

“Incorporación de planta de biogás en una empresa para autoabastecimiento de energía eléctrica y biofertilizantes”



Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial

Alumno:

Jaime, Ignacio Facundo

2024

NOMBRE DEL TITULO: INGENIERIO INDUSTRIAL

Juan Francisco Linares

Profesor Guía: Linares Juan Francisco

Alumno: Jaime Ignacio Facundo

Presidente Tribunal Evaluador:

I Miembro Tribunal Evaluador:

II Miembro Tribunal Evaluador:

Fecha de exposición: _____

Agradecimientos y dedicatorias

En primer lugar, agradezco a mi profesor de tesis, Juan Francisco Linares, por su guía, paciencia y apoyo a lo largo de este proceso.

Agradezco también a mis profesores y compañeros de la Facultad de Ingeniería por tantos consejos y aprendizaje que me brindaron a lo largo de mi carrera.

Agradezco a la empresa Ledesma por proporcionar la información y acceso necesario para llevar a cabo este trabajo.

Quiero expresar todo mi agradecimiento también a mi familia y amigos, quienes siempre estuvieron apoyándome y motivándome a seguir. Gracias por toda su comprensión y por estar siempre a mi lado.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, me ayudaron en la realización de esta tesis y en todos estos años de carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	4
RESUMEN.....	10
1-INTRODUCCIÓN.....	11
Contexto y descripción del problema.....	11
Energías Renovables.....	12
Biomasa.....	12
Ventajas principales de las energías renovables.....	13
Ventajas ambientales.....	13
Ventajas económicas.....	13
Ventajas sociales.....	13
Objetivo del proyecto de tesis.....	13
2-ANÁLISIS DE MERCADO.....	14
Descripción de los productos.....	14
Producto principal y subproducto.....	14
Materia prima.....	15
Efecto de los residuos semisólidos.....	15
Beneficios de utilizar los residuos.....	17
Área de mercado objetivo e influencia del proyecto.....	17
Disponibilidad de la materia prima.....	18
Presentación del establecimiento.....	18
Demanda propia de energía eléctrica.....	19
Análisis de la demanda propia de biofertilizantes.....	20
Análisis del proyecto.....	21
Análisis de precios.....	22
Comercialización y distribución.....	24
Proveedores geomembrana y generador.....	24
Análisis Pestel.....	25
Factores políticos.....	25
Factores económicos.....	26
Factores ecológicos.....	27
Factores legales.....	27
Análisis FODA.....	28
Fortalezas.....	28
Oportunidades.....	28
Debilidades.....	29
Amenazas.....	29
Conclusiones.....	29
3-ANÁLISIS TÉCNICO.....	30

Biogás.....	30
Composición del biogás.	30
Método de producción de biogás	31
Biodigestores	32
Digestión anaerobia.....	32
1°-Hidrolisis.....	33
2°-Acidogénesis y Acetogenesis	33
3°-Metanogénesis	33
Propiedades energéticas del biogás	34
Usos del biogás	35
Tipos de biodigestores.....	36
Biodigestor de campana flotante.....	37
Biodigestor de campana fija	37
Biodigestor tubular o de flujo de pistón	39
Conclusiones sobre biodigestor.....	39
Biodigestor para el proyecto (laguna cubierta)	40
Condiciones para la biodigestión	41
Factores físico-químicos de control	42
A) Temperatura	42
B) pH	43
C) Relación carbono/nitrógeno	44
D) Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	45
Factores que determinan o condicionan el tamaño del proyecto	46
Dimensionamiento del biodigestor	47
Cálculo de volumen útil del biodigestor	47
Características para la construcción del biodigestor.....	48
Localización óptima del proyecto	50
Proceso de Producción de Energía Eléctrica y Biofertilizantes	51
Equipos y partes del biodigestor	54
Geomembrana	54
Instrumentación principal para control de proceso.....	56
pH.....	56
Redox	57
Temperatura.....	57
Concentración de CH ₄	59
Caudal de biogás	60
Agitadores	60
Purificación del biogás	62
Separador Helicoidal	62
Motogenerador	63

Organización para la producción	64
4-MARCO LEGAL	65
Reglamentación vigente en el país	65
Proyectos relacionados	66
Plan Renovar.....	67
Normativas Ambientales	67
Organismos competentes.....	68
5-ANALISIS AMBIENTAL	69
Economía Circular	69
Ventajas y desventajas de la economía circular	70
Importancia de la economía circular.....	71
Aplicación de economía circular al proyecto	71
Los 17 ODS	71
EIA (Evaluación de impacto ambiental)	73
Matriz de Leopold	73
Desarrollo de la Matriz de Leopold	74
6-ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	76
Diferencias entre situación sin proyecto y con proyecto	76
Inversiones requeridas.....	77
Costo de operación.....	78
Costos variables.....	78
Costos fijos.....	78
Depreciaciones.....	79
Flujo de fondos financiero.....	80
Flujo Incremental	81
Flujo Sin Proyecto	81
Flujo Con Proyecto.....	82
Análisis de resultados financieros	84
7-CONCLUSIÓN	85
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXO.....	89
Anexo 1 - Proceso productivo de Planta de Jugos y Aceites de Ledesma.....	89
Anexo 2 - Cálculos.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Cantidad de Energía contratada a CAMMESA	19
Tabla 2 - Cantidad de Hectáreas a fertilizar	20
Tabla 3 - Equivalencias de nutrientes	20
Tabla 4 – Cantidad de fertilizante para cultivo.....	21
Tabla 5 – Energía proporcionada por el proyecto	21
Tabla 6- Fertilizante proporcionado por el proyecto	22
Tabla 7 – Costos en Fertilizante	23
Tabla 8 - Ahorro en fertilizante	23
Tabla 9 - Ahorro en Energía Eléctrica	23
Tabla 10 - Composición química del biogás.	30
Tabla 11 - Tiempos de retención hidráulico según climas regionales.	46
Tabla 12 - Dimensiones del biodigestor del proyecto	48
Tabla 13 – Propiedades mínimas necesarias de la geomembrana.	55
Tabla 14 - Matriz de Leopold	74
Tabla 15- Inversión en activos fijos.....	77
Tabla 16- Inversión en activos intangibles.....	77
Tabla 17- Mano de obra directa.....	78
Tabla 18-Detalle de cargas sociales.....	79
Tabla 19 - Depreciaciones.....	79
Tabla 20 - Flujo Incremental	81
Tabla 21 - Flujo Sin Proyecto.....	81
Tabla 22 - Flujo con proyecto	82
Tabla 23 - Flujos financieros.....	82
Tabla 24 - Indicadores VAN y TIR	82
Tabla 25 - Tasa de descuento	83
Tabla 26 - Periodo de recupero.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Ubicación de fábrica de jugos y aceites esenciales Ledesma.....	18
Figura 2 - Procesamiento de frutas en Ledesma.....	19
Figura 3 - Equivalencia de biogás con otras fuentes de energía.....	35
Figura 4 - Usos del biogás.....	36
Figura 5 - Biodigestor de campana flotante	37
Figura 6 - Biodigestor de campana fija.....	38
Figura 7 - Biodigestor tubular o de flujo de pistón.....	39
Figura 8- Biodigestor de laguna cubierta	41
Figura 9 - Construcción de pozo y taludes de la laguna	48
Figura 10- Diseño del biodigestor	49
Figura 11-Mapa con vista panorámica	50
Figura 12 –Mapa con vista detallada del predio de aprox. 27.000m ²	51
Figura 13 – Modelo de extractoras JBT instaladas en Ledesma	52
Figura 14 - Tornillo sinfin de la fábrica de jugos de Ledesma trasportando residuos cítricos.....	52
Figura 15 - Interior de extractoras de jugo JBT instaladas en Ledesma	53
Figura 16 - Colocación de la geomembrana para cubrir el fondo de la laguna y tuberías necesarias para la succión de lodos residuales	54
Figura 17-Tubería alrededor de la laguna, cuya función es la captación del biogás que se generará en cuanto se cubra la laguna.....	54
Figura 18 - Geomembrana expandida.....	55
Figura 19 – Controlador multiparámetro KM 3000.....	58
Figura 20- Sensor Redox Digital Memosens CPF82E para tratamiento de aguas residuales.....	58
Figura 21 – Electrodo pH InPro3100/PT1000 con sensor de temperatura para mediciones en bioprocesos microbianos.....	58
Figura 22 - Sensor de CH ₄ proporcionado por Aqualimpia	59
Figura 23 - Medidor de caudal de biogás.....	60
Figura 24 - Agitadores instalados en biodigestor primer ejemplo.....	61
Figura 25 - Agitadores instalados en biodigestor segundo ejemplo	61
Figura 26 - Filtro de remoción de H ₂ S y siloxanos	62
Figura 27 - Separador Helicoidal.....	63
Figura 28 - Generadores adaptados para biogás.....	63
Figura 29 - Economía lineal y circular.....	69
Figura 30 - Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Digestión anaerobia.....	34
Gráfico 2 - Tasa de crecimiento relativo de microorganismos Psicrofílicos, Mesofílicos y Termofílicos.....	42
Grafico 3 - Producción de Biogás en función de Temperatura	43
Grafico 4 - Composición del biogás en función del pH.....	44
Gráfico 5 - Proceso de Producción de electricidad y biofertilizantes.....	51
Gráfico 6 - Organigrama del establecimiento	64

RESUMEN

LEDESMA S.A.A.I. es una empresa jujeña dedicada principalmente a la producción de azúcar y papel, pero también tienen una participación en alcohol, bioetanol, carne, cereales, jugos y frutas, esta última es con la materia prima que se utilizara en el proyecto. Por tanto, el proyecto que se describe a continuación está destinado al estudio de la viabilidad correspondiente a la instalación de una planta de producción de biogás para la generación de energía eléctrica localizada dentro de la empresa. Además, como subproducto del proyecto se obtiene biofertilizante tanto líquido como sólido, capaz de suplir las necesidades de macro nutrientes de los suelos destinados a cultivo, constituyendo así un significativo ahorro.

Para llevar a cabo este proyecto se utilizará un biodigestor de membrana flexible. Esta tecnología es la más conveniente considerando las características del efluente que deriva de la industrialización de los cítricos. Para concretarlo se requiere de una inversión de U\$D 1.620.210, de la cual el 91% corresponde a activos fijos y el 9% a los activos intangibles.

Para poder respaldar la viabilidad de este proyecto se calculó el VAN con un resultado negativo y la TIR con un resultado positivo por lo que el proyecto no es la mejor opción con respecto a otros, pero si genera ganancias con el tiempo además de agregar valor a la empresa en el ámbito ambiental obteniendo una economía circular de aprovechamiento de todos sus recursos y eliminando un efluente como son sus desechos cítricos.

1-INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son fuentes de energía limpia e inagotable. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes.

El biogás es un combustible que se genera por la descomposición microbiológica de la materia orgánica en un proceso espontáneo que se da en un entorno húmedo y anaeróbico. Es un compuesto cuyo componente principal es el metano y, por lo tanto, puede ser utilizado para la generación de energía. El biogás se produce de manera natural pero también puede ser generado en ambientes controlados, es decir, en equipos que se llaman sistemas de biodigestión. Los mismos son alternativas de producción de energía limpia a partir de material orgánico (excretas, sueros, agua residual, residuos orgánicos en general) a los cuales, en la mayoría de las ocasiones, no se les da ningún valor en el ciclo productivo de un establecimiento rural o empresa. Las plantas de biogás permiten generar beneficios tangibles, como generación de energía térmica y/o eléctrica, producción de biofertilizantes, disminución de la contaminación en cuerpos receptores de agua (ríos, lagos, etc.) y obtención de un beneficio económico. Las citricolas por su parte, son establecimientos donde se puede instalar un sistema de biodigestión debido a la gran cantidad de residuos que estos generan. El estudio busca no sólo reducir el impacto ambiental del establecimiento, sino también producir energía renovable independiente de los combustibles fósiles y además obtener biofertilizantes que derivan de la transformación de la materia orgánica.

Contexto y descripción del problema

Una de las industrias que abordo la empresa Ledesma, conocida como una de las industrias de azúcar más grandes de la Argentina. es la producción de fruta fresca y jugo concentrado, la cual toda su producción se centraliza en la fábrica de jugos y el empaque, localizado en la ciudad de Libertador Gral. San Martín, el nivel de producción que manejan suele ser de un volumen significativo y logran exportar grandes cantidades del mismo. Es por esto que debido al gran nivel de producción que tienen a su vez también tienen grandes cantidades de residuos generados, principalmente residuos cítricos, la fábrica de jugos trabaja por campaña con tres tipos de frutas, las cuales son naranja, limón y pomelo, estos tipos de frutas son procesados en diferentes días durante el periodo de campaña, la cual suele durar alrededor de 9 meses, donde normalmente comienza en marzo de cada año. A raíz de la gran cantidad de residuos que tienen, estos son derivados a suelos propios de la empresa que son previamente acondicionados para la disposición de los mismos (salino-sódicos) pero esta salida que tienen dichos residuos representa un cierto costo no solo para el acondicionamiento de los suelos y su debido control el cual es poco beneficioso ya que es visto a largo plazo sino también el costo logístico que representa para tener que transportar dichos residuos hasta los suelos que se quieren recuperar. Es por esto que nace la necesidad de encontrar alternativas para el tratamiento y disposición final de los residuos semisólidos de la industrialización de los cítricos que maneja, se abordó el estudio del proceso de biodigestión anaeróbica de estos desechos, constituidos fundamentalmente por restos de pulpa y cáscara. Para lo cual se construirán biodigestores que nos conducirá a la formación de gas metano y así luego producir con la misma energía eléctrica, obteniendo también a su vez fertilizante orgánico líquido como subproducto.

Energías Renovables¹

“Se definen energías alternativas o renovables a aquellas que no implican la quema de combustibles fósiles para su generación. En la actualidad, resultan indispensables para asegurar la sustentabilidad y cuidado del medioambiente. La falta de tratamiento de los residuos generados por las industrias contribuye a la contaminación de los diferentes compartimientos ambientales.”

“La contaminación atmosférica ha sido una constante evolutiva a través de los años y conjuntamente con ella aumenta la necesidad de disminuirla para mejorar la calidad de vida de los seres vivos. Como consecuencia se considera el uso de energías alternativas, las cuales permiten suplir las necesidades del ser humano a partir de la utilización de los recursos naturales existentes. “

Biomasa

Se denomina “biomasa” a toda porción orgánica proveniente de las plantas, los animales y de diversas actividades humanas. El término “biomasa” abarca una variada serie de fuentes energéticas: desde la simple combustión de la leña para calefacción hasta las plantas térmicas para producir electricidad, usando como combustible residuos forestales, agrícolas, ganaderos o incluso “cultivos energéticos”, pasando por el biogás de los vertederos o lodos de depuradoras, hasta los biocombustibles.²

En cuanto al biogás, el porcentaje de metano lo caracteriza como combustible con poder calorífico apto para la combustión en motogeneradores que producen energía eléctrica.

Las vías microbiológicas de producción de energía a partir de sustratos biológicamente degradables representan una excelente alternativa para la sustitución de combustibles fósiles, esto es especialmente interesante dentro del campo de las instalaciones de la industria citrícola. Las mismas podrán cubrir una parte de sus necesidades energéticas a partir de sus propios residuos.

Así la biomasa ha ganado la atención en todo el mundo como una fuente de energía renovable para la conversión termoquímica, aportando además beneficios globales mediante la reducción de las emisiones de efecto invernadero.

¹ Ministerio de Economía. (s.f) ¿Qué son las energías renovables? <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables>

² Energías Renovables.com.ar (s.f) Biomasa <https://energiasrenovables.com.ar/biomasa/>

Ventajas principales de las energías renovables

Ventajas ambientales

- “Son el socio imprescindible contra el cambio climático: las renovables no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de generación de energía, lo que las revela como la solución limpia y más viable frente a la degradación medioambiental.”
- “Son inagotables, al contrario de las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear por fisión, cuyas reservas son finitas. Por ello son un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el de las futuras generaciones.”³
- Pueden ayudar a disminuir enfermedades relacionadas con la contaminación.
- Reducen la necesidad de industrias extractivas en la medida que se evita el uso de combustibles fósiles.
- No crean problemas de basura difíciles de resolver, como la eliminación de residuos nucleares o escorias.

Ventajas económicas

- Reducción de las tarifas en los servicios de luz, agua y gas.
- Generación de empleos directos (trabajadores de la construcción, desarrolladores, fabricantes de equipo, diseñadores, instaladores, financieros).
- Generación de empleos indirectos.

Ventajas sociales

- La posibilidad de llevar energía eléctrica a comunidades remotas, y en la promoción del desarrollo de dichas comunidades.

Objetivo del proyecto de tesis

Estudiar la digestión de residuos agroindustriales de cítricos para la producción de energía eléctrica y biofertilizantes utilizando al biogás como combustible, obtenido mediante un biodigestor, para así aplicar la economía circular en la empresa Ledesma.

Al concretar la evaluación de este proyecto se buscará no solo disminuir el impacto ambiental, sino también reducir los costos de producción mediante el abastecimiento propio de energía eléctrica y la utilización de los biofertilizantes resultantes.

³ Acciona.com. Energías Renovables (s.f) https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=02021864894

2-ANÁLISIS DE MERCADO

Descripción de los productos

Producto principal y subproducto

Los productos que se obtienen a partir de la transformación de los desechos cítricos son:

Energía eléctrica: Para lograrla, se utiliza un motor generador de energía eléctrica para autoconsumo. Es un motor que funciona a gas metano y genera electricidad. Esta se utilizará en el establecimiento para abastecer de electricidad a la fábrica de jugos y aceites esenciales ya que es la más cercana a la planta del proyecto.

Biofertilizantes: Se obtienen de los residuos luego de realizada la biodigestión, generando un subproducto adicional que se considera un abono orgánico. Durante el proceso, este material pierde su olor característico, convirtiéndose en un producto apto para el mejoramiento de suelos.

El biofertilizante líquido presenta varias ventajas importantes:

- **Mayor fluidez:** Facilita su aplicación, permitiendo una distribución más homogénea y eficiente en los cultivos.
- **No quema las plantas:** A diferencia de algunos fertilizantes industriales, como la urea que se utiliza en Ledesma, este biofertilizante es seguro para las plantas, evitando daños por sobredosis o contacto directo.
- **Sostenibilidad ambiental:** Su uso reduce el riesgo de contaminación del suelo y del agua, siendo menos peligroso para el medio ambiente en comparación con fertilizantes químicos.

Este subproducto se utilizará para fertilizar los cultivos, reemplazando a los fertilizantes industriales o parte de ellos.

En comparación con la urea, el biofertilizante ofrece beneficios adicionales, como:

- **Liberación gradual de nutrientes:** A diferencia de la urea, que proporciona una rápida liberación de nitrógeno, los biofertilizantes liberan nutrientes de manera más gradual. Esto permite que las plantas los absorban de manera más eficiente a lo largo del tiempo, reduciendo el riesgo de lixiviación y pérdidas de nutrientes.
- **Enriquecimiento orgánico del suelo:** El biofertilizante no solo aporta nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, sino también materia orgánica que mejora la estructura del suelo, incrementando su capacidad para retener agua y aire, lo que beneficia el desarrollo de las raíces y la salud general de las plantas.
- **Microorganismos beneficiosos:** Este tipo de biofertilizante suele contener microorganismos que mejoran la disponibilidad de nutrientes y promueven la salud del suelo. Estos microorganismos pueden descomponer la materia orgánica y liberar nutrientes de una manera que las plantas puedan absorber más fácilmente.

- **Menor Impacto Ambiental:** La urea, si no se maneja adecuadamente, puede contribuir a la contaminación del agua y del aire, liberando gases como el óxido nitroso, un potente gas de efecto invernadero. El biofertilizante, por otro lado, es más ecológico y su producción ayuda a reciclar residuos agrícolas, cerrando ciclos de nutrientes y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos.

Por estas razones, el biofertilizante derivado de los residuos cítricos de la empresa son una opción a tener en cuenta frente a la urea y a su vez es un activo estratégico que podría ser aprovechado y promovido en la agricultura moderna.

Materia prima

La materia prima para la obtención del biogás y el biofertilizante pueden ser distintos desechos orgánicos, para este proyecto, son los efluentes y desechos semisólidos agrícolas de la empresa LEDESMA S.A.A.I. La misma obtiene 300 tn de residuos semisólidos de fruta. Siendo este dato muy importante para el diseño del biodigestor.

Efecto de los residuos semisólidos

Los residuos semisólidos de cítricos, como cáscaras y pulpas, presentan características que influyen significativamente en su manejo ambiental. Estos materiales contienen un alto porcentaje de humedad (alrededor del 80-90%), componentes orgánicos fácilmente degradables y aceites esenciales, lo que los hace susceptibles a procesos de descomposición rápida en condiciones ambientales.

Actualmente, la empresa solo vierte sus residuos, a sus propios campos para recuperación de suelos. El vertido no controlado de estos residuos tiene efectos adversos, los cuales se explican a continuación:

- **Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI):**

Causa: Durante la descomposición anaerobia de los residuos cítricos en vertederos, microorganismos generan metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), ambos potentes GEI. El metano es aproximadamente 25 veces más potente que el CO_2 en términos de su capacidad para atrapar calor en la atmósfera.

Impacto: Si no se capturan ni procesan estos gases, se liberan a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global.

- **Generación de malos olores:**

Causa: La descomposición de la materia orgánica presente en los residuos cítricos genera compuestos como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y ácidos grasos volátiles, que son responsables de los olores desagradables.

Impacto: Esto afecta la calidad de vida de las comunidades cercanas, generando contaminación olfativa.

- **Contaminación de acuíferos subterráneos:**

Causa: Los lixiviados generados por la descomposición de los residuos pueden infiltrarse en el suelo, transportando sustancias como nutrientes (nitrógeno, fósforo) y compuestos orgánicos que contaminan las fuentes de agua subterránea.

Impacto: Esta contaminación puede comprometer la calidad del agua utilizada para riego o consumo humano, afectando la salud y la seguridad de los ecosistemas.

- **Alteraciones de comunidades vegetales:**

Causa: El vertido indiscriminado de residuos semisólidos sobre terrenos agrícolas puede cambiar la composición de nutrientes del suelo y generar efectos tóxicos debido a la acumulación de aceites esenciales y compuestos cítricos.

