UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL

SANTIAGO – CHILE

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA VALORIZACIÓN DE GUANO DE AVE DE POSTURA PARA EMPRESA AGRÍCOLA AGROCHEQUEN

FRANCISCO AGUIRRE MARFULL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL QUÍMICO

PROFESOR GUÍA: RODRIGO BENAVIDES

INGENIERO CORREFERENTE: EDWARD KEYMER

2020

“Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la institución”

Agradecimientos

Agradezco sinceramente al equipo de Agrochequen por autorizarme y apoyarme a realizar mi memoria y última instancia de formación académica de pregrado en su empresa. Me motiva enormemente ser parte del desarrollo de un emprendimiento que partió gracias a la determinación y audacia de Carlos Crovetto Lamarca en la década los 50. Enormemente agradecido de conocerlo tanto por sus conocimientos como por su gran personalidad.

Agradecer sin duda a Edward Keymer quien me guio en todo el camino de esta memoria, como a mi profesor guía Rodrigo Benavides quien me ayudó a pulir el trabajo realizado. Sin sus revisiones se hubiese "pelado mal el chancho" como se dice en el campo. A la profesora Andrea Carvajal por apoyarme en el estudio de generación de biogás con guano de ave.

Por su puesto agradecer a Ximena Crovetto quien me planteó la problemática. Ella fue quien encendió en mi el bichito por el tratamiento de los desechos avícolas y me ayudó a mirar el importante mundo de la sustentabilidad.

Agradezco también a mi familia, mis padres Sergio y Lily, a mis hermanos Felipe, María Paz, Tomás y Sofía, por apoyarme en estos años de pregrado, por el cariño que siempre me han dado, sin ellos todo hubiese sido muy difícil.

Agradecer a Lucía Bobadilla quien siempre me ha apoyado en todos mis proyectos, a Sergio Bobadilla Muñoz por motivarme a terminar este estudio y a toda su familia por el gran cariño que me han dado.

Por último, pero no por eso menos importante, agradecido de mis compañeros de universidad, grandes amigos, agradezco también a todas aquellas personas que gentilmente resolvieron mis dudas relativas a áreas que no manejo con facilidad, Ignacio, Pablo y Benjamín, apasionados ingenieros eléctricos.

Resumen ejecutivo

La avícola Agrochequen, ubicada en la comuna de Florida, Región del Bio-Bio, genera actualmente 7,3 ton/día de guano de Ave de Postura (GAP), aproximadamente, debido a su operación asociada a 85.000 Aves Ponedoras. Este residuo se utiliza como mejorador de calidad del suelo de sus propios cultivos generando un impacto ambiental como eutroficación de las aguas, generación de malos olores, etc. Además, se está en proceso de expansión en su cantidad de aves, buscando alcanzar una cantidad de 120.000 unidades, por lo que aumentará la cantidad de guano. Desde este punto de vista, se hace necesario evaluar técnica y económicamente el manejo del residuo.

Como objetivo general de esta memoria se propone realizar un estudio de prefactibilidad técnico-económica que permita reducir el problema actual con el GAP, y a su vez, darle valor agregado, evaluando opciones que permitan aprovechar las características de este residuo avícola, dándole a la empresa, una imagen amigable con el medio ambiente. Con este fin, se realizará un estudio técnico y económico de las distintas alternativas de valorización del guano de ave de postura.

Estudio de Mercado

En el estudio de mercado primero se determinaron los requerimientos de Agrochequen al año 2017:

Tabla 1: Demanda actual de Agrochequen.

Producto	Fertilizante [ton/año]	Acondicionador de suelo [ton/año]	Electricidad* [MWh/año]	Calor [MWh/año]
Demanda	100	2.668	82	201

*Potencia eléctrica utilizada actual estimada de 109 kW.

La demanda futura de Agrochequen contempla una serie de cambios en los procesos actuales con el objetivo de aumentar la producción de huevos lo que significará aumentar la demanda de electricidad y calor. Dentro de los cambios que se harán hasta el año 2025, están los siguientes:

1. Alojamiento de todas las aves de postura en galpones modernos (Zucami).
2. Expandir la cantidad de aves ponedoras a 120.000, en 4 galpones Zucami.
3. Tener 2 galpones de aves de recría.
4. Calefaccionar las casas de los trabajadores con otra fuente de calor, para disminuir la quema de madera en estufas y así disminuir la contaminación ambiental.
5. Suministrar la cantidad necesaria de GAP a los cultivos para no sobrecargar los suelos.

Se presenta a continuación la tabla 6 que indica la demanda futura de la empresa:

Tabla 6: Demanda futura de Agrochequen.

Producto	Fertilizante [ton/año]	Acondicionador de suelo [ton/año]	Electricidad* [MWh/año]	Calor [MWh/año]
Demanda	100	825	112	222

*Potencia eléctrica futura estimada al año 2025 de 136 kW.

Además, los precios de los productos en el mercado son los siguientes:

Tabla 2: Precio de venta productos con IVA.

Producto	Fertilizante	Acondicionador de suelo	Electricidad	Calor
Unidad	[USD/ton]	[USD/ton]	[USD/kWh]	[USD/kWh]
Valor	350	140	0,1	0,2

Estudio Técnico

Se estudiaron 3 opciones para el tratamiento del GAP: **Opción 1** ***(CAPEX: 204.891 [USD], OPEX: 96.489 [USD/año]):*** Deshidratación y secado de GAP para producción de acondicionador de suelo (AS). **Opción 2.1** ***(CAPEX: 525.251 [USD], OPEX: 215.047 [USD/año]):*** Co-digestión anaerobia del GAP con rastrojos de avena y trigo en reactores convencionales, para producir biogás y con ello electricidad y calor con un equipo de cogeneración; además producir AS. **Opción 2.2** ***(CAPEX: 521.644 [USD], OPEX: 173.311 [USD/año]):*** Co-digestión anaerobia del GAP en un reactor de lixiviación, para producir biogás y con ello electricidad y calor con un equipo de cogeneración; además producir AS.

Estudio económico

Para todas las estimaciones se utilizó un valor de dólar equivalente a $750\ CLP/USD$.

Se evalúan 4 casos: Los 3 primeros casos consideran la opción 1, 2 y 3 por sí sola respectivamente. El caso 4 analiza la implementación de las 3 opciones de forma secuencial en un periodo de 10 años. En la tabla 42 se muestra el flujo de caja puro de cada uno de los casos descritos:

Tabla 42: Flujo de caja puro para los 4 casos.

Indicadores	**Caso 1**	**Caso 2**	**Caso 3**	**Caso 4**
VAN [USD]	197.948	-815.828	-533.752	-443.393
PAYBACK [años]	5,41	>10	>10	>10
TIR [%]	25	-	-	-
Tasa de descuento [%]	10	15	20	17

Se presentan los resultados del caso 1 financiado al 50%, por ser el único proyecto rentable:

Tabla 43: Indicadores financieros del caso 1 financiado.

Indicadores	**Caso 1 financiado**
VAN [USD]	362.943
PAYBACK [años]	2,3
TIR [%]	51

Realizando un análisis de sensibilidad al caso 1 se tiene que el precio del acondicionador de suelo podría bajar como máximo a $110\ USD/ton$ y que el porcentaje máximo de disminución de la producción o precio de ventas podría ser del 20%. Se recomienda reevaluar el caso 1, por ser el más favorable técnico y económicamente. Es indispensable realizar un piloto a escala del proyecto, para estudiar todas las variables operacionales. Analizar los olores y material particulado generados. Además, se recomienda la posibilidad de desarrollar un proyecto integrado con las empresas avícolas cercanas a la empresa, para disminuir costos de producción por concepto de economías de escala.

Contenido

Resumen ejecutivo 2
1. Introducción 6
1.1. Panorama mundial 6
1.2 Realidad de Agrochequen 8
1.3 Acuerdo de Producción Limpia 8
2. Objetivos 10
3. Estado del arte 11
3.1 El guano de ave de postura y su uso mundialmente 11
3.1.1 Deshidratación de GAP 11
3.2 Digestión anaerobia (DA) con GAP 13
3.3 Quemar GAP en caldera de biomasa 17
4. Metodología 19
4.1 Estudio de mercado 19
4.2 Estudio técnico 19
4.3 Estudio económico 20
5. Resultados 21
5.1 Estudio de mercado 21
5.1.2 Análisis FODA 22
5.1.3 Mercado 23
5.1.4 Demanda 24
5.1.4.1 Demanda histórica 24
5.1.4.2 Demanda futura 29
5.1.5 Precios 33
5.2. Estudio técnico 38
5.2.1 Determinación y primer filtro de alternativas 38
5.2.2 Descripción del proceso 39
5.2.3 Tecnologías asociadas al proceso 43
5.2.4 Presentación del producto 45
5.2.5 Tamaño del proyecto 48
5.2.6 Balances de masa y energía 53
5.2.7 Análisis de proveedores 54
5.2.8 Análisis legal y medio ambiental 55
5.2.9 Localización 55
5.2.10 Estimación de la inversión 56

a. Inversión inicial 57
b. Costos fijos y variables 60
c. Análisis de la inversión y costos 62
5.3 Estudio Económico 64
5.3.1 Caso base 64
5.3.2 Alcance y supuestos: 65
5.3.3 Depreciación 65
5.3.4 Resultados flujos de caja puro 66
5.3.5 Flujo de caja financiado 66
5.3.6 Análisis de sensibilidad 67
5.3.7 Matriz de riesgos 71
6. Conclusiones y recomendaciones 73
7. Bibliografía 75
8. Anexos 76

1. Introducción

En este capítulo se hablará sobre la situación de las avícolas tanto a nivel mundial como en Chile y en Agrochequen. Poniendo énfasis en la generación y manejo del guano de ave de postura (GAP).

1.1.Panorama mundial

La crianza de aves de postura a nivel mundial es desarrollada en todos los continentes, siendo Asia el con mayor participación (ver figura 1). Luego del continente asiático le sigue Europa y en tercer lugar pelean el puesto África, América del norte y Sudamérica con Centroamérica, y en último lugar, Oceanía.

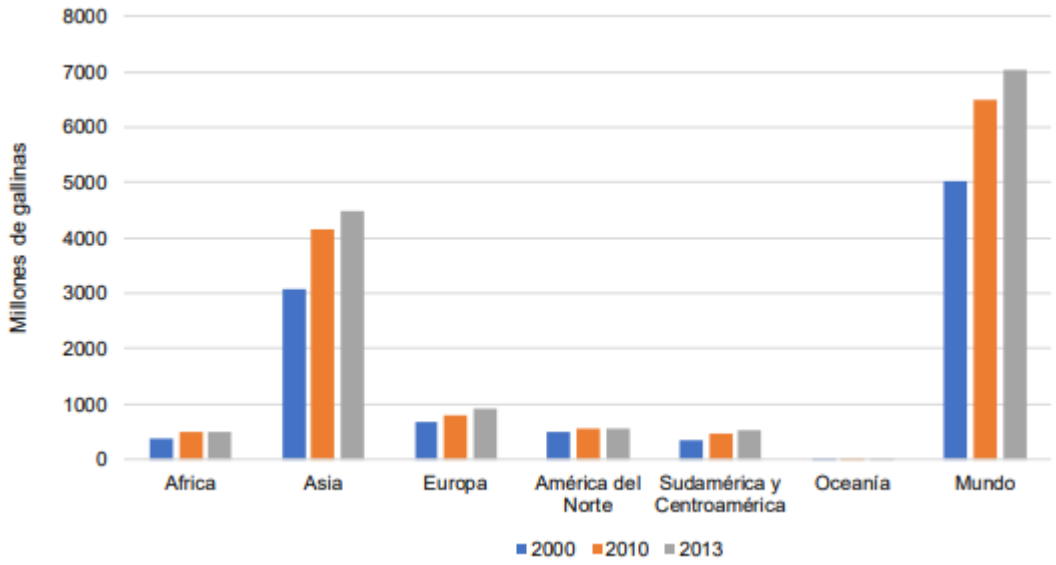


Figura 1: Tendencia en población de gallinas ponedoras (Odepa, 2018).

Por otro lado, la producción de huevos ha ido en aumento con los años, con un crecimiento promedio del 2,2% anual entre los años 2000 y 2016 (ver figura 2), hecho que está directamente relacionado con la cantidad de aves ya que, cada una produce, en condiciones ideales, un huevo por día.

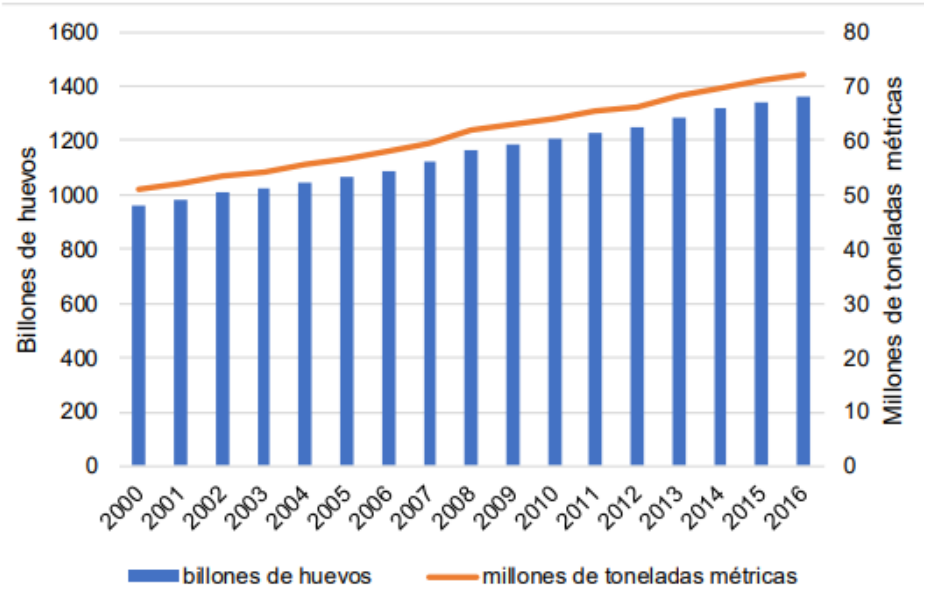


Figura 2: Tendencia de la producción mundial de huevos (Odepa, 2018).

En Chile, la situación no es distinta a lo que ocurre mundialmente. En enero de 2009 se registró una producción de 450.000 millones de huevos y para noviembre de 2017 una producción de 900.000 millones. La distribución regional de producción se presenta en la figura 3, en donde predomina la Región Metropolitana y Valparaíso, siguiéndoles las regiones de O`Higgins, del Maule y la del Biobío. (Odepa, 2018).

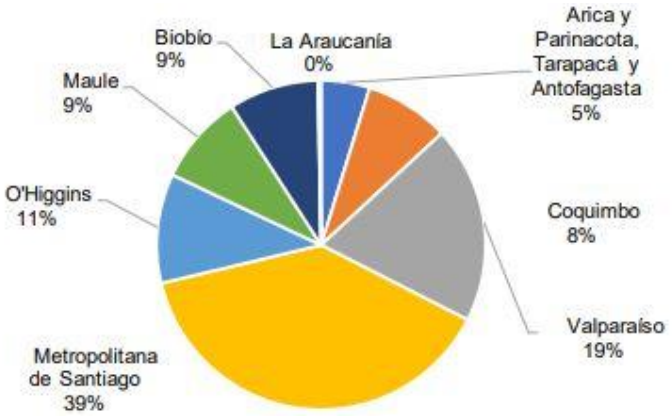


Figura 3: Distribución regional de la producción de huevos de gallina en Chile (Odepa, 2018).

Ahora, esta cantidad de aves y su crecimiento no es el problema, si lo es el guano excretado diariamente. La generación de guano de ave de postura en avícolas es una situación inevitable que trae consigo un impacto ambiental asociado. Según (Bayrakdar et al., 2018) el efectivo manejo del GAP es importante porque el exceso de producción de este desecho y su incorrecta aplicación en los suelos trae consigo la proliferación de roedores y moscas, eutrofización de las aguas aledañas y emanación de gases de efecto invernadero (CH_4 y N_2O) y gases con mal olor como el amoniaco (NH_3).

Según (European Environment Agency, 2012) el 93% de las emisiones de amoniaco provienen de la agricultura. Por otro lado, según (Sanchez et al., 2011) el 10% de las emisiones del GEI óxido de nitrógeno se atribuye a la ganadería y el 64% se atribuye a la aplicación de fertilizantes y abonos agrícolas al suelo. Ahora, respecto a las emisiones de metano, la agricultura se atribuye el 11% del total (Global Methane Initiative, 2010).

1.2 Realidad de Agrochequen

La empresa divide sus tareas en un área agrícola y una avícola. Por parte de la agrícola, ésta trabaja con cultivos de avena y trigo, un total de 275 ha entre ambos cereales. De la cosecha se producen 6 ton/ha de rastrojos al año (1.650 ton/año), de los cuales se agrega 1 ton/ha para fines de cero labranza (275 ton/año) y el resto (1.375 ton/año) es acumulado y vendido a $100 el kilogramo aproximadamente. El consumo de la agrícola es de 90 ton/año de fertilizantes (Bio estimulante Zn, fertilizante CAN y fertilizante Urea + S), además de los rastrojos y GAP agregado al suelo.

Por otra parte, la avícola, con sus 85.000 aves ponedoras, con una tasa de generación de GAP de 86 g/día por ave, produce 7,3 ton/día de GAP. Además, Agrochequen, al año 2025 pretende aumentar su destacamento de aves a un total de 120.000, por esto, la cantidad de GAP a generar, en un futuro, sería de 10,3 ton/día, es decir, 3.767 ton/año de GAP. Este desecho podría ser vendido directamente a $3.000 la tonelada a terceros.

La avícola consume electricidad en sus galpones y gas natural licuado (GNL) abastecido por Lipigas para calentar a las aves de recría. Además, se consume electricidad y calor en las casas de habitantes del campo.

Actualmente todo el GAP generado es ocupado para mejorar los suelos agrícolas, sin embargo, se llegó a la conclusión de que sólo es necesario agregar una parte, 3 ton/ha, lo que equivale a 825 ton/año. Esto, en un futuro, generaría la oportunidad de tratar 2.942 ton/año de GAP.

Hoy en día, la empresa Agrochequen incorpora el 100% de los residuos avícolas a sus cultivos. Sin embargo, esta práctica no es conveniente por la sobrecarga de nutrientes que se efectúa sobre los suelos y por el impacto ambiental descrito anteriormente. A su vez, la empresa incrementará su flota de aves al año 2025, aumentando su cantidad de guano generada. Por tanto, seguir agregando el GAP a los cultivos, ya no es una opción.

1.3 Acuerdo de Producción Limpia

Agrochequen participa del Acuerdo de Producción Limpia (APL II), que tiene como objetivo general, introducir por parte del sector productor de huevos, de forma sistemática y permanente en sus actividades, un conjunto de acciones para cubrir los aspectos ambientales y sanitarios, en lo relativo a aspectos relacionados con la higiene y seguridad laboral; gestión y manejo de guanos; requerimientos sobre manejo de residuos veterinarios, aves muertas y otros; y la prevención y control de olores molestos y vectores.

A su vez, como objetivos específicos tiene: 1. Contar con sistemas de manejo para los residuos sólidos que incluyan los siguientes conceptos:

a. Minimizar la cantidad de residuos a través de la reutilización y el reciclaje.

b. Incorporación del concepto de residuos con valor comercial de manera de asegurar retornos que apoyen el desarrollo de los programas en forma permanente.

c. Procurar un mejoramiento continuo en el tratamiento de los residuos.

d. Realizar un adecuado manejo ambiental, sanitario y agronómico de los guanos.

e. Mejorar el nivel de cumplimiento de higiene y seguridad laboral del sector productor de huevos.

f. Mejorar las condiciones de biosanitarias de los planteles, específicamente de los pertenecientes a las empresas de menor tamaño.

g. Implementar medidas para el control efectivo de olores molestos y vectores.

h. Mantener instancias de cooperación público-privada que garanticen canales de comunicación expeditos y oportunos entre las empresas y los organismos públicos para promover el cumplimiento de los compromisos del Acuerdo.

