	493.398	72.719,08	638.836,33	1.771.070,83	2.903.305,33	4.035.539,84	5.167.774,34	6.300.008,84	7.432.243,34	8.564.477,84	9.696.712,34	
85%	1.252.501	458.606	107.510,77	673.628,02	1.805.862,52	2.938.097,02	4.070.321,52	5.202.566,02	6.334.800,52	7.467.035,02	8.599.269,52	9.731.504,02	
90%	1.287.292	423.815	142.302,45	708.419,70	1.840.654,20	2.972.888,71	4.105.123,21	5.237.357,71	6.369.592,21	7.501.826,71	8.634.061,21	9.766.295,71	
95%	1.322.084	389.023	177.094,14	743.211,39	1.875.445,89	3.007.680,39	4.139.914,89	5.272.149,39	6.404.383,89	7.536.618,39	8.668.852,89	9.801.087,40	
95%	1.356.876	354.231	211.885,82	778.003,08	1.910.237,58	3.042.472,08	4.174.706,58	5.306.941,08	6.439.175,58	7.571.410,08	8.703.644,58	9.835.879,08	

Tabla 57. Sensibilidad año 1 según disminución de ingresos y aumento de costos variables

Los resultados vistos en la tabla anterior pueden observarse en forma gráfica según Gráfico 14 – Sensibilidad año 1.

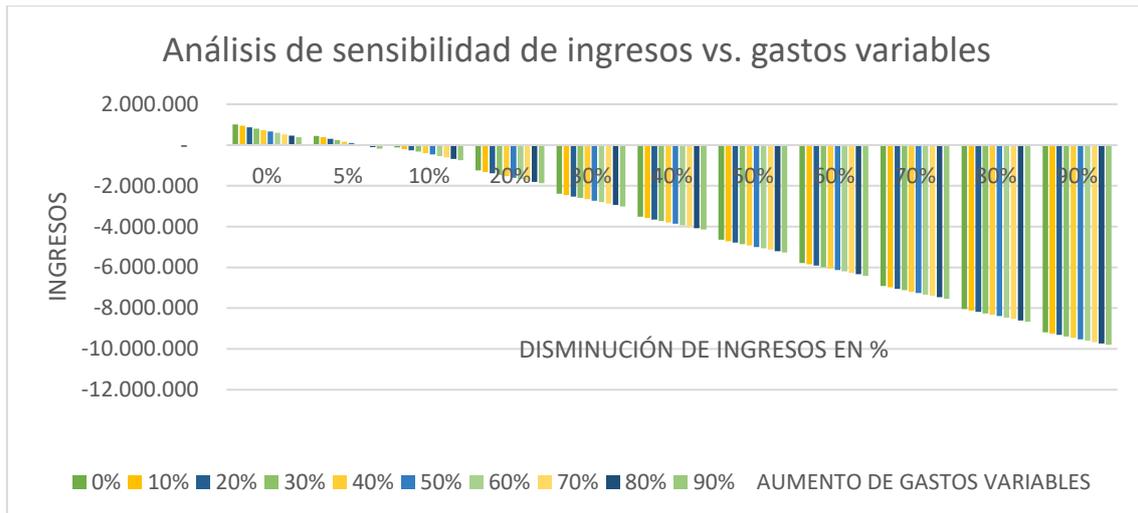


Gráfico 15. Sensibilidad año 1

Sensibilidad año 4

En el presente año, es decir el cuarto año de funcionamiento, culmina el pago del préstamo. Esto implica que se pagan los intereses más bajos de todo el proceso de devolución. Al igual que se realizó en el inciso anterior, se resumen a continuación las variables del año 4 que afectan la sensibilidad del proyecto. Es posible observar que el interés del préstamo es mucho más bajo, resultando en una utilidad neta más alta.

Sensibilidad año 4	
Ingresos	10.423.307
Gastos variables	695.834
Gastos fijos	2.876.382
Interés préstamo	589.815
Impuesto sobre ganancias	1.136.627
Amortización préstamo	5.444.444
Ingreso indirecto (fertilizante)	2.559.363
Utilidad neta	2.239.568

Tabla 58. Variables para análisis de sensibilidad en el año 4

Los resultados obtenidos de variar los ingresos negativamente y aumentar los costos variables para el año 4 pueden observarse a continuación, según Tabla 58 – Sensibilidad año 4 según disminución de ingresos y aumento de costos variables. Las posibilidades de variación aumentan, siempre obteniendo una utilidad neta positiva (remarcado en verde).

Los ingresos pueden disminuirse hasta un 30% con la posibilidad de aumentar como máximo los costos variables hasta un 95 %. Nuevamente, la variabilidad de los ingresos afecta más violentamente la sensibilidad del proyecto, lo que implica que en todo momento deben aplicarse estrategias de comercialización efectivas y direccionadas a los compradores de mercado para asegurar las ventas.