Impacto: Esto afecta la biodiversidad del área, ya que algunas especies vegetales pueden verse desplazadas por las alteraciones en el suelo, o sufrir estrés debido a la toxicidad de los residuos.

- **Focos de infección:**

Causa: La acumulación de residuos orgánicos en descomposición crea un ambiente propicio para la proliferación de patógenos y microorganismos perjudiciales, como bacterias y hongos, que pueden generar brotes de enfermedades.

Impacto: Este escenario es particularmente peligroso para las zonas rurales, donde se incrementa el riesgo de transmisión de enfermedades a humanos y animales.

- **Incremento de plagas⁴:**

Causa: La descomposición de residuos orgánicos es un atractivo para insectos, roedores y otros animales que se alimentan de materia en descomposición.

Impacto: Esto genera un aumento en la población de plagas que puede afectar tanto los cultivos como las viviendas cercanas, incrementando la necesidad de utilizar pesticidas y otros métodos de control.

Por otro lado, se tienen *efectos socio-económicos* de gran impacto:

- **Mala imagen ante la comunidad internacional:**

Causa: La gestión inadecuada de residuos agrícolas puede generar una percepción negativa tanto a nivel local como internacional, especialmente en países que buscan fortalecer sus compromisos con la sostenibilidad y las prácticas agrícolas responsables.

Impacto: Una imagen negativa puede dañar la reputación del país en mercados internacionales, afectando las relaciones comerciales y la competitividad en el sector agroindustrial.

- **Pérdida de futuros clientes:**

Causa: Los consumidores y empresas que valoran la sostenibilidad tienden a evitar productos y proveedores asociados con prácticas insostenibles o perjudiciales para el medio ambiente.

Impacto: La falta de una gestión adecuada de los residuos puede llevar a una disminución de la confianza del mercado y, en consecuencia, la pérdida de clientes potenciales, afectando los ingresos y el crecimiento empresarial.

⁴Eduardo Fernández Martín. (s.f). Residuos sólidos agrícolas. Impactos ambientales. https://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_solidos_agricolas.htm#:~:text=Residuos%20Vegetales%3A%20Han%20creado%20un%20de%20productos%20fitosanitarios%2C%20y.

- **Falta de aprovechamiento de nuevos recursos y subproductos:**

Causa: El vertido de residuos agrícolas, en lugar de su aprovechamiento, implica perder la oportunidad de convertirlos en recursos valiosos como biogás o biofertilizantes.

Impacto: Esto representa una pérdida económica significativa, ya que el tratamiento adecuado de los residuos puede generar subproductos que tienen valor comercial, promoviendo una economía circular y diversificando las fuentes de ingresos de las empresas agrícolas.

Beneficios de utilizar los residuos

Tratar los efluentes le llevará a la empresa importantes beneficios tanto en materia medioambiental como económica:

- Proporcionan combustible (biogás) para suplir las necesidades energéticas, incrementando la producción de energía renovable y de bajo costo.
- Reducen la contaminación ambiental al convertir en residuos útiles los efluentes orgánicos, aumentando la protección del suelo, de las fuentes de agua y de la pureza del aire.
- Se produce abono orgánico de elevada calidad nutricional de los cultivos
- Mediante la utilización del efluente como bioabono se reduce el uso de fertilizantes químicos, cuya producción y aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente global y local.
- Mejora las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas, los que mueren durante el proceso de biodigestión; reduciéndose así, el riesgo de transmisión de enfermedades.
- Produce beneficios económicos a través de: la sustitución de energía no renovable y fertilizantes orgánicos; y el aumento en los ingresos debido al incremento de la productividad y producción agrícola.⁵

Área de mercado objetivo e influencia del proyecto

Cabe destacar, que, en este aspecto, el proyecto de incorporación de planta de biogás no lanza un producto al mercado, sino que su mercado es la propia empresa. Como resultado del proceso productivo de la empresa a partir de cítricos, principalmente limones y naranjas; se generan desechos orgánicos que pueden utilizarse como materia prima para la producción de biogás y biofertilizantes, lo cual representa grandes ventajas en términos económicos y ambientales. De esta manera, los productos resultantes de la biodigestión serán utilizados dentro del mismo campo, siendo la empresa proveedor y consumidor al mismo tiempo.

⁵ Mc Garry, MG y Stainforth, J, (1978), Compost, Fertilizer, and Biogas Production from Human and Farm Wastes in the People's Republic of China.

Disponibilidad de la materia prima

La materia prima utilizada en el biodigestor será el efluente obtenido en la planta industrial, la misma es la que define el tamaño del proyecto.

Según datos de la empresa, se procesan 50 mil tn anuales de frutas (limón, pomelo, naranja)

Presentación del establecimiento

Este proyecto está encarado al diseño de una planta de biogás para la empresa LEDESMA S.A.A.I. Es una empresa agroindustrial, líder en la producción de azúcar y papel, y con una importante participación en los mercados de frutas y jugos cítricos, alcohol, bioetanol, carne y cereales.

Comprometida con el desarrollo del país, empleamos a más de 6.000 personas que en su mayoría trabajan en Jujuy, provincia en la que nació Ledesma y donde tenemos 40.000 hectáreas destinadas a la cosecha de nuestra principal materia prima: la caña de azúcar. Este cultivo, que se renueva anualmente, se aprovecha por completo.

La planta industrial tiene capacidad para procesar 50.000 toneladas de limón por año. Cuenta con una muy buena tecnología de extracción y producción de jugo concentrado, aceite esencial. Sus productos son:

- Aceite esencial de limón, naranja y pomelo
- Jugo concentrado de limón, naranja y pomelo

El establecimiento queda ubicado en la Avenida Uruburu entre calles Rinconada y Santa Fe – Ledesma, Jujuy, Argentina.

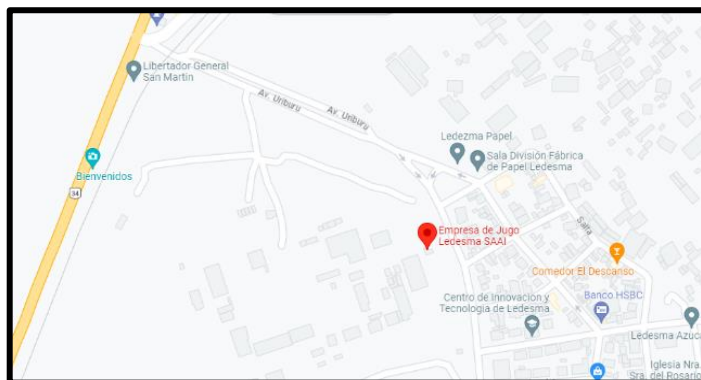


Figura 1- Ubicación de fábrica de jugos y aceites esenciales Ledesma



Figura 2 - Procesamiento de frutas en Ledesma – Fuente: Ledesma

Ledesma considera que la protección del medio ambiente y los recursos naturales es esencial para crear valor de manera sostenible por lo tanto, se compromete firmemente a establecer una gestión sostenible de los procesos, siempre que dicha gestión sea equilibrada en relación con sus aspectos económicos, sociales y medioambientales, promover la responsabilidad ambiental en toda la empresa, así como entre proveedores, clientes y las comunidades donde opera la empresa, evaluar y minimizar el impacto ambiental de diferentes procesos productivos y a muchos factores tales como innovación y mejora continua para alcanzar el mayor desempeño ambiental.⁶

Gracias a dicha visión, está dispuesta a evaluar la instalación de una planta de biogás para tratar sus efluentes cítricos, y así reducir sus costos en energía eléctrica y mejorar su imagen internacional en cuanto a la gestión de desechos.

Demanda propia de energía eléctrica

LEDESMA se autoabastece de energía eléctrica debido a la gran cantidad de biomasa que posee por cual genera electricidad, pero dependiendo de la época del año ya sea en zafra o fuera de esta las demandas a veces son mayores a la generada por la central termoeléctrica, es así como se abastece de energía contratada de CAMESA. Los últimos años según el Gerente de Energía, tuvieron un promedio de compra de energía de unos 5000MW por año.

Energía contratada a Camesa	
5000	Mwh/año

Tabla 1-Cantidad de Energía contratada a CAMMESA- Fuente: Información de Central Termoeléctrica Ledesma S.A.A.I.

⁶ Política Ambiental Ledesma (s.f) <https://www.ledesma.com.ar/2017/12/01/politica-ambiental/>

Análisis de la demanda propia de biofertilizantes

Según datos suministrados por la empresa, los fertilizantes industriales usados en los cultivos de la empresa son Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) y Fosfato diamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) aportando Nitrógeno (46%) y Fósforo (20%) respectivamente.

Por otro lado, los biofertilizantes líquidos que se obtienen como subproducto de la biodigestión aportan 0,74% de Nitrógeno y 0,13% de Fósforo. Estos valores se obtuvieron realizando un análisis químico de un compost de cascaras de naranja obtenido del artículo “Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia”.⁷

Actualmente LEDESMA cuenta con 40.000 hectáreas de cultivos a los cuales les realiza fertirrigación, la cual consiste en una técnica que permite la aplicación de nutrientes a las plantas a través del agua de riego, dicho riego es realizado mediante dosis de ambos fertilizantes, las dosis suministradas son de 180 kg/ha para la Urea y 60 kg/ha para el Fosfato diamonico. (Tabla 3)

El objetivo principal de esta práctica es el de mantener al cultivo en un estado hídrico óptimo, supliendo con el riego el agua consumida por la plantación pero que no puede ser reemplazada por la lluvia. En este sistema de riego se suministra por goteo de manera localizada los nutrientes y necesidades del cultivo sin caer en excesos. La empresa cuenta con capacidad instalada para soportar el incremento en el caudal que circulará por las cañerías. Por lo tanto, no existiría una variación significativa a la hora de regar los cultivos con el biofertilizante.

Hectáreas a Fertilizar	
40000	Ha

Tabla 2 - Cantidad de Hectáreas a fertilizar – Fuente: Ledesma S.A.A.I.

Equivalencias de nutrientes entre fertilizante industrial y biofertilizante		
Tipo de Fertilizante	%N	kg/Ha
Urea	46	180
Biofertilizante	0.74	11190
Tipo de Fertilizante	%P	Kg/Ha
Fosfato diamonico (DAP)	20	60
Biofertilizante	0.13	9230

Tabla 3 - Equivalencias de nutrientes- Fuente: Elaboración propia

⁷ Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. (octubre 2021) <https://www.redalyc.org/journal/2654/265472214018/html/>

Cantidad de Fertilizante necesario para cultivo	
Plantaciones de caña de azúcar	11190 kg biofertilizante/Ha

Tabla 4 – Cantidad de fertilizante para cultivo

Análisis del proyecto

Para analizar el caso al cual va enfocado el proyecto, la oferta energética está dada de acuerdo a la cantidad de biogás disponible para la producción de energía eléctrica dependiente del volumen de materia prima que se genere a partir la Fábrica de Jugos. En el cuadro que se presenta a continuación se detalla la oferta de energía y biofertilizantes que ofrecería el proyecto con la materia prima proporcionada por el establecimiento, de acuerdo a datos brindados por la empresa sobre las cantidades de residuos semisólidos que poseen.

Energía proporcionada por el proyecto ⁸	
Residuos semisólidos	300 t/día
Producción de biogás	4.58 m ³ /t residuo ⁹
Captación de biogás	1374 m ₃ /día
Capacidad de energía eléctrica brutas de biogás	6.5 KWh/m ₃
Energía eléctrica bruta generada	8931 Kwh/día
Eficiencia eléctrica de generador	38%
Energía eléctrica neta generada	3393.78 KWh/día
Días del mes de planta activa	30 días/mes
Energía eléctrica generada mensual	101813.4 KWh/mes

Tabla 5 – Energía proporcionada por el proyecto – Fuente: Elaboración propia

⁸ Cálculos de producción de biogás y energía generada en Anexo 2

⁹ Gargi Chakravarty, (2016). Evaluation of fruit wastes as substrates for the production of biogas.

Fertilizante proporcionado por el proyecto¹⁰	
Cantidad de lodo diaria	1800 t/día
Porcentaje de subproducto	8 %
Lodos de salida como subproducto	144 t/día
Porcentaje de abono sólido	8 %
Porcentaje de abono líquido	92 %
Cantidad aproximada de lodo fermentado por año operativo	51840 t/año
Abono sólido aproximado resultante por año operativo	4147 t/año
Abono líquido aproximado resultante por año operativo	47639 t/año

Tabla 6- Fertilizante proporcionado por el proyecto – Fuente: Elaboración propia

El 8% del total de efluentes que ingresa permite a la empresa la obtención biofertilizantes líquidos (biol) en una proporción de 92% que reemplazarán a los fertilizantes industriales utilizados actualmente; también se obtienen fertilizantes sólidos (biosol) en una proporción de 8%, los mismos se utilizarán como abono ya que el biosol presenta una cantidad bastante equilibrada de nutrientes, los cuales influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Ya que el porcentaje es muy bajo, se lo excluye de la valoración económica, pero este puede ser utilizado para recuperación de suelos.¹¹

Análisis de precios

Los productos del proyecto no serán representados por un precio en el mercado, sino que tendrán un valor respecto al costo de producirlos, que, al compararlo con las fuentes energéticas convencionales utilizadas actualmente en el establecimiento, representarán un ahorro de dinero.

Como no se puede medir exactamente el costo de producción del biogás, ya que los montos de los conceptos que integran su costo operativo son muy variables, se hace una aproximación de este costo a los efectos de comparar esto con el precio de las energías actualmente utilizadas.

Se calcula el valor económico de la energía eléctrica por un lado y de los biofertilizantes líquidos por el otro. Como fuente de los precios de los fertilizantes, se consultó la página de Bichosdecampo.com

¹⁰ Cálculos de producción de biofertilizante en Anexo 2

¹¹ Virginia García Paez (s.f) Manual de Biogás.

Costos en Fertilizante	
UREA consumida	7200 t
Precio	950 USD/t
Valoración económica anual de Nitrógeno usado	6840000 USD/año
Fosfato diamónico consumido	2400 t
Precio	585 USD/t
Valoración económica anual de Fósforo usado	1404000 USD/año
Costos Totales	8244000 USD/año

Tabla 7 – Costos en Fertilizante – Fuente: Elaboración propia

Ahorro en Fertilizante	
Cantidad de abono por año	51840 t/año
Dosis por Ha de Biofertilizante	11,2 t/Ha
Ha cubiertas por biofertilizante en reemplazo de Urea	4628,57 Ha/año
Cantidad de Urea que será reemplazada	833,14 t
Valoración económica anual de Urea reemplazada	791486 USD/año
Dosis por Ha de DAP	9,23 t/Ha
Cantidad de DAP que será reemplazado	5616,47 Ha/año
Fosfato diamónico (DAP) que será reemplazado	337 t
Valoración económica anual de DAP reemplazado	197138 USD/año
AHORRO TOTAL en Fertilizantes	988624 USD/año

Tabla 8 - Ahorro en fertilizante – Fuente: Elaboración propia

Ahorro en Energía Eléctrica	
Horas operativas	24 h/día
Días operativos	30 días/mes
Energía contratada a CAMESA	5000 MWh/año
Precio de Mwh contratado a CAMESA	104 USD/MWh
Energía producida con generación de biogás	1221,75 MWh/año
Total pagado a CAMESA	520000 USD/año
Precio del Mwh	104 Mwh
AHORRO TOTAL en Energía	127062 USD/año

Tabla 9 - Ahorro en Energía Eléctrica – Fuente: Elaboración propia

Comercialización y distribución

En este proyecto se produce un bien para consumo propio, por lo cual no tendremos que elegir canales de comercialización, ni organizar y distribuir las ventas.

El traslado físico del producto se da dentro del mismo establecimiento por cañerías ya instaladas, y se trata de hacer llegar la energía producida a la industria.

Proveedores geomembrana y generador

Proveedor de geomembrana



Grupo AgroRedes POLCOM desarrolla, fabrica, importa, comercializa y distribuye una gran variedad de productos técnicos para la agricultura, la construcción, la industria, minería, petróleo, hogar & decoración y otras actividades comerciales.

Ubicada en HOD, Suipacha 3770, S2004 Rosario, Santa Fe. Realiza entrega inmediata.

Contacto: ventas@grupo-ap.com.ar

Teléfono: (+5411) 4766 - 0275

Precios:

- Geotextil no tejido: 1000 U\$D por rollo 4x200
- Geomembrana **1500 micras**: 7040 U\$D por rollo 7x100

Proveedor de motogenerador eléctrico para biogás, agitadores y filtro de sulfuro de hidrogeno



Es una empresa alemana de ingeniería integral que se dedica al diseño y construcción de biodigestores industriales tropicalizados (covered lagoon digester) y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Además, se dedica a la venta de todos los componentes y equipos necesarios para su construcción y operación.

Contacto: aqua@aqualimpia.de

Precios:

- Generador marca 2G modelo Filius 404b 100kw : 12.000 U\$D
- Generador marca 2G modelo Filius 404c 160kw: 18.000 U\$D
- Filtro de Sulfuro de Hidrogeno y Siloxanos AQL100ST : 6.000 U\$D
- Agitadores fabricados por AQUALIMPIA 20kW : 6.000 U\$D

Análisis Pestel

Factores políticos

Los gobiernos nacional y provincial actualmente tienen su atención centrada en el año electoral que se está llevando a cabo en la nación, esto implica que invierten esfuerzo, tiempo y recursos en llevar a cabo las campañas de los respectivos partidos.

Así también actualmente se vive un clima tenso y de incertidumbre en cuanto a la política del país ya que las medidas que rigen a día de hoy pueden llegar a variar en un corto plazo debido a la inestabilidad que vive el país a distintos niveles, muchos factores más que nada socioeconómicos están ligados al oficialismo, factores que como se dijo antes pueden variar con una victoria de la actual oposición, es por esto que el mercado se encuentra expectante ante cualquier mínimo movimiento.

Aun así a lo largo de los años los gobiernos de turno siempre se han interesado en el desarrollo de energías renovables a nivel nacional con distintas políticas y programas energéticos.

Las políticas energéticas que podemos encontrar son:

- **Ley de Energías Renovables (Ley 27.191):** Esta ley, sancionada en 2015, establece metas ambiciosas para la participación de las energías renovables en la matriz energética. Incluye objetivos específicos para la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, como la biomasa y el biogás.
- **Programa Renovar:** Este programa busca promover la inversión en energías renovables a través de licitaciones públicas para la construcción de proyectos de generación eléctrica. Ha permitido el desarrollo de proyectos de biogás en Argentina.
- **Proyecto PROBIOMASA:** El objetivo de dicho programa es incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva, y a la vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático.
- **Programa Jujuy Verde:** Este programa se centró en la promoción de la generación de energía a partir de fuentes renovables en la provincia. Buscaba fomentar la inversión en proyectos de energía limpia y la adopción de tecnologías más sostenibles.

Factores económicos

Como se habló anteriormente que en el ámbito político de la situación de Argentina está también influye directamente en el ámbito económico, donde se está viviendo un nivel de inflación interanual del 115% a junio de 2023 según INDEC¹². La temporada citrícola se retrasa, Argentina sufre sequía, inflación, costes muy elevados, todo ello en un año de elecciones presidenciales. No hay comunicación en la prensa del sector, porque hay cambios políticos que pueden afectar, como el tipo de cambio oficial.

En lo que respecta a los recursos que abastecen al proyecto como ser los cítricos y sus cascaras tenemos que:

En general, la producción de cítricos en lo que respecta a argentina el presidente de la Federación Argentina del Citrus Carbonell menciona que la baja en producción puede llegar a ser entre un 25% y 30% menos en promedio en todas las especies. También se refirió a la situación que tienen tanto productores como exportadores de cítricos, los cuales tienen volúmenes inferiores a años precedentes y una molienda menor y una campaña menor en volumen tanto naranjas, mandarinas y limón. Se hace mención de que los principales mercados destino son Estados Unidos, Europa y Rusia

Según Carbonell Argentina abastece 2/3 de la demanda mundial del derivado de limón industrial por tanto con todo lo hablado anteriormente conlleva a una merma en producción de jugos, aceites y cascara de limón.¹³

También a tener en cuenta es que el tipo de cambio y la devaluación que está viviendo argentina en cuanto a su moneda es lo que dificultó y produjo la caída de producción. La producción del limón en el noroeste argentino viene en una situación de crisis durante los últimos años, que ha generado la erradicación de varias hectáreas de plantaciones. Los productores que tenían plantaciones de mayor edad, menos favorecidas, se han erradicado y se han transferido a otros cultivos

Otro factor a observar es el uso que las cascaras de cítricos a lo largo de estos años venía tratando y que era el uso de dichas cascaras para recuperación de suelos que posee Ledesma, dicho uso no era la mejor opción, pero era la forma que tenían de lidiar con dicho residuo, esto generaba costos de transporte y contribuía a la emisión de CO₂.

A tener en cuenta también que la ganadería local empezó a tomar lugar en lo que respecta a la empresa Ledesma ya que como alternativa del uso de las cascaras de cítricos que tienen como residuo surgió una propuesta que en un corto plazo se venda dichas cascaras como alimento para ganado.

¹² INDEC. (Junio 2023) Índice de precios al consumidor

¹³ Agrositio. Cítricos argentinos se preparan para ingresar al mercado de Estados Unidos. (junio 2023).
<https://www.agrositio.com.ar/noticia/229297-citricos-argentinos-se-preparan-para-ingresar-al-mercado-de-estados-unidos.html>

Factores ecológicos

Es uno de los factores los cuales mas tiene en vilo a la población jujeña ya que hay elevados grados de contaminación que se puede observar en la geografía provincial, uno de estos puntos de contaminación se puede observar en la ciudad de Palpalá que se encuentra ubicada a 14 km de San Salvador de Jujuy. Se trata de una zona netamente industrial donde, entre más de cuarenta industrias, también está emplazado el complejo "Aceros Zapla", uno de los centros siderúrgicos más importantes del país.

Esto, sin duda, conduce a una mala calidad de vida que, lejos de dignificar a los ciudadanos, provoca una serie de trastornos somáticos, propios de vivir en ambientes insalubres.

Ya entrando al ambiente local de Ledesma nos encontramos con una de las agroindustrias más grandes del país, la cual con su gran cantidad de hectáreas de cultivos y efluentes que estos mismos producen, aun así, la empresa Ledesma ha logrado conseguir un tratamiento optimo tanto de plagas como de los mismos efluentes que estos generan, han logrado alcanzar un equilibrio ecológico en los distintos aspectos en los cuales puede influir en el medioambiente.