2. Objetivos

Esta memoria tiene como objetivo general analizar la valorización del guano de ave de postura generado por Agrochequen, utilizando tecnologías que no generen un impacto ambiental y que permitan cambiar la imagen de la compañía como una empresa amigable con el medio ambiente.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio de prefactibilidad donde se analice:
    a. Mercado del GAP y de los consumos que tiene la empresa (electricidad, gas, calor, etc.).
    b. Factibilidad técnica de las tecnologías.
    c. Viabilidad comercial a través de un estudio económico.

3. Estado del arte

En este capítulo se hablará sobre los usos que se la ha dado al GAP a nivel mundial, describiendo las tecnologías y procesos utilizados para su aprovechamiento.

3.1 El guano de ave de postura y su uso mundialmente

El guano de ave de postura, si bien es un desecho, también es materia prima para distintos tratamientos debido a su composición. El GAP posee concentraciones de materia orgánica, agua, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, hierro, cobre, zinc, entre otros.

Por el hecho de poseer valores cercanos al 60% en materia orgánica (en seco), lo convierte en un buen elemento para distintos procesos como: Acondicionador de suelos, producción de biogás en digestión anaerobia y como biomasa para una caldera de combustión.

En el mundo se le ha dado varios usos al GAP con el objetivo de disminuir su impacto ambiental y a su vez, obtener un producto con valor agregado. Lo que mas se ha utilizado por años es el compostaje del GAP, debido a su simpleza y buenos resultados. El Departamento de Territorio y sostenibilidad junto con la Agencia de Residuos de Cataluña, en su Guía Práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje, describen que se puede obtener compost estabilizado luego de un mínimo de 6 semanas para residuos de alta degradabilidad como el GAP.

Por otro lado, la empresa canadiense Acti-Sol, utiliza GAP para deshidratarlo, secarlo y peletizarlo. Con esto obtiene pelets de GAP con bajo porcentaje de humedad y atractivos comercialmente, por su bajo o nulo olor a amoniaco y por su fácil manejo para la incorporación a los cultivos.

Otra aplicación para el GAP es el que le da la empresa RENIG en El Salvador, la cual desde el año 2013 utiliza la excreta de su plantel de 1 millón de aves ponedoras para generar 8,6 $MWh/día$ de energía eléctrica, a través de un proceso de digestión anaerobia.

Por último, la empresa Fibromin en Minesota, Estados Unidos, proceso el guano de 45 millones de aves, generando con ello 55 MW de energía eléctrica en una caldera de biomasa (Biomass Magazine, 2019).

De los cuatro procesos nombrados anteriormente, se dejará de lado el compostaje, debido a su alto costo y tiempo de proceso, el cual requiere de semanas para obtener compost estabilizado. Es por esto, que se describen las otras tres tecnologías a continuación:

3.1.1 Deshidratación de GAP

Primero que todo se hablará de las características del GAP como acondicionador de suelo.

a. Acondicionador de suelo

Debido al alto contenido de materia orgánica, el GAP, al ser incorporado a los suelos, permite mejorar su estructura, desarrollando macroporos que permiten una mejor infiltración y mejoran su capacidad retenedora de agua mejorando la capilaridad. También se promueve la formación de agregados y aumenta la proporción de macroagregados, los cuales favorecen el crecimiento y desarrollo radicular. Forma moléculas complejas con

nutrientes macro y micro minerales al quelarse con ellos. Estando quelados estos nutrientes los hace disponibles para las plantas (FAO, 2019).

Por otra parte, su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio permiten entregar macronutrientes necesarios para un buen desarrollo de los cultivos. El nitrógeno es utilizado por las plantas para producir hojas y mantener un buen color verde. El fósforo es utilizado para ayudar a formar nuevas raíces, producir semillas, frutos y flores, como también para combatir enfermedades. El potasio se requiere para desarrollar tallos fuertes, mantener un rápido crecimiento y combatir enfermedades (Universidad de Illinois, 2019).

El nitrógeno disponible para las plantas se encuentra en forma de amonio (NH_4) y de nitrato (NO_3), sin embargo, el GAP no entrega de forma inmediata el nitrógeno de manera accesible. Para ello se deben realizar un proceso de mineralización y de nitrificación, los cuales son promovidos por bacterias y enzimas.

Los suelos en donde se incorpora GAP suelen ser más oscuros, lo que trae mayor retención de radiación. Esto permite temperarlo de mejor forma promoviendo la vida enzimática y biológica, que contribuyen a la mineralización del nitrógeno. También el GAP permite amortiguar el pH del suelo ácido porque proporciona una base de cationes que reemplazan a los iones H^+, así como iones con carga negativa (OH^- y $HCO_3{}^-$).

b. Disminución de humedad del GAP

Los problemas de incorporar el GAP de forma inmediata a los cultivos, es su alto contenido de agua. Esto favorece la disociación de amonio en amoniaco (NH_3) gaseoso. Este gas es altamente volátil, promoviendo así, la pérdida de nitrógeno al ambiente en forma de un gas con mal olor. Esto trae un problema social para las avícolas. Además, el GAP húmedo puede saturar los poros incrementando la concentración de amonio y metales a niveles tóxicos para la fauna del suelo.

Es por esto, que el GAP seco o con humedad bajo el 10%, permite aprovechar todas sus cualidades, sin riesgos de perder nutrientes ni generar daños a la vida del suelo. A su vez, permite un mejor manejo, al tener menos agua y con ello menos volumen. Disminuye la emisión de malos olores y permite ser comercializado. Industrialmente se ha utilizado el secado en túnel con aire caliente indirecto. Sensores de amoniaco permiten medir la pérdida de nitrógeno en el proceso para controlar el flujo de aire caliente y la velocidad de secado. Finalmente, se peletiza el guano deshidratado, como muestra la figura 4:

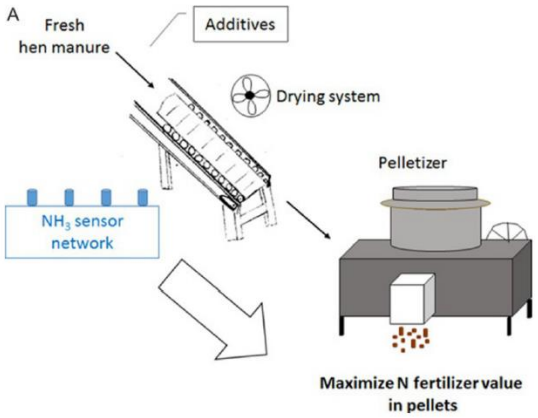


Figura 4: Proceso de secado y peletizado de GAP (Whalen, 2018).

3.2 Digestión anaerobia (DA) con GAP

Este proceso permite obtener biogás y fertilizante líquido a través de la DA con GAP en un medio acuoso. El proceso de DA se detalla a continuación:

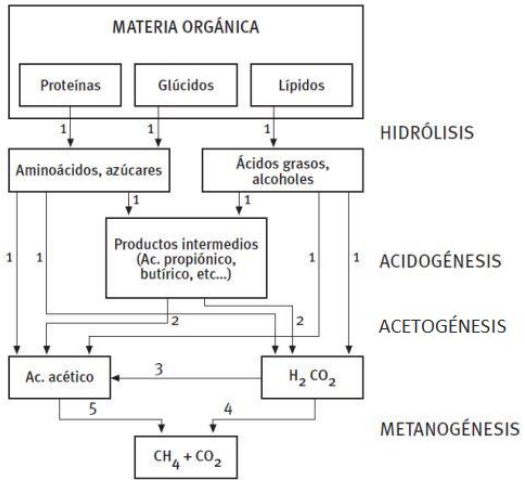


Figura 5: Esquema proceso de digestión anaerobia, los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: Bacterias fermentativas; 2: Bacterias acetogénicas; 3: Bacterias homoacetogénicas; 4: Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: Bacterias metanogénicas acetoclásticas (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991. Modificado).

La DA es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que ocurren como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. Muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. (FAO, 2011).

La primera etapa de este proceso corresponde a la hidrólisis de la materia orgánica, sin ella los microorganismos no la podrían utilizar directamente ya que no sería capaz de atravesar la pared celular. Por tanto, esta etapa puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso, sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. La hidrólisis depende de la temperatura, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de amonio y de la concentración de los productos de la hidrólisis. (FAO, 2011).

Proteínas, carbohidratos y lípidos son fácilmente hidrolizados por los microorganismos, sin embargo, materiales lignocelulósicos como lignina, celulosa y hemicelulosa, requieren de mayor trabajo para ser degradados debido a su resistencia a la degradación (FAO, 2011).

La segunda etapa es la acidogénesis en donde se fermentan las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (ácido acético, fórmico e hidrógeno) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol) que son oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa. En esta etapa se elimina cualquier traza de oxígeno disuelto en el sistema. (FAO, 2011).

En la etapa de acetogénesis, los compuestos antes mencionados son transformados en productos más sencillos, como acetato e hidrógeno. Un tipo de bacteria acetogénica, las homoacetogénicas, consumen hidrógeno como sustrato. Esto permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. (FAO, 2011).

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células (ácidos volátiles sencillos), los cuales son utilizados como sustrato por las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente. (FAO, 2011).

En la última etapa, la metanogénesis, bacterias anaeróbicas estrictas con características de archaea, actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Éstas producen metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato (70%), H_2/CO_2, formato, metanol y algunas metilaminas. (FAO, 2011).

De este proceso se genera biogás, el cual suele tener la siguiente composición: CH_4 $(55-70\%)$, $CO_2(30-45\%)$ y trazas de otros gases $(H_2S, NH_3, H_2O, etc.)$ (Esposito et al., 2012).

a. Co-digestión anaerobia

Según (Wang et al., 2014) la eficiencia de la DA se puede ver limitada por la baja cantidad y diversidad de nutrientes de una sola fuente de materia orgánica como es el caso del GAP. Un solo sustrato suele tener insuficiente ratio carbono-nitrógeno (C/N), bajo pH, poca capacidad de amortiguación (buffer) y altas concentraciones de amoníaco.

Para solucionar este problema existe la co-digestión anaerobia, la cual es una DA donde se agrega material con alto contenido de carbono, rastrojos agrícolas, por ejemplo, con el objetivo de equilibrar de manera eficiente el carbono y el nitrógeno de la materia prima y así compensar la relación C/N para mejorar la producción de metano. Valores convenientes de esta relación rondan el valor de 25 C/N (Wang, 2014).

Una forma de evaluar el rendimiento de biogás es a través de un ensayo de potencial de biometano, en donde se inhibe la generación de amoníaco a través de la dilución con

agua. Se estima que un porcentaje de sólidos totales (ST) menores al 10%, inhibe la generación de este gas (Bayrakdar, 2018).

A partir del ensayo BMP realizado por (Esposito et al., 2012) determina que, a partir de la digestión anaerobia con GAP, se puede obtener 150 mL de biogás por gramos de sólidos volátiles (SV). Investigaciones llevadas a cabo por (Lehtomäki, 2006), realizando digestión anaerobia con rastrojos agrícolas, en ensayo BMP, evidencian que se puede alcanzar un rendimiento de biogás de 280 mL/g SV. Ahora, co-digestión realizada por (Wang, 2014) con GAP y rastrojos agrícolas (paja de arroz), en ensayo BMP, prueban que se obtiene un rendimiento de biogás de 250 mL/g SV.

El biogás puede ser utilizado en un proceso de cogeneración para producir energía eléctrica y calor. El calor se aprovecha de los gases de combustión del generador eléctrico.

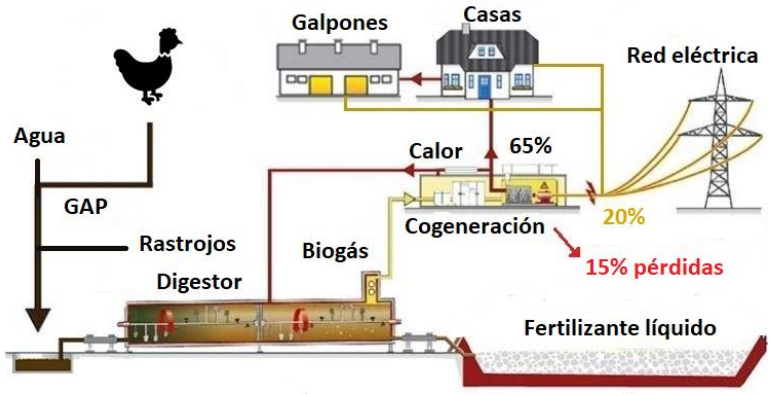


Figura 6: Diagrama aprovechamiento de productos generados de digestión anaerobia con GAP (Spenagroup, 2019). Modificado.

Actualmente existen sistemas que ocupan reactores convencionales de digestión anaerobia. Uno de ellos, y el mas recomendado para generar biogás de forma convencional es el modelo Hindú:

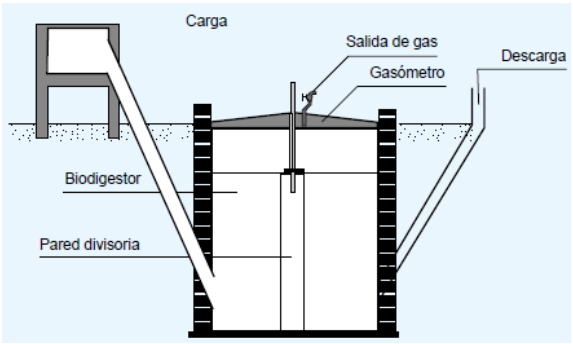


Figura 7: Modelo hindú (FAO, 2011).

Estos digestores son enterrados y verticales. Se cargan por gravedad una vez al día y tienen producción uniforme de biogás. El gasómetro en forma de campana está incorporado al sistema alcanzando presiones de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra una presión constante que permite la operación eficiente de los equipos a los que alimenta, además, ayuda al rompimiento de la espuma que se forma.

La salida de efluente (fertilizante líquido) se genera por rebalse al ir agregando afluente (mezcla de GAP, agua y rastrojos) (FAO, 2011).

Estos equipos deben operar a temperaturas mesofílicas $(30 - 35℃\ idealmente)$, además, ocupan grandes cantidades de agua para alcanzar una concentración de sólidos totales cercanos al 5% y así generar una mezcla homogénea (FAO, 2011).

b. Reactor de lixiviación

Ahora, las tecnologías han ido avanzando con el objetivo de disminuir los consumos de agua y rastrojos y aumentar el rendimiento de biogás. Un reactor que ha cumplido con estas metas es el reactor de lixiviación estudiado por (Bayrakdar, 2018), en donde se incorporó una membrana que permite capturar los gases de amoníaco, neutralizarlos con ácido sulfúrico y devolverlos de forma inerte al reactor. Esto permitió disminuir los consumos de agua y eliminar el uso de rastrojos.

El proceso es el siguiente (ver figura 8): El GAP se colocó en bolsas de tela (6) sobre una malla metálica en un recipiente herméticamente cerrado en condiciones anaeróbicas. Además, se agregó un inóculo líquido rico en bacterias. La parte líquida formada por lo que aporta el GAP más el inóculo, forma un lixiviado, el cual se recircula con una bomba (3) hacia un estanque de almacenamiento (9) para luego ser rociado con aspersores (8) sobre el GAP.

En el proceso se forma el biogás, el cual es almacenado en un gasómetro (10). Como gas indeseable se forma amoniaco (NH_3) el cual es capturado por una membrana hidrofóbica permeable (5) y transportado a un recipiente (4) con ácido sulfúrico $0{,}25\ M$. Una vez saturada la solución en el recipiente (4), es recirculado al reactor en forma de sulfato de amonio $((NH_4)_2SO_4)$ por una bomba (2). La temperatura y agitación del reactor es controlada con un agitador y calefactor magnético (1) y la presión es medida con una línea de ecualización de presión (7).

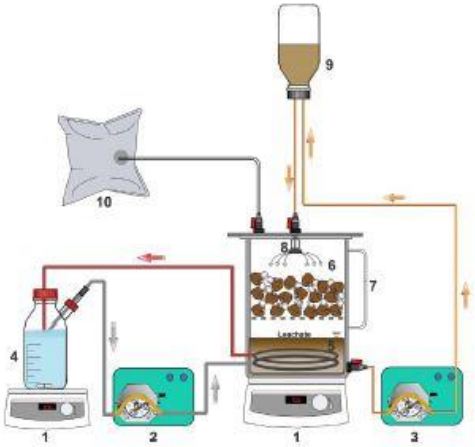


Figura 8: Reactor de lixiviación escala laboratorio (Bayrakdar, 2018).

Por último, se realiza una comparación entre digestión anaerobia en un reactor convencional con el reactor de lixiviación descrito anteriormente:

Tabla 1: Comparación entre un reactor convencional y uno de lixiviación para producción de biogás con GAP.

Parámetro	Reactor convencional	Reactor de lixiviación
Consumo de agua $[L/kg_{GAP}]$	10,4	1,4
Tiempo de operación [días]	30	80
Necesidad de rastrojos	Si	No
Rendimiento de biogás $[mL/g_{SV}]$	250	453
¿Ha sido aplicado a escala industrial?	Si	No
Insumos	Inóculo en la partida Bicarbonato de sodio	Inóculo en la partida Ácido sulfúrico

3.3 Quemar GAP en caldera de biomasa

Otra forma de darle valor agregado al GAP es a través de su quema para la generación de energía eléctrica. El GAP con 60% de humedad, mezclado con residuos agrícolas, es ingresado en la caldera, donde es utilizado como combustible para calentar, de forma indirecta, agua tratada que circula por tuberías dentro del hogar de la caldera. Esta agua es convertida en vapor sobrecalentado el cual mueve los alabes de una turbina para con ello mover el eje de un generador y así producir energía eléctrica.

a. Proceso de combustión en caldera de biomasa (CEN, 2010)

La caldera es de diseño acuotubular con parrilla. Está compuesta por una cámara de combustión (hogar), sobrecalentador, banco de generación y economizador. Produce vapor a alta presión utilizando la biomasa antes mencionada que es depositada sobre una parrilla de movimiento recíproco o vibratorio para su combustión, con entrada de aire por su parte inferior (aire primario). Para completar la combustión de la biomasa se inyecta además aire a la cámara de combustión sobre la parrilla (aire secundario).

El hogar de la caldera permite un tiempo de residencia que asegura la combustión completa de la biomasa a una temperatura de 850℃.

En cuanto a la contaminación, los gases NO_x son tratados con la incorporación de urea $((NH_2)_2CO)$ en la caldera para convertirlos a nitrógeno mineral, dióxido de carbono y agua, como muestra la ecuación (1):

$$(NH_2)_2CO + 2NO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2N_2 + CO_2 + 2H_2O \qquad (1)$$

Por otra parte, los gases de sulfuro son tratados en un desulfurador con cal formando sales de calcio y cloro, y el material particulado es capturado en un filtro de mangas con un 97% de eficiencia en remoción. Los gases de combustión remanentes serán

descargados a la atmósfera a través de una chimenea a una temperatura de 135℃ aproximadamente.

Además, se obtienen cenizas las cuales tienen calidad de fertilizante y no presentan toxicidad.

El agua alimentada a la caldera pasa por un equipo desaireador instalado sobre un estanque de almacenamiento, que calentará el agua a 105℃ mezclándola con vapor. El agua que alimenta el sistema provendrá del condensador de la turbina y de una planta de osmosis, la que está compuesta por equipos de osmosis inversa y equipos electrodeionizadores.

El vapor de alta presión y temperatura producido por la caldera alimenta un turbogenerador que genera cierta potencia eléctrica. De esta potencia un 10% es utilizado para consumo interno de la central y el resto inyectado es utilizado para fines particulares. Este generador es del tipo sincrónico con enfriamiento aire/agua y entregará la energía a cierto voltaje. Este voltaje es mayor que el de consumo en los galpones y casas, por tanto, se utiliza un transformador para bajar el voltaje.