		Disminución de ingresos (%)										
		0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Aumento de costos variables	0%	2.239.568	11.322.345	10.756.228	10.190.111	9.057.876	7.925.642	6.793.407	5.661.173	4.528.938	3.396.704	2.264.469
	5%	695.834	3.138.607	2.572.490	2.006.372	874.138	-258.097	-1.390.331	-2.522.566	-3.654.800	-4.787.035	-5.919.269
	10%	730.625	3.103.815	2.537.697,85	1.971.580,60	839.346,10	-292.888,40	-1.425.122,90	-2.557.357,41	-3.689.591,91	-4.821.826,41	-5.954.060,91
	15%	765.417	3.069.023	2.502.906,16	1.936.788,91	804.554,41	-327.680,09	-1.459.914,59	-2.592.149,09	-3.724.383,59	-4.856.618,09	-5.988.852,59
	20%	800.209	3.034.232	2.468.114,48	1.901.997,23	769.762,73	-362.471,78	-1.494.706,28	-2.626.940,78	-3.759.175,28	-4.891.409,78	-6.023.644,28
	25%	835.000	2.999.440	2.433.322,79	1.867.205,54	734.971,04	-397.263,46	-1.529.497,96	-2.661.732,46	-3.793.966,96	-4.926.201,46	-6.058.435,96
	30%	869.792	2.964.648	2.398.531,11	1.832.413,86	700.179,35	-432.055,15	-1.564.289,65	-2.696.524,15	-3.828.758,65	-4.960.993,15	-6.093.227,65
	35%	904.584	2.929.857	2.363.739,42	1.797.622,17	665.387,67	-466.846,83	-1.599.081,33	-2.731.315,83	-3.863.550,33	-4.995.784,83	-6.128.011,34
	40%	939.376	2.895.065	2.328.947,73	1.762.830,48	630.595,98	-501.638,52	-1.633.873,02	-2.766.107,52	-3.898.342,02	-5.030.576,52	-6.162.811,02
	45%	974.167	2.860.273	2.294.156,05	1.728.038,80	595.804,30	-536.430,20	-1.668.664,70	-2.800.899,20	-3.933.133,70	-5.065.368,21	-6.197.602,71
	50%	1.008.959	2.825.482	2.259.364,36	1.693.247,11	561.012,61	-571.221,89	-1.703.456,39	-2.835.690,89	-3.967.925,39	-5.100.159,89	-6.232.394,39
	55%	1.043.751	2.790.690	2.224.572,68	1.658.455,43	526.220,93	-606.013,57	-1.738.248,07	-2.870.482,58	-4.002.717,08	-5.134.951,58	-6.267.186,08
	60%	1.078.542	2.755.898	2.189.780,99	1.623.663,74	491.429,24	-640.806,26	-1.773.039,76	-2.905.274,26	-4.037.508,76	-5.169.743,26	-6.301.977,76
	65%	1.113.334	2.721.107	2.154.989,31	1.588.872,06	456.637,56	-675.596,94	-1.807.831,45	-2.940.065,95	-4.072.300,45	-5.204.534,95	-6.336.769,45
	70%	1.148.126	2.686.315	2.120.197,62	1.554.080,37	421.845,87	-710.388,63	-1.842.623,13	-2.974.857,63	-4.107.092,13	-5.239.326,63	-6.371.561,13
75%	1.182.917	2.651.523	2.085.405,94	1.519.288,69	387.054,18	-745.180,32	-1.877.414,82	-3.009.649,32	-4.141.883,82	-5.274.118,32	-6.406.352,82	
80%	1.217.709	2.616.732	2.050.614,25	1.484.497,00	352.262,50	-779.972,00	-1.912.206,50	-3.044.441,00	-4.176.675,50	-5.308.910,00	-6.441.144,50	
85%	1.252.501	2.581.940	2.015.822,56	1.449.705,31	317.470,81	-814.763,69	-1.946.998,19	-3.079.232,69	-4.211.467,19	-5.343.701,69	-6.475.936,19	
90%	1.287.292	2.547.148	1.981.030,88	1.414.913,63	282.679,13	-849.555,37	-1.981.789,87	-3.114.024,37	-4.246.258,87	-5.378.493,88	-6.510.727,88	
95%	1.322.084	2.512.356	1.946.239,19	1.380.121,94	247.887,44	-884.347,06	-2.016.581,56	-3.148.816,06	-4.281.050,56	-5.413.285,06	-6.545.519,56	
95%	1.356.876	2.477.565	1.911.447,51	1.345.330,26	213.095,76	-919.138,74	-2.051.373,24	-3.183.607,74	-4.315.842,25	-5.448.076,75	-6.580.311,25	

Tabla 59. Sensibilidad año 4 según disminución de ingresos y aumento de costos variables

Lo hasta aquí expuesto puede observarse de forma gráfica según Gráfico XX – Sensibilidad año 4.