Factores legales

El gobierno de la provincia de Jujuy concreto en 2022 la reglamentación de la Ley N° 6.023, de «Generación distribuida de Energía Renovable», que fue aprobada y publicada hace cinco años.

Ley que establece el régimen provincial para la integración de la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables por parte de usuarios titulares del servicio eléctrico, a la red pública de distribución.

En enero de 2016 fue sancionada la Ley 5.904 de Promoción y Desarrollo de la Energía Solar, que dio el puntapié inicial a los proyectos que se basan en el aprovechamiento de la energía solar en sus diversas formas; con ella, nació el programa "Jujuy provincia solar". Donde a su vez conjunto con esta ley también está la Ley 6141 donde hace extensivo el Régimen de Promoción previsto en el Capítulo II de la Ley N° 5.904 para la energía solar, al uso y aprovechamiento de otras fuentes de energía renovable no fósiles como son la energía eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero (metano), gases de plantas de depuración y biogás, y toda otra forma de generación, denominadas "híbridas", que son acoplamientos de las fuentes mencionadas, incluso combinaciones con redes y sistemas de generación no renovable ya existente

Como se puede observar recién estos últimos años es que las energías renovables empiezan a pisar fuerte en el marco legal de la provincia, esto va de la mano con el creciente interés en la capacitación y concientización del uso de energías renovables tanto para aprovechar los recursos que se tienen en provincia como para generar energía siendo menos incisivo en el impacto ambiental.

Análisis FODA

A continuación, se detalla el análisis FODA correspondiente al proyecto:

Fortalezas

- **Fuente de energía renovable:** El biogás es una fuente de energía renovable y sostenible, lo que la hace favorable desde el punto de vista ambiental. Permite a la empresa una reducción de costos en energía eléctrica y fertilizante, por lo que optarían por nuestros servicios.
- **Reducción de residuos:** La planta de biogás puede aprovechar residuos orgánicos, como desechos agrícolas, estiércol y alimentos, para generar electricidad, lo que contribuye a la gestión eficiente de residuos.
- **Generación continua de energía:** La planta de biogás puede funcionar de manera continua, lo que la hace confiable para la generación de electricidad, lo que permite una reducción de costos en energía eléctrica y también fertilizante.
- **Localización y espacio:** Se dispone de espacio suficiente para la instalación del proyecto y una localización estratégica para evitar costos de transporte.

Oportunidades

- Incremento en el nivel de conciencia respecto al cuidado ambiental.
- **Demanda creciente de energía limpia:** La creciente conciencia ambiental y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ofrecen oportunidades para la expansión y el crecimiento de las plantas de biogás.
- Altas tarifas de energía eléctrica y térmica que deben pagar las empresas.
- Políticas a favor del desarrollo e innovación tecnología para Pymes.
- Leyes más exigentes en cuanto a la disposición de desechos.
- Interés del empresariado por implementar este tipo de proyectos.
- **Colaboraciones estratégicas:** Establecer asociaciones con agricultores, empresas de gestión de residuos o gobiernos locales puede ayudar a asegurar el suministro constante de materias primas y garantizar la viabilidad a largo plazo.

Debilidades

- **Costos iniciales:** La inversión inicial para construir y operar una planta de biogás puede ser significativa, y puede llevar tiempo alcanzar el punto de equilibrio financiero.
- **Requisitos de materias primas:** La planta de biogás depende de materias primas orgánicas, lo que puede generar desafíos en términos de suministro y calidad.
- Poca información respecto al tratamiento para este tipo de desechos.
- **Necesidad de experiencia técnica:** La operación de una planta de biogás requiere conocimientos técnicos específicos, lo que puede resultar en una barrera de entrada para algunos inversionistas.
- **Arduo control en los parámetros** para el correcto funcionamiento del biodigestor.
- **Fluctuaciones en los precios de los combustibles fósiles:** Los cambios en los precios del petróleo y el gas natural pueden influir en la competitividad del biogás como fuente de energía.

Amenazas

- **Cambios en la regulación:** Las políticas gubernamentales y las regulaciones ambientales pueden cambiar y afectar la viabilidad económica de la planta de biogás.
- Constante crecimiento de la inflación e inestabilidad en el tipo de cambio.
- Falta de tecnología nacional adaptada para el biogás

Conclusiones

Después de realizado el estudio de mercado se observa que, con esta producción se cumple el objetivo de sustentabilidad (minimización de desechos), disminución de costos en materia energética y utilización de biofertilizantes.

Por las características propias del proyecto en el análisis precios se realizó una valoración económica comparando precios reales de la energía con los costos de producción de biogás.

3-ANÁLISIS TÉCNICO

Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono gas sulfuroso y vapor de agua. Se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un grupo de microorganismos que interactúan con otros factores.

Su contenido de gases combustibles lo hacen muy útil como recurso energético. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la Tabla 10.

Composición del biogás.

Esta puede variar de acuerdo con el tipo de material orgánico utilizado en la carga del biodigestor y con el tiempo que se utilice en el proceso de biodigestión.

La proporción de los componentes del biogás es la siguiente:

COMPONENTES Y PROPIEDADES	FORMULA QUIMICA	VALOR
Metano	CH ₄	45%-70%
Dióxido de Carbono	CO ₂	25%-45%
Vapor de agua	H ₂ O	Mayor en termófilos
Hidrogeno	H ₂	Menor a 5000ppm
Nitrógeno	N ₂	0%-5%
Oxígeno	O ₂	0%-5%
Sulfuro de hidrogeno	H ₂ S	0%-1%
Poder Calorífico	-	6450-4300 kcal

Tabla 10 - Composición química del biogás. - Fuente: FAO. Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. (2019)

- **Metano (CH₄):** es un gas combustible que se encuentra con una concentración de entre 45% (a partir de la cual se considera que el biogás es inflamable) y 70% molar.
- **Dióxido de carbono (CO₂):** es el segundo gas más importante por su proporción. Su concentración varía en un rango de 25% a 45% molar.
- **Sulfuro de hidrógeno (H₂S):** es generado por microorganismos anaeróbicos reductores de sulfato ante la presencia de este, en cantidades que varían en función de la composición del sustrato utilizado para alimentar el biodigestor. Aún en muy

bajas concentraciones, el H_2S es tóxico para humanos y animales, y altamente corrosivo: si no es eliminado del biogás, provoca una drástica disminución de la vida útil de los equipos donde se emplea. En una muestra cruda de biogás, el valor de H_2S puede variar en un rango entre 5 000 y 50 000 partes por millón (ppm).

- **Hidrógeno (H_2):** normalmente, la concentración de este componente es inferior a las 5 000 ppm.
- **Nitrógeno gaseoso (N_2):** su presencia puede llegar a un máximo de 25% molar en biogases obtenidos de rellenos sanitarios; en sistemas con biodigestores, normalmente la concentración no supera el 5% molar.
- **Oxígeno (O_2):** el máximo valor que puede alcanzar en el biogás es de 5% molar.
- **Agua (H_2O):** es normal encontrar vapores de agua, especialmente cuando se trabaja con procesos termofílicos.
- **Poder Calorífico:** La composición del biogás es la que determinará su poder calorífico, es decir, la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que puede desprenderse al producirse una reacción química de oxidación. El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente. Si bien en realidad los combustibles tienen siempre un mismo valor de poder calorífico, en la práctica se han definido dos valores: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). El PCS expresa el calor verdaderamente producido en la reacción de combustión, mientras que **el PCI es el calor realmente aprovechable**, sin tener en cuenta la energía de condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia. El principal determinante del poder calorífico del biogás es la cantidad de metano que tenga en su mezcla. El PCI puede variar en un rango de 4300 a 6450 kcal/Nm³. Si bien es un PCI menor que el de otros gases, es suficiente como para usarse para calefaccionar, cocinar, generar energía para grupos electrógenos (cogeneración).¹⁴

Método de producción de biogás¹⁵

La producción de biogás es un proceso complejo que requiere de la acción coordinada de un grupo de microorganismos especializados en la degradación de una amplia variedad de sustratos orgánicos (restos de comida, desperdicios orgánicos de industrias, subproductos orgánicos de bajo valor comercial, cultivos energéticos, residuos cloacales, estiércol de animales, etc.). La descomposición de estos residuos en el ambiente natural o en reactores especializados, bajo condiciones de anoxia (ausencia de oxígeno), genera las condiciones imprescindibles para el proceso. El biogás producido se encuentra compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y en menor medida otros gases, entre los que se destaca el sulfuro de hidrógeno (H_2S), un gas altamente tóxico, responsable del olor fuerte y desagradable que se percibe en los ambientes naturales donde se genera biogás por la degradación anaeróbica de la materia orgánica. Dado que la solubilidad del oxígeno en agua es baja, cuando los sedimentos de los cuerpos de agua naturales (lagos o ríos), las lagunas de tratamiento o los lixiviados de los rellenos sanitarios tienen elevados niveles de materia orgánica, su descomposición microbiana genera biogás, que contiene metano, químicamente comparable al gas natural que se obtiene en la explotación de yacimientos de combustibles fósiles. Para controlar y

¹⁴ FAO (2019) Guía Teórico-práctica sobre el biogás y biodigestores p.24

¹⁵ FAO (2019) Guía Teórico-práctica sobre el biogás y biodigestores p.3

eficientizar la digestión anaeróbica de la materia orgánica y producir biogás se utilizan biodigestores.

Biodigestores

Un biodigestor anaeróbico es un sistema cerrado y controlado donde se lleva a cabo la descomposición de materia orgánica (como residuos agrícolas, estiércol, o residuos alimenticios) en ausencia de oxígeno. Este proceso se conoce como digestión anaerobia, y durante el mismo, microorganismos anaeróbicos descomponen la materia orgánica en biogás (compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono) y un subproducto sólido o líquido conocido como digestato.

Estos son reactores especialmente diseñados para maximizar la eficiencia de conversión de los sustratos en energía y obtener subproductos con valor agregado, como biofertilizantes.

Principales componentes y funcionamiento

Cámara de digestión: Es el espacio donde se realiza la descomposición de la materia orgánica. Está diseñado para excluir el oxígeno, creando un ambiente anaeróbico.

Microorganismos anaeróbicos: Estos son los responsables de la degradación de la materia orgánica. Los procesos de fermentación y metanogénesis que llevan a cabo producen biogás.

Biogás: Una mezcla de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), y trazas de otros gases. El biogás puede ser utilizado como combustible para generar energía eléctrica, térmica, o incluso ser purificado para su uso como gas natural.

Digestato: El residuo sólido o líquido que queda después de la digestión. Este subproducto es rico en nutrientes y puede ser utilizado como fertilizante orgánico.

Los biodigestores anaeróbicos son utilizados en diversos sectores, como la agricultura, la industria alimentaria y el tratamiento de residuos, para gestionar eficientemente los desechos orgánicos, generar energía renovable, y producir biofertilizantes, contribuyendo así a la sostenibilidad y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Digestión anaerobia¹⁶

La digestión sin presencia de oxígeno es un proceso biológico y degradativo en el cual los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás por un consorcio de bacterias estrictamente anaeróbicas, es decir que solo pueden sobrevivir en ausencia de oxígeno. Por medio de este proceso es posible convertir en subproductos útiles gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria, de la industria papelería y de algunas químicas. Más del 90% de la energía disponible se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico, y como producto final se obtiene un bioabono inocuo más estable.

¹⁶ María Teresa Varnero Moreno (2011) MANUAL DEL BIOGÁS. p.14

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo.

La digestión anaerobia consta de cuatro fases que son llevadas a cabo por un grupo específico de bacterias:

1°-Hidrolisis¹⁷

La materia orgánica es descompuesta por la acción de enzimas extracelulares (celulasa, amilasa, proteasa y lipasa) de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las largas cadenas de moléculas solubles en agua, como las grasas, proteínas y carbohidratos, transformándolos en monómeros y compuestos simples solubles.

Las bacterias involucradas en esta etapa son Bacterias hidrolíticas y fermentadoras.

2°-Acidogénesis y Acetogenesis

Los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos (compuestos intermedios) se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas. Las bacterias productoras de ácidos, involucradas en este paso, convierten los productos intermedios de las bacterias de fermentación en ácido Acético, Hidrógeno y Dióxido de Carbono. Estas bacterias son facultativamente anaeróbicas y pueden crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético necesitan oxígeno y carbono, para esto utilizan el oxígeno disuelto en la solución. Debido a ésto, las bacterias productoras de ácido crean una condición anaeróbica que es fundamental para los microorganismos productores de metano. Además, reducen los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, CO₂, SH₂ y trazas de CH₄.

3°-Metanogénesis¹⁸

En esta etapa, gracias a la actividad de bacterias metanogénicas, se produce metano a partir de compuestos de bajo peso molecular, como el CO₂, el hidrógeno y el ácido acético obtenidos de la etapa anterior. La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. El metabolismo de estas bacterias es más lento, y son más sensibles a distintas condiciones ambientales.

¹⁷ Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. p.17

¹⁸ Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. p.17

Las transformaciones químicas y físicas que sufre la materia orgánica en estos procesos no solo conducen a la producción de biogás, sino que además pueden generar un residuo estabilizado (digerido) que tiene propiedades adecuadas para ser utilizado como biofertilizante más conocido como biol que lo denominaremos biofertilizante.

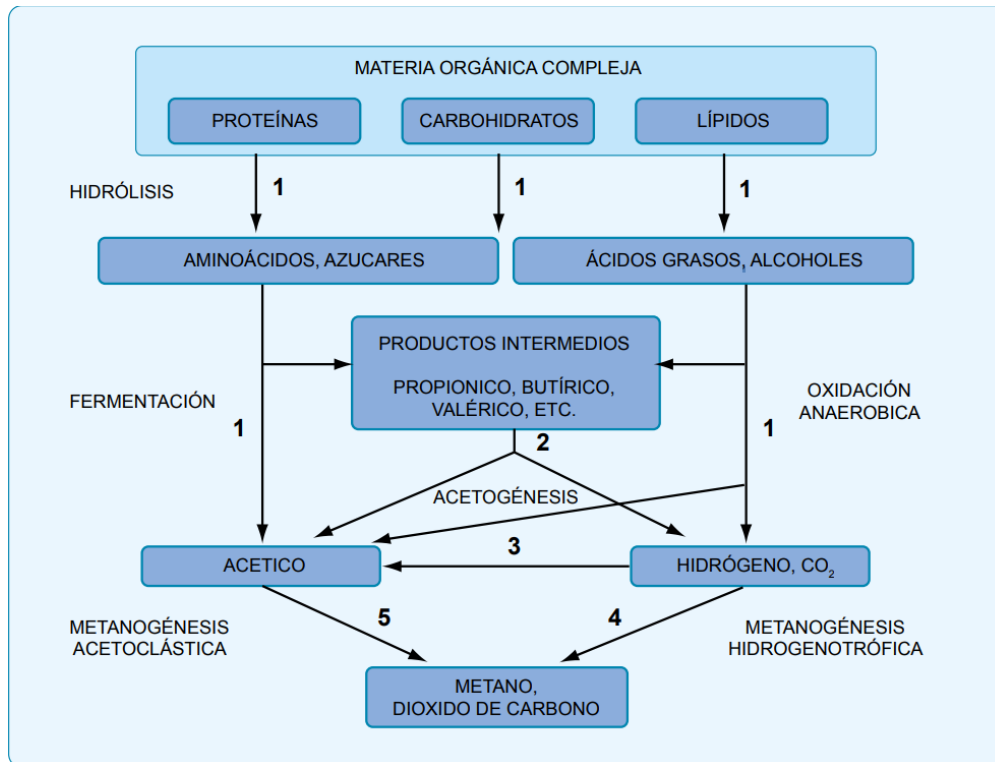


Gráfico 1 - Digestión anaerobia.

Fuente: Manual de Biogás -Varnero 2011

Propiedades energéticas del biogás

El biogás tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm³ a 6000kcal/ Nm³, Es decir, salvo por el contenido en H₂S, es un combustible ideal, con unas equivalencias que se muestran en la figura siguiente.

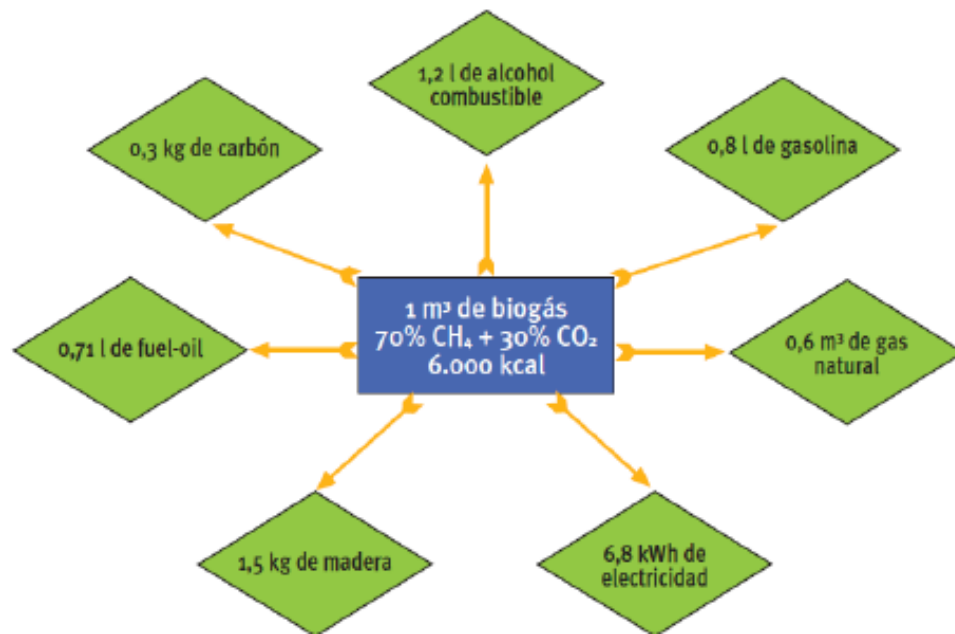


Figura 3 - Equivalencia de biogás con otras fuentes de energía.

Fuente: Instituto para diversificación y ahorro de energía. (2007) Biomasa. Digestores anaerobios

Usos del biogás ¹⁹

El volumen de biogás generado en el sistema determina la vía de aprovechamiento a elegir. En caso de volúmenes bajos, generalmente se opta por utilizarlo como carburante en una caldera para la obtención de energía térmica. No obstante, la más eficaz vía de aprovechamiento de biogás es la cogeneración, que permite la generación de energía eléctrica y al mismo tiempo la de energía térmica. Estos porcentajes varían en función de los siguientes factores: la composición del residuo, la edad del vertido, la climatología y temperaturas ambientales.

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de HS y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

¹⁹ Instituto para diversificación y ahorro de energía. (2007) Biomasa. Digestores anaerobios p.8



Figura 4 - Usos del biogás.

Fuente: Virginia García Paez (s.f) Manual de Biogás

Un párrafo aparte merecen los sistemas de cogeneración. Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás. En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía. Representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía útil como la electricidad.

Tipos de biodigestores

Los biodigestores pueden tener tecnologías muy variadas, que incluyen desde construcciones caseras con diversos materiales, hasta plantas con tecnología de punta completamente automatizadas.

No existe una tecnología mejor que otra, sino tecnologías que se adaptan mejor a ciertas situaciones que otras, y su elección depende del objetivo que se persiga, de los recursos de que se disponga, del dinero y tipo de financiamiento para realizar la inversión, y de la clase de sustrato que alimentará al biodigestor, entre los aspectos más relevantes.

Biodigestor de campana flotante²⁰

Se compone de un digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás. La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado. Este tipo de biodigestor es conocido también como tipo hindú, y puede ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior.

Ventajas:

- La mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas.
- La presión de gas es constante; y es de fácil manejo.

Desventajas:

- El costo de construcción de la campana puede resultar elevado, y si la campana es metálica puede corroerse, haciendo necesarios tratamientos especiales para su protección que incrementan
- la inversión inicial, operación y mantenimiento posterior.

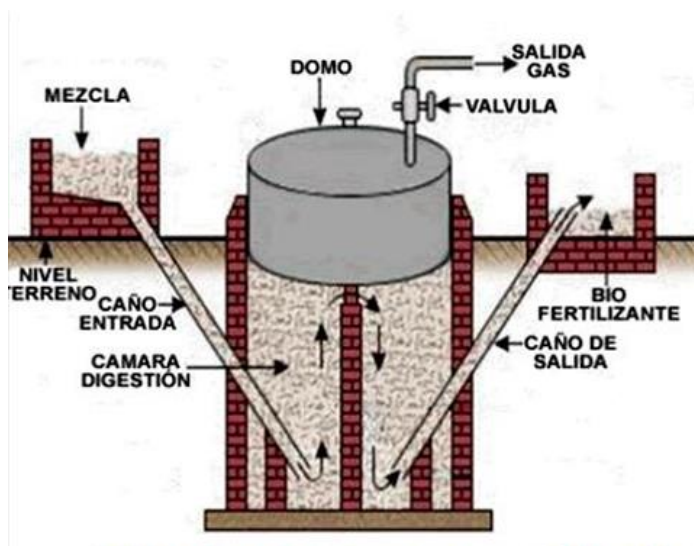


Figura 5 - Biodigestor de campana flotante – Fuente: Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás

Biodigestor de campana fija²¹

²⁰ Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. p.11

²¹ Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. p.12

Se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante. Es conocido también como biodigestor Chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte.

Ventajas:

- Tiene una larga vida útil, de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar, aunque la construcción en concreto deberá ser durable.
- Su construcción es subterránea, lo cual lo protege contra bajas temperaturas
- Presenta costos de construcción más bajos que el biodigestor de campana flotante tipo hindú.

Desventajas:

- La presión de gas no es constante; y puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas.

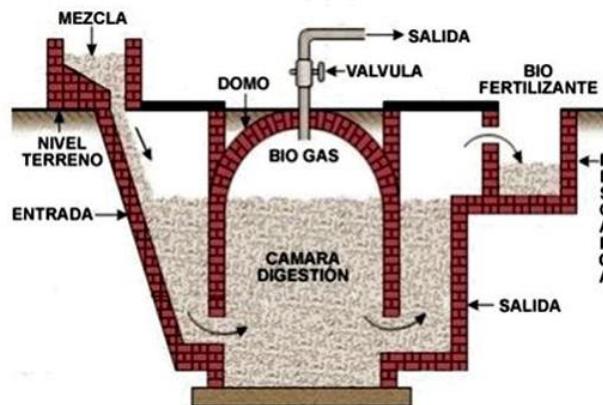


Figura 6 - Biodigestor de campana fija - Fuente: Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás

Biodigestor tubular o de flujo de pistón²²

La planta de balón se compone de un tubular en material plástico (polietileno, PVC, entre otros, y una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta. La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes.