En resumen, las 3 opciones a evaluar son las siguientes:

Opción 1: Deshidratación y secado de GAP para producción de acondicionador de suelo (AS).
Opción 2: Digestión anaerobia para generación de biogás y biofertilizante líquido. Evaluando un reactor convencional y uno de lixiviación. Ambas tecnologías buscarán producir electricidad y calor.
Opción 3: Combustión de GAP en caldera de biomasa generando electricidad y cenizas con características de AS.

A continuación, se presentará la metodología de evaluación de las tres opciones. Esto permitirá encontrar la opción que mejor se adecua a las necesidades de la empresa Agrochequen.

4. Metodología

Viendo las posibles soluciones y oportunidades que presenta el tratamiento del GAP a nivel mundial, se optó por una metodología de evaluación para este proyecto a través de un estudio de prefactibilidad, en donde se realizó un estudio de mercado, un estudio técnico y uno económico para cada una de las 3 opciones que se plantearon anteriormente. A continuación, se presentan las tareas que se realizaron para cumplir con estas evaluaciones.

4.1 Estudio de mercado

Este estudio busca presentar el mercado potencial para los productos que se generen a partir del tratamiento del GAP con cada una de las 3 opciones. Para la opción 1 (Deshidratación de GAP) se tendrá como producto GAP deshidratado. Para la opción 2 (Digestión anaerobia), se tendrá como producto electricidad, calor y abono líquido. Para la opción 3 (Caldera de biomasa), se tendrá como producto electricidad y fertilizante en forma de cenizas. Es decir, cada opción tendrá un mercado distinto ya sea por el o los productos que genere como por la capacidad de producción.

Primero que todo, se realiza un análisis interno y externo de la empresa a través de un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) y de cinco fuerzas de Porter. Estos permitieron generar estrategias para generar ventajas competitivas y así poder lograr los objetivos del proyecto.

Por otro lado, fue necesario estudiar la demanda histórica de Agrochequen respecto al consumo de fertilizantes, acondicionador de suelos, electricidad y calor, con el objetivo de analizar y proyectar su demanda a futuro. La demanda futura también se vio influenciada por los planes de expansión de la empresa y por el cumplimiento con las buenas prácticas agrícolas impuestas por el APL II (Acuerdo de Producción Limpia).

Además, se presentan los precios que la empresa paga por estos productos a sus proveedores y el pronóstico futuro de estos valores, desde el año 2019 al 2029. La proyección de los precios permite tener una noción de lo conveniente que será comprar o vender un producto en particular, dependiendo si su precio baja o sube respectivamente.

4.2 Estudio técnico

El estudio técnico tiene por objetivo presentar las tecnologías que permitirán elaborar los productos evaluados en el estudio de mercado, a un precio de costo menor al valor comercial actual.

Para lograr esto, primero se describieron los procesos y se presenta un diagrama de bloques de estos. Se realiza un balance de materia y energía para luego dimensionar los equipos más importantes. Los balances se efectuaron de acuerdo con los requerimientos de los productos en estudio. Además, se presentan los proveedores a los que se les comprará los equipos, insumos y servicios para cada una de las 3 opciones.

Luego, elige la localización en donde se instalará el proyecto, la cual debe cumplir con las normas de seguridad establecidas por el ministerio de energía.

Se presentan las características de los productos generados en cada una de las 3 opciones y se realiza una estimación de las inversiones (CAPEX) y de los gastos operacionales (OPEX). Se estima el costo del transporte del GAP desde los galpones a la planta y desde éstas a la oficina de Agrochequen en Concepción, este último transporte corresponde al producto de acondicionador de suelo.

Se establece el tamaño del proyecto de acuerdo con la demanda que se abordará de cada uno de los productos.

Finalmente, para este estudio, se estiman los costos de producción de cada uno de los productos en las 3 opciones estudiadas.

4.3 Estudio económico

En este estudio se evalúa económicamente el proyecto a un plazo futuro, con el objetivo de analizar su rentabilidad en ese rango de tiempo. Para ello primero que todo se establecen los parámetros económicos bases como la tasa de descuento para cada una de las 3 opciones, el período de evaluación y la tasa de interés a utilizar.

Luego se estiman la depreciación de los equipos y la amortización de la deuda en el caso que se tomara la decisión de financiar parte de la inversión con una entidad bancaria. Establecido esto, se confecciona el flujo de caja puro, en donde la inversión es cubierta en un 100% por la empresa. Con esto se calculan los indicadores VAN, TIR y payback o tiempo en que retorna la inversión.

Con estos indicadores se analiza la factibilidad económica de las 3 opciones. Además, se realiza un análisis de sensibilidad, en donde se varían los porcentajes de las variables más importantes con el fin de analizar el cambio del VAN respecto a estos parámetros.

5. Resultados

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos del estudio de mercado, técnico y económico.

5.1 Estudio de mercado

En este capítulo se hablará sobre el mercado potencial que presentan los insumos que son requerimientos actuales de la empresa Agrochequen y que podrían ser generados con las soluciones planteadas. También se plantean estrategias para obtener ventajas competitivas.

5.1.1 Análisis de 5 fuerzas de Porter

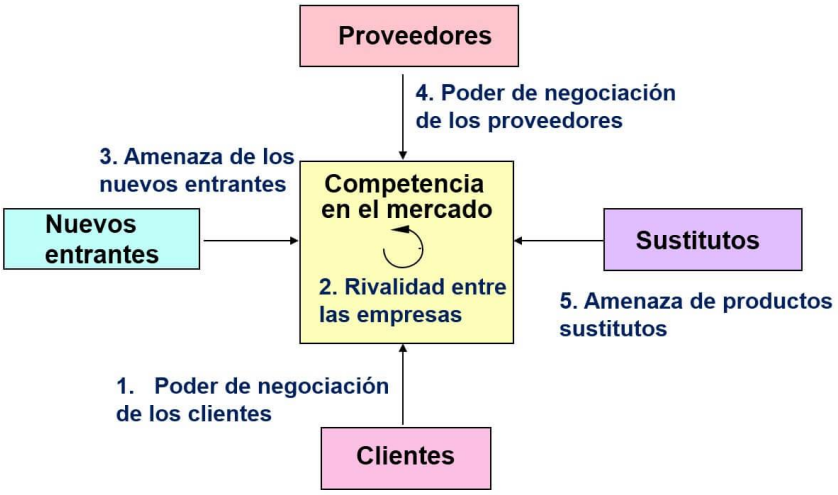


Figura 9: Diagrama cinco Fuerzas de Porter (Mentor Day, 2019).

Poder de negociación de los clientes:

Para el proyecto, el único cliente es la misma empresa Agrochequen.

Rivalidad entre las empresas:

No existe competencia, se genera una barrera de entrada de competidores externos.

Amenaza de los nuevos entrantes:

La amenaza de que alguien entre al mercado de Agrochequen será, por ejemplo, que las avícolas cercanas comiencen a copiar los procesos de la empresa. Para reducir esta posibilidad se podrían tomaron las siguientes medidas:

a. **Economías de escala:** Aumentar el número de aves ponedoras, lo que trae mayor volumen de materia prima para procesar, también se podría adquirir materia prima de externos. A mayor producción menor costo de operación.

b. **Diferenciación:** Elaborar productos que sean más baratos para la empresa y que mantengan o superen la calidad de los actualmente utilizados, es el mayor elemento diferenciador.

c. **Inversión de capital:** Para poder implementar la solución dada por el proyecto, es necesaria una inversión de capital que para algunas empresas menores sería una barrera.

d. **Canales de distribución:** Aprovechar los canales de distribución de productos que tiene la empresa actualmente generará una ventaja competitiva. A su vez, generar productos que son utilizados dentro de la empresa dificulta la entrada de empresas que tengan que instalar vías más extensas de distribución.

e. **Políticas de gobierno:** Aprovechar las nuevas leyes relativas a las ERNC será una ventaja y una medida para vender la energía sobrante que no se utilice en el mercado interno de la empresa.

Poder de negociación de los proveedores:

Se tienen tres tipos de proveedores: 1. La misma empresa ya que genera sus propios insumos, 2. Los actuales proveedores de energía e insumos agrícolas de la empresa cuando se tenga que recurrir a ellos y 3. Proveedores de insumos para las soluciones a implementar. Los 2 últimos ofrecen productos de fácil acceso y de producción masiva en todo el país. Por esto, no debería ser un problema cambiarse de proveedor o de negociar con los actuales.

Amenaza de productos sustitutos:

Para mitigar amenazas de este tipo se debe estar al tanto de las nuevas tecnologías que se van desarrollando y estudiar el comportamiento del mercado. Realizar investigación y desarrollo e innovación (I+D+i) permite también estar alejados de esta amenaza.

5.1.2 Análisis FODA

Fortalezas

La empresa conoce bien sobre sus procesos productivos, además, tiene la necesidad de crecer y con ello aumentar su cantidad de aves. Esto trae un aumento en la generación de GAP y un incremento en el consumo energético. Por tanto, una fortaleza para el proyecto es la necesidad de energía eléctrica y calor que tiene Agrochequen y la de manejar sus residuos avícolas y agrícolas.

Dentro de las ventajas que tiene la empresa es la posesión de tranques con gran cantidad de agua, generación de rastrojos agrícolas y espacio para realizar instalaciones si es que se requiriera.

Debilidades

La empresa posee tecnologías antiguas, galpones de aves no automáticos, calefacción a leña en casas y calefacción con GLP en galpones de aves de recría. Además, junto con un manejo rudimentario de sus residuos avícolas, existe nulo tratamiento de los gases contaminantes emitidos por éstos.

Oportunidades

En conjunto con las fortalezas que tiene la empresa, existe la posibilidad de implementar tecnologías que permitan mitigar las debilidades actuales. Además, se mejoraría la eficiencia en los procesos de producción lo que traería un aumento en la rentabilidad de Agrochequen.

Resolviendo el impacto ambiental que trae el manejo de GAP, se podrá cambiar la imagen de la compañía, demostrando que Agrochequen es una empres amigable con el medio ambiente.

Amenazas

Sería negativo para el proyecto que este fracasara debido a la competencia de las empresas que venden los mismos productos. También es una amenaza la baja en el precio de combustibles sustitutos.

Otra amenaza es la competencia externa que tienen los productos generados que se venden en la región del Bio-Bio.

Estrategias

A partir del análisis de 5 fuerzas de Porter y del análisis FODA, se determinan las siguientes estrategias para el proyecto:

1. Por el hecho de tener un mercado potencial dentro de la empresa, sin competencia externa, se busca aumentar la demanda interna de los productos generados por el proyecto.
2. Agrochequen genera contaminación por emisión de GEI y malos olores, por tanto, la segunda estrategia es reducir dicha contaminación y no implementar soluciones que aumenten la contaminación ambiental. Así mejorará la calidad de trabajo en galpones, mejor ambiente para las gallinas y con ello mejor producción de huevos. A su vez, se elimina la posibilidad de recibir multas futuras por el Servicio de Salud o entidades a fines. Cambiando la imagen de la empresa a una amigable con el medio ambiente.
3. Como la empresa no posee capital de sobra para inversión, se buscan soluciones con costo de inversión moderado.

5.1.3 Mercado

El mercado que se estudió fue el de Agrochequen con el objetivo de analizar la demanda de sus principales insumos que son: fertilizante, acondicionador de suelo, electricidad y calor. Además, se estudió el mercado de estos productos (menos calor) en la región del Bio-Bio, para ver la posibilidad de entrar en esta región con estos insumos, si el proyecto lo amerita. Los parámetros que se estudiaron fueron: Demanda histórica y futura, y precios actuales y futuros. Se proyecta a un futuro de 10 años el proyecto.

5.1.4 Demanda

Se hablará sobre la demanda histórica y la demanda futura de Agrochequen y la región del Bio-Bio para los 4 productos antes mencionados

5.1.4.1 Demanda histórica

La demanda pasada se evaluará al año 2017.

Demanda interna

Tabla 2: Demanda pasada de Agrochequen.

Producto	Fertilizante [ton/año]	Acondicionador de suelo [ton/año]	Electricidad [MWh/año]	Calor [MWh/año]
Demanda	100	2.668	82	201

Fertilizante:

Agrochequen incorpora a sus cultivos el siguiente fertilizante:

Tabla 3: Consumo de fertilizantes de Agrochequen (Agrochequen, 2019).

Fertilizante	**Cantidad**	**Unidad**
Qrop Mix Especial Adhero	80-100	[ton/año]

Las características de este fertilizante se detallan a continuación:

Tabla 4: Características del fertilizante utilizado por Agrochequen.

Insumo	**Características**
Qrop Mix Especial Adhero (SQM, 2019)	Nitrógeno total (Ureico): 42% Azufre: 6,6% Arsénico < 0,067 ppm Plomo < 0,246 ppm Cadmio < 0,039 ppm Mercurio < 0,039 ppm Apariencia: Gránulo

Acondicionador de suelo (AS):

Agrochequen agrega todo su guano al suelo de cultivos, es decir, 2.668 ton/año. Las características del GAP se detallan a continuación:

Tabla 5: Caracterización GAP (UTFSM, 2018).

Parámetro	**Valor**	**Unidad**
Humedad	66,2	[%]
Densidad	550	[kg/m^3]
Sólidos totales	338	[g/kg]
Sólidos volátiles	208	[g/kg]
Nitrógeno	16,7	[mgN/g]
Carbono total	36*	[%]

*(FAO, 2011)

Electricidad:

El comportamiento del consumo eléctrico se muestra en la figura 10. Esta demanda toma en cuenta la energía suministrada por COPELEC Ltda. a través de la red eléctrica, como la energía producida por el generador Diesel que utiliza Agrochequen entre los meses de marzo a diciembre. Se utilizan anualmente $326\ L$ de combustible, a un gasto de $1{,}5\ L/h$. Esto equivalen a $21{,}7\ h/mes$ de uso de este equipo, el cual posee una potencia de $60kW$. Con lo cual se estima un consumo de $1.302\ kWh/mes$ entregado por este equipo generador.

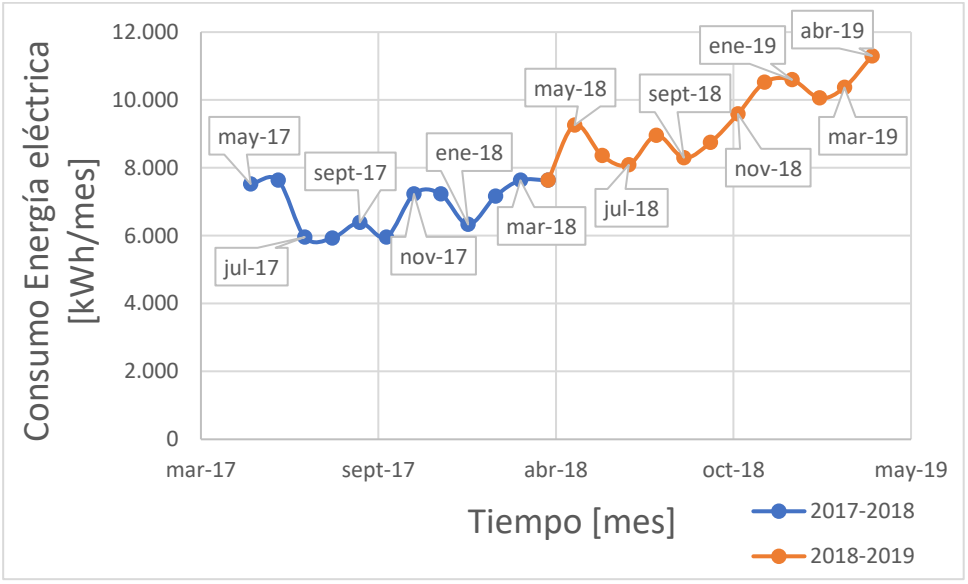


Figura 10: Comportamiento del consumo eléctrico histórico de Agrochequen a lo largo de los años 2017, 2018 y 2019 (COPELEC, 2018 y 2019).

Límite de invierno:

Es una medida implementada para regular el aumento del consumo de electricidad que ocurre en los meses de invierno, establecida en el decreto Nº 1T/2012 (publicado en el diario oficial 02-04-2013), del Ministro de Economía, Fomento y Reconstrucción y sólo se aplica a clientes con tarifa BT1 (CGE, 2019).

Se aplica cada vez que los consumos mensuales efectuados en el período comprendido entre los meses de abril a septiembre (ambos incluidos) sobrepasen los 430 kWh/mes, se aplicará el cargo por "energía adicional de invierno" a los consumos que exceden tu "límite de invierno" (CGE, 2019). Se calcula de la siguiente manera:

$$Límite_{invierno} = \frac{1}{7}\sum_{1}^{7}(Octubre - Abril) \cdot 1{,}2 \qquad (2)$$

Por tanto, para el invierno de 2019 el límite para la cuenta trifásica estaría en los $5.966\ kWh/mes$. Este valor máximo rige entre las 18 hrs. y las 4 am del día siguiente.

Calor:

Las instalaciones que históricamente han consumido calor en la empresa son las casas y los galpones de aves de recría.

Galpones de recría

Existe un galpón con aves de recría (GR), este consume gas natural licuado a una razón de $4\,m^3/año$. Esto equivale a una energía de:

$$Q_{GR} = 4\frac{m^3}{año} \cdot PCI_{GNL} \cdot \rho_{GNL}$$

$$Q_{GR} = 4\frac{m^3}{año} \cdot 12{,}53\frac{kWh}{kg} \cdot 431\frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{GR} = 21{,}6\frac{MWh}{año}$$

Este consumo se realiza entre los meses de marzo a diciembre. Entre enero y febrero no es necesario debido a las altas temperaturas.

Casas

Las casas se calefaccionan con estufas a leña. Esta madera es adquirida de los bosques del mismo campo, no se compra leña. Se analizan las casas más cercanas a los galpones (ver figura 11), por el hecho de que se estima que la solución a implementar se instalará cerca de los galpones.

Figura 11: Mapa Agrochequen sector avícola (Google Earth, 2019).

Se tiene que el consumo de leña en las casas de la empresa es de aproximadamente $5\,ton_{leña}/casa$ por año. Si se analiza calefaccionar 14 casas, durante los meses de abril a septiembre se tiene un consumo de leña de $70\,ton_{leña}/año$. Teniendo en cuenta un PCI de la leña igual a $4{,}41\,kWh/kg$ y una eficiencia de la estufa del 58% (Enel, 2016), se estima una necesidad de calor de $179\,MWh/año$ para calefacción de casas.

Demanda externa

La demanda externa histórica se estima como la demanda de la región del Bio-Bio de los productos: Fertilizante, acondicionador de suelo y electricidad.

Fertilizante

Según (ODEPA, 2017) la demanda de fertilizantes ha ido en aumento a lo largo de los años, con una tasa anual del 2%, esto se debe al crecimiento en las hectáreas cultivadas de Chile y la región Bio-Bio. Sin embargo, la demanda ha tenido altibajos a lo largo de los años como se muestra en la figura 12:

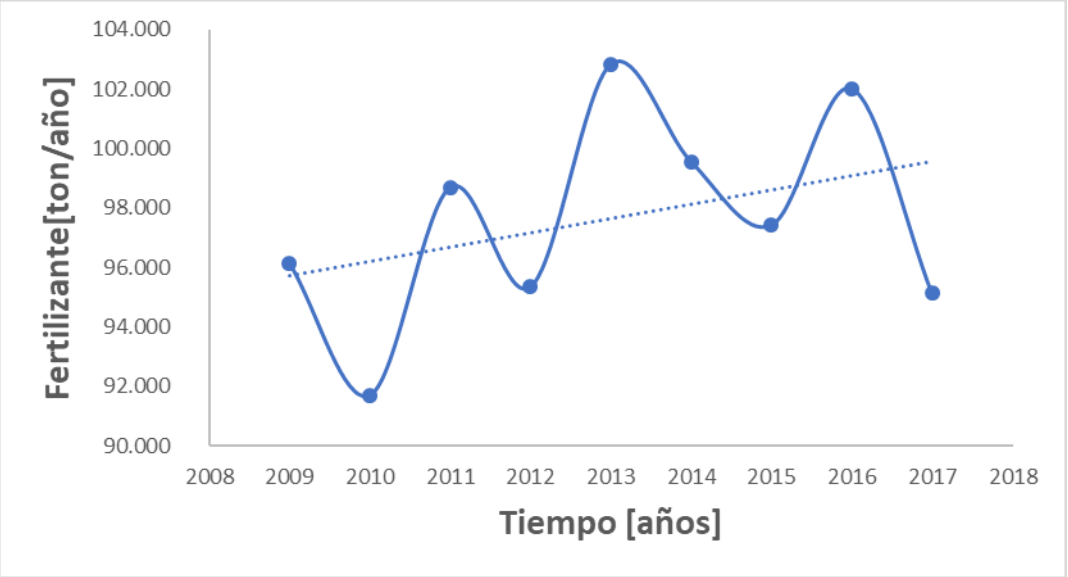


Figura 12: Comportamiento de la demanda pasada de fertilizante de la región Bio-Bio (ODEPA, 2017).