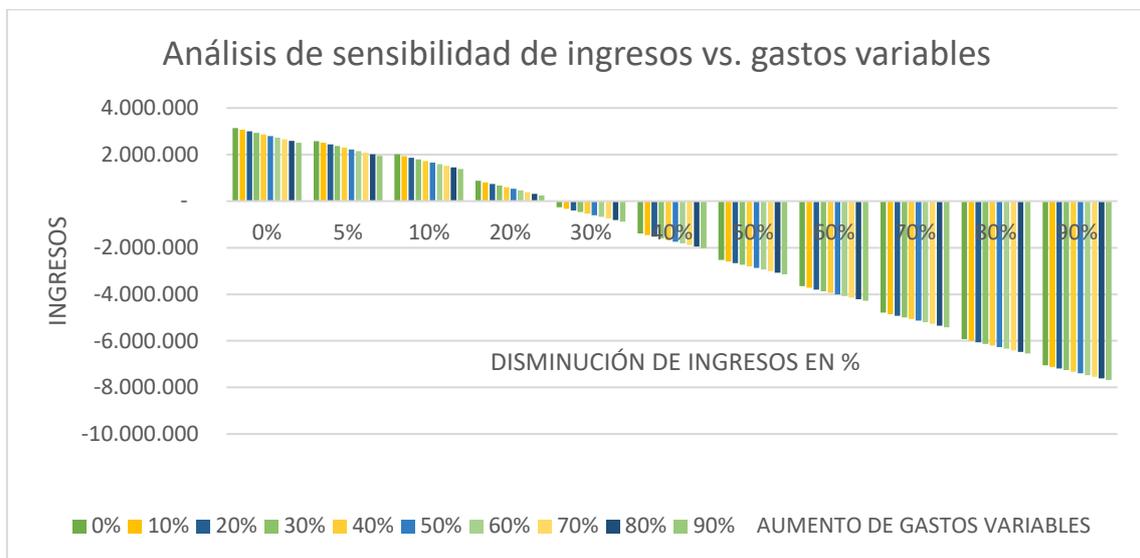


Gráfico 16. Sensibilidad año 4

Sensibilidad año 15

A partir del año 4, por averse culminado el pago del préstamo, los años siguientes se prevén idénticos hasta el año 15 donde culminaría la vida útil del proyecto. A continuación, se resumen las variables que afectan la sensibilidad del proyecto. No se incluyó el valor de desecho resultante por obtenerse este recién al culminar el funcionamiento del proyecto.

Sensibilidad año 15	
Ingresos	10.423.307
Gastos variables	695.834
Gastos fijos	2.876.382
Impuesto sobre ganancias	1.343.062
Utilidad neta	5.508.030

Tabla 60. Variables para análisis de sensibilidad en el año 15

La utilidad neta obtenida producto de no pagar intereses ni amortización del préstamo resulta significativamente más alta, permitiendo así más holgura en la variabilidad de los ingresos y de los costos variables, según puede

observarse en la Tabla 61 – Sensibilidad a los 15 años según disminución de ingresos y aumento de costos variables.

		Disminución de ingresos (%)										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
Aumento de costos variables		5.508.030	11.322.345	10.190.110,51	9.057.876,01	7.925.641,50	6.793.407,00	5.661.172,50	4.528.938,00	3.396.703,50	2.264.469,00	1.132.234,50
	0%	695.834	6.407.068	5.274.833,36	4.142.598,86	3.010.364,36	1.878.129,85	745.895,35	386.339,15	1.518.573,65	2.650.808,15	3.783.042,65
	5%	730.625	6.372.276	5.240.041,67	4.107.807,17	2.975.572,67	1.843.338,17	711.103,67	421.130,83	1.553.365,33	2.685.599,83	3.817.834,33
	10%	765.417	6.337.484	5.205.249,99	4.073.015,49	2.940.780,98	1.808.546,48	676.311,98	455.922,52	1.588.157,02	2.720.391,52	3.852.626,02
	15%	800.209	6.302.693	5.170.458,30	4.038.223,80	2.905.989,30	1.773.754,80	641.520,30	490.714,20	1.622.948,70	2.755.183,20	3.887.417,71
	20%	835.000	6.267.901	5.135.666,61	4.003.432,11	2.871.197,61	1.738.963,11	606.728,61	525.505,89	1.657.740,39	2.789.974,89	3.922.209,39
	25%	869.792	6.233.109	5.100.874,93	3.968.640,43	2.836.405,93	1.704.171,43	571.936,93	560.297,57	1.692.532,08	2.824.766,58	3.957.001,08
	30%	904.584	6.198.318	5.066.083,24	3.933.848,74	2.801.614,24	1.669.379,74	537.145,24	595.089,26	1.727.323,76	2.859.558,26	3.991.792,76
	35%	939.376	6.163.526	5.031.291,56	3.899.057,06	2.766.822,56	1.634.588,06	502.353,56	629.880,95	1.762.115,45	2.894.349,95	4.026.584,45
	40%	974.167	6.128.734	4.996.499,87	3.864.265,37	2.732.030,87	1.599.796,37	467.561,87	664.672,63	1.796.907,13	2.929.141,63	4.061.376,13
	45%	1.008.959	6.093.943	4.961.708,19	3.829.473,69	2.697.239,19	1.565.004,69	432.770,18	699.464,32	1.831.698,82	2.963.933,32	4.096.167,82
	50%	1.043.751	6.059.151	4.926.916,50	3.794.682,00	2.662.447,50	1.530.213,00	397.978,50	734.256,00	1.866.490,50	2.998.725,00	4.130.959,50
	55%	1.078.542	6.024.359	4.892.124,82	3.759.890,32	2.627.655,81	1.495.421,31	363.186,81	769.047,69	1.901.282,19	3.033.516,69	4.165.751,19
	60%	1.113.334	5.989.568	4.857.333,13	3.725.098,63	2.592.864,13	1.460.629,63	328.395,13	803.839,37	1.936.073,87	3.068.308,37	4.200.542,87
	65%	1.148.126	5.954.776	4.822.541,45	3.690.306,94	2.558.072,44	1.425.837,94	293.603,44	838.631,06	1.970.865,56	3.103.100,06	4.235.334,56
	70%	1.182.917	5.919.984	4.787.749,76	3.655.515,26	2.523.280,76	1.391.046,26	258.811,76	873.422,74	2.005.657,24	3.137.891,75	4.270.126,25
75%	1.217.709	5.885.193	4.752.958,07	3.620.723,57	2.488.489,07	1.356.254,57	224.020,07	908.214,43	2.040.448,93	3.172.683,43	4.304.917,93	
80%	1.252.501	5.850.401	4.718.166,39	3.585.931,89	2.453.697,39	1.321.462,89	189.228,39	943.006,11	2.075.240,62	3.207.475,12	4.339.709,62	
85%	1.287.292	5.815.609	4.683.374,70	3.551.140,20	2.418.905,70	1.286.671,20	154.436,70	977.797,80	2.110.032,30	3.242.266,80	4.374.501,30	
90%	1.322.084	5.780.818	4.648.583,02	3.516.348,52	2.384.114,02	1.251.879,52	119.645,01	1.012.589,49	2.144.823,99	3.277.058,49	4.409.292,99	
95%	1.356.876	5.746.026	4.613.791,33	3.481.556,83	2.349.322,33	1.217.087,83	84.853,33	1.047.381,17	2.179.615,67	3.311.850,17	4.444.084,67	