Ventajas:

- Sus materiales de construcción son de fácil transporte e instalación.
- Por su construcción horizontal, resulta apropiado para sitios con nivel freático alto.
- Es el tipo de biodigestor de menor costo de construcción y operación.

Desventajas:

- Las presiones alcanzadas por el gas son relativamente bajas.
- Presenta una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione;
- Debe protegerse contra los rayos solares.
- El material plástico puede sufrir daños; siendo conveniente protegerlo o cerrar el área adyacente al biodigestor. (Botero & Preston 1986; Pedraza et al. 2002).

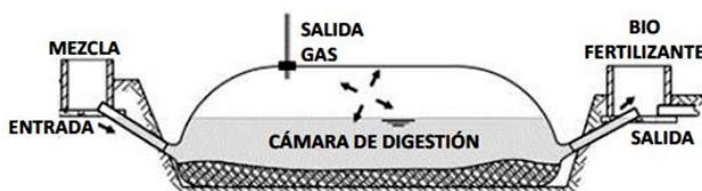


Figura 7 - Biodigestor tubular o de flujo de pistón - Fuente: Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás

Conclusiones sobre biodigestor

Considerando los tipos de biodigestores antes mencionados, se decidió utilizar en LEDESMA los biodigestores flujo pistón construidos con membrana que son mejor conocidos como Laguna cubierta, por sus ventajas de sencillez, bajo costo y posibilidad de alimentarlo con diferentes cargas orgánicas, pero dentro de los biodigestores de flujo pistón tenemos los “mixtos” que funcionan bajo el mismo principio que los de flujo pistón a continuación se desarrollara estos mismos.

²² Virginia Garcia Paez (s.f) Manual de Biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. p.12

Biodigestor para el proyecto (laguna cubierta)²³

Los biodigestores contruidos a partir de lagunas de tratamiento de efluentes, que en muchos casos se cubrieron con membranas para captar el biogás y así aprovechar la biodigestión anaeróbica. Estas lagunas suelen ser grandes y con poco o nulo sistema de agitación. No presentan sistema de calefacción ni aislación del medio, por lo que su eficiencia depende mucho de las temperaturas externas y/o de la temperatura con que ingresan los efluentes. En la mayoría de los casos tampoco disponen de sistemas de medición y control para un seguimiento de la eficiencia del proceso. Si bien las cantidades de biogás que pueden generar estos sistemas son altas, expresadas en metros cúbicos normales de biogás por día (Nm^3 biogás/día), esto se debe a las grandes dimensiones de esas lagunas anaeróbicas y los volúmenes de efluentes orgánicos con los que trabajan, y no a la eficiencia del proceso, que por lo general es baja, expresada en tasa de degradación de demanda química de oxígeno (DQO) y/o metro cúbico normal de biogás por tonelada de sustrato (Nm^3 biogás/t sustrato). Estos biodigestores funcionan mejor en zonas tropicales, donde la temperatura interna no desciende por debajo de los 10 °C; en zonas templadas, funcionan bien cuando el efluente desechado por la industria viene a temperaturas superiores a los 30 °C debido al proceso agroindustrial previo. En estos casos, se logra generar un medio mesofílico en el interior de las lagunas.

Son fabricados con diferentes tipos de membranas, estas pueden variar en cuanto a tipo de material, grosor, costo y características. Las más conocidas son las de policloruro de vinilo (PVC), etileno propileno dieno tipo M (EPDM) o polietileno de alta densidad (PEAD).

En esencia es un biodigestor tipo “salchicha” pero con mayor capacidad y ligeramente más complejo constructivamente debido a su volumen. Tiene una geometría “alargada” donde la mezcla de materia orgánica y agua circula en “flujo pistón”. Este tipo de flujo permite que cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo, alejado del inicio. Se instalan enterrados, con excavaciones del orden de 2,50 a 4,50 m y lo suficientemente alargados para evitar el contacto de la materia orgánica ingresante con la que egresa del reactor. Para el diseño se utiliza una sección “trapezoidal”, aprovechando los ángulos de reposo naturales del terreno del lugar de implantación.

Se debe realizar un recubrimiento de todo el interior del biodigestor con alguna geomembrana ya mencionada; a fin de lograr un reservorio sin fugas de gas ni fluidos a la tierra que se fusiona con la cubierta superior mediante termofusión formando la parte del diseño que tiene el objetivo de recuperar y almacenar todo el biogás producido. Este propósito se logra con la forma que se le da a la cubierta, tal que permita “inflarse” hasta un determinado volumen.

La alimentación se realiza por un extremo, mediante una cámara de carga que comunica directamente con la cámara de digestión, o según el diseño a través de una cañería. Los sólidos pueden llegar, en forma de suspensión o “barro”, mediante algún medio mecánico de transporte (bombeo, tornillo sin-fin, cinta transportadora, etc.)

Los barros digeridos se retiran por el otro extremo, pudiéndose descargar por gravedad, o en algún caso mediante el auxilio de una bomba de tipo sumergible apta para manejar sólidos en suspensión.

²³ FAO (2019) Guía Teórico-práctica sobre el biogás y biodigestores p.17



Figura 8- Biodigestor de laguna cubierta

Condiciones para la biodigestión^{24,25}

Las condiciones para la obtención de metano en el digestor son las siguientes:

- La temperatura, factor ideal para la biodigestión que trabaja en rangos de temperatura psicrófilicos, termófilicos o mesófilicos, en base a esto dependerá los tiempos de retención del sustrato en que se encuentren los microorganismos actuando.
- Un pH cercano a neutralidad.
- Herméticamente sellado, lo que facilita el trabajo de los microorganismos en un ambiente anaerobio y óptimo.
- Agitación, que el sustrato se encuentre bien mezclado y no tenga tamaños grandes que dificulten la degradación.
- Equilibrio de carbono/ nitrógeno

²⁴ Instituto para diversificación y ahorro de energía. (2007) Biomasa. Digestores anaerobios

²⁵ María Teresa Varnero Moreno (2011) MANUAL DEL BIOGÁS

Factores físico-químicos de control

A) Temperatura²⁶

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilicos (por debajo de 25°C), mesófilicos (entre 25 y 45°C) y termófilicos (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
Piscrofilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C
Mesofilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C
Termofilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C

Tabla 11 - Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

Fuente: Varnero 2011- Manual de Biogás

El óptimo de funcionamiento se encuentra alrededor de los 35°C, aumentando hasta unos 40°C en la etapa final de formación de metano como se observa en Grafico 2.

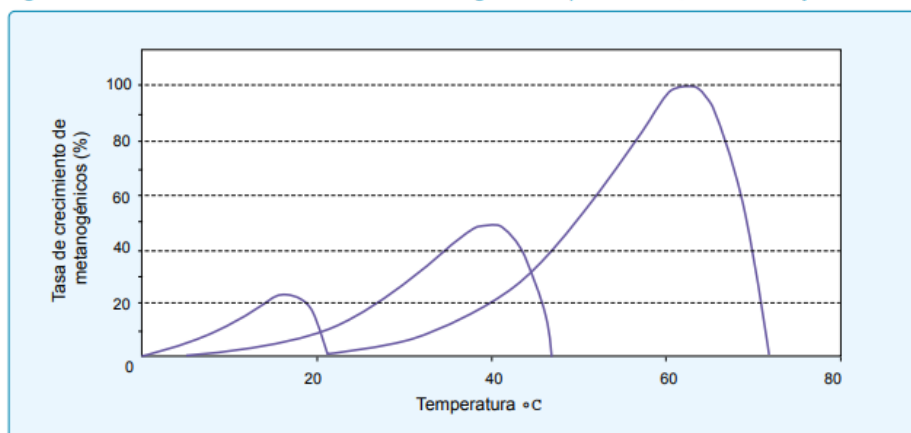


Gráfico 2 - Tasa de crecimiento relativo de microorganismos Psicrófilicos, Mesófilicos y Termófilicos

Fuente: Varnero 2011- Manual de Biogás

²⁶ María Teresa Varnero Moreno (2011) MANUAL DEL BIOGÁS

Hasta el momento, el rango psicrófilico ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido al gran tamaño del reactor necesario. Sin embargo, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura de operación. 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, pero 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 ello el régimen mesofílico de operación es el más utilizado como regla general, la actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima.

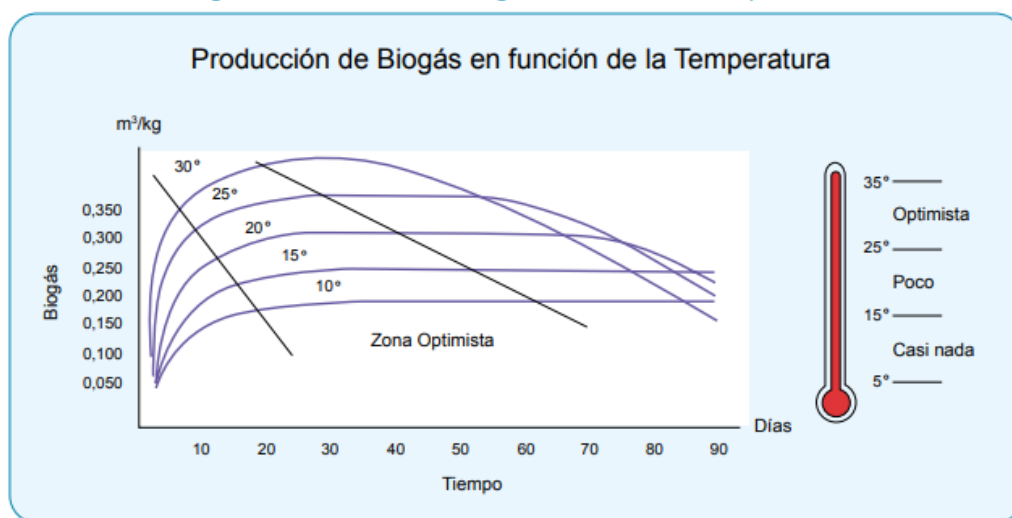


Gráfico 3 - Producción de Biogás en función de Temperatura

Fuente: Varnero 2011- Manual de Biogás

B) pH²⁷

Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad

Este parámetro puede variar como consecuencia de las características de la mezcla que ingresa y a procesos que ocurren en el biodigestor. El pH normalmente se encuentra entre 6-8, con un valor próximo a 7 para la actividad óptima.

El pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas

²⁷ María Teresa Varnero Moreno (2011) MANUAL DEL BIOGÁS

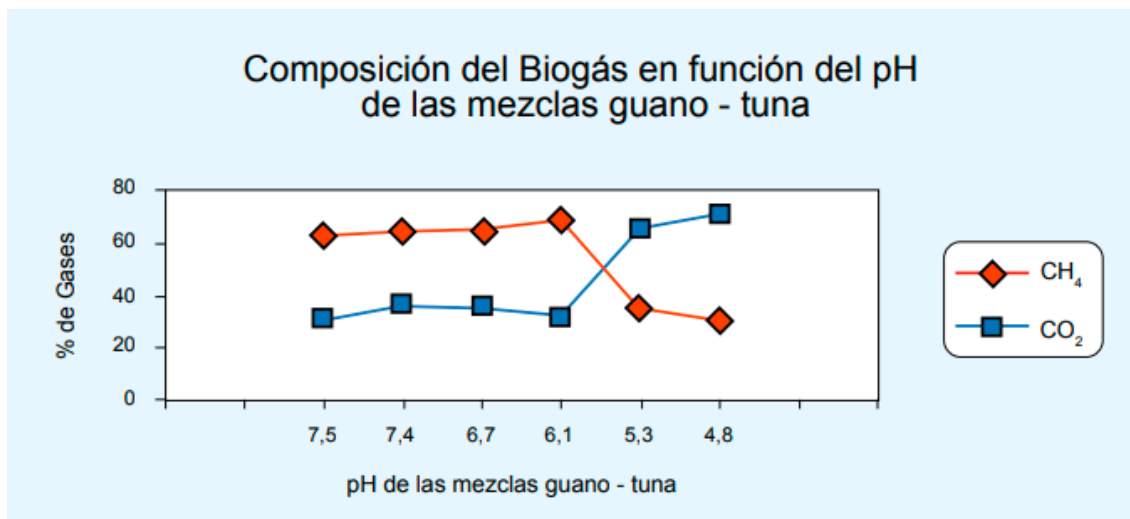


Grafico 4 - Composición del biogás en función del pH.

Fuente: Varnero 2011- Manual de Biogás

El nivel de pH deseado para la operación del digestor se puede conseguir ajustando el pH de las materias primas que entran al digestor o controlando el pH en el digestor. Para conseguir el pH deseado, se requiere conocer la cantidad de químicos necesarios que se deben adicionar a las materias primas que entraran al digestor, en tanto que, en el último caso, tal conocimiento previo no se requiere. El reactor generalmente es monitoreado con un medidor de pH online conectado a un controlador. El pH deseado se programa y la adición de químicos (ácido o base) se lleva a cabo de forma automática.

C) Relación carbono/nitrógeno²⁸

La relación carbono/nitrógeno (C/N) expresa la proporción entre esos componentes en un sustrato orgánico. Ambos elementos son claves para la vida y participan en todos los procesos biológicos, directa o indirectamente. El carbono es la fuente de energía, mientras que el nitrógeno es usado por los microorganismos para la regeneración y el crecimiento celular. Como un biodigestor es un sistema vivo, esta proporción es importante para la actividad microbiana. En función del tipo de material orgánico que alimente al biodigestor, la relación C/N puede no ser la mejor para que los procesos biológicos ocurran, lo que disminuirá la eficiencia del sistema. Los rangos óptimos dentro del biodigestor van de 20:1 a 30:1. En sustratos como el guano de gallina, la relación puede ser muy baja, debido a la gran cantidad de N que contiene. Para cada caso existen alternativas que permiten mejorar la relación C/N hasta llevarla a los rangos necesarios para que el proceso se desarrolle eficientemente: desde reducir la cantidad de N mediante distintos métodos de volatilización y/o precipitación, hasta mezclar diferentes sustratos para lograr una mezcla óptima, lo que se denomina codigestión, lo cual es el caso de nuestro proyecto en donde la mezcla utilizada para la biodigestión estará compuesta de residuos de naranjas, pomelos y limones.

²⁸ FAO (2019) Guía Teórico-práctica sobre el biogás y biodigestores p.12

D) Tiempo de retención hidráulico (TRH)²⁹

El tiempo de retención hidráulica (TRH o THR) indica el tiempo medio de permanencia del sustrato en el biodigestor, sometido a la acción de los microorganismos, y no es más que el cociente entre el volumen del reactor y el caudal diario de carga. 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 psicrófilicos se requieren valores de TRH mayores que en rangos mesófilicos o termófilicos. A mayor temperatura, menor TRH. Para los distintos procesos, los TRH pueden ser muy variables:

- **Psicrófilicos:** de 50 a 120 días.
- **Mesófilicos:** de 25 a 50 días.
- **Termófilicos:** de 15 a 25 días.

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.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás.

En un sistema de carga diaria, el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación, y se define como:

$$TRH = \frac{\text{Volúmen del reactor}}{\text{Caudal diario de carga}}$$

A mayor temperatura, menor TRH.

El límite de los TRH está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido, la cual debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias presentes dentro del reactor. Para los distintos procesos, los TRH pueden ser muy variables, para dimensionar un biodigestor resulta necesario conocer la tasa diaria de alimentación y el TRH.

²⁹ FAO (2019) Guía Teórico-práctica sobre el biogás y biodigestores p.10

Tiempo de retención hidráulico	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40-60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía
60-90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía

Tabla 11 - Tiempos de retención hidráulico según climas regionales.

Fuente: Varnero 2011- Manual de Biogás

Factores que determinan o condicionan el tamaño del proyecto

- **Demanda:** está ligada a la necesidad de la empresa Ledesma la cual sería el demandante de la implementación del proyecto. Para determinar el tamaño hay que determinar la demanda energética del establecimiento.
- **Insumos:** El mismo establecimiento genera el insumo para producir biogás sin costo alguno ya que surgen de efluentes semisólidos de su fábrica de jugos y aceites. Para este caso el abastecimiento de insumos no es considerado un factor determinante, pero sí es importante, la oferta de insumos para calcular los niveles de producción en el tiempo que se tendrán.
- **Tecnología y equipos:** Este factor es determinante, ya que, para producir energía a partir de biogás, se necesita una tecnología específica con una capacidad que se adecue a la oferta de insumos y demanda de energía dentro del establecimiento. Se deben analizar las posibilidades tecnológicas que nos permitan llegar al producto terminado de forma eficiente.
- **Financiamiento:** Este proyecto demanda una gran inversión inicial, por lo que se debe escoger, dentro de las posibilidades, un tamaño que pueda financiarse con facilidad, eligiendo la mejor alternativa.
- **Condiciones locales de producción:** La empresa Ledesma está ubicada en una región donde las condiciones climáticas permiten que el proyecto sea realizable desde ese sentido; por lo que se ubica la planta en ese lugar, ya que es allí donde se encuentran los insumos y la demanda del producto final. Entonces, se entiende que las condiciones locales no son un factor determinante, más bien se ve beneficiado, lo que condiciona es simplemente la producción de jugos y aceites ya que el desecho es el insumo de este proyecto.

Dimensionamiento del biodigestor

Teniendo en cuenta lo visto anteriormente en los factores físico-químicos de control tomaremos entonces para el dimensionamiento del biodigestor para el proyecto, los siguientes factores:

- Carga diaria
- Temperatura de trabajo
- Tiempo de retención hidráulica (TRH).

Dependiendo de la elección del tipo de biodigestor, del ambiente en donde se ubica, temperaturas de ingreso de carga, de los materiales y otros factores, se puede estimar la temperatura de trabajo a la que se desarrollará el proceso de biodigestión. Como vimos anteriormente la temperatura condicionara significativamente el tamaño del biodigestor y de la manera en que este pueda trabajar. Esta variación se puede ver en el siguiente ejemplo:

- Biodigestor mesofílico: $30 \text{ m}^3/\text{día} \times 35 \text{ días} = 1.050 \text{ m}^3$
- Biodigestor psicrófilico: $30 \text{ m}^3/\text{día} \times 60 \text{ días} = 1.800 \text{ m}^3$

Donde se observa que, según el tiempo de retención en días, y su carga diaria, harán variar el tamaño, es por esto que para calcular el volumen de un biodigestor se sigue la siguiente formula:

Cálculo de volumen útil del biodigestor³⁰

$$\text{TRH (días)} \times \text{Cantidad de carga (m}^3/\text{día)} = \text{Volumen del biodigestor (m}^3\text{)}$$

El clima en esta localidad pertenece al del tipo templado húmedo y la temperatura media anual es de 21 °C con una oscilación entre los 26°C en enero y los 14.5 °C en julio. Por lo tanto, se puede concluir que, con un tiempo de retención de 30 a 40 días, se habrá producido la mayoría del biogás posible, para tomar una media se tomaran **35 días** como tiempo de retención con una carga de 1800m³ por día . Habiendo definido y calculado los otros parámetros, dicho tiempo de retención determina el volumen del biodigestor.

$$35 \text{ días} \times 1800 \text{ m}^3/\text{día} = \mathbf{63.000 \text{ m}^3}$$

³⁰ FAO (2019) Guía Teórico-práctica sobre el biogás y biodigestores p.57

Características para la construcción del biodigestor

Los biodigestores de laguna cubierta como se vio anteriormente se instalan enterrados, alargado. Para el diseño se utiliza una sección “trapezoidal”, ósea formando taludes los cuales se recomienda, conformar el talud de las paredes del biodigestor en una relación de 1:3 y no mayor de 1:1. (Si los taludes aumentan más de 1:1, las paredes se volverán inestables. y menor de 1:3 se requerirá más espacio no necesario).³¹



Figura 9 - Construcción de pozo y taludes de la laguna

Por medio de cálculos ³²teniendo en cuenta lo anterior mencionado se obtuvieron las siguientes dimensiones finales:

Dimensiones	
Base menor	20 m
Base mayor	40 m
Altura	5 m
Largo	150 m

Tabla 12 - Dimensiones del biodigestor del proyecto – Fuente: Elaboración propia

Con estos valores se tendrá una laguna cubierta, con un volumen de 22.500 m³, lo cual dicho volumen no cubre la cantidad de volumen necesario, pero se tomó la decisión de realizar no uno sino tres biodigestores de las mismas dimensiones para así no operar con un solo biodigestor y tener tres operando en paralelo por alguna eventualidad (rotura de membrana, mantenimientos programados, etc.)

³¹ Secretaría de medioambiente y recursos naturales. (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México.

³² Cálculos de dimensiones de biodigestor en Anexo 2.

Por tanto, con la construcción de tres biodigestores tendríamos que:

$$3 \text{ biodigestores} \times 22.500 \text{ m}^3 = 67.500 \text{ m}^3$$

Y así es como llegaríamos a cubrir el volumen necesario según nuestro tiempo de retención y carga diaria.