Acondicionador de suelo

Según (ODEPA, 2017) la demanda de acondicionador de suelo ha ido en aumento a lo largo de los años, con una tasa anual del 2%, esto se debe al crecimiento en las hectáreas cultivadas de Chile y la región Bio-Bio. Sin embargo, la demanda ha tenido altibajos a lo largo de los años como se muestra en la figura 13:

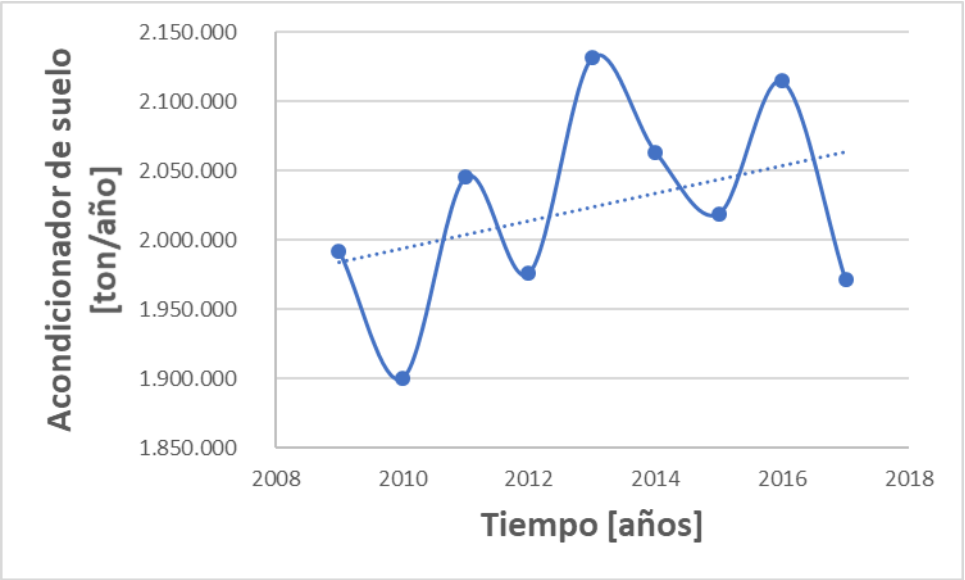


Figura 13: Comportamiento de la demanda pasada de acondicionador de suelo de la región Bio-Bio (ODEPA, 2017).

Electricidad:

La demanda de electricidad ha dependido del crecimiento de la población, que ha ido aumentado a lo largo de los años, como se muestra en la figura 14:

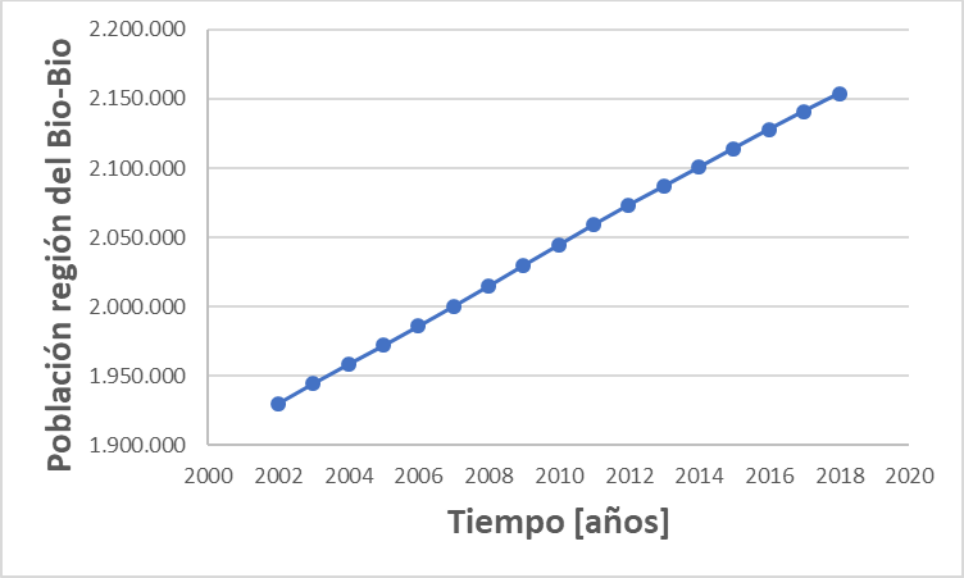


Figura 14: Crecimiento de la población en la región del Bio-Bio (INE, 2018).

De acuerdo con (CNE, 2018), hay un consumo mensual promedio de 136 kWh por cliente en la región de Bio-Bio, que representa el 42% del consumo eléctrico total de la zona, el resto corresponde a las industrias, etc. (INE, 2018). Dicho esto, la última demanda eléctrica se muestra en la figura 15:

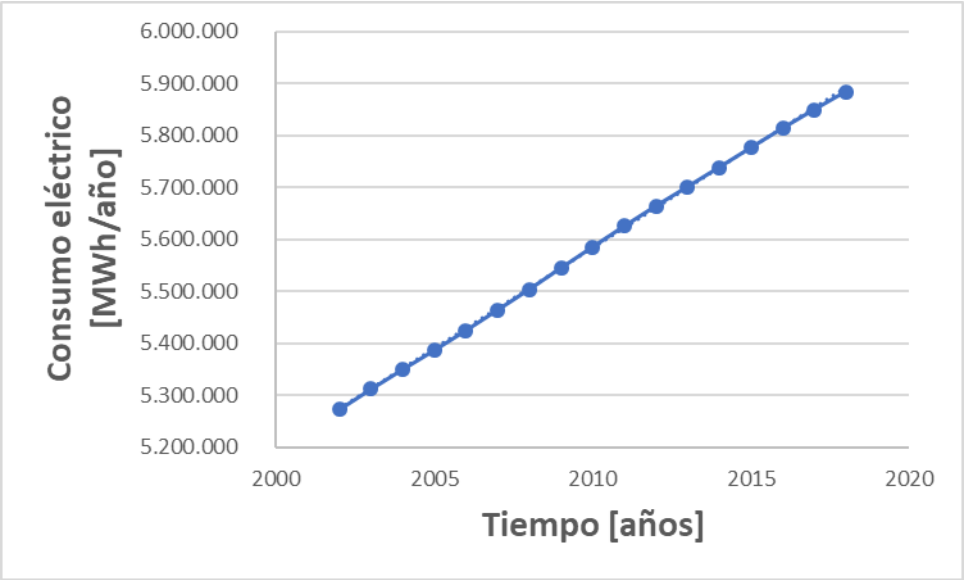


Figura 15: Comportamiento de la demanda pasada de electricidad en la región del Bio-Bio (CNE, 2018).

5.1.4.2 Demanda futura

Interna

La demanda futura de Agrochequen contempla una serie de cambios en los procesos actuales con el objetivo de tener un mejor control sobre ellos y a su vez aumentar la demanda de electricidad y calor. Dentro de los cambios están los siguientes:

1.Alojamiento de todas las aves de postura en galpones modernos (Zucami).
2. Expandir la cantidad de aves ponedoras a 120.000, en 4 galpones Zucami.
3. Tener 2 galpones de aves de recría con 15.000 pollitas cada uno.
4. Calefaccionar las casas de los trabajadores para disminuir la quema de madera en estufas y así disminuir la contaminación ambiental.
5. Suministrar la cantidad necesaria de GAP a los cultivos para no sobrecargar los suelos.

El año 2020 se instalará un galpón Zucami y se dejará de usar 3 galpones de aves antiguos. El año 2023 se instalará el segundo galpón Zucami, el galpón de aves de recría y se dejarán de utilizar 3 galpones de aves antiguos. Finalmente, el año 2025 se instalará el tercer galpón Zucami.

La demanda futura de Agrochequen se presenta en la tabla 6:

Tabla 6: Demanda futura de Agrochequen.

Producto	Fertilizante [ton/año]	Acondicionador de suelo [ton/año]	Electricidad* [MWh/año]	Calor [MWh/año]
Demanda	100	825	112	222

*Potencia eléctrica futura estimada al año 2025 de 136 kW.

Fertilizante:

La compañía no tiene planes de expandir sus hectáreas cultivadas, por lo tanto, la demanda futura de fertilizantes será la misma que la demanda histórica, 100 ton/año.

Acondicionador de suelo (AS):

Si bien la empresa agrega todo el GAP que genera a los cultivos, no es necesario agregarlo todo. Según las estimaciones entregadas por los agrónomos de Agrochequen, con la incorporación de $3\,ton/ha \cdot año$ de GAP, es decir, 825 ton/año, es más que suficiente para satisfacer las necesidades del suelo.

Electricidad:

Agrochequen ampliará el número de gallinas ponedoras hasta 120.000 unidades, alojando a todas en 4 galpones nuevos de capacidad 30.000 aves cada uno. Los galpones viejos serán utilizados para otros fines. Además, incorporará 15.000 aves de recría y por tanto 1 galpón más. Con todo esto, se tendrán 4 galpones Zucami de aves ponedoras y dos galpones de aves de recría calefaccionados.

A continuación, se muestran los detalles de consumo de electricidad de un galpón nuevo marca Zucami:

Tabla 7: Detalle consumo eléctrico galpón Zucami.

Equipo	Potencia [kW]	Cantidad por galpón	Tiempo de uso [h/semana]	kWh/año
Motor cinta huevos	0,9	1	33	1.544
Motor elevador	1,3	1	33	2.231
Motor ventilador	0,1	6	7	218
Motor alimento	0,66	3	7	721
Motor cinta guano	1,32	4	3	824
Ampolletas	0,04	36	29,5	2.208
			Total [kWh/año]	**7.746**

*Detalles de cálculo en Anexo A.

Del consumo eléctrico total del campo, cada galpón consume aproximadamente $7{,}75\,MWh/año$. Por lo tanto, 3 galpones más consumirán $23{,}25\,MWh/año$ adicionalmente. Además, un galpón más de aves de recría consume $1{,}5\,MWh/año$. Sin embargo, la eliminación de los galpones viejos ahorrará un total de $10\,MWh/año$ por dejar de consumir en iluminación en 6 de ellos y alimentación automática en 2 de ellos. Alcanzando un consumo eléctrico futuro total a abordar de $112{,}25\,MWh/año$ al año 2025. El consumo eléctrico aumentará como se muestra en la figura 16:

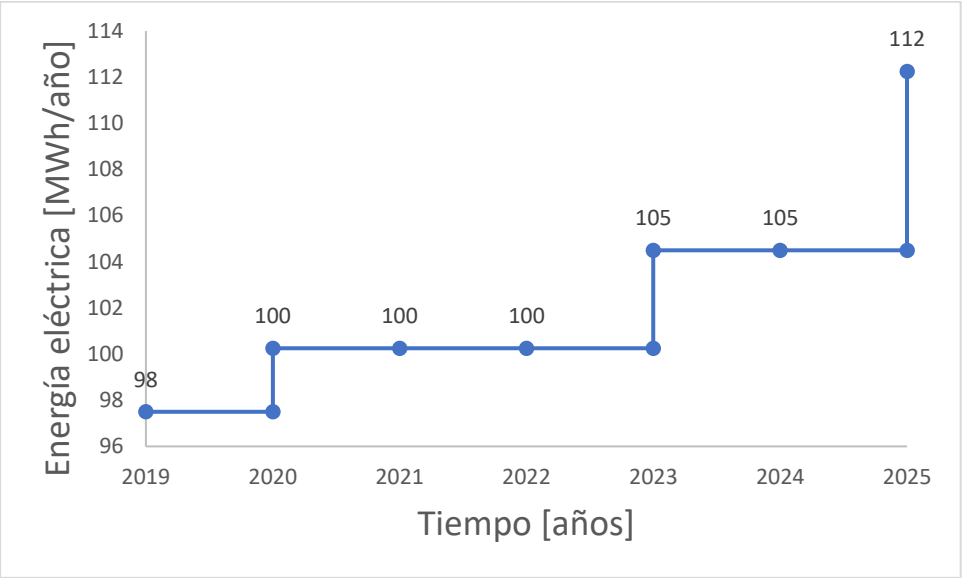


Figura 16: Demanda futura de energía eléctrica.

Calor:

La demanda futura de calor está dada por el calor consumido en las casas, que es el mismo que la demanda actual 179 $MWh/año$. También está dado por el calor consumido en los galpones de recría, el cual se multiplicará por dos al agregar otro galpón de aves de recría, teniendo una demanda de calor en estos dos galpones de 43,2 $MWh/año$. Por tanto, la demanda de calor a abordar será de 222,2 $MWh/año$ al año 2025, como muestra la figura 17:

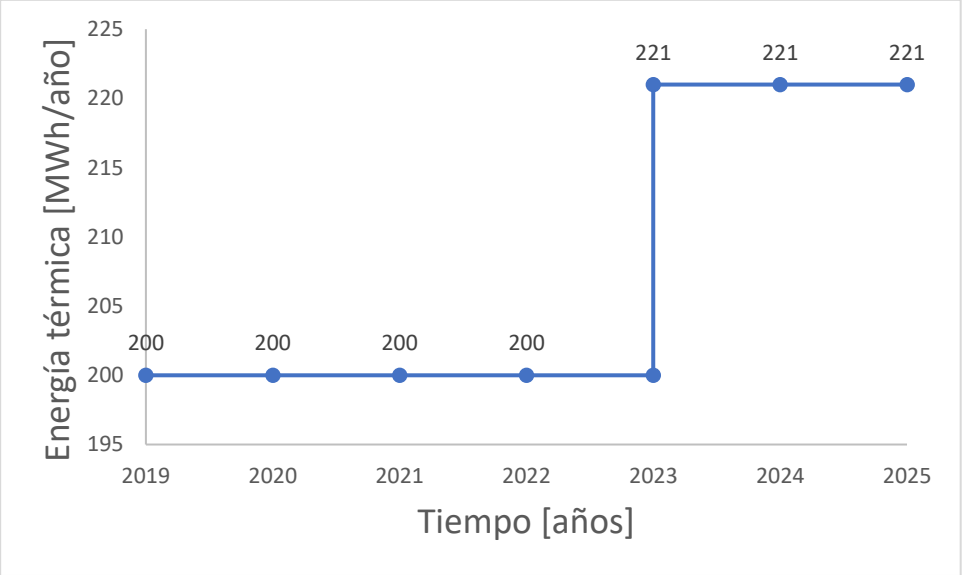


Figura 17: Demanda futura de energía térmica.

Externo

La demanda externa de la región Bio-Bio se muestra en la tabla 8:

Tabla 8: Demanda futura de la región del Bio-Bio al año 2029 (ODEPA, 2017), (CNE, 2018).

Producto	Fertilizante [ton/año]	Acondicionador de suelo [ton/año]	Electricidad [MWh/año]
Demanda	120.000	2.500.000	6.250.000

Detalles de la estimación de la demanda futura externa:

Fertilizante:

Las hectáreas cultivadas en Chile y en la región del Bio-Bio aumentan a una tasa anual del 2% (ODEPA, 2017). Por lo tanto, la proyección para la demanda futura de fertilizantes en 10 años se presenta en la figura 18:

Figura 18: Comportamiento de la demanda futura de fertilizante en la región Bio-Bio (ODEPA, 2017).

Acondicionador de suelo:

Las hectáreas cultivadas en Chile y en la región del Bio-Bio aumentan a una tasa anual del 2% (ODEPA, 2017). Por lo tanto, la proyección para la demanda futura de acondicionador de suelo en 10 años se presenta en la figura 19:

Figura 19: Comportamiento de la demanda futura de acondicionador de suelo en la región Bio-Bio (ODEPA, 2017).

Electricidad:

Según (INE, 2018) la población de la región está aumentando con una tasa de 0,95% cada año. Por lo tanto, el consumo eléctrico futuro es el que se presenta en la figura 20:

Figura 20: Comportamiento de la demanda eléctrica de la región Bio-Bio (CNE, 2018).

5.1.5 Precios

Fertilizante:

Tabla 9: Precio fertilizante sin IVA utilizado por Agrochequen.

Empresa	Producto	Precio	Unidad
SQM Comercial S.A.	Qrop Mix Especial Adhero	0,29	[USD/kg]

La oferta en Chile se ve suplida en un 85% por importaciones y un 15% por producción nacional. Según el reporte de (ICEX, 2018) los precios de los fertilizantes a nivel internacional han ido a la baja desde los últimos años (ver gráficos en anexo B). Desde el año 2013 hasta el 2017 se obtuvo una disminución en los precios de un 6% anual promedio. Esto implica que en el futuro será mas conveniente comprar fertilizante que producirlo. Se proyecta que al año 2029 los precios serán los siguientes:

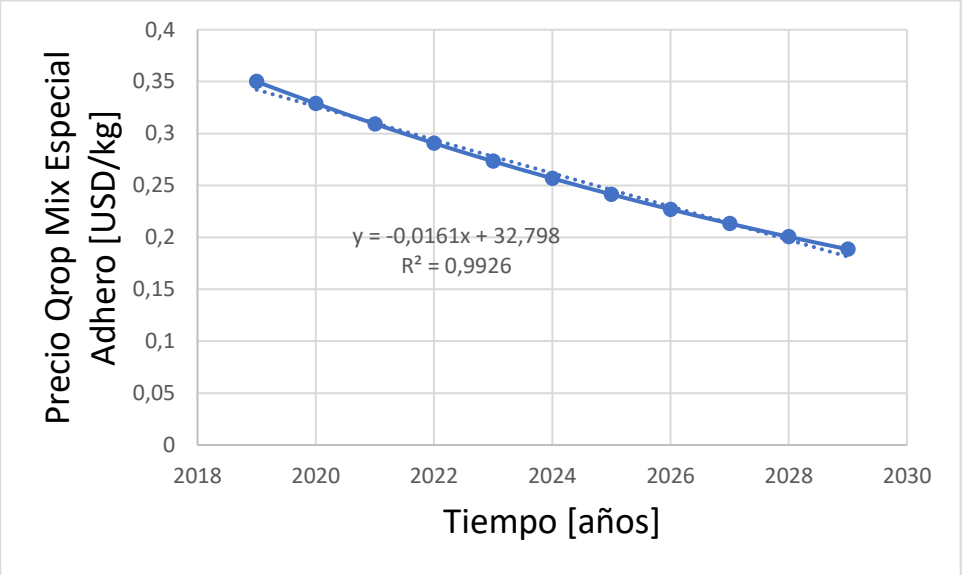


Figura 21: Comportamiento precio futuro de fertilizante utilizado por Agrochequen.

Acondicionador de suelo:

Tabla 10: Precio comercial sin IVA de acondicionador de suelo.