Tabla 61. Sensibilidad a los 15 años según disminución de ingresos y aumento de costos variables

Según puede verse en la tabla anterior, pueden disminuirse los ingresos en un 50% y aumentar los costos variables hasta un 95% y aun así obtener una utilidad neta positiva. La tendencia de sensibilidad puede observarse según Gráfico 16 – Sensibilidad año 15.

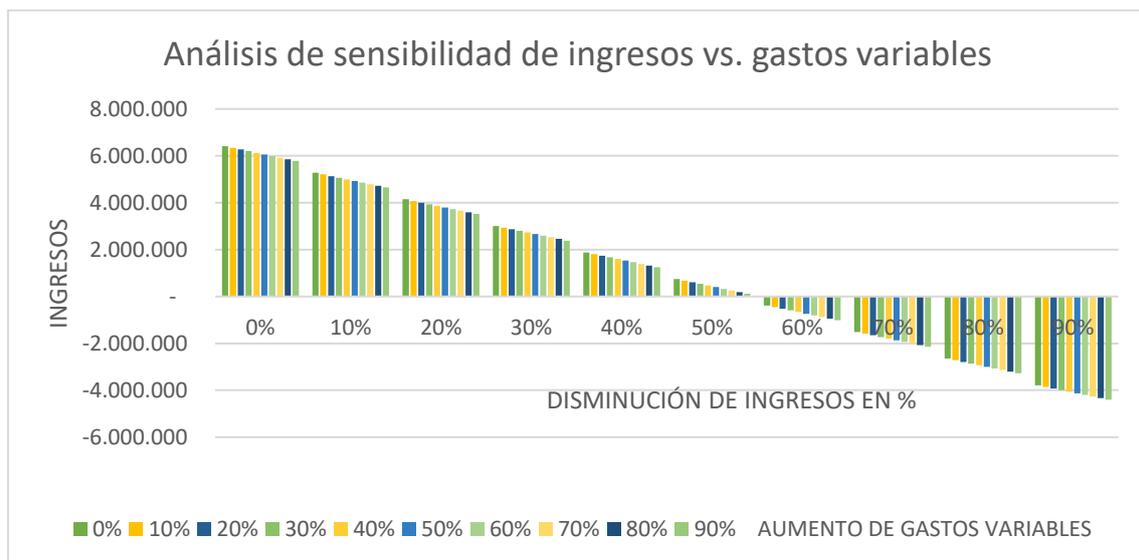


Gráfico 17. Sensibilidad año 15

Discusiones y conclusiones

Conclusiones particulares (respondiendo a los objetivos)

- Determinar y analizar las problemáticas que se manifiestan en un establecimiento de engorde intensivo a corral.

Se logró estudiar, comprender y documentar todas las complicaciones que trae aparejada la crianza intensiva de bovinos en recintos confinados. Estas problemáticas no solo afectan la crianza del animal, sino que también afectan el entorno ambiental y social del emplazamiento. A su vez, esto deriva en complicaciones económicas y de correcto funcionamiento del proceso productivo.

Se estudió detenidamente cual sería la solución particular a cada una de las dificultades existentes, dando como resultado una solución global, funcional y complementaria para el actual funcionamiento de la instalación.