Se adjunta a continuación el diseño del biodigestor medido en metros:

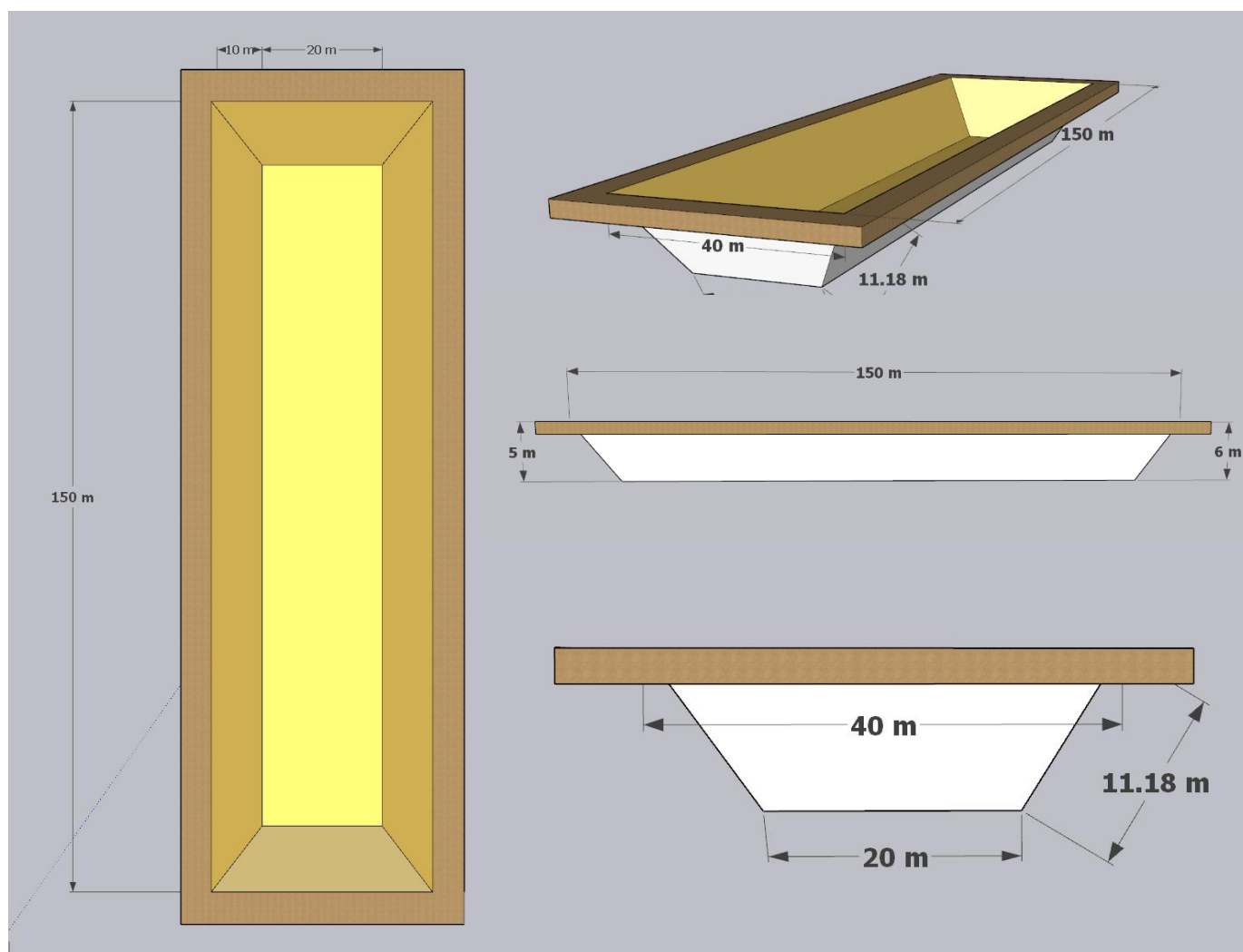


Figura 10- Diseño del biodigestor

Localización óptima del proyecto

Ledesma cuenta con más de dos hectáreas libres contiguas a su fábrica de jugos, lo cual es una ventaja para la instalación de la planta de biogás porque así tendría en cercanía tanto los insumos como la demanda de energía eléctrica, esto conllevaría a menores costos de transporte del efluente.

La planta se ubicará junto a la actual planta industrial de jugos, lo bastante cerca como para poder obtener los insumos de manera eficiente, ya que la salida de los efluentes que se convertirán en afluentes que salen de un tornillo sin fin y que se descarga en camiones tendrán un recorrido relativamente corto y de manera interna, como así también esta ubicación nos permite hacer llegar la energía a todos los lugares necesarios, con el menor costo de infraestructura posible.

A continuación, se presentarán los mapas y planos pertinentes al proyecto. En el primero de ellos se observa una vista panorámica del departamento Ledesma donde se encuentra Ledesma S.A.A.I.



Figura 11–Mapa con vista panorámica

En el siguiente mapa se observa una vista más detallada, en la misma se pueden visualizar las rutas de acceso al predio las cuales son caminos internos de la empresa Ledesma, que están paralelos a Ruta 34.



Figura 12 –Mapa con vista detallada del predio de aprox. 27.000m²

Proceso de Producción de Energía Eléctrica y Biofertilizantes

Se presenta un esquema a modo explicativo del proceso productivo de energía y biofertilizantes:



Gráfico 5 - Proceso de Producción de electricidad y biofertilizantes

Los restos de los cítricos (naranja, limón, pomelo) que son descartados por medio de las extractoras JBT de la Fábrica de Jugo de Ledesma constituyen la “materia prima” para los pequeños organismos como insectos, bacterias y hongos. En la producción de biogás, dichas bacterias poseen un rol de suma importancia, ya que ellas viven de la materia orgánica donde a su vez producen gas inflamable y combustible como producto de desecho. Por lo tanto, el biogás nace de la fermentación anaeróbica de sustancias orgánicas en un ambiente acuoso.



Figura 13 – Modelo de extractoras JBT instaladas en Ledesma

Dichos residuos semisólidos obtenidos de las extractoras son transportados por medio de un tornillo sin fin hacia el exterior de la nave para luego ser recolectados por camiones los cuales estos lo descargarán en una laguna de premezcla que se encontrara anterior a los biodigestores, en ella se embeberá con agua los residuos cítricos con una relación de 1:5 para posteriormente ser bombeados hacia los biodigestores de laguna cubierta.



Figura 14 - Tornillo sinfin de la fábrica de jugos de Ledesma trasportando residuos cítricos



Figura 15 - Interior de extractoras de jugo JBT instaladas en Ledesma

La dimensión del biodigestor que se utiliza surge de acuerdo al volumen total de materias primas (1800 m³ diarios), que surge de la sumatoria de los residuos cítricos semisólidos más el agua de imbibición adicionado en la laguna de premezcla. Con estos datos dimensionamos el volumen en m³ de biodigestión necesaria para cumplir con el tiempo de retención hidráulico (35 días).

El resultado del volumen fue de 67.500m³ los cuales serán cubiertos como se dijo anteriormente por 3 biodigestores de laguna cubierta con una capacidad volumétrica de cada uno es de 22.500 m³, son digestores mesofílicos, recubiertos con una geomembrana y herméticamente cerrada para almacenar el biogás en su interior. El efluente del biodigestor será utilizado para el fertirriego de los cultivos.

Luego de transcurrido el tiempo de retención hidráulico dentro del digestor, una parte importante de la sustancia orgánica seca se transforma en biogás, el cual es extraído hacia los generadores de energía eléctrica al cual los biodigestores estarán conectados.

Posterior al proceso de biodigestión, quedan como subproductos, abonos sólidos y líquidos. Para poder utilizarlos se realiza una separación mecánica (física), a través de una máquina, con tornillo sinfín de acero inoxidable, se la conoce también como separador helicoidal, va montada en plataforma metálica, o de hormigón armado, a 2 metros de altura aproximadamente, por el cual se bombea el lodo fermentado. El resultado es aproximadamente 92% de biofertilizantes líquidos y un 8 % de compost sólido. Estos biofertilizantes surgen de la materia prima total, esto es así debido a que una parte de la misma se transforma en biogás y otra parte se reduce por el cambio de estado de la materia (de sólido y líquido a gaseoso). El biofertilizante sólido se podrá colocarlo en sacos de PVC hasta su empleo o llevarlos de forma directa a uso de recuperación de suelos. En cuanto al líquido este puede ser retirado por medio de camiones o tractores con cisterna para ser llevados al campo y ser utilizados en el fertirriego.

Equipos y partes del biodigestor

A continuación, se entrará en detalle por cada parte y equipos necesarios para la construcción y funcionamiento de todo el proceso de obtención.

Geomembrana

Se deberá instalar un geotextil contra las paredes y el fondo del biodigestor, para protección de la geomembrana. La compactación de los taludes se realizará empleando técnicas y equipos adecuados al tipo de terreno, de tal forma que se deje la superficie sin bordes o piedras que lastimen a la geomembrana durante su colocación.



Figura 16 - Colocación de la geomembrana para cubrir el fondo de la laguna y tuberías necesarias para la succión de lodos residuales

Se colocarán tuberías de captación y conducción de biogás por todo el perímetro de la laguna que serán de PVC, polietileno de alta densidad, polipropileno o cualquier otro material que resista la corrosión con RD 26 o equivalente en diámetros de 3" a 12" dependiendo del volumen de biogás.³³



Figura 17-Tubería alrededor de la laguna, cuya función es la captación del biogás que se generará en cuanto se cubra la laguna

³³ Secretaría de medioambiente y recursos naturales. (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en Mexico.

Para obtener una presión constante de gas, se aplica un método que se presentará en otros diseños: La cúpula está formada por dos membranas, una sobre la otra, que cubren todo el perímetro del reactor. La membrana de abajo está en contacto con el contenido del reactor y es la que captura el Biogás. La membrana de arriba, en cambio, está conectada a un compresor de aire por una manguera externa y a un regulador de presión. Este compresor bombea aire automáticamente al espacio entre las dos membranas, de manera de mantener una presión determinada del biogás que está bajo la membrana inferior. El control de la presión se encuentra incluido en el servicio de automatización y control.³⁴

Cuando se utiliza el biogás y se vacía la membrana interior, el compresor se enciende para bombear el aire necesario para compensar la disminución de la presión. Esto es fundamental para el correcto funcionamiento de los artefactos que utilizaran el biogás, sobre todo si se utiliza para generar electricidad.



Figura 18 - Geomembrana expandida

La geomembrana que se utilice deberá cumplir con las siguientes propiedades:

Propiedades mínimas consideradas en la selección de geomembrana		
Propiedad	Unidad	Valor nominal
Densidad	Kg/m ³	940
Resistencia al desgarre	N	210
Espesor	Micras	>1000
Resistencia al límite elástico	N/mm	25
Estiramiento al límite elástico	%	13
Resistencia a la rotura	N/mm	43
Estiramiento a la rotura	%	700

Tabla 13 – Propiedades mínimas necesarias de la geomembrana.

Fuente: Secretaría de medioambiente y recursos naturales. Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México. (2010).

³⁴ Secretaría de Estado de la energía, Gobierno de Santa Fe. (s/f). CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA.

La vida útil estimada para estas membranas es de 20 años. Las membranas estarán soldadas por termofusión. Las soldaduras perimetrales entre el revestimiento primario y la cubierta, así como las reparaciones de las soldaduras con defectos, deberán realizarse con soldadura por extrusión.³⁵

El precio de estas que el proveedor nos suministro es de cada rollo de 6900 U\$D

Debido a las dimensiones de los biodigestores se calculó que se necesitara 36 rollos de membranas por biodigestor, 24 membranas para la parte superior donde se instalan 12 membranas primero y luego las otras 12 para formar la cúpula, y 12 membranas más para recubrir el piso de la parte inferior.³⁶

Además, se recomienda que en el piso de la estructura previo a las membranas se coloquen geotextiles no tejidos el cual el precio es de 140 U\$D por rollo.

Instrumentación principal para control de proceso

Para el control de las distintas variables que influyen en la producción de biogás debemos tener en cuenta:

- pH
- Redox
- Temperatura
- Concentración de CH₄
- Caudal de Biogás

Por tanto, será necesarios instrumentos de control para las variables mencionadas, se puede instrumentar de diversas formas, a continuación, serán detalladas cada variable.

pH³⁷

El pH puede variar con el tipo de sustrato y por alteraciones en el proceso de biodigestión. Se debe medir el pH del efluente del digestor, que será representativo del interior, y también se recomienda medir el pH del material de carga regularmente. En general, si:

- El sustrato es rico en carbohidratos tendera hacia la acidificación
- El sustrato es rico en proteínas tendera a aumentar el pH por la producción de amonio.

En el caso del sustrato que vamos a utilizar esta tendera a la acidificación, por tanto el índice de alarma más crítico es cuando el pH es menor a 6 ya que afectará directamente el metabolismo de las bacterias involucradas en las diferentes fases del proceso, generando cada vez más acidez, lo cual termina por detener el proceso de

³⁵ Secretaría de medioambiente y recursos naturales. (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en Mexico.

³⁶ Calculos de membranas en Anexo 2

³⁷ Secretaría de Estado de la energía, Gobierno de Santa Fe (s.f) CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA.

digestión, esto debido a que las bacterias metanogénicas son sumamente sensibles a las variaciones de pH en el digestor. Si el pH baja este afectará a la producción de biogás, se seguirá generando biogás, pero con menor cantidad de metano, por lo cual baja el poder calorífico del biogás.

Alternativas para disminuir el pH

Una de las primeras opciones para resolver el problema es reducir la cantidad de carga, hasta el punto en el cual los Ácidos grasos volátiles (AGV) se consuman más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV se ha agotado, el pH del sistema retorna a los rangos de operación normales y la metanogénesis comienza a repuntar. La carga puede incrementarse gradualmente a medida que el proceso se recupera, hasta completar la capacidad de carga óptima.³⁸

En circunstancias extremas, además de la disminución de la carga orgánica volumétrica se puede suplementar algún químico para ajustar el pH como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoníaco, cal, hidróxido de sodio y potasio. Se prefiere el bicarbonato de sodio debido a su alta solubilidad y baja toxicidad.

Redox

El potencial redox es valor electro químico que se mide en milivoltios. Un sustrato con un redox negativo fuerte (= alto redox) como, por ejemplo -400 mV es rico en electrones y pobre en oxígeno. Un redox potencial negativo es un indicador de un proceso anaeróbico pobre en oxígeno. El proceso de digestión anaeróbica, ocurre únicamente en medios acuosos con un potencial redox que se ubica en un rango de -330 mV a -550 mV.³⁹

Esta variación del potencial se debe medir continuamente. Teniendo estas mediciones continuas el operador puede reaccionar rápidamente cuando se tengan valores menos fuertes del potencial redox (cuando son menores a -330 mV). La potencia redox, puede variar también, cuando hay cambios drásticos y muy rápidos en el tipo de sustrato con que se alimenta el biodigestor.

Temperatura

Como se vio anteriormente la temperatura óptima para manejar en un reactor de biogás es en el rango mesofílico óptimo ósea entre los 25°C y 45 °C.

Para al control de la temperatura, se deben instalar sensores al interior del biodigestor. Los sensores, deben ubicarse estratégicamente, de tal forma, que se obtengan mediciones representativas del sustrato. Las especificaciones de los sensores, deben ser para aguas agresivas. Los sensores, siempre deben estar sumergidos en el agua. Los conectores de los sensores no deben estar en contacto con el agua, para que no sufran daños permanentes. No se deben instalar sensores domésticos ó portátiles, que no sean fabricados para trabajar en medios agresivos.⁴⁰

³⁸ Secretaría de Estado de la energía, Gobierno de Santa Fe. (s.f). CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA.

³⁹ AquaLimpia Engineering. (2013). CONTROL DE PROCESO EN BIODIGESTORES.

⁴⁰ AquaLimpia Engineering. (2013). CONTROL DE PROCESO EN BIODIGESTORES.

En cuanto al instrumento para poder controlar estas tres variables se utilizarán medidores de multiparámetros los cuales nos permiten obtener información de manera automática, a continuación, se suministra un ejemplo de estos instrumentos, un controlador multiparamétrico KM 3000 ⁴¹ donde estará conectado a los distintos sensores de pH, temperatura como el que se observa en la figura 20⁴² y otro sensor que mida potencial redox, visto en figura 21⁴³.



Figura 19 – Controlador multiparámetro KM 3000



Figura 20- Sensor Redox Digital Memosens CPF82E para tratamiento de aguas residuales



Figura 21 – Electrodo pH InPro3100/PT1000 con sensor de temperatura para mediciones en bioprocesos microbianos

⁴¹ Fuente y especificaciones: <https://www.meinsberg.de/en/produkte/km3000.html>

⁴² Fuente y especificaciones: <https://www.ar.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/memosens-cpf82e?t.tabId=product-overview>

⁴³ Fuente y especificaciones: <https://www.mt.com/es/es/home/products/Process-Analytics/pH-probe/in-line-pH-probe/inpro3100-120-pt1000.html>

Concentración de CH₄

Los analizadores de metano - CH₄ son necesarios para medir el gas metano contenido en el biogás. Los sensores de gas CH₄ se pueden utilizar en cualquier escala de proceso de biogás, desde plantas de biogás de laboratorio y en biodigestores a escala industrial.⁴⁴

La transferencia de datos a los sistemas de control de procesos es simple. El sensor CH₄ se puede instalar directamente en la corriente de gas sin requisitos de pre tratamiento. El sensor se puede conectar directamente a una computadora con un puerto USB.

- Análisis de gas in situ a un precio razonable
- Medición no invasiva
- No requiere un flujo mínimo de biogás
- Integración directa en tuberías de gas, no es necesaria la instalación de tuberías de gas adicionales.
- No requiere enfriador de biogás
- No requiere una presión mínima.
- Instalación rápida gracias a la conexión estándar con un adaptador de 1 1/4"
- Cero costos de mantenimiento.
- Calibración de fábrica con gases de prueba certificados



Figura 22 - Sensor de CH₄ proporcionado por Aqualimpia

⁴⁴ AquaLimpia Engineering. (s.f). Sensores CH₄ <https://www.aqualimpia.com/equipos-biodigestores/sensores-ch4/>

Caudal de biogás

Para medir el caudal de biogás que se produce en un biodigestor se instalaran medidores, estos equipos medidores registran los siguientes valores y tienen estas características.⁴⁵

- Caudal de biogás.
- Velocidad de conducción.
- Caudal normado de biogás (Nm^3) combinación con un sensor de presión y de temperatura.
- Los medidores son diseñados para la operación en zonas explosivas.
- La medición se la realiza por un proceso ultrasónico que mide también caudales muy pequeños de biogás.
- No tiene partes móviles lo que garantiza una larga vida útil.
- Resistentes a la corrosión, cuerpo fabricado en acero inoxidable.



Figura 23 - Medidor de caudal de biogás

Agitadores

Se instalarán sistemas de agitación horizontal que prevengan la sedimentación y acumulación de sólidos, el taponamiento de tuberías, así como para garantizar perfiles de temperatura constantes dentro del biodigestor, y una eficiente interacción entre microorganismos y el sustrato.

También son una parte importante de los biodigestores debido a las siguientes razones:

- Mezcla la biomasa fresca con la biomasa digerida existente al interior del digestor.
- Mejor distribución, mezcla de nutrientes y calor dentro del digestor.
- Reduce la formación de costras, sedimentos y flóculos de biomasa que pueden sedimentarse en el fondo del digestor.
- Mejoran y facilitan la extracción de biogás (se “sueltan” las burbujas de biogás)
- Mayor producción de biogás.⁴⁶

⁴⁵ AquaLimpia Engineering. (s.f). MEDIDORES DE BIOGAS. <https://www.aqualimpia.com/medidores-biogas/>

⁴⁶ AquaLimpia Engineering. (s.f). VENTAJAS DE LOS SISTEMAS MECANICOS DE AGITACION



Figura 24 - Agitadores instalados en biodigestor primer ejemplo



Figura 25 - Agitadores instalados en biodigestor segundo ejemplo

La selección del número de agitadores, potencia en kW y su ubicación se realiza según el sustrato o mezcla, forma y tamaño del biodigestor. Pero lo que se recomienda es que por cada 2500m³ de biodigestor se instale 3-4 agitadores con potencias de 18-22 kW, mientras más agitadores se logren instalar mayor será la seguridad para evitar formación de costras, reducción de zonas muertas y mayor producción de biogás.⁴⁷

El costo de estos agitadores provistos de AQUALIMPIA son de 6000 USD.

⁴⁷ AquaLimpia Engineering. (s.f). VENTAJAS DE LOS SISTEMAS MECANICOS DE AGITACION.

Purificación del biogás

El biogás contiene aproximadamente un 1% de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Se deberá instalar un filtro para la retención del ácido sulfhídrico, debido a que este ácido es precursor de ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual corroe las partes metálicas y acorta el tiempo de vida útil de los equipos.

El filtro utiliza carbón activado impregnado para separar el sulfuro de hidrógeno (H_2S), que fue desarrollado especialmente para esta aplicación. La separación tiene lugar mediante absorción química catalítica (el sulfuro de hidrógeno se divide en los constituyentes azufre y vapor de agua). Esto requiere la presencia de una pequeña cantidad de oxígeno siempre presente en el biogás. El filtro de biogás está construido en acero inoxidable que garantiza una vida útil de más de 20 años. 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 exteriores⁴⁸.

El caudal de biogás que se llegara a producir es de 57,25 m³/hr, con este dato se decidió que el purificador a utilizar ser uno de la empresa AQUALIMPIA, la misma que proporciona agitadores y generador. Este filtro está diseñado para caudales de hasta 100 m³/hora. El costo del filtro es de 6.000 USD.



Figura 26 - Filtro de remoción de H_2S y siloxanos

Separador Helicoidal

En cuanto a los efluentes producto de la biodigestión estos se sabe que en su mayor parte son líquidos con presencia de sólidos, dichos sólidos son la materia seca que no llega a biodegradarse, dichos lodos son bombeados al interior del separador, el cual consta de una criba cilíndrica de acero inoxidable con un tornillo helicoidal en su interior, que comprime la materia sólida expulsando la fracción líquida a través de los orificios de la criba, y en el extremo opuesto al ingreso de los lodos al equipo, los sólidos son arrojados fuera del mismo.

El precio para estos equipos ronda los 6000 USD.

⁴⁸ AquaLimpia Engineering. (s.f). FILTROS PARA REDUCCION DE H_2S Y SILOXANOS.

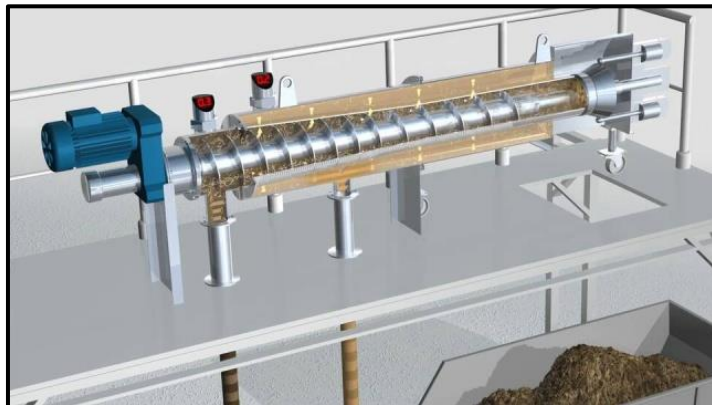


Figura 27 - Separador Helicoidal

Motogenerador

Un generador de biogás duradero y fiable puede generar importantes ahorros a largo plazo, además de ser ecológicamente responsable, los generadores que se van a utilizar en esta planta son los de la marca 2G modelo filius los cuales son potentes módulos de 50 hasta 160 kW, diseñado especialmente para plantas de biogás⁴⁹. La empresa AQUALIMPIA lo suministra normalmente como módulo compacto premontado en un contenedor listo para conectar y su puesta en marcha es rápida a la vez que sencilla.