Empresa	Producto	Precio	Unidad
Avícolas	Guano de ave de postura	3,7	[USD/ton]
Mercado Libre	Abono	118	[USD/ton]

Respecto a los acondicionadores de suelo o abonos de origen animal y/o vegetales, (ICEX, 2018) muestra que desde el año 2013 hasta el 2017 hubo una disminución constante en los precios de estos productos. Por tanto, se proyecta para el para el abono, los siguientes precios:

Figura 22: Comportamiento precio futuro abono comercial.

Para el GAP es difícil realizar un pronóstico ya que es un precio que se acuerda con cada comprador. Por tanto, se deja este precio como constante en $4{,}43\ USD/ton$.

Electricidad:

Tabla 11: Precio energía eléctrica suministrada por COPELEC Ltda. a la fecha febrero 2018 (COPELEC, 2019).

Empresa	Precio variable [USD/kWh]	Precio fijo [USD/mes]
COPELEC Ltda.	0,09	1.093

Se estima que el precio variable de la tabla 11 se mantuvo fijo todo el año 2018, no hubo grandes variaciones.

Tabla 12: Precio nudo SIC a la fecha febrero 2019 (CNE, 2019).

Empresa	Precio variable [USD/kWh]	Precio fijo* [USD/mes]
COPELEC Ltda.	0,057	732

*Potencia instalada de 100 kW.

La tabla 11 muestra el precio que paga Agrochequen por consumir electricidad en la empresa a febrero 2019. Ahora la tabla 12 muestra el precio nudo del SIC (Sistema Interconectado Central), precio que corresponde al que vende la generadora a febrero 2019. Si Agrochequen decidiera utilizar el Net Billing, venderá su energía eléctrica al precio de la generadora, es decir, a un menor precio que el que COPELEC S.A. vende a Agrochequen. Además, el precio nudo, como muestra la figura 23, ha tendido a disminuir con el tiempo.

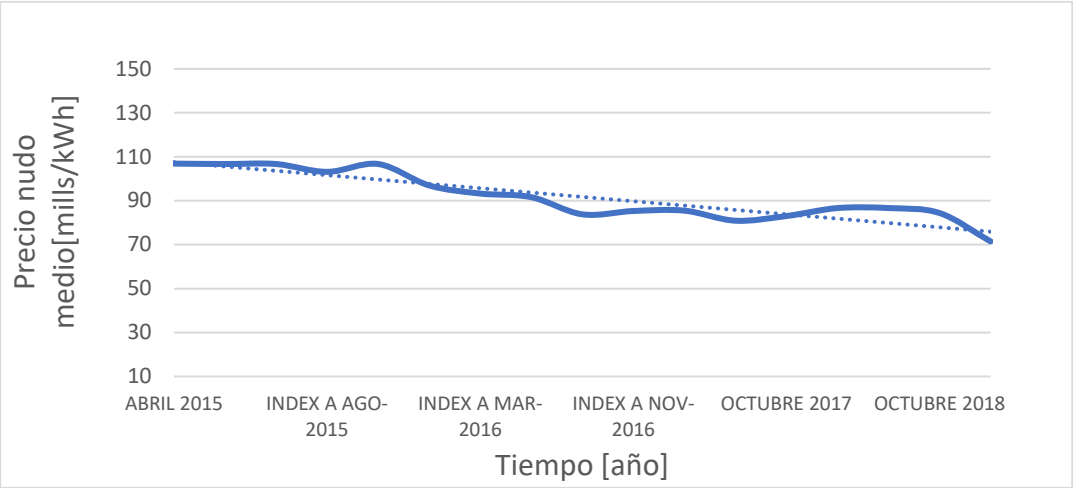


Figura 23: Comportamiento precio nudo medio (energía + potencia) entre abril 2015 a febrero 2019 (CNE, 2019).

Ahora, la proyección de los precios se realizó comparando la cantidad de proyectos que se incorporaron al SIC entre el año 2010 al 2018 y los precios de la energía eléctrica en cada año. Con esto, se obtuvo de (CNE, 2019) los proyectos en construcción que se conectarán al sistema entre el año 2019 y 2024. No hay registro de proyectos después de este año. Obteniéndose el siguiente comportamiento:

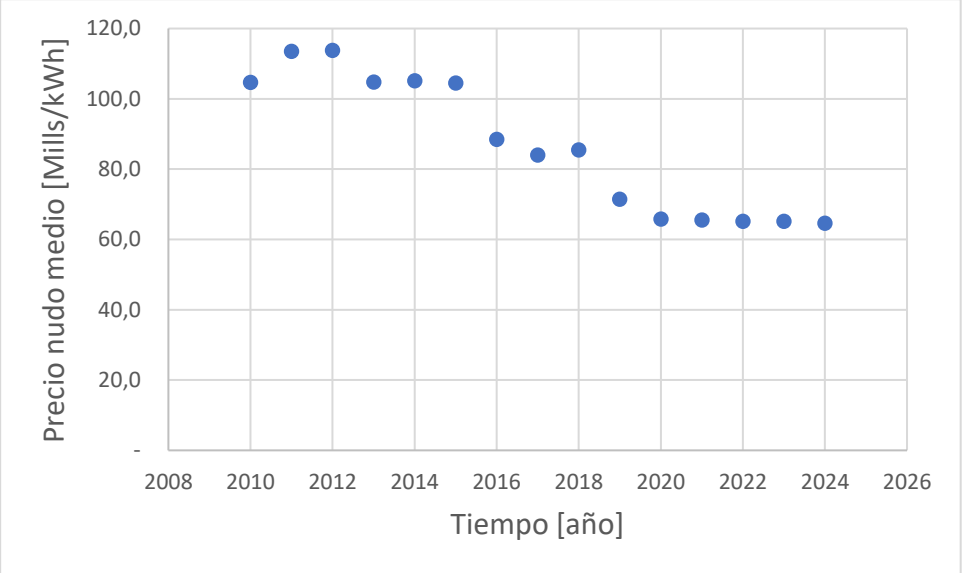


Figura 24: Comportamiento y proyección del precio medio nudo (CNE, 2019).

Calor:

Tabla 13: Precios sin IVA de insumos utilizados para calefaccionar instalaciones.

Empresa	Producto	Precio*	Unidad
Lipigas	GLP	0,95	[USD/L]
Abastible	GLP	0,92	[USD/L]
El Cacique	Madera	0,21	[USD/kg]

*Todos los precios obtenidos de la página web de la empresa y transformados a dólar según su valor a la fecha 25-04-2019.

Según (CNE, 2016), el precio del GLP del año 2019 al año 2029 variará de la siguiente manera:

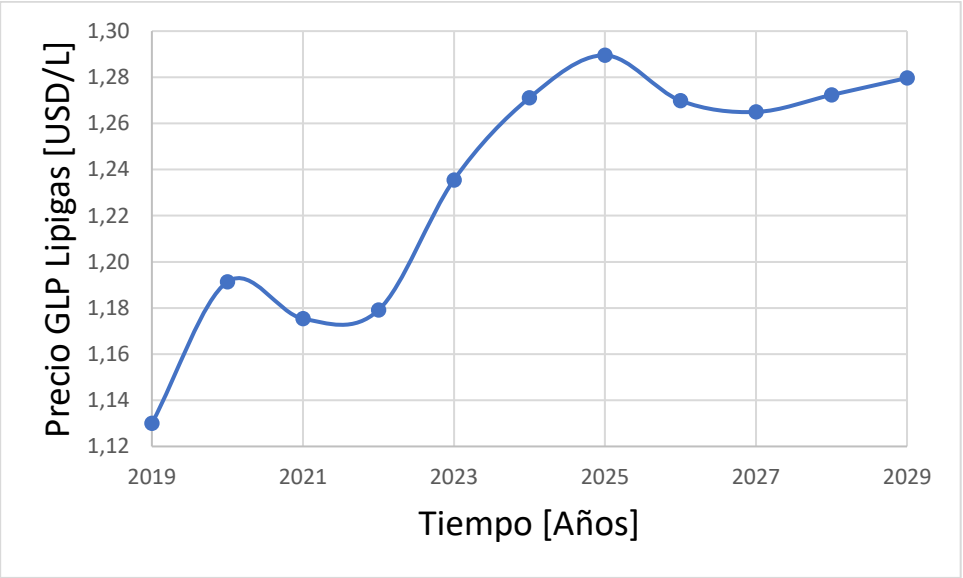


Figura 25: Comportamiento futuro precio del GLP respecto al precio año 2019 (CNE, 2016).

De la figura 25, se analiza que el precio del GLP aumentará llegando a un 13% más caro el año 2029 que el año 2019. Esto señala que sería conveniente encontrar una fuente de energía térmica más barata con el fin de disminuir costos de operación.

Para el caso de la leña, (INE, 2019) informa que el aumento del IPC ha sido de aproximadamente 2% anual en los últimos 4 años. Por tanto, el precio de la leña también tendería a aumentar, anualmente, con ese gradiente.

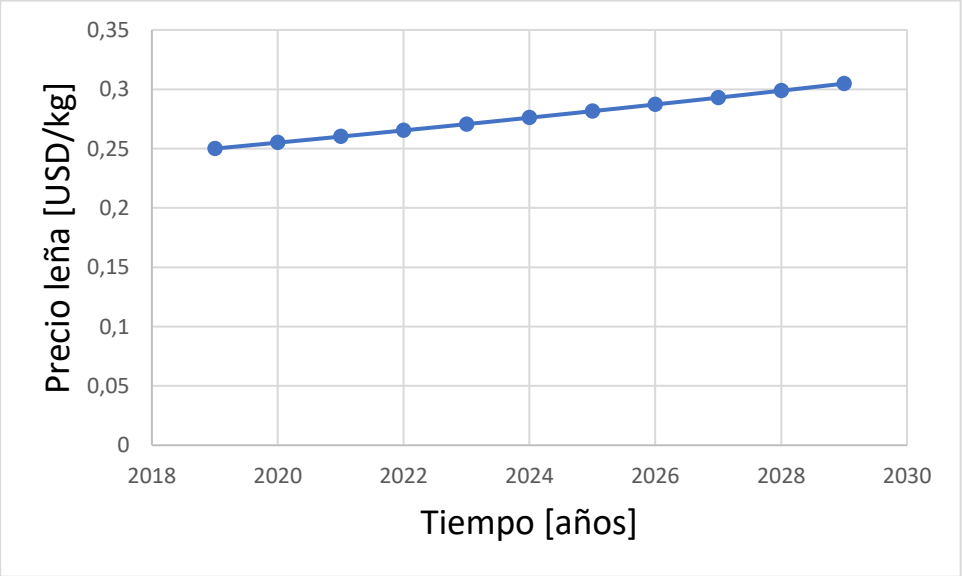


Figura 26: Proyección precio leña al año 2029.

5.2. Estudio técnico

En este capítulo se estudiarán las tecnologías capaces de elaborar los productos presentados en el estudio de mercado. Los aspectos más importantes son que exista la tecnología y que el costo de producción sea igual o menor al precio de mercado.

5.2.1 Determinación y primer filtro de alternativas

Para suplir la demanda interna de Agrochequen, aprovechando el GAP como materia, se plantean 3 opciones a ser evaluadas:

Tabla 14: Presentación y comparación de tecnologías por sus productos generados.

Opción	Detalle	Productos	Comentario
1	Deshidratar y secar GAP	Acondicionador de suelo deshidratado (10% humedad)	
2	Digestión anaerobia + opción 1		Se adiciona la opción 1 para tratar el subproducto líquido de la DA.
2.1	DA convencional	Biogás: Energía eléctrica Calor (Agua caliente) Acondicionador de suelo deshidratado (10% humedad)	
2.2.	DA en reactor de lixiviación	Biogás: Energía eléctrica Calor (Agua caliente) Acondicionador de suelo deshidratado (10% humedad)	Esta opción sería una mejora a la 2.1, donde se utilizaría menos agua y no se ocuparían rastrojos.
3	Combustión de GAP en caldera de biomasa	Energía eléctrica Cenizas	

Ahora como primer filtro, se desecharán todas aquellas opciones que emitan contaminantes al medio ambiente y que no existan tecnologías asequibles para poder eliminar el 100% de estos.

Tabla 15: Filtro de opciones según contaminantes.

Opción	Detalle	Contaminantes y/u otros problemas	Medidas de mitigación	¿Existe tecnología?*
1	Deshidratar y secar GAP	Material particulado (MP), amoniaco y Riles.	Hidrociclón y chimenea para MP y filtro de amoniaco. Decantador para Riles.	Si
2	Digestión anaerobia + opción 1	Idem op 1. Gran consumo de agua.	Idem op.1. Adaptar digestor convencional a reactor de lixiviación.	Si, a escala laboratorio.
3	Combustión de GAP en caldera de biomasa	NOx, SO_2, HCl y MP. 200 kW potencia mínima instalada. EIA complejo de ser aceptado.	Las tecnologías actuales son capaces de reducir en un 50% las emisiones de NOx, 50% SO_2, 65% HCl y 97% MP.	No

*Para mitigar el 100% de los contaminantes.

Por tanto, se desecha la opción 3, por el hecho de no poder eliminar un porcentaje importante de los contaminantes emitidos, lo que no asegura que el EIA se aceptado por el SEIA. Además, la solución requiere de un mínimo de potencia instalada ya que no existen turbinas industriales de menor tamaño, lo que no permitiría instalarla de forma gradual o por partes.

5.2.2 Descripción del proceso

1. Para la **opción 1**, el proceso se describe a continuación:

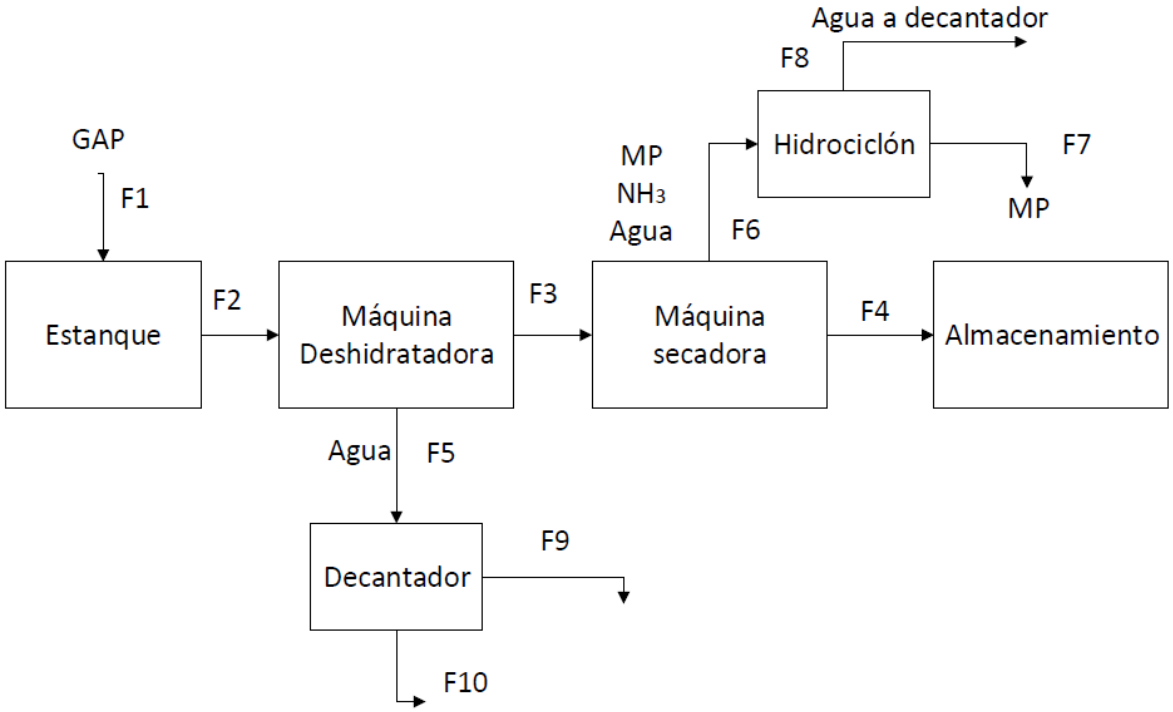


Figura 27: Diagrama de bloques opción 1.

El GAP sale de los galpones de aves, con un 60% de humedad, y se lleva a un estanque en F_1. El deshidratador toma el estiércol de este estanque para eliminar el agua en F_2, de forma mecánica, hasta alcanzar un 30% de humedad en F_3. Luego, ingresan en la máquina secadora y el agua se elimina hasta alcanzar un 10% de humedad a través de su evaporación por el contacto indirecto con aire caliente en un secador rotatorio. Finalmente, el estiércol seco se almacena en un recipiente en F_4. Este acondicionador de suelos se envasa en sacos de 25 kilogramos.

El agua eliminada de la deshidratadora en F_5 se lleva a un decantador para separar sólidos. Los gases que salen del secador en F_6, compuestos principalmente por agua, amoniaco y material particulado, ingresan a un hidrociclón donde cae la parte más pesada (MP) en F_7 y la más liviana, agua y amoniaco en F_8, es llevada a filtros que contienen ácido sulfúrico, evitando así la emanación de gases contaminantes a la atmósfera. El agua es llevada al decantador. De este equipo se obtiene agua clarificada en F_9 y lodo en F_{10}.

2. Para la **opción 2.1**, el proceso se describe a continuación:

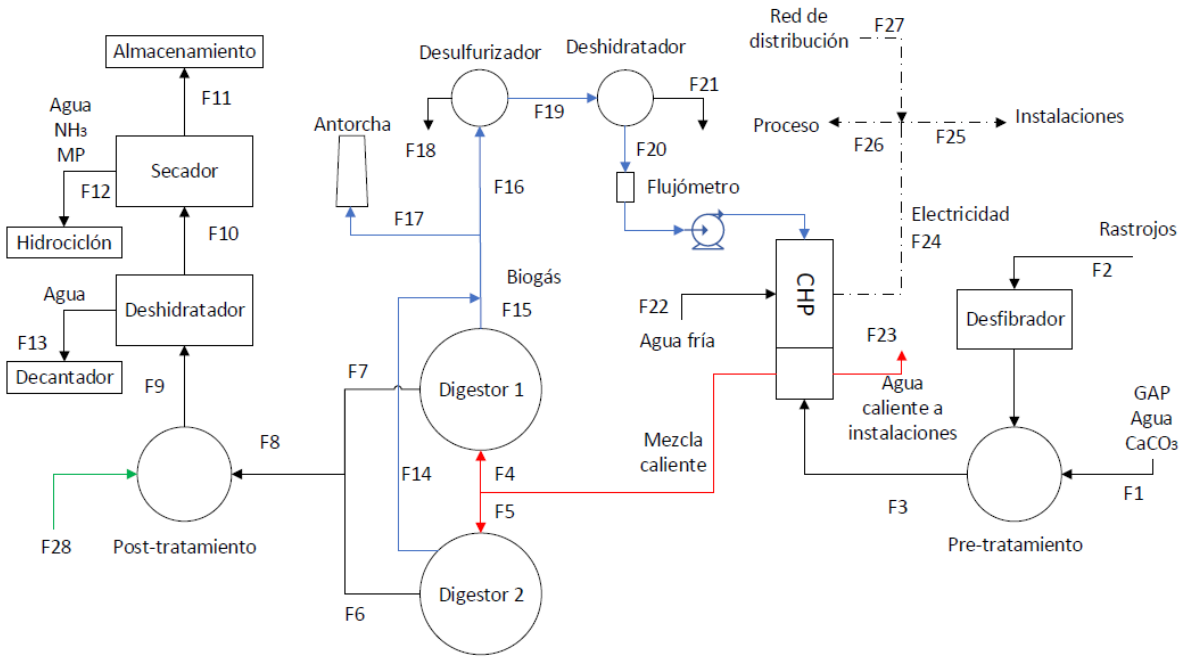


Figura 28: Diagrama de bloques opción 2.1 (DA convencional).