- Establecer el impacto ambiental que produce en su entorno.

Los feedlots presentan inconvenientes relacionados con la contaminación ambiental, la sanidad humana y de los animales. Ambientalmente implican un área con alta concentración de materia fecal que no solamente emana gases de efecto invernadero, sino que además impermeabiliza los suelos y puede contaminar las napas de agua superficiales. Dicha concentración trae aparejados inconvenientes relacionados con condiciones insalubres para los propios animales, así como contaminación hacia el entorno aledaño.

- Plantear las soluciones técnicas necesarias para solucionar las problemáticas existentes.

El hormigonado de los corrales daría la posibilidad de facilitar la higiene, reducir el estrés animal y evitar la contaminación de suelos y napas de agua superficiales. La incorporación de un sistema de recolección automático de excreta que funcione a diario permitiría mejorar las condiciones de sanidad para los animales, y dar una mejor disposición final al estiércol para que pueda aprovecharse como materia prima.

El tratamiento de la materia orgánica a través de la tecnología de digestión anaerobia daría como resultado una solución integral a todas las problemáticas planteadas con respecto a los problemas ambientales, sanitarios, energéticos, económicos y de operación del feedlot.

La posibilidad de disponer de energía a través de la combustión del biogás en los lugares donde están ubicados los corrales de engorde brinda la posibilidad de potenciar y desarrollar con nuevas tecnologías este tipo de establecimientos.

- Analizar el mercado competente de feedlots en la provincia de Mendoza.

El análisis realizado sobre la provincia de Mendoza arrojó que 80% de los feedlots registrados se encuentran en el sur de la provincia, lo que brinda un gran abanico para la instalación de futuras plantas de biogás de características similares. El hecho de ser una planta pionera en la región sería el puntapié inicial para el desarrollo de la tecnología en la zona.

- Definir el estado actual del conocimiento respecto al funcionamiento de los feedlots.

Actualmente, la metodología de crianza en feedlots, pese a que persigue un objetivo de producción intensiva, se realiza con técnicas netamente rudimentarias y tradicionales, heredadas de la crianza a pasturas convencional. Esto implica que se arrastran problemas que se repiten permanentemente y que no permiten aumentar la eficiencia del proceso. En Argentina, el desarrollo de técnicas innovadoras de alimentación, de recolección y de disposición final de estiércol no se encuentran implementadas prácticamente en ningún establecimiento.

- Estudiar la factibilidad legal de introducir la planta de tratamiento en la provincia de Mendoza.

Desde el punto de vista legal, tanto a nivel nacional como provincial, estas las plantas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables pueden operar e inyectar energía a la red con la correspondiente evaluación de impacto ambiental y habilitación municipal.

Desde el punto de vista del biofertilizante, con la aprobación de SENASA y la debida inscripción del feedlot como productor, puede ser comercializado sin ningún impedimento a nivel nacional.

- Análisis social

Desde el punto de vista social, este proyecto requiere de personal permanente para la operación de la planta, otorgando trabajo a 3 personas en forma constante. Cabe aclarar que para la construcción del mismo se emplearía personal local, contratando mano de obra de empresas privadas para la construcción civil y para las empresas encargadas de la automatización de los equipos.

En adición a lo anterior, el proyecto promueve la construcción de una planta pionera en el sur de la provincia que busca tener un impacto positivo en el medio ambiente e incorporar nuevas tecnologías que representen un antecedente importante para el territorio.

Esto último hace a la responsabilidad social empresarial y puede ser una motivación para que otros empresarios agropecuarios con feedlots puedan

adherirse al uso de esta tecnología y, a su vez, logren mejorar su imagen social como empresa.

- Analizar la viabilidad económica de las soluciones técnicas necesarias.

Dentro de las soluciones técnicas necesarias para suplir todas las necesidades existentes en el feedlot, una de las que mayor costo posee (aproximadamente el 50% del total) es el hormigonado y armado de los corrales. Esto se debe a la gran extensión superficial que se requiere para albergar cómodamente a los animales y lograr la recolección del estiércol producido. Esta parte del proyecto es un bloque fundamental ya que sin el sería imposible la recolección diaria del estiércol bovino.

El otro 50% del presupuesto necesario para la instalación de la planta de tratamiento está relacionado con la construcción civil y los demás periféricos necesarios para su funcionamiento.

- Determinar la inversión requerida para el desarrollo del proyecto.

Esta planta requiere, para su construcción, un financiamiento por parte del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación de \$24.500.000. Este crédito sería devengado con los ingresos obtenidos a través de la producción de la planta en un período de 4 años, con un primer medio año adicional de gracia para su construcción. En dichos 6 meses, es decir, al momento de montar la planta, solo se incurre en los gastos de interés por el total del crédito recibido.

A su vez, se deberá contar con una inversión por parte del propietario del feedlot "Renacer" de \$12.500.000.

- Analizar los mercados relacionados que permitan generar un retorno de inversión viable.