El costo de los mismos es de 12.000 USD para el modelo filius 404b de 100kw y 18.000 USD para el modelo filius 404c de 160kw, se decidió colocar estos motores basado en los cálculos realizados⁵⁰, además se optó por dos motores de 160kw aparte del de 100kw para evitar grandes pérdidas por mantenimientos correctivos o paradas



programadas.

Figura 28 - Generadores adaptados para biogás

⁴⁹ 2G Programa de productos. (s.f). Cogeneración.

⁵⁰ Cálculo de energía generada en Anexo 2.

Organización para la producción

El adecuado manejo de los RR.HH. se basa en lograr que todas las personas involucradas en procesos productivos de una empresa, realicen en forma correcta aquellas acciones más adecuadas para lograr los objetivos fijados y que contribuyan con su conocimiento y experiencia a resolver problemas que se originan en contextos variables. El conjunto de RR.HH. de una empresa está compuesto por tres niveles: Personal de Dirección: a cargo de decisiones empresariales. Profesionales: capacitados para definir el planteo de producción, son los responsables de planificar, supervisar, diagnosticar y proponer alternativas. Personal operativo: adecuados para cada tarea a desarrollar, los que deberán estar capacitados, motivados, incentivados y poseer conciencia de equipo. En este caso para la planta de biogás se optara por crear un nuevo departamento a cargo de la gerencia de Energía de la empresa Ledesma, por tanto al formar un nuevo departamento se necesitara un jefe de departamento que responderá al gerente de Energía, y debido a que esta planta debe mantenerse constantemente en producción y control se optara en el trabajo por turnos , dándonos así la necesidad de tener un supervisor de planta por turno, luego se debe tener por turnos 6 operarios permanentes para tareas operativas.

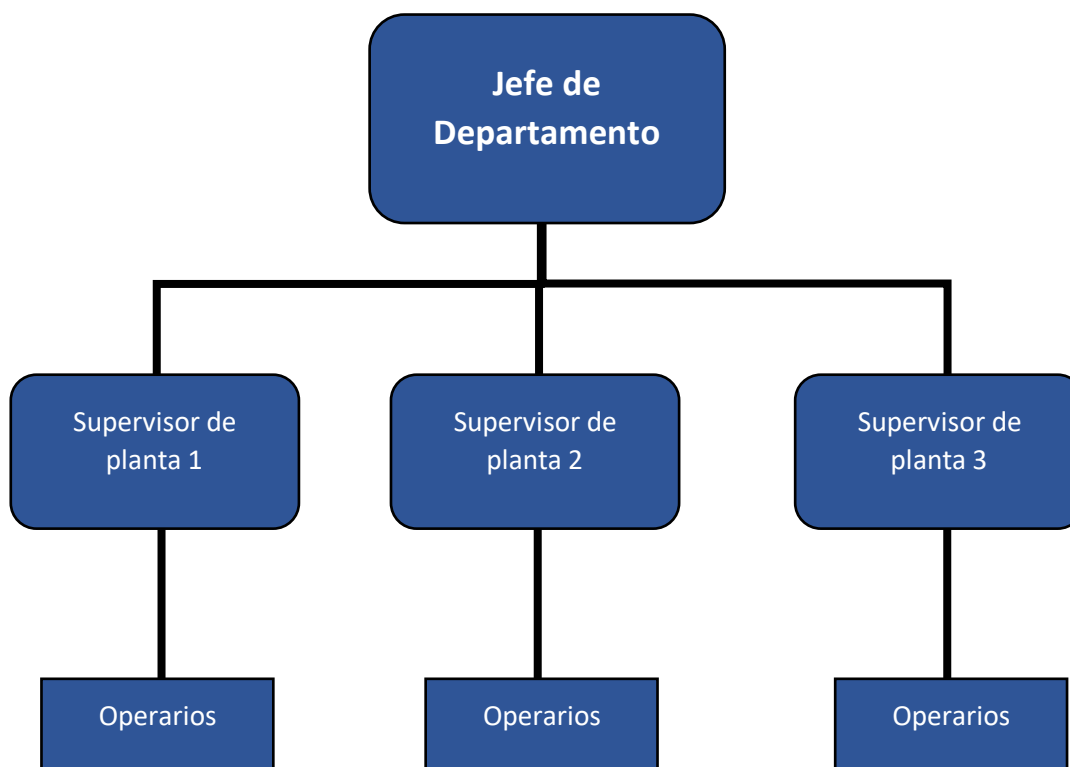


Gráfico 6 - Organigrama del establecimiento

4-MARCO LEGAL

Reglamentación vigente en el país

Al ser un proyecto de ampliación en la empresa, el estudio legal se limita justamente a la planta de biogás que sería la parte ampliada del establecimiento, para ello se tuvo en cuenta para este estudio, la ley nacional de biocombustibles. En nuestro país, la ley que rige en este aspecto es la **ley N° 26.093** que fue promulgada en Mayo de 2006, y habla del **REGIMEN DE REGULACION Y PROMOCION PARA LA PRODUCCION Y USO SUSTENTABLES DE BIOCOMBUSTIBLES**.

En su artículo 5° la ley afirma que: “A los fines de la presente ley, se entiende por biocombustibles al bioetanol, biodiesel y biogás, que se produzcan a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos, que cumplan los requisitos de calidad que establezca la autoridad de aplicación.”; por lo que el proyecto queda sujeto bajo esta ley. A su vez, esta legislación, en su Capítulo II establece un régimen promocional, llegando este a las pequeñas y medianas empresas, productores agropecuarios y economías regionales. Estas promociones van desde disminución de impuestos, hasta promover la investigación, cooperación y transferencia de tecnología. Por otra parte, la misma ley incorpora el aspecto ambiental, y lo hace en su Art. 6° mencionando que “Sólo podrán producir biocombustibles las plantas habilitadas a dichos efectos por la autoridad de aplicación. La habilitación correspondiente se otorgará, únicamente, a las plantas que cumplan con los requerimientos que establezca la autoridad de aplicación en cuanto a la calidad de biocombustibles y su producción sustentable, para lo cual deberá someter los diferentes proyectos presentados a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que incluya el tratamiento de efluentes y la gestión de residuos.”

También se debe tener en cuenta las leyes:

- **Ley N° 26.190** Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.

Donde la presente ley promueve la realización de nuevas inversiones en emprendimientos de producción de energía eléctrica, a partir del uso de fuentes renovables de energía en todo el territorio nacional, entendiéndose por tales la construcción de las obras civiles, electromecánicas y de montaje, la fabricación y/o importación de componentes para su integración a equipos fabricados localmente y la explotación comercial.

- **Ley N° 27.191**

Modificaciones a la Ley 26.190, “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”

Algunas normativas también relacionadas son:

- **Ley Provincial 6.023 GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA RENOVABLE**

Establece el régimen provincial para la integración de la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables por parte de usuarios titulares del servicio eléctrico, a la red pública de distribución. La cual se aplica a la generación distribuida de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables dentro del territorio de la provincia de Jujuy.

- **Ley Provincial 6.313 REGLAMENTACIÓN DE LA LEY N° 6023 DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA RENOVABLE**

Establece las condiciones administrativas, contractuales, técnicas y económicas para la conexión a las redes de distribución de energía eléctrica en media y baja tensión de las instalaciones de generación de energía eléctrica de fuentes renovables destinadas, en primer lugar, al autoconsumo y en segundo lugar a la inyección de eventuales excedentes de energía eléctrica a las redes de distribución.

- **Ley Provincial 6.141 DESARROLLO DE FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES**

hace extensivo el Régimen de Promoción previsto en el Capítulo II de la Ley N° 5.904 para la energía solar, al uso y aprovechamiento de otras fuentes de energía renovable no fósiles como son la energía eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero (metano), gases de plantas de depuración y biogás, y toda otra forma de generación, denominadas "híbridas", que son acoplamientos de las fuentes mencionadas, incluso combinaciones con redes y sistemas de generación no renovable ya existente. Ley que establece un régimen de inversiones para la construcción de obras destinadas a la generación de energía eléctrica y/o térmica, a partir del aprovechamiento de la energía eléctrica y/o térmica, a partir del aprovechamiento de la energía solar que regirá con los alcances y limitaciones establecidas en la presente ley.

Proyectos relacionados

- En el año 2012 se creó el **Proyecto para la Promoción de la Energía derivada de Biomasa**, el cual es llevado adelante por:
- La Secretaría de Gobierno de Agroindustria del Ministerio de Producción y Trabajo.
- La Secretaría de Gobierno de Energía del Ministerio de Hacienda,

Cuenta con la asistencia técnica y administrativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Objetivo principal:” incrementar la producción de energía térmica y eléctrica derivada de biomasa a nivel local, provincial y nacional, para asegurar un creciente suministro de energía limpia, confiable y competitiva y, a la vez, abrir nuevas oportunidades agroforestales, estimular el desarrollo regional y contribuir a mitigar el cambio climático.”

Plan Renovar

Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables es uno de los instrumentos del “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”. El Plan consta de una serie de llamados a Convocatoria Abierta para la calificación y eventual adjudicación de ofertas de personas jurídicas nacionales o extranjeras, a los efectos de la celebración de contratos de abastecimiento de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables con CAMMESA, en aras de aumentar la participación de las fuentes renovables de energía en la matriz energética del país conforme lo prescripto por las Leyes N° 26.190 y N° 27.191 y el Decreto N° 531/2016.

Normativas Ambientales

Constitución Nacional: Art.41 de la reforma de 1994 reconoce el derecho de todo habitante de la Nación a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano.

- **Ley N° 25.675: General del Ambiente**

La presente Ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.

- **Ley N° 24.051: de Residuos Peligrosos.**

La presente Ley establece las disposiciones para la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición de residuos peligrosos en lugares sometidos a la jurisdicción nacional o, aunque ubicados en territorio de una provincia estuviesen destinados al transporte fuera de ella, o cuando a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieran afectar las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado.

- **Ley N° 20.284: Calidad de Aire.**

La presente Ley, cuya finalidad es prevenir la contaminación atmosférica, establece normas que deberán aplicarse a todas las fuentes capaces de producir contaminación atmosférica ubicada en jurisdicción federal y en la de las provincias que adhieran a la misma.

- **Decreto N° 681/81-Ley N° 22.428: Conservación de Suelos**

El Decreto, que consta de 29 artículos, implementa la Ley N° 22.428, de 11 marzo 1981, por la cual se dictan normas para fomentar la aplicación de prácticas conservacionistas del manejo de los suelos.

- **Ley Provincial N° 5063**

La presente Ley establece, con carácter de orden público, las normas tendientes a garantizar la protección, preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, promoviendo una política de desarrollo sustentable y compatible con esos fines, que hagan posible una óptima calidad de vida para las generaciones presentes y futuras que habiten en el territorio de la Provincia de Jujuy.

ARTICULO 135.- El Poder Ejecutivo Provincia a propuesta de la autoridad de aplicación y previo dictamen del Comité Interministerial y del Consejo Provincial del Medio Ambiente, establecerá los valores máximos permisibles a los que deberán ajustarse las emisiones de ruidos, vibraciones.

Organismos competentes

- La Secretaría de Gobierno de Energía tiene competencia para dictar la normativa relacionada con los aspectos técnicos, de seguridad y habilitación de las plantas de producción de biogás, en su carácter de autoridad de aplicación de la Ley 26093.
- El ENARGAS es responsable de fijar la normativa técnica y de seguridad para las actividades de transporte, distribución, almacenamiento y uso de biogás, cuando estas se realicen en el ámbito de actuación de las Licenciatarias de Transporte y Distribución de Gas Natural reguladas por la Ley 24076.

En cuanto al uso, el ENARGAS debería incluir en las normas NAG (Código argentino del gas) la regulación específica para la homologación de artefactos y equipos para el uso de biogás.

5-ANÁLISIS AMBIENTAL

Los residuos cítricos, que se usan para preservación de suelos, pero a su vez contaminan el ambiente, entran en un proceso mediante el cual se transforman en biogás para luego generar energía térmica, eléctrica y biofertilizantes, y de esta manera no son desechadas al ambiente evitando contaminación tanto del aire como del suelo. Fundamentalmente porque la obtención y el aprovechamiento de materias primas secundarias ahorra materias primas y energía, reduciendo al propio tiempo el impacto sobre el medio ambiente, y, además, porque el aprovechamiento y/o la transformación de de estos residuos, permite reducir proporcionalmente la producción y utilización de fertilizantes minerales. Este aprovechamiento de residuos como materias primas para generar nuevos productos o energía, apunta a lograr el objetivo de tener una empresa con economía circular.

Economía Circular

La definición comúnmente adoptada de economía circular consiste en reciclar los recursos y pretende limitar los residuos al tiempo que se mejora la eficiencia de los productos. Este planteamiento pretende optimizar el uso de los recursos y reducir el consumo de energía, así como prolongar la vida útil de los materiales y reducir la producción de residuos.

La economía circular se opone al modelo económico lineal tradicional, basado en la extracción, la producción, el consumo y la eliminación. Por el contrario, promueve la reutilización, reparación, reciclaje y recuperación de los recursos existentes, al tiempo que minimiza el impacto medioambiental negativo y crea nuevas oportunidades económicas.⁵¹



Figura 29 - Economía lineal y circular

Actualmente la tasa de circularidad global ha caído constantemente desde el 9,1% en 2018, cuando la *Circle Economy Foundation* comenzó a medir, al 7,2% en 2023. Esto significa que, de todos los materiales consumidos en todo el mundo, hay más consumo

⁵¹ UPCYCLEA. Definición de economía circular. (2023) <https://upcyclea.com/es/definicion-de-economia-circular-la-guia-completa/>

de más materiales vírgenes que nunca, mientras que la proporción de materiales secundarios está en declive.⁵²

La escasez de recursos naturales; los evidentes cambios climáticos; la creciente concientización de la sociedad; la apuesta por la sostenibilidad; la presión de los consumidores e inversores; las normas, **todo apunta hacia un futuro circular.**

Ventajas y desventajas de la economía circular⁵³

Los beneficios de la economía circular incluyen:

- La preservación de los recursos naturales y la reducción de la dependencia de materias primas no renovables.
- Reducir los residuos y las emisiones contaminantes, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y a la lucha contra el cambio climático.
- La creación de puestos de trabajo locales y sostenibles, especialmente en los sectores de la reparación, el reciclaje y la recuperación de energía.
- La promoción de la innovación y la competitividad de las empresas, fomentando el ecodiseño, la economía de la funcionalidad y las sinergias industriales.

A pesar de sus muchas ventajas, la economía circular también tiene algunas desventajas:

- Los costes iniciales asociados a la transición a un modelo circular pueden ser elevados para las empresas, incluida la investigación y el desarrollo para el diseño de nuevos productos, la formación del personal y la adaptación de las infraestructuras.
- La complejidad de algunos flujos de reciclado puede limitar la viabilidad económica y medioambiental de la economía circular, especialmente en el caso de materiales difíciles de reciclar o residuos peligrosos.
- La falta de concienciación y educación del público puede obstaculizar la adopción de prácticas circulares, tanto por parte de los consumidores como de las empresas e instituciones.

⁵² RETEMA. (2024). Incesante descenso de la tasa de circularidad a escala global. <https://www.retema.es/actualidad/incesante-descenso-de-la-tasa-de-circularidad-escala-global>

⁵³ UPCYCLEA. Definición de economía circular. (2023) <https://upcyclea.com/es/definicion-de-economia-circular-la-guia-completa/>

Importancia de la economía circular⁵⁴

La economía circular se está convirtiendo en un tema de gran importancia debido a los retos medioambientales, económicos y sociales a los que se enfrenta nuestra sociedad, tales como

- La escasez y el encarecimiento de los recursos naturales, que amenazan la estabilidad económica y geopolítica.
- Degradación del medio ambiente y pérdida de biodiversidad, que afectan a la calidad de vida y la salud de las poblaciones.
- El cambio climático y sus consecuencias en los ecosistemas, las infraestructuras y las actividades humanas.
- Desigualdades sociales y territoriales en el acceso a los recursos, el empleo y los servicios esenciales.

La economía circular, y en particular el enfoque «de la cuna a la cuna», ofrece soluciones para afrontar estos retos y contribuir a la transición hacia un desarrollo más sostenible y equitativo.

Aplicación de economía circular al proyecto

El objetivo de las empresas que hacen de la economía circular su bandera es: luchar contra el calentamiento global y el cambio climático, reducir la dependencia de las materias primas a favor de los productos reutilizados y producir la menor cantidad posible de desechos. Para conseguirlo hay que aplicar nuevas estrategias empresariales, pensar el modelo de negocio, establecer políticas de ahorro de energía, reciclar y evitar la contaminación, entre otras medidas. En el caso de este proyecto, podemos ver que se adecua a este tipo de economía en donde la producción de jugos nos genera residuos, los cítricos, los cuales de desechos pasaran a ser insumos para poder lograr más producción tanto de energía como de fertilizante, logrando así la reutilización de recursos, disminuyendo en gran medida los residuos finales, y por tanto logrando convertir aquel curso lineal que seguía la producción de jugos cítricos en un ciclo cuasi cerrado.

Los 17 ODS

Como vimos anteriormente en el apartado de Economía circular el impacto que este proyecto puede tener en el medioambiente, a causa de ello, se analizara el cumplimiento que puede llegar a tener dicho proyecto basándonos en los 17 ODS (Objetivos de Desarrollo Sustentable), es por eso que estos serán analizados para verificar cuál de estos pueden cumplirse.

⁵⁴ UPCYCLEA. Definición de economía circular. (2023) <https://upcyclea.com/es/definicion-de-economia-circular-la-guia-completa/>

Para entrar en contexto los Objetivos de Desarrollo Sostenible buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda 2030.⁵⁵ Cada objetivo tiene metas específicas que la Argentina aplicará dependiendo de su realidad económica, social y ambiental.



Figura 30 - Objetivos de Desarrollo Sostenible

- ODS 7 Energía asequible y no contaminante:** Las plantas de biogás ofrecen una forma sostenible y asequible de producir electricidad. Utilizan residuos orgánicos, como desechos agrícolas, estiércol o residuos alimentarios, como materia prima para generar biogás, que luego se quema para producir electricidad. Esta forma de energía es renovable y puede ayudar a reducir la dependencia de combustibles fósiles, contribuyendo así a un suministro de energía más seguro y estable a largo plazo.
- ODS 13 Acción por el clima:** La generación de electricidad a partir de biogás tiene un impacto positivo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al capturar y utilizar el metano producido por la descomposición de los residuos orgánicos, se evita que este gas se libere a la atmósfera, donde tiene un impacto mucho mayor en el calentamiento global que el dióxido de carbono. Por lo tanto, las plantas de biogás ayudan a mitigar el cambio climático y a cumplir con los compromisos internacionales de reducción de emisiones.
- ODS 9 Industria, innovación e infraestructura:** La implementación de plantas de biogás requiere innovación en tecnologías de tratamiento de residuos y generación de energía. Estas tecnologías pueden variar desde sistemas simples de digestión anaeróbica hasta instalaciones más complejas que incluyen la purificación y el aprovechamiento de subproductos del proceso de generación de biogás. Además, la construcción de infraestructuras para la producción y

⁵⁵ Naciones Unidas. (s.f) Objetivos de desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

distribución de biogás contribuye al desarrollo de infraestructuras sostenibles y a la creación de empleo en sectores relacionados con la energía renovable.

- **ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles:** Las plantas de biogás pueden beneficiar a comunidades urbanas al proporcionar una fuente de energía local y sostenible. Esto puede reducir la dependencia de fuentes de energía externas y mejorar la resiliencia de las comunidades ante posibles interrupciones en el suministro de energía. Además, el uso de residuos locales para la producción de biogás puede ayudar a reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en áreas urbanas.
- **ODS 12 Producción y consumo responsables:** Utilizar residuos orgánicos para la producción de biogás promueve un modelo de consumo más responsable al reutilizar materiales que de otra manera se considerarían desechos. Esto ayuda a reducir la generación de residuos y fomenta la economía circular, donde los recursos se utilizan de manera más eficiente y sostenible. Además, al utilizar residuos orgánicos locales, se reducen los costos y la huella de carbono asociados con el transporte de residuos a vertederos u otras instalaciones de tratamiento.

En resumen, una planta de biogás que genera electricidad contribuye significativamente a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible al promover energías renovables, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, fomentar la innovación y la infraestructura sostenible, y promover un modelo de producción y consumo más responsable y sostenible.

EIA (Evaluación de impacto ambiental)

La evaluación ambiental de proyectos y mitigación de los impactos ambientales, es un aspecto crucial en el desarrollo de proyectos y la toma de decisiones en relación con el medio ambiente. Una herramienta de gestión esencial para llevar a cabo este análisis es la Matriz de Leopold, que proporciona una estructura y un enfoque sistemático para evaluar los impactos y tomar medidas para minimizarlos y así mejorar la toma de decisiones en los proyectos.

Matriz de Leopold

La Matriz de Leopold, también conocida como Matriz de causa-efecto, es un modelo cualitativo preliminar, una herramienta utilizada para evaluar, clasificar, valorar los impactos ambientales de un proyecto o una acción determinada. Fue desarrollada por el ingeniero Luna Leopold en la década de 1970 como parte del enfoque de sistemas en la gestión de recursos naturales.⁵⁶

Consiste en un cuadro de doble entrada que organiza los factores ambientales y las acciones propuestas en filas y columnas respectivamente. Su objetivo es evaluar los posibles impactos que estas acciones pueden tener sobre los factores ambientales.

⁵⁶ Evaluación de impacto ambiental. (s.f). Matriz de Leopold <https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matriz-de-leopold-evaluando-los-impactos-ambientales/>

Cada celda de la matriz, resultado de la intersección entre filas y columnas, se divide diagonalmente. En la parte superior se registra la magnitud del impacto (M) y en la parte inferior se indica la intensidad o grado de incidencia del impacto (I). La magnitud del impacto se valora en una escala ascendente del 1 al 10, precedida por el signo «+» o «-» para indicar si el impacto es positivo o negativo, respectivamente. La incidencia del impacto también se valora en una escala ascendente del 1 al 10.