Se describe el proceso de operación normal, detalles de la puesta en marcha pueden leerse en el anexo E. Primero que todo, se prepara la mezcla en el estanque de pretratamiento. Por un lado, se agrega en F_1 GAP, agua y carbonato de calcio ($CaCO_3$). En F_2 se agrega rastrojo molido. Se agrega GAP, rastrojos y agua tal que el porcentaje de sólidos totales sea de 4% y que el ratio carbono-nitrógeno (C/N) sea de 25. Después de esto, se agrega un tampón para estabilizar el pH, carbonato de calcio diluida, para obtener una concentración de 2 g/L del tampón en la mezcla. Estos valores fueron estudiados a escala laboratorio para esta memoria, más detalles de este estudio pueden revisarse en el anexo D.

La mezcla F_3 se calienta hasta los 30°C en el equipo de cogeneración, a través del contacto indirecto con agua caliente, y luego se ingresa a los digestores en F_4 y F_5. Se ocupan dos reactores en paralelo los cuales operan en forma semi continua, es decir, una carga diaria. Se trabaja con dos unidades para operar con volúmenes más pequeños por separado y para evitar detener el proceso en caso de una mantención correctiva o preventiva en uno de los digestores.

Durante la digestión anaeróbica, se produce biogás en F_{14} y F_{15}, este gas alimenta un equipo de cogeneración que genera electricidad y calor en forma de agua caliente. Con este equipo, el 20% de la energía del biogás se transforma en electricidad, el 65% en calor y el 15% se pierde a la atmósfera. Esta energía se usa primero para energizar el proceso (bombas, luces, deshidratador, secador, etc.) y luego para energizar las instalaciones dentro de la empresa. Además, como medida de seguridad, una antorcha se conecta a la tubería de biogás si se requiere quemar el gas en caso de ser necesario.

Estos reactores entregan una presión constante de biogás cercana a los 30 cm de columna de agua, el cual se acumula en un gasómetro de $50m^3$. El rendimiento es de $330\,mL_{Biogás}/g_{SV}$ según estudio realizado. Para mantener una correcta agitación, se recircula el líquido a través de una bomba (ver figura 29).

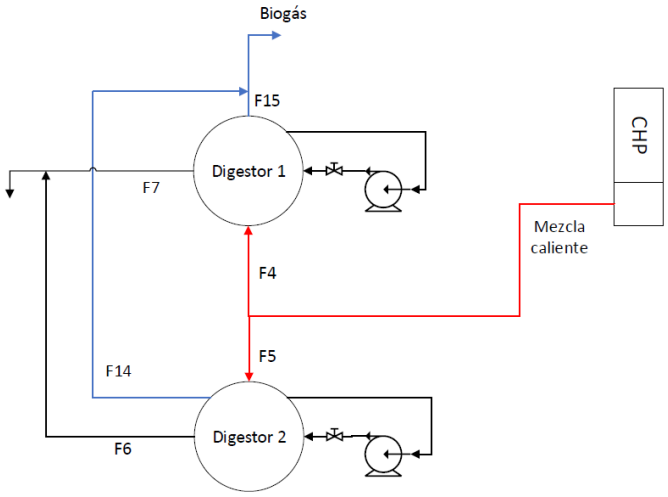


Figura 29: Recirculación en digestores anaerobios convencionales.

El biogás en F_{16} es desulfurado a través de una torre de absorción con agua. En esta torre también se absorbe dióxido de carbono. Luego, en F_{19} el biogás es enfriado en un intercambiador de calor con agua como flujo de servicio, para condensar los vapores de agua y así disminuir la humedad. Después de estos procesos de purificación, el biogás entra en F_{20} con un 95% de pureza al equipo de cogeneración. Se utiliza un compresor para asegurarse que el biogás purificado ingrese con una presión de mínimo 3 kpa al generador.

También se produce fertilizante líquido (biol) en F_6 y F_7, en la digestión anaeróbica. Este líquido es deshidratado y secado hasta un 10% de humedad en F_{11}. El agua que se retire en F_{12} y F_{13} es reutilizada en el proceso.

Por otro lado, para la producción de biogás, según las estimaciones realizadas, se utilizaría el 38% del total del GAP disponible por la empresa. Por tanto, el resto se ingresa en F_{28} al sistema de deshidratado y secado para obtener acondicionador de suelo con 10% de humedad.

Para la **opción 2.2**, el proceso se describe a continuación:

Esta opción viene a ser una mejora de la opción 2.1, en donde se utiliza menor cantidad de agua y no es necesario la incorporación de rastrojos.

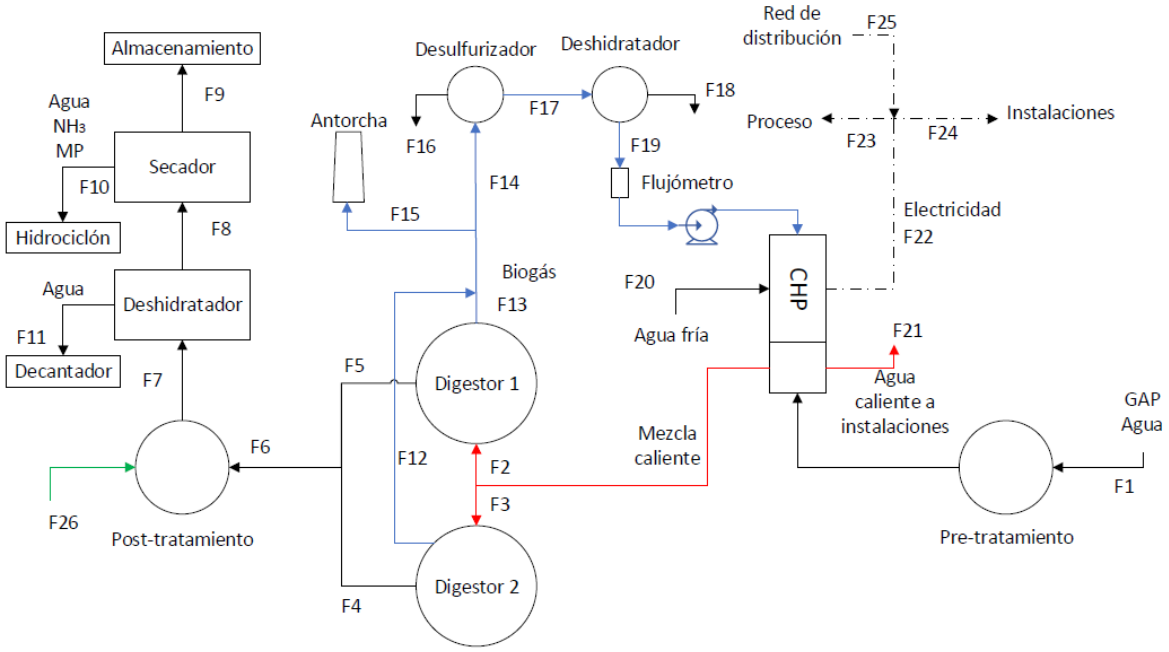


Figura 30: Diagrama de bloques opción 2.2 (Reactor de lixiviación).

En este caso, se agrega una mezcla de agua con GAP en F_1 tal que los sólidos totales sean del 14% en el estanque de pretratamiento. Se calienta la mezcla a 30°C en el equipo de cogeneración, para luego ingresar a los digestores, que en este caso son reactores de lixiviación (RL), en donde se llevará a cabo la digestión anaerobia. Esta unidad, al igual que el convencional, se alimentará de forma semi continua, una vez al día. Se obtendrá biol y biogás como productos.

Ahora, a diferencia de los digestores convencionales, este RL tiene incorporado una membrana hidrofóbica que permea los gases de amoníaco y los neutraliza con ácido sulfúrico, por tanto, no es necesario incorporar rastrojos para tener un ratio C/N de 25, como tampoco la utilización de grandes cantidades de agua. Además, el lecho líquido es recirculado y asperjado como muestra la figura 31. Se agregan anillos de plástico en la zona donde se acumula el lecho, con el fin de favorecer la circulación del lixiviado y evitar acumulaciones. La generación de biogás es de $208\, mL_{Biogás}/g_{SV}$, que fue lo reportado por (Bayrakdar, 2018) para un tiempo de retención de sólidos (TRS) de 30 días.

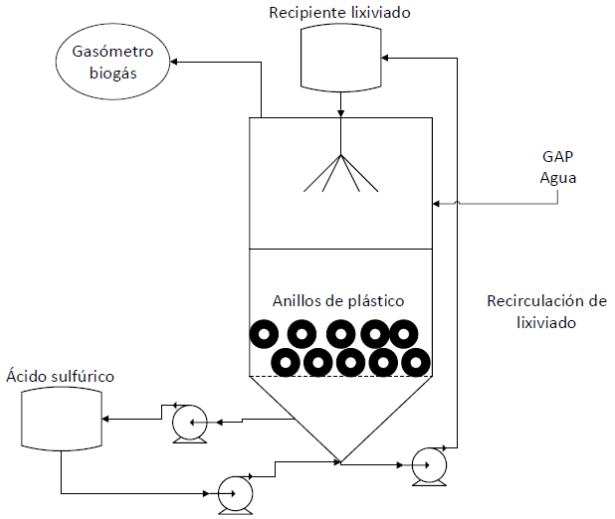


Figura 31: Diseño reactor de lecho de lixiviación (Bayrakdar, 2018). Modificado.

El tratamiento del biol y de biogás es exactamente igual que la opción 2.1. Para esta opción, se utiliza el 155% del total del GAP disponible por la empresa. El resto ingresa por F_{26} al sistema de deshidratado y secado.

5.2.3 Tecnologías asociadas al proceso

La máquina deshidratadora toma el GAP y separa el agua de los sólidos a través de la compresión mecánica del fluido. Tiene una capacidad de procesamiento de 2 a 4 ton/h y un consumo eléctrico de 19 kW. Mide 1, 9 metros de largo 0,55 metros de ancho y 1,2 metros de alto.

Parameter	Value
Processing capacity [ton/h]	2-4
Power consumption [kw]	19
Weight [ton]	0,38
Size (LxWxH) [mm]	1.930x550x1.200
Trade mark	Zhengzhou (China)

Figura 32: Máquina deshidratadora (Tamokmachinery, 2018).

La máquina secadora, corresponde a un secador rotatorio. Este absorbe aire a través de un ventilador y lo calienta utilizando una resistencia eléctrica. El aire fluye a través de tubos que atraviesan el secador, calentando, por contacto indirecto, el fluido que va girando y avanzando en el tambor del equipo. El agua se evapora y sale por un ducto mientras que los sólidos salen por el extremo del secador. Este equipo tiene una capacidad de procesar entre 2 a 5 ton/h y un consumo eléctrico de 18 kW. Mide 8,5 metros de largo, 1,6 metros de ancho y 2,3 metros de alto.

Parameter	Value
Processing capacity [ton/h]	2-5
Power consumption [kw]	18
Weight [ton]	10
Size (LxWxH) [mm]	8.500x1.600x2.300
Trade mark	Haokebang (China)

Figura 33: Máquina secadora (Ricedryer, 2018)

El digestor anaerobio convencional proporcionado por la empresa Energia-on, que trabaja con la marca china Puxin, es un tanque de 8 metros de diámetro por 4,7 metros de alto. Posee una cubierta de Poliuretano Alveolar que permite el paso de la luz del sol, pero no de la radiación infrarroja, de modo tal de mantener la energía del sol en el interior del Biodigestor.

Figura 34: Digestores anaerobios (Energia-on, 2018).

El equipo de cogeneración de la empresa china NPT, es un sistema que genera electricidad mientras usa el calor residual generado en el proceso para calentamiento residencial o producción de agua caliente y vapor para otras aplicaciones. Las plantas CHP consisten en un motor primario (turbina, motor), un generador de electricidad, un sistema de recuperación de calor y un sistema de control. Se pueden utilizar varios combustibles (gas natural, carbón y biomasa). Para utilizar biogás, es importante purificarlo a un mínimo de 80% de metano, para lograr un poder calorífico apto para la combustión y por otro lado, no dañar el equipo por la presencia de gases de amoniaco, sulfuros y agua.

Figura 35: Sistema de cogeneración de biogás y calor como agua caliente (NPT, 2019).

5.2.4 Presentación del producto

El proyecto tiene tres opciones posibles. Todas las opciones tienen el GAP como principal materia prima:

Opción 1: Producir acondicionador de suelo utilizando un proceso de deshidratación y secado.

El producto consistirá en gránulos de acondicionador de suelo presentados en bolsas de 25 kilogramos, cuya composición se estima será la que muestra la figura 36:

Parámetro	Valor
M.O. [%]	73,8
N [%]	3,6
K_2O [%]	6,8
P_2O_5 [%]	1,1
Ca [%]	4,2
Fe [%]	0,1
Mg [%]	0,4
Humedad [%]	10,0

Figura 36: Acondicionador de suelo que vendería Agrochequen producto del secado directo de GAP.

Esta composición se estimó según la cantidad de agua que se tendría que extraer y en base a los minerales que posee el guano de ave de postura. Algunos, como el nitrógeno, se volatizaría un porcentaje en el proceso de secado, sin embargo, no es una pérdida considerable.

Opción 2: Producir electricidad y calor con un generador de biogás con cogeneración. Este gas será generado en un digestor anaeróbico. Además, se produce acondicionador de suelo con 10% de humedad a través de un sistema de deshidratado y secado.

Electricidad:

La energía eléctrica generada se suministraría al voltaje y frecuencia que necesita el cliente (220 V y 50 Hz). Se conectaría a la red domiciliaria para luego pasar por un conmutador, el cual, recibe corriente tanto de la compañía de electricidad como del generador. Esto como medida de seguridad para evitar cortes de luz en las instalaciones en caso de que fallen los equipos generadores.

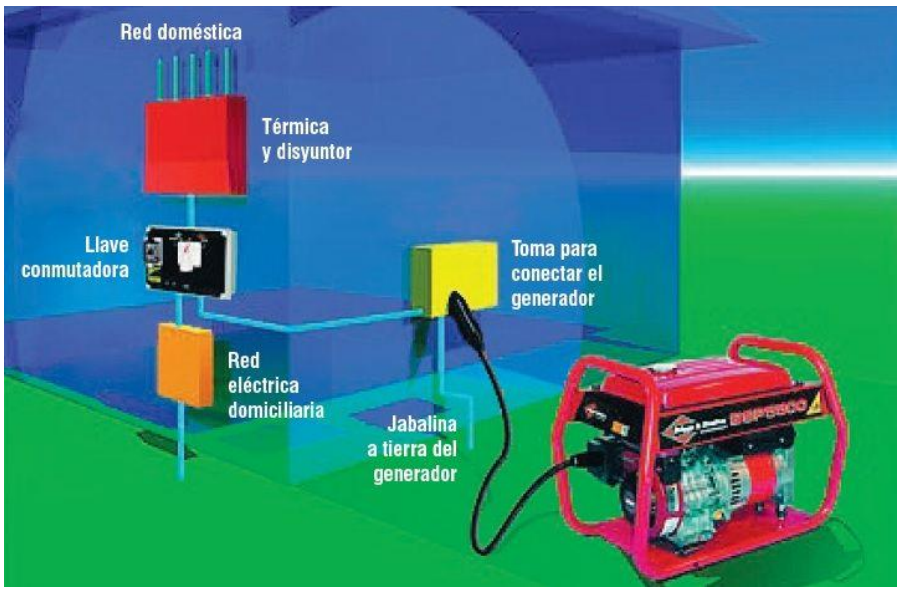


Figura 37: Sistema de conexión eléctrica a instalaciones para generador a biogás (doublebergamot, 2019)

Calor:

Se generará agua caliente a 80℃ de la unidad de CHP, la cual será ingresada a calefactores radiadores dentro de las instalaciones. Estos radiadores son capaces de entregar 1000 W de potencia térmica, teniendo una diferencia de temperatura de 10℃, entregando calor principalmente por convección.

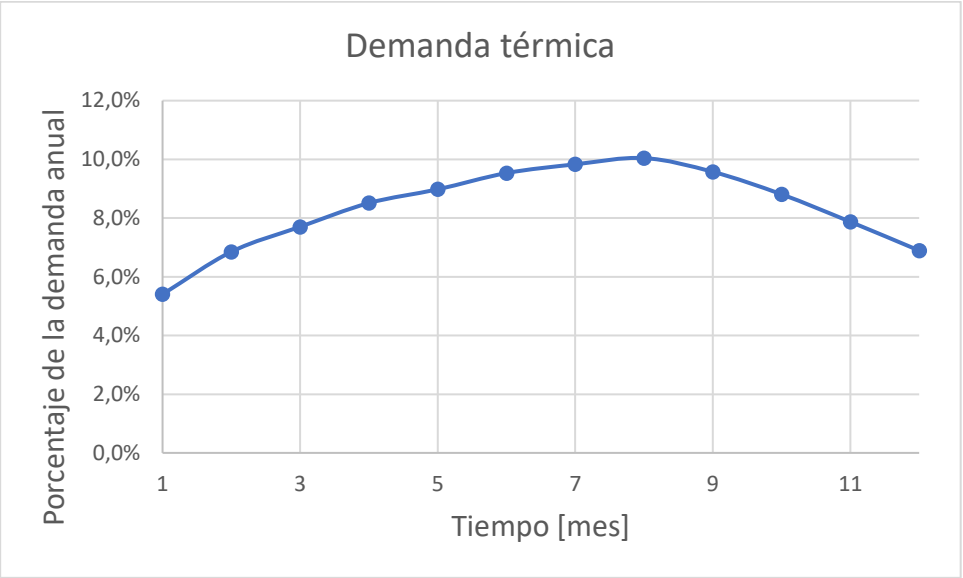


Figura 38: Comportamiento de la demanda térmica durante el año.

Como cada galpón de aves de recría tiene un consumo máximo de $2{,}255 kWh$ de energía térmica, que corresponde a la hora más fría de un día promedio del mes de agosto, se tomó este valor para la estimación del número de radiadores por galpón. Un galpón de aves de recría consume anualmente $4.000\,L$ de GNL. Con una densidad de $0{,}45\,kg/L$ y un PCI de $12{,}53\,kWh/kg$, se tiene un consumo anual de $22.554\,kWh/galpón$. El mes con mayor demanda térmica corresponde a agosto, el cual consume un 10% del total anual (ver figura 38), por tanto la potencia térmica máxima que se necesita por galpón es de:

$$P_{term,galp} = \frac{2.255{,}4[kWh]}{24\left[\frac{h}{día}\right] \cdot 31\left[\frac{día}{mes}\right]} = 3{,}03[kW]$$

Por tanto, se necesitan 3 radiadores por galpón, siendo 6 galpones en total, 18 radiadores. Hay que tener en cuenta que las aves liberan calor corporal, por tanto, para las casas habitadas es distinto. Se considera que cada radiador calienta un área de $25m^2$, obteniéndose un total de 79 radiadores, que se dispondrían como muestra la figura 39:

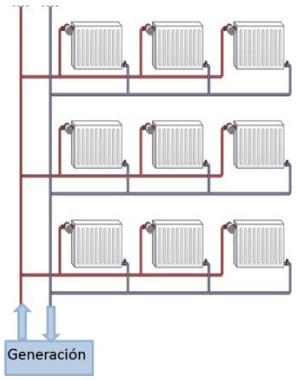


Figura 39: Sistema de distribución de calor generador en sistema CHP (Rankia,2014).

Ahora, la línea de tuberías de agua caliente se dispondría de la siguiente manera:

Figura 40: Circuito tuberías agua caliente.

Siendo un total de 3.000 m de tuberías aproximadamente considerando tuberías de ida y vuelta.

Tabla 16: Composición Acondicionador de suelo (AS) producto de digestión anaerobia convencional (DAC), DA en reactor de lixiviación (DARL) y deshidratado y secado directo del guano de ave de postura (GAP).