Desde el punto de vista energético, la energía eléctrica generada e inyectada a la red representa una fuente de ingreso de dinero estable en la medida en que se produce. Si bien el precio de pago por kW*hr de energía no presenta una gran oportunidad en términos de beneficios económicos, cabe la posibilidad de utilizar el excedente de energía para maquinarias eléctricas de altos consumos y que puedan reducir costos operativos del feedlot. Un ejemplo de esto pueden ser bombas sumergibles para equipos de riego, las cuales son empleadas para el riego de cultivos como maíz, cebada, etc. que se asocian directamente con la actividad agropecuaria. También existe la posibilidad que en los próximos años existan promociones provinciales o nacionales que mejoren las condiciones de pago por la energía inyectada, lo que podría mejorar la economía de productores que tengan proyectos de bioenergía.

Por otra parte, el biofertilizante excedente que no es utilizado dentro de las instalaciones para las pasturas, puede ser vendido siendo un producto atractivo, competitivo y con muy buen rendimiento con respecto a los agroquímicos convencionales de mercado. La venta de biofertilizante constituye una gran oportunidad económica y es el pilar fundamental del

retorno de la inversión. A su vez, la producción propia de fertilizante representa un ahorro económico muy significativo en los gastos periódicos del emplazamiento.

- Calcular la rentabilidad que tendrá el proyecto en la zona local.

Además de analizar la realización del proyecto como un negocio individual, surge la necesariamente el hecho de analizar el complemento que el mismo produce sobre el negocio ya en funcionamiento del feedlot.

La instalación de la planta de tratamiento de estiércol, con la consecuente obtención final de energía eléctrica y biofertilizante, termina por cerrar el ciclo económico y funcional del feedlot. Esto da como resultado un ciclo de economía circular que estabiliza la actividad financiera, promueve la optimización de recursos, la reducción del consumo de materias primas y el aprovechamiento de los recursos disponibles para su aplicación dentro del establecimiento.

Conclusión general

De la investigación y del desarrollo realizado mediante el presente informe se desprende, como conclusión general, que la realización del proyecto de construcción e instalación de una planta de tratamiento de estiércol bovino en el feedlot “Renacer”, para la obtención de biogás y biofertilizante, es totalmente posible, funcional y conveniente de llevar a cabo.

Se entiende que la solución planteada es la más recomendable en términos de un abordaje integral de todas las problemáticas existentes. Mediante la misma, se logran suplir inconvenientes ambientales, económicos, operativos y sanitarios que están presentes en el proceso productivo de la crianza de los vacunos a corral.

El hecho de que uno de los pilares fundamentales del proyecto sea la producción de energía a partir de una fuente renovable, impulsa significativamente su realización en términos de financiamiento, promoción y legislación. Las tendencias actuales de producción energética se encuentran encaminadas dentro de esta rama y son fundamentales para el abastecimiento futuro de energía sustentable.

El otro pilar primordial del proyecto, es decir, la producción de biofertilizante, se enmarca también dentro de otra tendencia de mercado en auge, como es la de los fertilizantes orgánicos. Estos últimos se encuentran ganando mercado frente a los agroquímicos convencionales y permiten implementar una agricultura sostenible y ecológica.

Económicamente hablando, la financiación disponible para este proyecto y el retorno de la inversión esperado, impulsan significativamente su realización con una inversión relativamente baja para el propietario. A su vez, el complemento con las ya existentes actividades del feedlot, logra crear una economía circular con el mayor aprovechamiento posible de los recursos disponibles.

Desde el punto de vista tecnológico, la realización del presente proyecto dotaría de un equipamiento innovador y pionero para la región. La gran presencia de instalaciones que desarrollan la misma actividad ganadera en la zona permitiría el posterior desarrollo de esta tecnología en forma masiva.

Trabajos citados

Avila Grothusen, M., Sotomayor Bohle, E., Erlwein Vicuña, A., & Cerda Rosenberg, F. (2016). *Biogás de residuos agropecuarios en la región de los ríos* Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y Gobierno Regional de Los Ríos.

Biogás de residuos agropecuarios en la región de los ríos Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y Gobierno Regional de Los Ríos . (s.f.).

FAO. (2011). *Manual de Biogás*.

FAO. (2019). *Guía técnico-regulatoria para la habilitación de plantas de biogás y homologación de artefactos y equipos para su uso. Colección Informes Técnicos N°1*. Buenos Aires.

Robles, S. A. (2008). *Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para Producción de Biogás*.

seatemperature.info. (2021). *sea temperature info*. Obtenido de <https://seatemperature.info/es/argentina/san-rafael-temperatura-del-agua-del-mar.html>

spark, w. (2020). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/27306/Clima-promedio-en-San-Rafael-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures->