La suma de los valores en las filas reflejará las incidencias del conjunto sobre cada factor ambiental, mientras que la suma de los valores en las columnas proporcionará una valoración relativa del efecto que cada acción producirá en el medio ambiente. Es importante destacar que estas estimaciones se realizan desde un punto de vista subjetivo, ya que no existen criterios de valoración establecidos.

Desarrollo de la Matriz de Leopold

Acciones Factores	Alteración de la cobertura del suelo	Construcción de la planta	Generación de electricidad	Reciclaje de residuos cítricos	Compostaje	Ruidos y vibraciones	+	-	Agregado del impacto
Calidad del aire	-2 3	-1 3	9 6	6 3	6 6	-1 1	3	3	98
Calidad del agua	-1 3	-1 3	1 3	3 2	-5 6	-1 1	2	4	-28
Uso de suelo	-8 3	-7 3	4 3	6 3	-5 3	-1 1	2	4	-31
Paisaje	-5 3	-4 3	-1 3	2 3	-3 3	-1 3	1	5	-36
Microflora	-7 3	-7 3	-1 3	3 2	-3 3	-1 1	1	5	-49
Animales terrestres	-2 3	-4 3	-1 3	2 2	-3 3	-3 3	1	5	-35
Empleo	5 1	5 4	5 6	5 6	5 6	-1 3	5	1	112
+	1	1	4	7	2	0	15	27	31
-	6	6	3	0	5	7	27		
Agregado del impacto	-70	-52	90	88	-6	-19	31		4.428571

Tabla 14 - Matriz de Leopold

Según podemos observar en la matriz se obtienen valoraciones positivas en el agregado de impacto, esto quiere decir que el proyecto las acciones que se realizarán en el proyecto tienen un impacto positivo en vista general en los factores ambientales analizados.

Ya en un análisis más detallado se puede observar que uno de los factores donde impacta más positivamente el proyecto es en el empleo, ya que dichas acciones tanto para el inicio del proyecto como así también su continuo funcionamiento a lo largo del tiempo brindará de forma local empleo a la sociedad. Lo mismo podemos observar en el factor calidad del aire, donde su impacto positivo va de la mano con el hecho de que las acciones

a realizarse por el proyecto favorecen en su calidad debido a la disminución de gases de efecto invernadero que podría aportar el proyecto.

Por último podemos observar que si bien hay acciones que impactan negativamente en el proyecto como la alteración del suelo debido al movimiento de tierras que se realizara para las lagunas anaeróbicas como así también la construcción general de la planta, la suma de impacto de estas acciones no es mayor a las acciones en general que impactaran positivamente en el proyecto tales así como la generación de electricidad de manera mucho más ecológica, el reciclaje de residuos evitando que estos sean utilizados en recuperación de suelos y aumentando los gases efecto invernadero, y porque a su vez por más que haya acciones que impacten negativamente, estas tiene una afectación media-baja y son de carácter puntual ya que solo se centraran en una zona en específico.

Cabe aclarar que como se dijo anteriormente la valoración de esta matriz es subjetiva, si bien es informativa y ayudara a realizar un análisis en primera instancia, es recomendable enriquecerla con distintas opiniones, si el equipo evaluador es multidisciplinario, el proceso puede ser bastante objetivo y servir como un estudio preliminar.

6-ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

El análisis de proyectos y específicamente la proyección de los flujos de fondos de una empresa en funcionamiento que incorpora una mejora tecnológica como en este caso, requiere de consideraciones especiales, ya que muchos componentes del flujo de ingresos y egresos serán comunes. Estos elementos comunes no serán relevantes para la toma de decisiones, por lo que se deben analizar aquellos que tienen características diferenciales entre la situación sin proyecto y la situación con proyecto.

Para este caso, se realizó un análisis incremental que consiste en proyectar directamente el flujo de fondos entre ambas situaciones.

Diferencias entre situación sin proyecto y con proyecto

Los aspectos diferenciales entre ambas situaciones son los siguientes:

- Disminución en los costos de producción, al autoabastecer de energía y biofertilizantes. En el flujo incremental pueden verse con signo positivo. Cabe aclarar que no se incurre en ningún costo por la aplicación de los biofertilizantes, ya que la empresa ya cuenta con sistemas de fertirriego instalado.
- Inversiones en activos fijos, solo pertenecientes a la incorporación de la planta de biogás, con sus respectivas amortizaciones.
- Inversión en capacitaciones y también por los honorarios de las obras civiles y de electromecánica en: Croquis preliminares, anteproyecto, proyecto, dirección de obra.

Inversiones requeridas

Por inversión en equipamiento se entenderán todas las inversiones que permitan la operación normal de la planta de la empresa creada por el proyecto⁵⁷. Cabe aclarar que este proyecto no cuenta con inversiones en obra física, ya que el terreno donde irá ubicado el biodigestor no tiene un uso actual y pertenece a la empresa.

Se detalla a continuación las inversiones en activos fijos e intangibles realizadas por la empresa Ledesma S.A.A.I.:

INVERSION EN ACTIVOS FIJOS	
Detalle	USD
Geomembranas	\$ 760.320
Geotextil no tejido	\$ 4.620
Motogeneradores	\$ 48.000
Instrumentación	\$ 16.350
Filtro de H ₂ S	\$ 6.000
Obra de Ingeniera Civil (Movimiento de suelos, hormigón armado, canalizaciones, cañerías, etc.)	\$ 77.270
Obra de Ingeniera Electromecánica (compresor, bombas, tuberías)	\$ 51.500
Separador Helicoidal	\$ 12.000
Agitadores	\$ 486.000
TOTAL	\$ 1.487.440

Tabla 15- Inversión en activos fijos

INVERSION ACTIVOS INTANGIBLES	
Detalle	USD
Honorarios (Croquis preliminares, anteproyecto, proyecto, dirección de obra)	\$ 128.770
Capacitaciones para manejo de operaciones	\$ 1500
Capacitaciones en HyS	\$ 2.500
Total	\$ 132.770

Tabla 16- Inversión en activos intangibles

Por lo tanto, se tiene una inversión total de USD 1.620.210

⁵⁷ Nassir Sapag Chain, Reinaldo Sapag Chain. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos. Quinta edición*. Bogotá, Colombia. Mc Graw-Hill.

En cuanto al capital de trabajo, se calcula considerando que el único costo fijo del proyecto es el de la mano de obra. El mismo no se verá influenciado por el aumento de producción, ya que los turnos de trabajo y cantidad de operarios se mantendrán constante. Se calcula con un ciclo productivo de 30 días, que es el tiempo necesario para empezar a obtener biogás:

CAPITAL DE TRABAJO	\$ 20.936
---------------------------	------------------

Costo de operación

Los costos de operación son los gastos involucrados en mantener un proyecto en operación. Los mismos pueden dividirse en dos grandes categorías: los costos variables, que son proporcionales a la producción y los costos fijos, que son independientes de la cantidad producida.

Costos variables

Materia prima

Este rubro está integrado por los gastos en las materias primas que intervienen directa o indirectamente en los procesos de transformación. Se considera un costo nulo ya que la materia prima en este caso es el sustrato, es decir, los residuos cítricos.

Costos fijos

Mano de obra directa

El costo anual de los operarios a contratar se calculó teniendo en cuenta el sueldo actual de los técnicos y las cargas sociales suministradas por el Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados.

Calculo Mano de Obra Directa				
Categoría	Cantidad	Sueldo (USD)		Total
Operario	18	\$ 852	\$	15.336
Supervisor	3	\$ 1.200	\$	3.600
Jefe de dpto.	1	\$ 2.500	\$	2.500

Tabla 17- Mano de obra directa

Contribuciones empleador	
Jubilación	16,00%
PAMI- INSSJP	2,00%
Obra Social	5,00%
Asignaciones Familiares	7,50%
Fondo Nacional de empleo	1,50%
Seguro de Vida Obligatorio	0,03%
ART	4,50%
Total Cargas Sociales	36,53%

Tabla 18-Detalle de cargas sociales

Depreciaciones

La depreciación anual se calcula en base a la inversión fija directa ya que se refiere a la pérdida de valor de la misma ya sea por deterioro u obsolescencia. Se considera 20 años de vida útil para el caso de la planta en cuestión, es decir activos fijos. La amortización de los activos intangibles se considera 10 años. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Cálculo de Depreciaciones					
Activo	Inversión	Periodo de depreciación	Depreciación anual	VD contable año 5	VD contable año 10
Fijos	\$ 1.487.440	20	\$ 74.372	\$ 1.115.580	\$ 743.720
Intangibles	\$132.770	10	\$ 13.277	\$ 66.385	-
TOTAL (USD)			\$ 87.649	\$ 1.181.965	\$ 743.720

Tabla 19 - Depreciaciones

Flujo de fondos financiero

Para el flujo de fondos financiero se utilizó un flujo de fondos incremental, el cual es el resultado de la diferencia entre un flujo de fondos con proyecto y sin proyecto, donde la diferencia entre ambos más que nada radicará en los ingresos que puede llegar a aportar el proyecto, pero en este caso no se ve contemplado como un ingreso ya que el producto que se obtiene no será vendido al mercado sino que se utilizara para absorber costos tanto energéticos como de fertilizantes para así obtener un ahorro que será el representante de los ingresos, es por esto que los indicadores en este caso de VAN y TIR estarán calculados en base a la diferencia entre ambos flujos, ósea en base al flujo incremental ya que la importancia radica en los ahorros que podrá obtener la empresa.

Flujo Incremental

DATOS (USD)	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	
Ahorro en Energía	\$	127.062,60	\$	127.062,60	\$	127.062,60	\$	127.062,60	\$	127.062,60	\$	127.062,60
Ahorro en Fertilizante	\$	1.190.995,00	\$	1.190.995,00	\$	1.190.995,00	\$	1.190.995,00	\$	1.190.995,00	\$	1.190.995,00
Costo de mano de obra	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232
Depreciaciones	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649
UTILIDAD BRUTA	\$	979.176,60	\$	979.176,60	\$	979.176,60	\$	979.176,60	\$	979.176,60	\$	979.176,60
Impuestos 15%	-\$	146.876,49	-\$	146.876,49	-\$	146.876,49	-\$	146.876,49	-\$	146.876,49	-\$	146.876,49
UTILIDAD NETA	\$	832.300,11	\$	832.300,11	\$	832.300,11	\$	832.300,11	\$	832.300,11	\$	832.300,11
Depreciaciones	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649
Inversiones activos fijos	\$	1.487.440										
Inversiones activos intangibles	\$	132.770										
Capital de trabajo	\$	20.936										
Valor de desecho												\$ 743.720
FLUJO	-\$	1.641.146	\$	919.949,11	\$	919.949,11	\$	919.949,11	\$	919.949,11	\$	1.663.669,11
FLUJO ACUMULADO	-\$	1.641.146	-\$	721.196,89	\$	198.752,22	\$	1.118.701,33	\$	2.038.650,44	\$	2.958.599,55

Tabla 20 - Flujo Incremental

Flujo Sin Proyecto

DATOS (USD)	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	
Costos en Energía	-\$	520.000,00	-\$	520.000,00	-\$	520.000,00	-\$	520.000,00	-\$	520.000,00	-\$	520.000,00
Costos en Fertilizante	-\$	8.244.000,00	-\$	8.244.000,00	-\$	8.244.000,00	-\$	8.244.000,00	-\$	8.244.000,00	-\$	8.244.000,00
Costo de mano de obra												
Depreciaciones												
UTILIDAD BRUTA	-\$	8.764.000,00	-\$	8.764.000,00	-\$	8.764.000,00	-\$	8.764.000,00	-\$	8.764.000,00	-\$	8.764.000,00
Impuestos 15%	-\$	1.314.600,00	-\$	1.314.600,00	-\$	1.314.600,00	-\$	1.314.600,00	-\$	1.314.600,00	-\$	1.314.600,00
UTILIDAD NETA	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00
Depreciaciones												
Inversiones activos fijos												
Inversiones activos intangibles												
Capital de trabajo												
Valor de desecho												
FLUJO	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00
FLUJO ACUMULADO	-\$	7.449.400,00	-\$	14.898.800,00	-\$	22.348.200,00	-\$	29.797.600,00	-\$	37.247.000,00	-\$	44.696.400,00

Tabla 21 - Flujo Sin Proyecto

Flujo Con Proyecto

DATOS (USD)	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	
Costos en Energía	-\$	392.938,00	-\$	392.938,00	-\$	392.938,00	-\$	392.938,00	-\$	392.938,00	-\$	392.938,00
Costos en Fertilizante	-\$	7.053.005,00	-\$	7.053.005,00	-\$	7.053.005,00	-\$	7.053.005,00	-\$	7.053.005,00	-\$	7.053.005,00
Costo de mano de obra	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232	-\$	251.232
Depreciaciones	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649	-\$	87.649
UTILIDAD BRUTA	-\$	7.784.824,00	-\$	7.784.824,00	-\$	7.784.824,00	-\$	7.784.824,00	-\$	7.784.824,00	-\$	7.784.824,00
Impuestos 15%	-\$	1.167.723,60	-\$	1.167.723,60	-\$	1.167.723,60	-\$	1.167.723,60	-\$	1.167.723,60	-\$	1.167.723,60
UTILIDAD NETA	-\$	6.617.100,40	-\$	6.617.100,40	-\$	6.617.100,40	-\$	6.617.100,40	-\$	6.617.100,40	-\$	6.617.100,40
Depreciaciones	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649	\$	87.649
Inversiones activos fijos	\$	1.487.440										
Inversiones activos intangibles	\$	132.770										
Capital de trabajo	\$	20.936										
Valor de desecho												\$ 743.720
FLUJO	-\$	1.641.146	-\$	6.529.451,40	-\$	6.529.451,40	-\$	6.529.451,40	-\$	6.529.451,40	-\$	6.529.451,40
FLUJO ACUMULADO	-\$	1.641.146	-\$	8.170.597,40	-\$	14.700.048,80	-\$	21.229.500,20	-\$	27.758.951,60	-\$	34.288.403,00

Tabla 22 - Flujo con proyecto

La siguiente tabla muestra un resumen de los distintos flujos financieros obtenidos, donde la moneda del flujo incremental final fue convertida de dólares americanos (USD) a pesos argentinos (ARS) tomando el valor oficial del dólar a 365.5\$, con fecha de 10 septiembre de 2023.

DATOS (USD)	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	
FLUJO SIN PROYECTO	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00	-\$	7.449.400,00
FLUJO CON PROYECTO	-\$	1.237.956,00	-\$	6.527.405,85	-\$	6.527.405,85	-\$	6.527.405,85	-\$	6.527.405,85	-\$	6.527.405,85
FLUJO INCREMENTAL	-\$	1.641.146	\$	919.948,60	\$	919.948,60	\$	919.948,60	\$	919.948,60	\$	919.948,60
FLUJO INCREMENTAL (ARS)	-\$	599.838,863	\$	336.241,400	\$	336.241,400	\$	336.241,400	\$	336.241,400	\$	668.071,660

Tabla 23 - Flujos financieros

En las siguientes tablas podemos observar los indicadores VAN y TIR, los cuales fueron obtenidos utilizando el flujo incremental en pesos argentinos.

VAN (ARS)	-\$ 446.505.943
TIR	56%

Tabla 24 - Indicadores VAN y TIR

Calculo Tasa de descuento	
Tasa Badlar (e.a.)	195,57%
Riesgo País	23,72%
Tasa de descuento	219%

Tabla 25 - Tasa de descuento

Calculada con Tasa BADLAR obtenida del Banco Central de Argentina y Riesgo País obtenido de Ámbito Financiero - septiembre 2023

Periodo de recuperación de inversión (PRI)	2
---	----------

Tabla 26 - Periodo de recupero

Ahorros en Energía Eléctrica

127.062,6 USD/Año

Ahorros Fertilizante

988.624 USD/Año

Ahorro TOTAL

1.115.686,6 USD/Año

Análisis de resultados financieros

Las conclusiones que se desprenden del flujo incremental y sus indicadores son:

- La VAN es negativa por lo cual con este indicador nos muestra que el proyecto debería ser rechazado sin embargo debemos analizar los demás indicadores.
- Ya que si observamos en la TIR el valor es positivo, por tanto, significa que se obtendrá la recuperación de la inversión inicial.
- El indicador del PRI nos muestra que dicha recuperación se dará en el segundo periodo del proyecto donde a su vez dicho periodo (2 años) es menor al horizonte temporal del proyecto (10 años), por lo que el proyecto puede llegar a no ser la mejor opción de inversión, pero si generara ganancias en un corto periodo de tiempo.
- Por último, cabe destacar que debemos tener en cuenta el ahorro anual significativo que se obtiene tanto desde el lado energético como desde del lado de los fertilizantes.

7-CONCLUSIÓN

Luego de todos los estudios realizados podemos concluir que, si bien el proyecto según algunos indicadores de rentabilidad como la VAN muestra que podría llegar a no ser la mejor inversión, no significa que no sea **viable** ya que debido a los demás indicadores de rentabilidad tales como la TIR y el periodo de recupero muestran que el proyecto no solo recupera lo invertido en un muy corto plazo, sino que genera ganancias.

El proyecto cumple de manera exitosa con los objetivos planteados en cuanto a la sostenibilidad ambiental y la reducción de costos, se consigue lograr un ahorro energético y de uso de fertilizantes industriales para la empresa. Además, el proyecto contribuye a avanzar hacia una economía circular, maximizando el aprovechamiento de los recursos disponibles y minimizando el impacto ambiental, particularmente en lo que respecta a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Economía. (s.f) *¿Qué son las energías renovables?* <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables> .
- Energías Renovables.com.ar (s.f) Biomasa <https://energiasrenovables.com.ar/biomasa/>
- Acciona.com. Energías Renovables (s.f) https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=02021864894
- Eduardo Fernández Martín. (s.f). Residuos sólidos agrícolas. Impactos ambientales. https://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_solidos_agricolas.htm
- Mc Garry, MG y Stainforth, J, (1978), Compost, Fertilizer, and Biogas Production from Human and Farm Wastes in the People's Republic of China.
- Política Ambiental Ledesma (s.f) <https://www.ledesma.com.ar/2017/12/01/politica-ambiental/>
- Agrositio. Cítricos argentinos se preparan para ingresar al mercado de Estados Unidos. (junio 2023). <https://www.agrositio.com.ar/noticia/229297-citricos-argentinos-se-preparan-para-ingresar-al-mercado-de-estados-unidos.html>
- Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la Región Caribe de Colombia. (octubre 2021) <https://www.redalyc.org/journal/2654/265472214018/html/>
- Gobierno de México. (2018). Beneficios de usar energías renovables. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/beneficios-de-usar-energias-renovables-172766>
- Secretaría de Estado de la energía, Gobierno de Santa Fe (s/f) “Operación y mantenimiento de biodigestores”. <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/08/M%C3%B3dulo-3-Biodigesti%C3%B3n-componentes-del-sistema.pdf>
- María Teresa Varnero Moreno (2011) *MANUAL DEL BIOGÁS. Gobierno de Chile. Ministerio de energía.* <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Virginia Garcia Paez (s.f) *Manual de Biogás.* https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Guía teórica-práctica sobre el biogás y los biodigestores.* Buenos Aires, Argentina. http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuideBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf
- Secretaria de medioambiente y recursos naturales. *Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en mexico.* (2010). <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001057.pdf>
- Bonilla, Lopez (2022) *Uso de Biol, Urea y Combinados en la respuesta agronómica y económica del cultivo de maíz.* Trabajo Tesis. Managua, Nicaragua <https://repositorio.una.edu.ni/4533/>

- Grupo Aqualimpia Consultores: empresas dedicada al desarrollo de proyectos integrales de aprovechamiento de recursos renovables.
<https://www.aqualimpia.com/>
- Gargi Chakravarty, (2016). *Evaluation of fruit wastes as substrates for the production of biogas*.
<https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/evaluation-of-fruit-wastes-as-substrates-for-the-production-of-biogas.pdf>
- Instituto para diversificación y ahorro de energía. (s.f.) *Biomasa. Digestores anaerobios*. Madrid, España
https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_digestores_anaerobios_a2007_0d62926d.pdf
- Nassir Sapag Chain, (2011). *Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación Segunda edición*. Chile.
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- Consejo Profesional de la Ingeniería. Julio (2023) *HONORARIOS PROFESIONALES MÍNIMOS – INGENIEROS CIVILES*.
- Sistema Argentino de Información Jurídica. SAIJ
<http://www.saij.gob.ar/>
- Información Legislativa. Infoleg
<http://www.infoleg.gob.ar/>
- Secretaria de Energía. Legislación Energías Renovables.
<https://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3876>
- UPCYCLEA. Definición de economía circular. (2023)
<https://upcyclea.com/es/definicion-de-economia-circular-la-guia-completa/>
- Naciones Unidas. (s.f) Objetivos de desarrollo Sostenible.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- RETEMA. (2024). Incesante descenso de la tasa de circularidad a escala global.
<https://www.retema.es/actualidad/incesante-descenso-de-la-tasa-de-circularidad-escala-global>
- Evaluación de impacto ambiental. (s.f). Matriz de Leopold
<https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matriz-de-leopold-evaluando-los-impactos-ambientales/>

CONSULTAS Y CONTACTOS:

- Consultores de la empresa Aqualimpia: empresa dedicada al desarrollo de proyectos integrales de aprovechamiento de recursos renovables
- Ingeniero Mecánico Ricardo Moya, Gerente Departamental de Energía, LEDESMA S.A.A.I.
- Ingeniero Agrónomo Hugo Jaime, Ex Jefe de Finca Paulina en LEDESMA S.A.A.I.
- Ingeniero Civil Hugo Gutiérrez, Gerente Departamental Servicios de Campo en LEDESMA S.A.A.I.
- Ingeniero Eléctrico Jorge Sánchez, Jefe de planta de Jugos y Aceites en LEDESMA S.A.A.I.
- Consultores de la empresa AgroRedes Polcom: empresa que fabrica, importa, comercializa y distribuye una gran variedad de productos técnicos para la agricultura, la construcción, la industria, minería, petróleo, hogar & decoración y otras actividades comerciales.