Parámetro	AS DAC	AS DARL	AS GAP
M.O. [%]	60,4%	55,4%	73,8%
N [%]	6,3%	7,7%	3,6%
K_2O [%]	12,8%	14,5%	6,8%
P_2O_5 [%]	2,6%	2,3%	1,1%
Ca [%]	7,0%	9,0%	4,2%
Fe [%]	0,1%	0,1%	0,1%
Mg [%]	0,7%	1,0%	0,4%
Humedad [%]	10,0%	10,0%	10,0%

5.2.5 Tamaño del proyecto

Opción 1: La capacidad de la planta está directamente relacionada con la cantidad de GAP generado por año. Como en el año 2023 se tendrá un número de 120.000 aves ponedoras, se invertirá en equipos que tengan la capacidad de procesar el GAP generado por esa cantidad de aves.

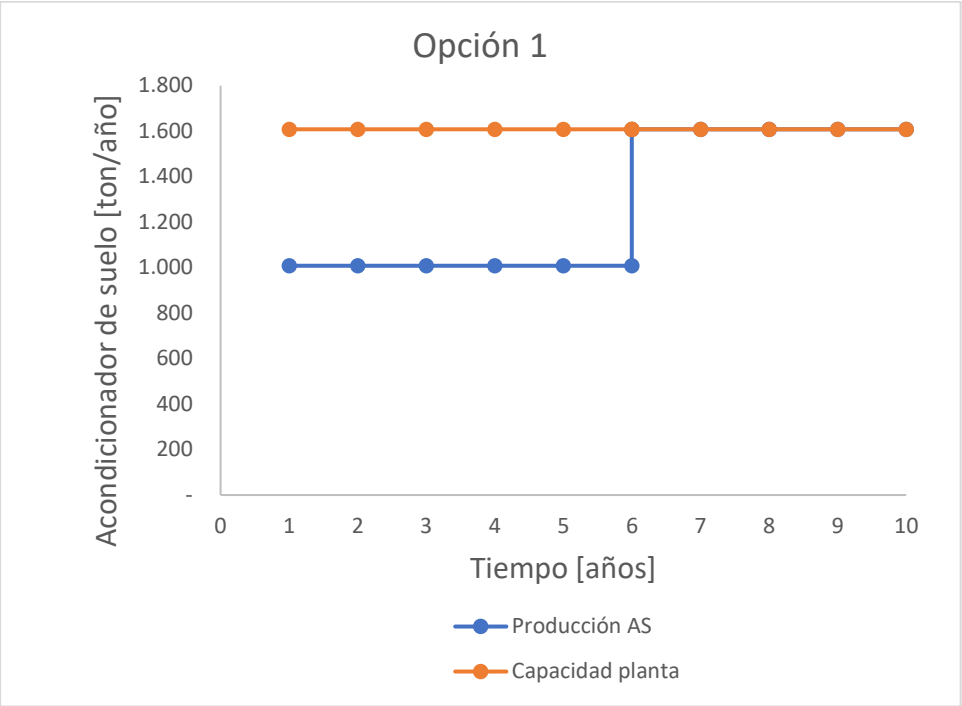


Figura 41: Capacidad de planta y producción de acondicionador de suelo proyectada a 10 años.

Opción 2: Para esta opción, la proyección de la producción de biogás y de electricidad será igual tanto para los digestores anaerobios convencionales como para los de lixiviación. Esto debido a que se cumplirá con los requerimientos de electricidad de la empresa, como parámetro más importante. Lo que cambiará será la cantidad de AS a producir y la generación de agua caliente, esto debido a las diferencias encontradas en ambos tipos de digestores.

Se trabajará con un 1 digestor desde el año 1 al año 2, con el objetivo de tener un tiempo de aprendizaje de los equipos y parámetros operacionales. Agrechequen no es una empresa productora de biogás, por tanto, ese primer año es recomendable utilizar una capacidad menor a la máxima. El segundo año se comienza a operar el segundo digestor.

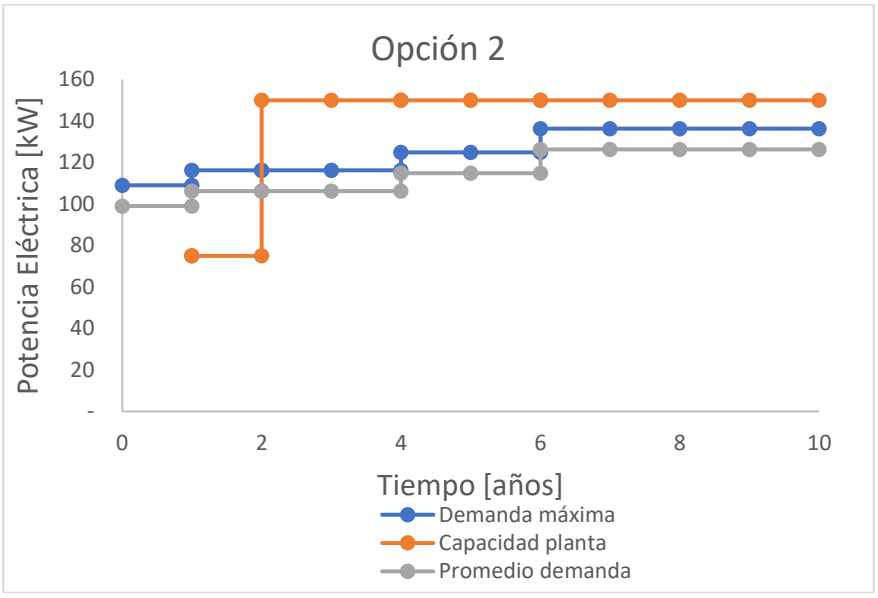


Figura 42: Capacidad de planta y demanda de potencia eléctrica proyectada a 10 años.

Se utilizó la demanda máxima multiplicada por un 10% de sobredimensionamiento para estimar la capacidad de planta. La demanda promedio se utilizará para estimar el ahorro financiero.

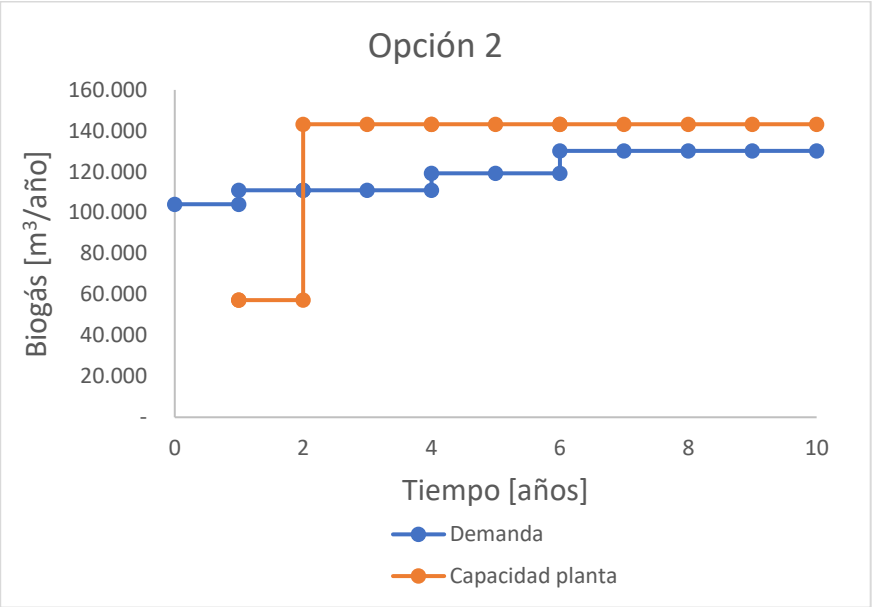


Figura 43: Capacidad de planta y demanda de biogás proyectada a 10 años.

Opción 2.1: Digestión anaerobia en reactores convencionales.

Se instalará un sistema de deshidratado y secado de GAP con una capacidad máxima de producción desde el primer año. La razón de esta decisión recae en que no existen equipos más pequeños en el mercado que se adapten a las condiciones del proyecto. Por tanto, se alcanzará la máxima producción el año 2025.

El valor que muestra la figura 44, corresponde al acondicionador de suelo que se obtiene a partir del procesamiento del biol generado por digestión anaerobia convencional, más el procesamiento del GAP sobrante que no se sometió a DA. Para este caso se obtienen 310 ton/año de AS producto de DA y 990 ton/año de AS producto de GAP directo de los galpones.

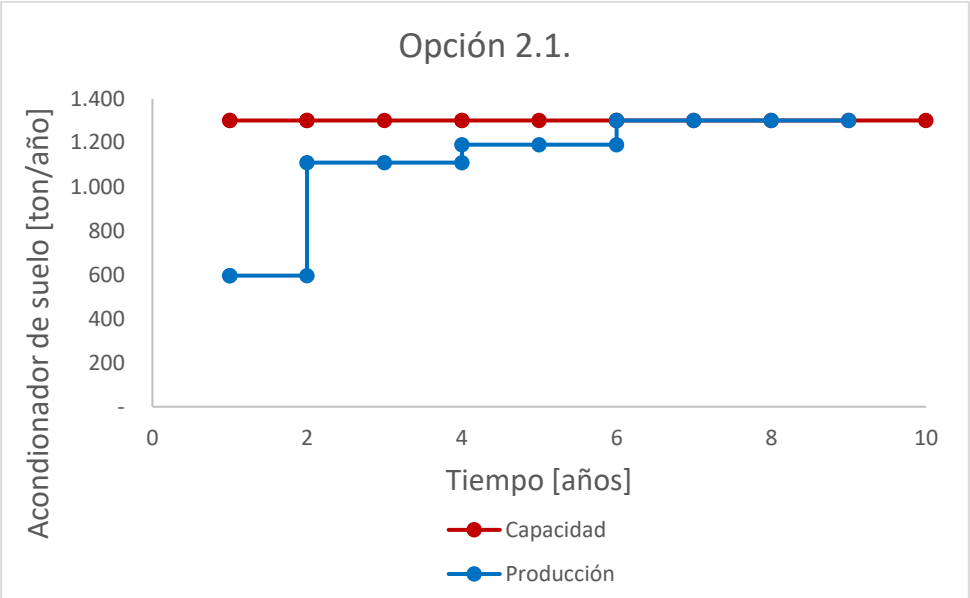


Figura 44: Producción de AS producto de DA convencional, proyectada a 10 años.

Respecto a la generación de energía térmica como agua caliente, para esta opción, faltarían 187 MWh/año para suplir la demanda total anual de calor de la empresa. No se toma como un parámetro de base de cálculo ya que no es indispensable para el funcionamiento de la empresa, si lo es la energía eléctrica.

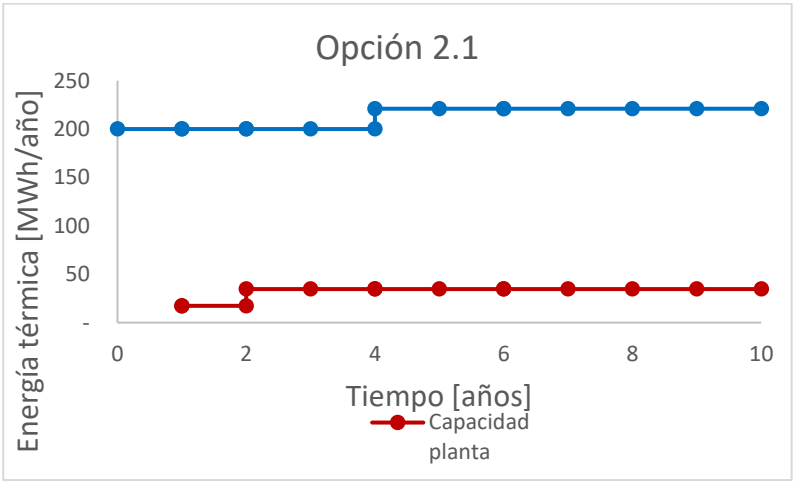


Figura 45: Capacidad de generación y demanda de energía térmica proyectada a 10 años.

Opción 2.2: Digestión anaerobia en reactores de lixiviación:

Comparando los resultados de la DA en reactor de lixiviación con los de DA convencional, respecto a la producción de AS, el proceso que se estudia en este punto genera menor cantidad de AS que en la DA convencional. A primera instancia pareciera extraño porque con esta nueva tecnología se procesa mayor cantidad de GAP (155% del total contra 89% en la DA convencional), sin embargo, la cantidad de sólidos volátiles que se transforman en biogás es mayor en la opción 2.2. por tanto, se obtiene menor cantidad de subproducto por kg de GAP utilizado. Se recuerda que el objetivo de la digestión anaerobia es producir biogás y no biol.

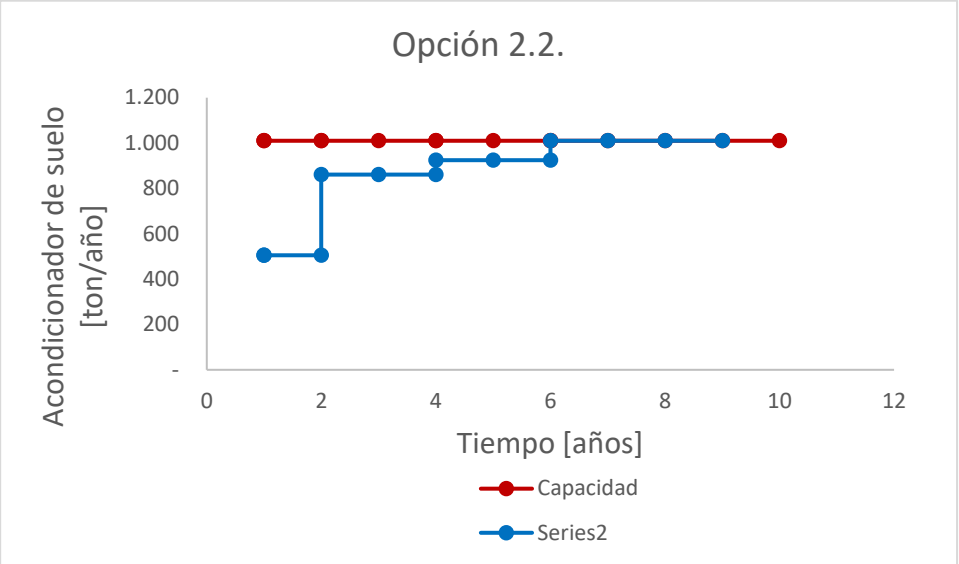


Figura 46: Producción de AS producto de DA en RL, proyectada a 10 años.

Respecto a la generación de energía térmica, se observa de la figura 47, que faltarían 39 MWh/año para suplir la demanda anual de calor en la empresa. Esto recae en el hecho de que, al utilizar menor cantidad de agua en este tipo de DA, se debe gastar menos calor en calentarla, y por tanto, es posible suministrar mayor cantidad de energía a las instalaciones de Agrochequen.

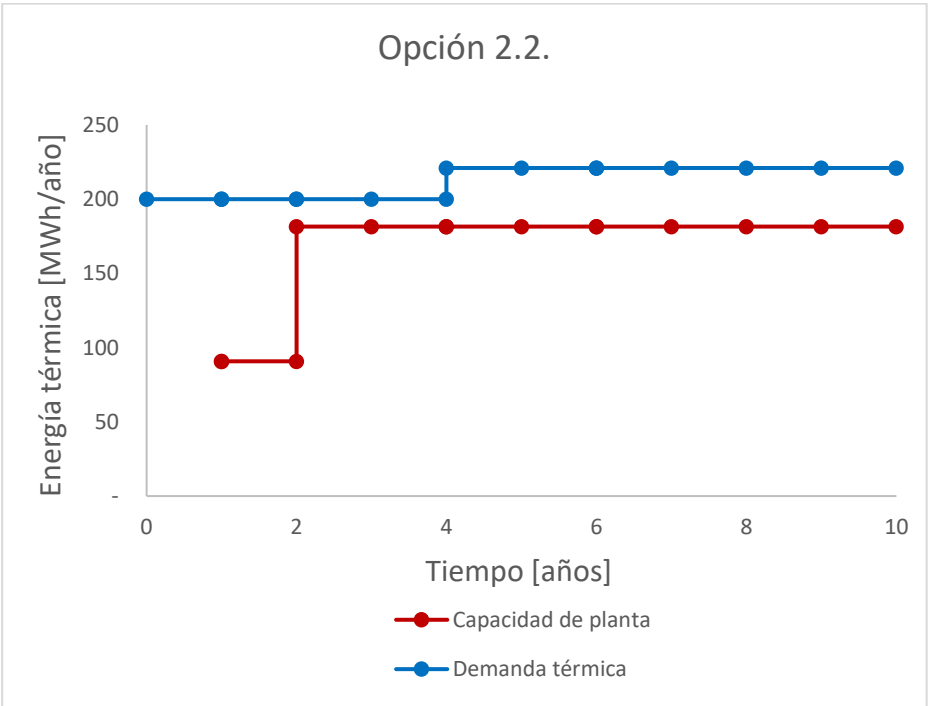


Figura 47: Capacidad de generación y demanda de energía térmica proyectada a 10 años.

5.2.6 Balances de masa y energía

Opción 1:

Para la opción 1 el modelo de producción dependerá de lo que se genere de GAP en la avícola, es decir, se procesan todos los desechos generados por la empresa.

Tabla 17: Balance de masa global de la opción 1.

Entrada [ton/año]	Detalle	Salida [ton/año]	Detalle
2.942	GAP húmedo	1.581	Agua clarificada
		1.345	Acondicionador de suelo (10% de humedad)
		16	Pérdida de agua (1%)

Para los equipos de tratamiento de residuos, no se tiene una fuente robusta para estimar el porcentaje de lodo que se generará en el decantador, como el porcentaje de material particulado separado en el hidrociclón. Por tanto, se recomienda, realizar pruebas piloto.

Tabla 19: Balance de energía (consumo eléctrico) de los equipos para la opción 1.

Equipo	Horas uso [h/d]	Potencia [kW]	Consumo eléctrico [kWh/año]
Decantador	4,5	15	22.477
Hidrociclón	4,5	3,6	5.395
Deshidratadora	4,5	5,5	8.242
Secador	7,5	12	29.970
		Total consumo [kWh/año]	**46.084**

* Se consideran 333 días de trabajo anuales para los equipos.
** Para el secador rotatorio se considera 1 hora de puesta en marcha, 4.5 horas de operación y 2 horas de enfriamiento con el túnel girando para evitar deformación del metal.

Opción 2.1:

Tabla 20: Balance de masa global opción 2.1.

Entrada [ton/año]	Detalle	Salida [ton/año]	Detalle
2.631	GAP húmedo	30.634	Agua clarificada
28.860	Agua	914	Acondicionador de suelo (10% de humedad)
451	Rastrojos	129.916*	Biogás
311	GAP sobrante	394	Sólidos volátiles (biogás)
		1	MP + NH_3
		310	Pérdida de agua (1%)

*[m^3/año]

Tabla 21: Balance de energía eléctrica opción 2.1.

Equipo	Unidad	Valor	Comentario
Generador	[kWh/año]	160.646	E.E. generada
Proceso	[kWh/año]	46.084	E.E. Consumida
Instalaciones	[kWh/año]	112.000	E.E. Consumida
Total E.E.	**[kWh/año]**	**160.646**	**E.E. Consumida**

Tabla 22: Balance de energía térmica para opción 2.1.

Equipo	Unidad	Valor	Comentario
Cogeneración	[kWh/año]	321.292	Calor generado
Digestor	[kWh/año]	290.574	Calor consumido
Instalaciones	[kWh/año]	30.718	Calor consumido
Calor total	**[kWh/año]**	**321.292**	**Calor consumido**

Opción 2.2:

Tabla 23: Balance de masa global opción 2.2.

Entrada [ton/año]	Detalle	Salida [ton/año]	Detalle
4.569	GAP húmedo	9.280	Agua clarificada
6.456	Agua	1024	Acondicionador de suelo (10% humedad)
		129.916*	Biogás
		625	Sólidos volátiles (biogás)
		2	MP + NH_3
		94	Pérdida de agua (1%)

*[m^3/año]

Tabla 24: Balance de energía eléctrica para opción 2.2.