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de planta para tratamiento de estiércol bovino	11
Figura 2. Imagen aérea del establecimiento de engorde a corral, Resolana, Colonia Elena	17
Figura 3. Imagen de los corrales, establecimiento de engorde a corral, Resolana, Colonia Elena	17
Figura 4. Potencial de generación de biogás en la República Argentina, plan Renovar	23
Figura 5. Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en MWh) en Argentina – Fuente: IRENA (International Renewable Energy Agency)	24
Figura 6. Evolución de la capacidad instalada de bioenergía a partir de biogás (en MW) en Argentina – Fuente: IRENA.....	24
Figura 7. Evolución de la energía eléctrica producida a partir de biogás (en GWh) en el mundo – Fuente: IRENA.....	26
Figura 8. Evolución de la capacidad instalada de energía eléctrica a partir de biogás (en MW) en el mundo – Fuente: IRENA.....	26
Figura 9. Diagrama de la cadena trófica del compostaje anaeróbico. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 10. Equivalencias del biogás con otras fuentes de energía - Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - España....	30
Figura 11. Composición biogás. Fuente: Manual de Biogás – María Teresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 2011	31
Figura 12. Esquema de tecnología de digestor adoptada, tipo “Hindú con geomembrana”	40
Figura 13. Esquema de feedlot indicando las diferentes partes. Elaboración propia.....	42
Figura 14. Corral abierto con piso hormigonado. Fuente: Beef Feedlot Systems Manual 1 -2015 Figura 3 - Página 10.....	43
Figura 15. Ejemplo de cubículos para descanso de los animales y zona de barrido de estiércol	44
Figura 16. Distribución de corrales. Elaboración propia	45
Figura 17. Condiciones resultantes del diseño de corrales	45
Figura 18. Descarga de alimento sobre la cinta transportadora	46
Figura 19. Avance de la cinta transportadora	46
Figura 20. Acumulación de estiércol en la zona cercana al comedero	47
Figura 21. Modelo propuesto de rascador lateral para 50 animales	48
Figura 22. Temperatura promedio en San Rafael.....	50
Figura 23. Temperatura promedio por hora en San Rafael.....	50
Figura 24. Esquema de piletta de carga diseñada.....	55
Figura 25. Esquema de digestor diseñado.....	59
Figura 26. Esquema de partes internas de biodigestor.....	59
Figura 27. Caldera de pie Caldaia	61

Figura 28. Esquema de agitador diseñado	63
Figura 29. Especificaciones técnicas de bomba seleccionada.....	64
Figura 30. Curva caudal – altura.....	65
Figura 31. Especificaciones técnicas del caño para calefacción	66
Figura 32. Esquema de circuito de gas - Fuente: Elaboración propia	67
Figura 33. Partes de la cúpula del biodigestor	68
Figura 34. Curva característica de un ventilador	69
Figura 35. Curvas de distintos tipos de ventiladores.....	70
Figura 36. Especificaciones técnicas de soplador seleccionado.....	72
Figura 37. Curva característica de soplador.....	72
Figura 38. Filtrado por absorción.....	75
Figura 39. Ciclo de Filtrado por adsorción	75
Figura 40. Filtro seleccionado de carbón activado	77
Figura 41. Antorcha seleccionada	78
Figura 42. Generador cabinado a gas 100kVA marca New Holland	78
Figura 43. Esquema de instalación indicando las diferentes partes de la planta	79
Figura 44. Comederos y scraper.....	80
Figura 45. Corrales	81
Figura 46. Pileta de carga	81
Figura 47. Digestor y pileta de descarga	82
Figura 48. Planta general.....	82
Figura 49. Esquema rascadores	83
Figura 50. Rascador - Detalle constructivo.....	83
Figura 51. Modelo de experimentación.....	98
Figura 52. Normativa Nacional para energías renovables	109
Figura 53. Anexo I, II y III - Rama N° 17 Metalmecánica y Otras. Acuerdo salarial entre UOMRA y las Cámaras	132
Figura 54. Preparación de biol bovino con úrea y fertilizante 18-46.....	135
Figura 55. Generador 100kVA	141
Figura 56. Generador 100kVA - Datos técnicos	141

Índice de tablas

Tabla 1. Plantas de biogás en operación dentro de la República Argentina	25
Tabla 2. Componentes de bioles obtenidos de distintas fuentes	32
Tabla 3. Temperaturas mensuales del agua en San Rafael.....	51
Tabla 4. Diferencia de temperatura diaria entre ambiente y agua en Enero y Julio	52
Tabla 5. Evapotranspiración máxima según hora del día	53
Tabla 6. Cantidad de materia orgánica en pileta de carga (en kg).....	55
Tabla 7. Fermentación y rangos de temperatura - Fuente: Manual de Biogás – María Teresa Varnero Moreno - Santiago de Chile 2011.....	57
Tabla 8. Resumen de diámetros de cañería según tramo	74
Tabla 9. Cargas eléctricas de la instalación con planta. Fuente: elaboración propia.....	87
Tabla 10. Consumos según horario feedlot. Fuente: elaboración propia	88
Tabla 11. Cuadro tarifario vigente. Fuente: EDEMSA	89
Tabla 12. Totales de energía y costos. Fuente: elaboración propia.....	90
Tabla 13. Resumen datos animales feedlot “Renacer”	90
Tabla 14. Extracto producción total de estiércol diaria.....	91
Tabla 15. Potencial de generación del estiércol	91
Tabla 16. Potencial de generación del estiércol de diferentes animales.....	92
Tabla 17. Extracto de producción diaria de biogás.....	94
Tabla 18. Especificaciones de potencia nominal de caldera seleccionada ...	94
Tabla 19. Extracto de consumo de biogás de caldera por día.....	95
Tabla 20. Especificaciones técnicas generador 100 kVA.....	96
Tabla 21. Precio de la energía eléctrica por rango horario según tarifa vigente. Fuente: EDEMSA	96
Tabla 22. Extracto de producción horaria y diaria de energía eléctrica en términos de potencia	97
Tabla 23 - Tabla resumen de cálculos de experimentación, volumen constante	100
Tabla 10 - Tabla resumen de cálculos de experimentación, presión constante	100
Tabla 10 - Tabla resumen de cálculos de experimentación, combinados ...	101
Tabla 26. Distribución de operarios	106
Tabla 27. Carga horaria semanal del personal de planta	106
Tabla 28. NAG 602 Año 2019 – año 2019, página 19.....	113
Tabla 29. Naturaleza del impacto - Matriz de impacto ambiental	119
Tabla 30. Matriz de Impacto Ambiental etapa de construcción	120
Tabla 31. Matriz de Impacto Ambiental etapa de funcionamiento	120
Tabla 32. Matriz de Impacto Ambiental etapa de abandono	120
Tabla 33. Costos de construcción civil de biodigestor con sus periféricos. Elaboración propia.....	130