ANEXO

Anexo 1 - Proceso productivo de Planta de Jugos y Aceites de Ledesma

Los productos que surgen del proceso de la empresa son:

- Aceite esencial
- Jugo concentrado

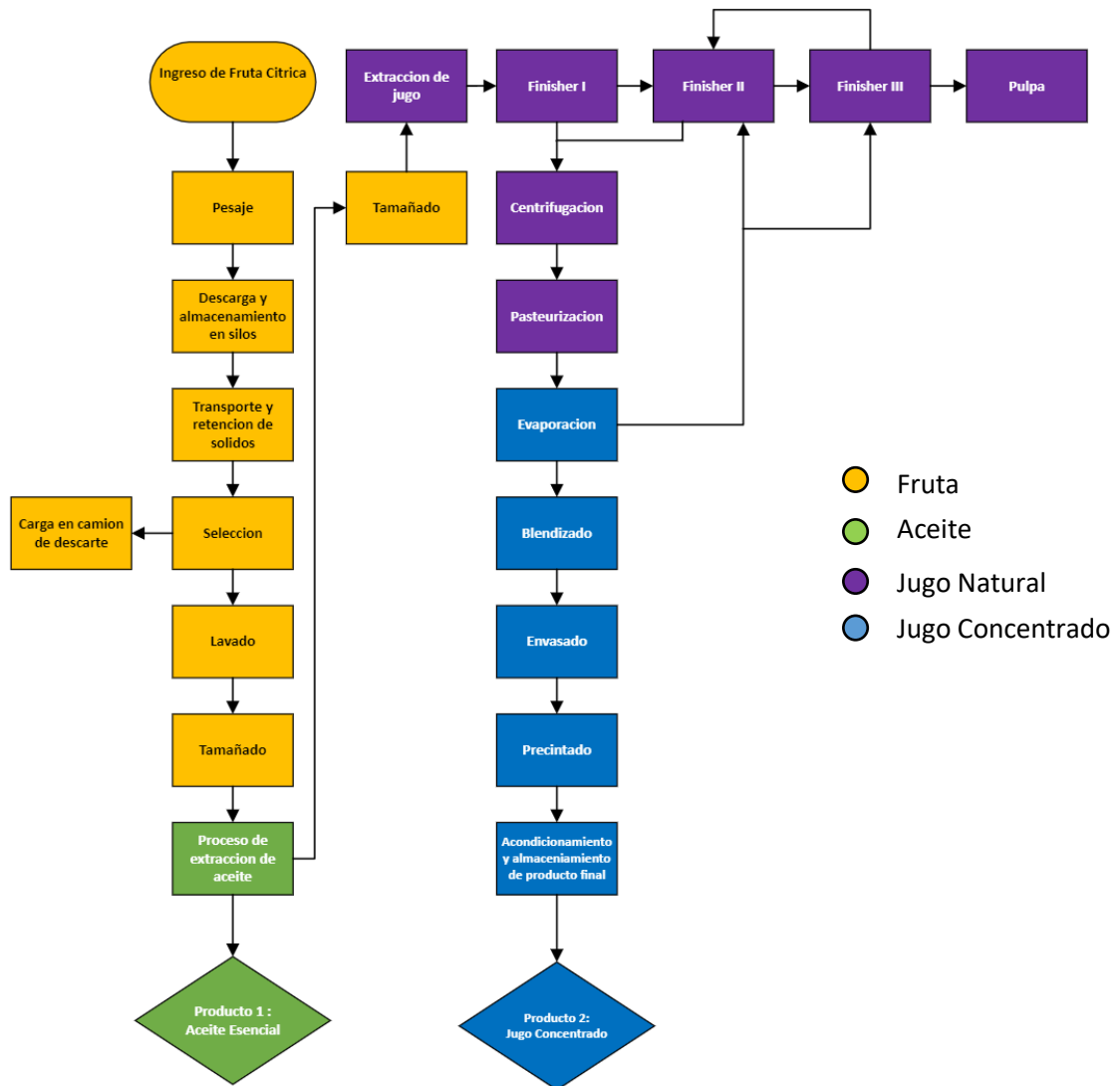
Y como subproducto o descarte se obtiene cascara de cítricos húmeda

Actualmente entran a producción unas 600 toneladas de fruta fresca por día.

La producción de cada uno de estos artículos implica un proceso de fabricación que, a su vez, resulta en la generación de un residuo semisólido. En la actualidad, se generan aproximadamente 300 toneladas de residuos semisólidos por tonelada de fruta procesada.

Actualmente, los residuos están siendo procesados como parte del análisis del trabajo actual, y así utilizarlos para el riego de cultivos de la empresa y para la generación de energía eléctrica, con el objetivo de evitar dejarlos como recuperación de suelos.

Diagrama de Flujo de Proceso Productivo de Jugo concentrado de Cítrico



Recepción de fruta en industria

La fruta que se va a procesar industrialmente puede provenir de diferentes fuentes:

- Fruta directamente de las fincas.
- Fruta descartada durante el proceso de preempaque de fruta fresca.
- Fruta descartada durante el proceso de empaque de fruta fresca.

En la industria, la fruta se recoge y se almacena en silos de almacenamiento temporal, donde queda a la espera de ser procesada. También puede descargarse directamente en las tolvas de alimentación de la línea de procesamiento.

Descargado de la fruta

La fábrica de jugos de Ledesma cuenta con un solo espacio en el cual el camión ingresa luego de ser pesado y descarga la fruta por gravedad. La fruta cae en una cinta transportadora y es llevada a los lugares de almacenamiento en los cuales están menos de un día. Es muy poco frecuente que la fruta no pase por los almacenadores y esto ocurre solamente cuando alguna fruta se necesita urgentemente en línea.

Almacenamiento de la fruta

La fruta cítrica puede ser almacenada por sistemas secos o con canal de agua. El sistema seco incluye silos aireados con planos pendientes donde el producto se coloca en capas para proteger la integridad de la fruta. La función del almacenamiento antes de la línea es para actuar como pulmón y así, proporcionarle a la misma un flujo continuo de fruta de la misma especie (limón, naranja o pomelo).

Ledesma utiliza un sistema de almacenamiento en seco. La fruta es transportada verticalmente hacia unos silos que pueden contener hasta 30 toneladas cada una. Es decir, que entra aproximadamente un camión de fruta por celda. En la foto a continuación se muestran los silos explicados:



Transporte de frutas

El sistema de transporte consiste de un conjunto de cintas transportadoras que transfieren la fruta desde los contenedores de almacenamiento a un elevador de cangilones antes de entrar en el área de extracción de jugo.

Limpieza por lavado de cepillo

La función de la limpieza de la fruta es separar todos aquellos contaminantes de gran tamaño que pueden estar presentes. Entre ellos se encuentran piedras, restos vegetales, suciedad adherida, polvo, entre otros. Las operaciones de limpieza pueden realizarse varias veces de forma que en los primeros pasos se elimina la suciedad de mayor tamaño como piedras y en las siguientes se le extrae la carga de menor tamaño.

El método utilizado por Ledesma y el más difundido es el lavado por cepillos. La fruta circula por debajo de aspersores, eliminando las partículas y la suciedad adherida. Este cepillo es un rodillo de cerdas y se lava con agua potable que no debe tener productos químicos y debe tener una concentración máxima de cloro de 2 ppm. En esta etapa, la fruta se mueve por empuje y se debe tener cuidado de no exceder la capacidad máxima de lavado debido a que, la máquina no va a fallar, sino que va a lavar peor la fruta.

A continuación, se muestra una foto de una máquina similar a la que tiene Ledesma hoy en día.



Clasificación de la fruta

A la salida de la máquina lavadora, se encuentran unas mesas con rodillos móviles por los cuales la fruta es transportada hacia la máquina siguiente. Estas mesas de clasificación no son obligatorias, pero les permiten a los operarios que se encuentran en este proceso realizar el retiro más eficiente de materiales extraños y la fruta que no está adecuada para la extracción debido a un daño mediante un control visual.

Tamaño de la fruta

El proceso de tamaño consiste en separar, como su nombre lo indica, la fruta por tamaño. Esto se realiza debido a que todas las frutas tienen tamaños distintos y para que el proceso de extracción tenga el máximo rendimiento las frutas deben ingresar a cada extractor con el tamaño indicado. La separación de la fruta se obtiene haciéndola girar en una serie de rodillos horizontales que son ajustables. Ledesma cuenta con una máquina de este tipo que le permite separar la fruta en cuatro tamaños distintos. Los cuatro canales le permiten separar la fruta de tamaño de 2 pulgadas a 4 pulgadas aproximadamente.



Proceso de extracción de aceite

La fruta ya clasificada por tamaño pasa a la extracción de aceite esencial. Esta extracción es realizada con el sistema Brown. El aceite se obtiene por raspado de la superficie de la fruta bajo una corriente de agua, que arrastra el aceite esencial en forma de emulsión hasta las centrifugas encargadas de la recuperación de este producto. Del 70 al 90 % del aceite esencial se encuentra presente de forma natural en la piel. El agua de lavado de cáscaras contiene entre 2 y 5 kg de aceite esencial en forma de emulsión por cada 100 kg de materia prima procesada. Luego, la fruta continúa hacia la extracción de jugo.



El volumen total de aceite contenido en el agua de lavado de la cáscara puede recuperarse eficientemente como aceite esencial claro con un sistema de centrifugación de dos etapas adecuadamente calificado.

En el separador centrífugo de segunda etapa, la emulsión rica en aceite que se ha concentrado en la primera etapa se separa en aceite y agua. Al mismo tiempo, cualquier partícula sólida restante se separa del aceite. Una bomba de desplazamiento lleva el aceite esencial a un tanque elevado.

Es habitual que este aceite se almacene en tanques de acero inoxidable o en tambores con atmósfera nitrogenada para evitar reacciones de oxidación que reducirían su calidad comercial.

Extracción de jugo cítrico

La fruta entregada desde un transportador de correa de alimentación inclinado alimenta las copas de extracción por separado. La fruta cae en un recipiente inferior fijo que automáticamente la centra y posiciona para superficies de la fruta. El fondo de la copa inferior contiene un cortador, un tubo filtro y un colector de jugo. El cortador corta un pequeño tapón circular en la parte inferior de la fruta. Mientras se aplica presión por las copas, todo el interior de la fruta se presiona en el tubo filtro donde el jugo y las células de jugo se separan instantáneamente de las semillas y la membrana. Como resultado, solo el jugo puro y las células del jugo se descargan en el colector de jugo.

Hoy en día Ledesma cuenta con 10 extractores modelo JBT 29 1B.



Finalización o Finishing

Los distintos tipos de finalizadores - tornillo, paleta o modelos híbridos - eficientemente remueven la pulpa y los sacos de jugo utilizando tamices de acero inoxidable con perforaciones pequeñas. El jugo proveniente de los extractores es luego recogido por una cabecera de jugo de acero y luego transportado al finalizador. El finalizador ha sido desarrollado para extraer el jugo de los productos que poseen un bajo contenido de pulpa. Una reducción adicional de la pulpa puede obtenerse por medio de separadores centrífugos. Esta etapa consiste en reducir el contenido de pulpa. Lo primero que se hace es pasarla por filtros tipo paleta que extraen la parte gruesa. Se pueden utilizar filtros en serie y así progresivamente quitar la pulpa lavando a contracorriente con el condensado vegetal que proviene del proceso de evaporación. La cantidad de condensado que debe agregarse es determinada en el laboratorio en función de las pruebas realizadas a las frutas en la entrada. Después de esto, el jugo ingresa a

centrifugadoras en las cuales se regula el contenido final de pulpa. Una vez que el jugo sale de la centrifugadora, se miden los grados brix para determinar cuánto se debe evaporar.



Ledesma cuenta actualmente para la sección de filtros tipo paleta, 3 filtros en serie con una capacidad de 378.5 litros por minuto cada uno. La disposición de los filtros actualmente se muestra a continuación (el jugo ingresa por el filtro de la izquierda, luego pasa al del medio y por último atraviesa el que se encuentra a la derecha):



Centrifugación

Como se mencionó previamente, a la salida de los finisher el jugo presenta un porcentaje de pulpa que oscila del 10 al 12% y mediante el uso de clarificadoras centrifugas se la puede reducir hasta valores inferiores al 1%.

Las clarificadoras centrifugas tienen por objeto eliminar las partículas sólidas que contiene en suspensión un líquido. Estas clarificadoras van equipadas con un tambor de platos.

Allí, las partículas de mayor peso (pulpa sedimentable) se desplazan hacia las paredes del tambor, en tanto la fase menos pesada (jugo) se desplaza hacia el centro, saliendo por la periferia del eje central.

En la actualidad solo se emplean las clarificadoras centrifugas autodeslodantes, ya que estas máquinas facilitan los procesos continuos.

Cuando la cámara de sólidos se llena hasta un nivel óptimo, el tambor se abre automáticamente por medio de un sistema hidráulico y los sólidos son evacuados instantáneamente a velocidad de régimen.

En las descargas parciales como ocurre en el despulpado de jugos cítricos, se expulsa tan solo la cantidad de pulpa deseada, mientras que la fase líquida permanece en el interior del tambor.

A diferencia de ellas, en las descargas totales se expulsa todo el contenido del tambor. Como en la industria cítrica se trabaja únicamente con sólidos fáciles de expulsar, la única finalidad de las descargas totales consistirá en facilitar la limpieza del juego de platos.

El líquido clarificado se descarga a presión y sin espuma por medio de un rodete centrípeto o bomba a de descarga.



Evaporación

El objetivo de la evaporación es obtener la concentración de grados brix necesarios mediante la extracción de agua. Existen dos tipos de evaporadores: el primer tipo, el APV y por otro lado el T.A.S.T.E.. En esta etapa se consigue el condensado vegetal que después se usa como fuente de calor y como insumo para la etapa de filtrado. La concentración de jugo que permite llegar a los grados brix estandarizados se obtiene en el evaporador T.A.S.T.E. (Thermally Accelerated Short Time Evaporator). Hoy en día Ledesma cuenta con dos evaporadores con diferentes capacidades, uno de 4500 kg/hora y otro de 15000 kg/hora. La ventaja básica de la tecnología de evaporación térmicamente acelerada de corto tiempo es que en cada etapa de evaporación el jugo se introduce en el tubo anido en la forma de una niebla turbulenta, lo que permite una transferencia de calor más rápida y más alta que se esperaría bajo cualquier otra condición. El daño térmico que se produce con este tipo de evaporador es considerablemente menor al generado por cualquier otro sistema de producción. Es por eso, que se ahorran gastos de energía. El jugo fluye en una etapa a la siguiente sin reciclaje. La evaporación inicial del jugo que ocurre antes de la pasteurización asegura la mejor desaireación del jugo y más eficiente extracción de aromas frescos. El proceso de pasteurización ocurre durante esta etapa generando la eliminación de microorganismos. El evaporador puede equiparse con un sistema de recuperación de aroma donde se extraen los aromas del jugo y se concentra 150 veces antes de la pasteurización, evitando así cualquier alteración de la frescura de los aromas debido al calor. Antes de dejar el evaporador, el jugo concentrado pasa por un enfriador tipo flash que reduce la temperatura a 10°C.



Sistema de enfriamiento para jugo concentrado

El jugo concentrado que sale del evaporador se somete a un sistema de estandarización y refrigeración antes de ser llenado. Este sistema consiste en dos tanques de acero inoxidable para estandarización y una unidad de almacenamiento desde la cual el producto se bombea hacia un intercambiador de calor tipo placa. En el intercambiador de calor se enfría el jugo a una temperatura muy baja por medio de agua de glicolato suministrada por una unidad de enfriamiento.

Sistema de “blendizado”

La sección de blendizado actúa como estandarizadora de jugo concentrado y su propósito es lograr que el jugo producto de esta etapa sea exactamente el pedido por el cliente. Si bien la pulpa y el brix ya son los pedidos y fueron regulados por las máquinas anteriores, la acidez y el color pueden ser distintos a lo deseado. Para cambiar estas propiedades es necesario alimentar la línea con otras camadas de frutas con las características necesarias. Estas, se determinan por experiencia y por los estudios hechos en el laboratorio en el muestreo inicial. Según la regulación Argentina está permitido agregar líquido concentrado de otra fruta hasta en un 10% pero esta medida solo se lleva a cabo en el caso de que el cliente esté de acuerdo. Asimismo, no se agregan conservantes salvo por pedidos puntuales. Para homogeneizar el jugo es necesario que dentro de los tanques haya un agitador para lograr que la mezcla sea homogénea.

Hoy en día Ledesma cuenta con dos tanques de 6.000 lts un tanque de 20.000 lts y otro más de 27.000 lts. Los tanques más chicos se usan para regular el jugo y una vez que cumplen las condiciones se empiezan a llenar los tanques más grandes. La foto a continuación muestra el interior de uno de los tanques actuales de 6.000 lts. Se puede ver en el interior las paletas agitadoras que son las encargadas de homogeneizar las propiedades del jugo dentro del tanque.

A la salida del blendizado se tiene el producto en las condiciones exactas para ser vendido.



Sistema de envasado

Una vez que el jugo se encuentra en condiciones óptimas y especificadas, se envasa en la forma más conveniente para el transporte y el almacenamiento. Muchas veces el envase lo determina el comprador. Los envases más usuales son tambores de metal con bolsas plásticas internas, bidones de 60 o 132 kg y bagging box de 500 kg. Cabe destacar que lo mencionado anteriormente es lo que sucede en la empresa hoy en día. Para el caso del desarrollo de los jugos en polvo, se procederá a almacenar el concentrado en bagging box de 500 kg.

Hoy en día Ledesma cuenta con 2 envasadoras que tienen capacidad sobrante ya que pueden envasar todo el jugo diario en solo 6 horas. Una de las envasadoras comprada a la empresa DE BLASI se muestra a continuación:



Almacenamiento

Como se explicó anteriormente para que el jugo concentrado esté en condiciones de ser utilizado éste debe ser almacenado en condiciones de refrigeración específica. El jugo debe estar a una temperatura de -20 grados centígrados constantemente y sin interrupciones. Ledesma tiene un depósito con capacidad para 2.000 tambores de 200 litros. Cuando necesita almacenar una mayor cantidad que la capacidad instalada recurre al alquiler de espacios refrigerados a terceros. El depósito que actualmente existe se muestra en la foto siguiente.



Anexo 2 - Cálculos

Producción de biogás por kg de residuo

Los siguientes cálculos son para obtener la cantidad de m³ por kg de residuos cítricos, están basados en el paper de “Gargi Chakravarty, (2016). *Evaluation of fruit wastes as substrates for the production of biogas.*”

Según paper, se tiene que con 200g de una mezcla de co-sustratos (residuos de frutas variadas) y 1 litro de agua, se obtuvo de manera experimental los siguientes resultados en mL de biogás obtenido.

Substrates	No. of weeks								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Apple (S1)	615	625	655	640	628	618	600	590	580
Orange(S2)	655	665	700	690	688	650	645	635	615
Pineapple (S3)	765	878	975	900	850	820	765	700	655
Banana(S4)	590	610	620	615	600	596	584	570	555
Jackfruit(S5)	578	570	567	556	545	530	518	500	495
Co-substrates(S6)	800	877	990	975	900	860	848	800	792
Control(S7)	810	880	980	976	889	855	845	795	790

Siguiendo el S6, y utilizando las semanas 4, 5 y 6 que son las representativas al TRH (tiempo de retención hidráulico) buscado del proyecto el cual apunta a un óptimo de 35 días. Obtenemos el promedio de mL de biogás obtenido entre estas semanas:

$$\frac{975 + 900 + 860}{3} = 911,6$$

Se procede a convertir los 911,6 cm³ de 200g de co-sustratos, a m³ por kg

$$\frac{911,6 \text{ cm}^3}{200 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1.000.000 \text{ cm}^3} = 0,00458 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Efluente diario a usar según experimento es de relación 1:5, entre sustrato y agua respectivamente, entonces:

$$\begin{aligned} &300 \text{ t/día} \text{ ----- } 1500 \text{ t H}_2\text{O} \\ &300 \text{ t} + 1500 \text{ t} = 1800 \text{ t/día de efluente} \end{aligned}$$

Cálculos de Energía generada

Rendimiento energético teórico de biogás $6,5 \frac{kwh}{m^3}$

$$1374 \frac{m^3}{dia} * 6,5 \frac{kwh}{m^3} = 8931 \frac{kwh}{dia}$$

Motor generador con 38% de eficiencia:

$$8931 \frac{kwh}{dia} * 0,38 = 3393,78 \frac{kwh}{dia}$$

$$8931 \frac{kwh}{dia} * \frac{1 dia}{24h} = 372,12 kw$$

Cálculos de biofertilizante producido

1800 t/día efluente generan 8% de subproducto luego de digestión

$$1800t/día * 0,8 = 144 t/día$$

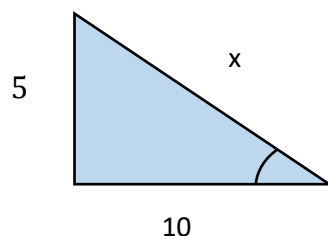
$$144 \frac{t}{dia} * 360 \frac{dia}{año} = 51840 t/año$$

Cálculos de dimensiones de biodigestor

$$V = \left(\frac{B+b}{2} * h \right) * L$$

$$V = \left(\frac{40 m + 20m}{2} * 5m \right) * 150 m = 22500 m^3$$

Relación 1:2 para taludes



$$Tg \alpha = \frac{5}{10} \alpha$$

$$\alpha = \cotg \left(\frac{5}{10} \right) = 26,56$$

$$\text{Sen}(26,56) = \frac{5}{x}$$

$$X = 9,61$$

$$x^2 = 5^2 + 10^2$$

$$x = \sqrt{5^2 + 10^2} = 11,18 \text{ m}$$

Cálculo de cantidad de membranas

El proveedor ofrece rollos de 7m de ancho y 100m de largo

Por tanto, según las dimensiones de ancho y largo del biodigestor del proyecto tenemos que:

$$\frac{40m}{7m} = 5,71$$

$$\frac{150m}{100m} = 1,5$$

Se necesitarán 6 membranas para cubrir el ancho y 2 para cubrir el largo, entonces se necesitarán 12 membranas por digestor en total para parte superior.

Para parte inferior los cálculos nos dejan que necesitaremos la misma cantidad de membranas por tanto el total de membranas a utilizar será de 24

$$\frac{42,36m}{7m} = 6,05$$

$$\frac{150m}{100m} = 1,5$$