Tabla 34. Costo total de construcción biodigestor 500m ³ para 1000 bovinos. Elaboración propia.....	130
Tabla 35. Costos operacionales fijos. Elaboración propia	131
Tabla 36. Costos operacionales variables. Elaboración propia	131
Tabla 37. Cantidad y precios de fertilizante agroquímico por ha	133
Tabla 38. Proporciones de nitrógeno y fósforo de fertilizantes agroquímicos	133
Tabla 39. Costos anuales de fertilizantes según cantidad de ha	133
Tabla 40. Proporción de nitrógeno y fósforo del digestato	134
Tabla 41. Equivalencia química entre el biofertilizante y los fertilizantes químicos.....	134
Tabla 42. Proporciones y costos del biofertilizante preparado.....	135
Tabla 43. Consumo interno anual y sobrante de biofertilizante, feedlot Renacer.....	136
Tabla 44. Precio estimado de biofertilizante al mercado. Fuente: Elaboración propia.....	137
Tabla 45. Resumen de variables intervinientes en el manejo del biofertilizante	137
Tabla 46. Precio de energía volcada, tarifa vigente. Fuente: EDEMSA.....	139
Tabla 47. Especificaciones técnicas generador 100 kVA.....	140
Tabla 48. Extracto de producción horaria y diaria de energía eléctrica en términos económicos	142
Tabla 49. Flujo de caja con inversionista - Preparación y Evaluación de Proyectos, Nassir Sapag Chain Reinaldo y Sapag Chain	144
Tabla 50. Flujo de caja del proyecto (primeros 5 años)	145
Tabla 51. Flujo de caja del proyecto (año 6 al 10).....	146
Tabla 52. Flujo de caja del proyecto (año 11 al 15).....	146
Tabla 53. Variables flujo de caja. Elaboración propia	147
Tabla 54. Ingresos mensuales. Elaboración propia	147
Tabla 55. VAN y TIR del proyecto.....	148
Tabla 56. Variables para análisis de sensibilidad en el año 1	150
Tabla 57. Sensibilidad año 1 según disminución de ingresos y aumento de costos variables	150
Tabla 58. Variables para análisis de sensibilidad en el año 4	151
Tabla 59. Sensibilidad año 4 según disminución de ingresos y aumento de costos variables	152
Tabla 60. Variables para análisis de sensibilidad en el año 15	152
Tabla 61. Sensibilidad a los 15 años según disminución de ingresos y aumento de costos variables	153

Índice de gráficos

Gráfico 1. Árbol de problema (causa y efecto) en relación a la gran concentración de estiércol.....	13
Gráfico 2. Árbol de problema (causa y efecto) en relación a la escasez de energía y altos costos de los fertilizantes.....	14
Gráfico 3. Ubicación de feedlots en la provincia de Mendoza	16
Gráfico 4. Posibles usos del Biogás - Fuente: Elaboración propia	22
Gráfico 5. Matriz energética de la República Argentina. Fuente: Ministerio de Energía y Minería	22
Gráfico 6. Tenor porcentual de distintos elementos que componen el biogás. Fuente: elaboración propia	30
Gráfico 7. Tipos de biodigestores. Elaboración propia	36
Gráfico 8. Etapas básicas de proceso. Elaboración propia	40
Gráfico 9. Consumo de energía eléctrica de la planta. Fuente: elaboración propia.....	88
Gráfico 10. Organigrama de operarios.....	105
Gráfico 11. Desarrollo del análisis económico del proyecto. Elaboración propia.....	123
Gráfico 12. Análisis FODA del proyecto. Elaboración propia	125
Gráfico 13. Resumen venta fertilizante	138
Gráfico 14. Ingresos en pesos por inyección de energía eléctrica (100kVAh) según el transcurso de los días.....	142
Gráfico 15. Sensibilidad año 1.....	151
Gráfico 16. Sensibilidad año 4.....	152
Gráfico 17. Sensibilidad año 15.....	153