Equipo	Unidad	Valor	Comentario
Generador	[kWh/año]	160.646	E.E. Producida
Proceso	[kWh/año]	48.646	E.E. Consumida
Instalaciones	[kWh/año]	112.000	E.E. Consumida
Total E.E.	**[kWh/año]**	**160.646**	**E.E. Consumida**

Tabla 25: Balance de energía térmica para opción 2.2.

Equipo	Unidad	Valor	Comentario
Cogeneración	[kWh/año]	321.292	Calor producido
Digestores	[kWh/año]	160.299	Calor consumido
Instalaciones	[kWh/año]	160.993	Calor consumido
Calor total	**[kWh/año]**	**321.292**	**Calor consumido**

5.2.7 Análisis de proveedores

El GAP se obtendrá de los galpones de aves ponedoras de Agrochequen. Respecto a los equipos principales se tiene:

Tabla 26: Proveedores equipos

Equipo	Proveedor
Máquina deshidratadora	Zhengzhou – China
Máquina secadora	Haokebang – China
Camión carga	Inalco Trucks – Chile
Reactor de digestión anaerobia convencional	Energía On – Chile
Equipo cogeneración	NPT Gas Genset – China
Reactor de lixiviación	Pfaudler

Respecto a los insumos y servicios se tiene:

Tabla 27: Proveedores de insumos y servicios.

Insumo o servicio	Opción 1	Opción 2	Opción 2.2
Energía eléctrica	COPELEC Ltda.	COPELEC Ltda.	COPELEC Ltda.
Rastrojos	-	Agrochequen	Agrochequen
Agua	-	Agrochequen Essbio	Agrochequen Essbio
Carbonato de calcio	-	Química Allbiz	-
Ácido sulfúrico	-	-	Asiquim

5.2.8 Análisis legal y medio ambiental

La solución deberá cumplir con las normas ambientales, las normas de ruido y todos los puntos indicados en el código de trabajo.

Opción 1:

Respecto a la venta de abonos, el guano deshidratado que se espera vender cumple con la ley 20.089 del Decreto 17, que clasifica como fertilizante o acondicionador de suelo al estiércol desecado y estiércol de aves de corral (gallinaza) deshidratado con la condición de que se debe identificar la especie de la que proviene y que su uso está sujeto a necesidad reconocida por el organismo de certificación o la autoridad competente (BCN, 2016).

El único residuo de proceso que se produce es el agua, que podría utilizarse para regar los cultivos.

Opción 2:

Esta opción tiene agua como residuo, que se recircula al proceso. Los malos olores se eliminan en la digestión anaerobia.

Respecto a la instalación de una planta de biogás, se deben tomar las precauciones que se indican en el Reglamento de seguridad de las plantas de biogás descritas en el Diario Oficial del Ministerio de Energía de la República de Chile. En el se pueden encontrar recomendaciones respecto a las distancias entre la planta de biogás y caminos, bosques, casas, fuentes hídricas, etc. (Ministerio de Energía, 2017).

5.2.9 Localización

La solución se instalará dentro de las inmediaciones de Agrochequen, cerca de los galpones de aves para ahorrar costos en el transporte del GAP. La figura 48 muestra el área $(146.805m^2)$ donde podría ser implementada la solución. A su vez, se detalla en un cuadro rojo donde podría instalarse la planta. Se elige este lugar por ser un terreno no ocupado por Agrochequen para cultivos ni para otra acción en particular. Está cerca de la fuente hídrica y en el punto medio entre galpones y casas. Habría que modificar el terreno para cumplir con las normativas, como por ejemplo, en caso de una planta de biogás, no tener un bosque a 30 metros.

Figura 48: Ubicación de la planta (Google Maps, 2018). Modificado.

El terreno será comprado porque entrega una ventaja estratégica: Es importante estar ubicado cerca de los galpones para ahorrar dinero en el transporte, cerca de la instalación para proporcionar electricidad sin instalar cables largos de transmisión y cerca de los cultivos para obtener el rastrojo. Se estima un área apropiada de 300 m^2 para la opción 1 y 700 m^2 para la opción 2.

5.2.10 Estimación de la inversión

En esta sección se determina la inversión inicial (CAPEX) de cada proyecto y los gastos anuales (OPEX). Se presenta una tabla resumen con los equipos principales evaluados para todas las opciones:

Tabla 28: Detalle equipos principales.

Equipo	Capacidad	Unidad	Marca
Deshidratador	2 - 4	[ton/h]	Zhengzhou
Secador rotatorio	2 - 5	[ton/h]	Haokebang
Digestor anaerobio convencional	577	[m^3]	Puxin
Reactor de lixiviación	320	[m^3]	Pfaudler
Equipo de cogeneración	150	[kWe]	NPT
Decantador	1,5	[m^3/h]	Totagua
Hidrociclón opción 1, 2.1 y 2.2	180/31/39	[m^3/h]	Arkal
Camión de carga	5	[ton]	Inalco Trucks

a. Inversión inicial

Todos los gastos de capital se estimaron a partir de la tabla del anexo F (Peters & Timmerhaus, 1991).

Opción 1:

Tabla 29: Detalles del CAPEX para la opción 1.

Tipo	Unidad	Valor	Detalle
Deshidratador	[USD]	8.000	Precio FOB
Decantador	[USD]	20.000	1,5 m^3/h
Hidrociclón	[USD]	23.530	180 m^3/h
Tanque 5 [m3]	[USD]	807	1 tanque polietileno
Máquina secadora	[USD]	17.000	Precio FOB
Total equipos	**[USD]**	**69.337**	
	Costos directos		
Instalación de equipos	[USD]	27.041	39% del total equipos
Electricidad	[USD]	6.934	10% del total equipos
Galpón	[USD]	20.108	29% del total equipos
Mejoras en el terreno	[USD]	6.934	10% del total equipos
Servicios instalados	[USD]	6.934	10% del total equipos
Terreno	[USD]	4.160	6% del total equipos
Total costos directos	**[USD]**	**72.110**	
	Costos indirectos		
Ingeniería y supervisión	[USD]	22.188	32% del total equipos
Gastos de construcción	[USD]	23.575	34% del total equipos
Total costos indirectos	**[USD]**	**45.762**	
Tasas del contratista	[USD]	5.894	5% de (costos directos + indirectos)
Contingencia	[USD]	11.787	10% de (costos directos + indirectos)
Capital fijo	[USD]	204.891	
Capital total	**[USD]**	**204.891**	**CAPEX op. 1**

Opción 2.1:

Tabla 30: Detalles del CAPEX para la opción 2.1.

Tipo	Unidad	Valor	Comentario
Deshidratador	[USD]	10.909	Pecio FOB
Decantador	[USD]	20.000	1,5 m^3/h
Hidrociclón	[USD]	3.907	31 m^3/h
Máquina secadora	[USD]	17.000	Pecio FOB
Planta de biogás	[USD]	184.907	Precio con IVA incluido
Equipo de cogeneración	[USD]	8.441	
Tubería calefacción	[USD]	20.000	3.000 metros
Radiadores	[USD]	5.166	97 radiadores
Total equipos	**[USD]**	**270.330**	
Costos directos			
Instalación equipos	[USD]	27.033	10% del total equipos
Terreno	[USD]	16.220	6% del total equipos
Total costos directos	**[USD]**	**43.253**	
Costos indirectos			
Ingeniería y supervisión	[USD]	86.505	32% del total equipos
Gastos de construcción	[USD]	91.912	34% del total equipos
Total costos indirectos	**[USD]**	**178.418**	
Tasas del contratista	[USD]	11.084	5% de (costos directos + indirectos)
Contingencia	[USD]	22.167	10% de (costos directos + indirectos)
Capital fijo	[USD]	525.251	
Capital total	**[USD]**	**525.251**	CAPEX op. 2.1

Opción 2.2.:

Tabla 31: Detalles del CAPEX para la opción 2.2.

Tipo	Unidad	Valor	Comentario
Deshidratador	[USD]	8.000	Pecio FOB
Decantador	[USD]	20.000	1,5 m^3/h
Hidrociclón	[USD]	4.960	39 m^3/h
Máquina secadora	[USD]	17.000	Pecio FOB
Planta de biogás	[USD]	184.907	
Equipo de cogeneración	[USD]	8.441	
Tubería calefacción	[USD]	20.000	3.000 metros
Radiadores	[USD]	5.166	97 radiadores
Total equipos	**[USD]**	**268.474**	
Costos directos			
Instalación equipos	[USD]	26.847	10% del total equipos
Terreno	[USD]	16.108	6% del total equipos
Total costos directos	**[USD]**	**42.956**	
Costos indirectos			
Ingeniería y supervisión	[USD]	85.912	32% del total equipos
Gastos de construcción	[USD]	91.281	34% del total equipos
Total costos indirectos	**[USD]**	**177.193**	
Tasas del contratista	[USD]	11.007	5% de (costos directos + indirectos)
Contingencia	[USD]	22.015	10% de (costos directos + indirectos)
Capital fijo	[USD]	521.644	
Capital total	**[USD]**	**521.644**	CAPEX op. 2.2

b. Costos fijos y variables

Opción 1:

Tabla 32: Detalles del OPEX para la opción 1.

Parámetro	Unidad	Valor
Servicios		
Electricidad		
Decantador	[USD/año]	2.248
Hidrociclón	[USD/año]	539
Deshidratador	[USD/año]	824
Máquina secadora	[USD/año]	2.997
Total electricidad	[USD/año]	6.608
Insumos		
Sacos de 25 [kg]	[USD/año]	9.404
Transporte		
Arriendo camión	[USD/año]	23.764
Gasolina (Diesel)	[USD/año]	1.644
Total transporte	[USD/año]	25.408
Salarios		
Operadores	[USD/operador/mes]	1.083
Total operadores	[USD/año]	25.992
Jefe de turno	[USD/jefe/mes]	2.192
Total jefe de turno	[USD/año]	26.304
Total salarios	[USD/año]	52.296
Mantenimiento (4% equipos)	[USD/año]	2.773
Gastos operacionales anuales	**[USD/año]**	**96.489**

Opción 2.1:

Tabla 33: Detalles del OPEX para la opción 2.1

Parámetro	**Unidad**	**Valor**
Insumos		
Rastrojos	[USD/año]	**67.650**
Agua	[USD/año]	**10.967**
Sacos de 25 [kg]	[USD/año]	**10.817**
Carbonato de calcio	[USD/año]	**3.400**
Transporte		
Arriendo camión	[USD/año]	23.764
Gasolina	[USD/año]	1.644
Total transporte	**[USD/año]**	**25.408**
Salarios		
Operadores	[USD/operador/mes]	1.083
Total operadores	[USD/año]	25.992
Jefe de turno	[USD/jefe/mes]	5.000
Total jefe de turno	[USD/año]	60.000
Total salarios	**[USD/año]**	**85.992**
Mantenimiento (4% equipos)	[USD/año]	**10.813**
Gastos operacionales anuales	**[USD/año]**	**215.047**

Opción 2.2:

Tabla 34: Detalles del OPEX para la opción 2.2.

Parámetro	Unidad	Valor
Insumos		
Agua	[USD/año]	**2.453**
Sacos de 25 [kg]	[USD/año]	**12.118**
Ácido sulfúrico	[USD/año]	**36.600**
Transporte		
Arriendo camión	[USD/año]	23.764
Gasolina	[USD/año]	1.644
Total transporte	**[USD/año]**	**25.408**
Salarios		
Operadores	[USD/operador/mes]	1.083
Total operadores	[USD/año]	25.992
Jefe de turno	[USD/jefe/mes]	5.000
Total jefe de turno	[USD/año]	60.000
Total salarios	**[USD/año]**	**85.992**
Mantenimiento (4% equipos)	[USD/año]	**10.739**
Gastos operacionales anuales	**[USD/año]**	**173.311**

c. Análisis de la inversión y costos

El resumen de CAPEX y OPEX para las tres opciones se presenta en la tabla 35:

Tabla 35: Comparación entre CAPEX y OPEX para las 3 opciones.

Parámetro	Opción 1	Opción 2.1	Opción 2.2.
CAPEX [USD]	204.891	525.251	521.644
OPEX [USD/año]	96.489	215.047	173.311

Análisis del coste de producción:

Tabla 36: Precio de los productos sin IVA.

Producto	Acondicionador de suelo	Electricidad	Calor
Unidad	[USD/ton]	[USD/kWh]	[USD/kWh]
Valor	118	0,1	0,17

Tabla 37: Costos de producción para las 3 opciones.

Producto	Opción 1	Opción 2.1	Opción 2.2
Acondicionador de suelo [USD/ton]	60	104	84
Electricidad [USD/kWh]	-	0,37	0,28
Calor [USD/kWh]	-	0,14	0,14

Respecto al acondicionador de suelos, las 3 opciones permiten obtener ganancias con este producto, siendo la opción 1 la más rentable. En relación con la energía eléctrica, las dos opciones donde se generan estos productos tienen costos de producción más altos que el precio de mercado, por tanto, no son rentables. Respecto al calor, las 2 opciones que generan calor son rentables respecto al precio de mercado.

5.3 Estudio Económico

En este capítulo se hablará sobre la viabilidad económica de cada una de las soluciones planteadas. Se analizará su rentabilidad en un periodo de tiempo determinado.

5.3.1 Caso base

La empresa divide sus tareas en un área agrícola y una avícola. Por parte de la agrícola, ésta trabaja con cultivos de avena y trigo, un total de 275 ha entre ambos cereales. De la cosecha se producen 6 ton/ha de rastrojos al año (1.650 ton/año), de los cuales se agrega 1 ton/ha para fines de cero labranza (275 ton/año) y el resto (1.375 ton/año) es acumulado y vendido a $100 el kilogramo aproximadamente. El consumo de la agrícola es de 90 ton/año de fertilizantes además de los rastrojos y GAP agregado al suelo.

Por otra parte, la avícola, con sus 85.000 aves ponedoras, con una tasa de generación de GAP de 86 g/día por ave, produce 7,3 ton/día de GAP. Además, Agrochequen, al año 2025 pretende aumentar su destacamento de aves a un total de 120.000, por esto, la cantidad de GAP a generar, en un futuro, sería de 10,3 ton/día, es decir, 3.767 ton/año de GAP. Este desecho podría ser vendido directamente a $3.000 la tonelada a terceros.

Actualmente todo el GAP generado es ocupado para mejorar los suelos agrícolas, sin embargo, se llegó a la conclusión de que sólo es necesario agregar una parte, 3 ton/ha, lo que equivale a 825 ton/año.

La avícola consume electricidad en sus galpones GNL abastecido por Lipigas para calentar a las aves de recría. Además, se consume electricidad en las casas de habitantes del campo.

Por otro lado, los consumos aumentarán gradualmente al año 2025 debido a instalaciones de galpones nuevos, como muestra la tabla 6:

Tabla 6: Demanda futura de Agrochequen.

Producto	Electricidad [MWh/año]	Calor [MWh/año]
Demanda	112	222

Dicho lo anterior, Agrochequen está perdiendo la oportunidad de darle valor agregado a su GAP, aumentando la rentabilidad de la empresa, ya sea, vendiéndolo como acondicionador de suelo y/o ahorrando costos de electricidad y calor. Además, se arriesga a comenzar a recibir multas debido a los malos olores emanados. A su vez, existe la oportunidad de cambiar la imagen de la empresa, a una amigable con el medio ambiente.

5.3.2 Alcance y supuestos:

a. Se analizarán 4 casos:

   1. Proyecto considerando la implementación de opción 1 por si sola: Deshidratar y secar GAP para vender acondicionador de suelo con 10% de humedad.
   2. Proyecto considerando la implementación de opción 2.1 por si sola: Generar biogás en digestor anaerobio convencional. Generando electricidad y calor en equipo de cogeneración. Además, aprovechar el biofertilizante y GAP sobrante para producir acondicionador de suelo.
   3. Proyecto considerando la implementación de opción 2.2 por si sola: Generar biogás en reactor de lixiviación. Generando electricidad y calor en equipo de cogeneración. Además, aprovechar el biofertilizante y GAP sobrante para producir acondicionador de suelo.
   4. Proyecto considerando la implementación de opción 1 el año 0. Luego se implementa la opción 2.1 el año 3 y la opción 2.2. se implementa el año 5. La opción 2.2 solo implicaría una mejora a la opción 2.1.

b. La tasa de descuento de la opción 1 será de 10%, por ser un proyecto que implementa una tecnología conocida, además no está totalmente fuera del giro de la empresa. Por otro lado, no se tiene completo conocimiento del comportamiento del mercado.

c. La tasa de descuento para la opción 2.1 será del 15%, por ser un proyecto que implementa tecnología conocida pero que está fuera del rubro de la empresa.

d. La tasa de descuento para la opción 2.2 será del 20% por ser un proyecto que implementa tecnología que, si bien ha sido investigada a nivel laboratorio, no ha sido aplicada a escala industrial.

e. La tasa de descuento para el caso 4 se estima como un promedio ponderado de los 3 casos anteriores, según la cantidad de años que la opción está instalada, es decir, 17%.

f. Todas las opciones serán evaluadas a 10 años por la depreciación de las instalaciones.

5.3.3 Depreciación

Se estima la depreciación financiera y acelerada para los 4 casos. En la depreciación acelerada se reducen a un tercio los años de vida útil de los bienes.

Tabla 38: Depreciación financiera y acelerada para el caso 1.

	Año 1	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**	**Año 6**	**Año 7**	**Año 8**	**Año 9**	**Año 10**
Financiera	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489
Acelerada	68.297	68.297	68.297	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 39: Depreciación financiera y acelerada para el caso 2.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Financiera	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525
Acelerada	175.084	175.084	175.084	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 40: Depreciación financiera y acelerada para el caso 3.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Financiera	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525
Acelerada	175.084	175.084	175.084	0	0	0	0	0	0	0

Para el caso 4, se realizan inversiones en el año 0, año 3 y año 5.

Tabla 41: Depreciación financiera y acelerada para el caso 4.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Financiera	20.489	20.489	52.525	52.525	58.072	58.072	58.072	58.072	58.072	58.072
Acelerada	68.297	68.297	175.084	106.787	125.277	18.491	18.491	0	0	0

5.3.4 Resultados flujos de caja puro

Tabla 42: Flujo de caja puro para los 4 casos.

Indicadores	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
VAN [USD]	197.948	-815.828	-533.752	-443.393
EBITDA [USD/año]	60.050	-142.360	-89.793	-75.556
PAYBACK [años]	5,41	>10	>10	>10
TIR [%]	25	-	-	-
Tasa de descuento [%]	10	15	20	17

Se observa del flujo de caja puro que la opción 1 es la única que presenta valor positivo para el VAN, teniendo un retorno a los 5,41 años. El resto de los casos no es rentable a 10 años en las condiciones que se plantean. También se observa que el caso 3 es más rentable que el caso 1 y que el caso 4, que es una combinación de todas las tecnologías, es más rentable que los casos 2 y 3. El detalle de los flujos de caja se encuentran en el anexo H.

5.3.5 Flujo de caja financiado

Se analiza el financiamiento del caso 1, por ser el único proyecto con VAN>0. Los resultados de las variables financieras son los siguientes, el detalle del flujo de caja se puede observar en el anexo H, figura 71:

Tabla 43: Indicadores financieros del caso 1 financiado.

Indicadores	Caso 1 financiado	Caso 1 sin financiamiento
Porcentaje financiamiento [%]	50	-
Principal [USD]	102.446	-
VAN [USD]	362.943	197.948
EBITDA [USD/año]	128.670	60.050
PAYBACK [años]	2,3	5,41
TIR [%]	51	25
Tasa de descuento [%]	10	10

Se observa un claro aumento de rentabilidad, al financiar el proyecto del caso 1. Esto ocurre por el apalancamiento financiero.

5.3.6 Análisis de sensibilidad

Caso 1:

Para el caso 1, se buscará encontrar el punto donde el VAN es igual a cero, con el fin de determinar las condiciones no rentables del proyecto. Los parámetros que podrían estar afectos a variaciones son:

a. Precio venta acondicionador de suelo (AS).
b. Cantidad de ventas anuales.
c. Cantidad de producción anual.

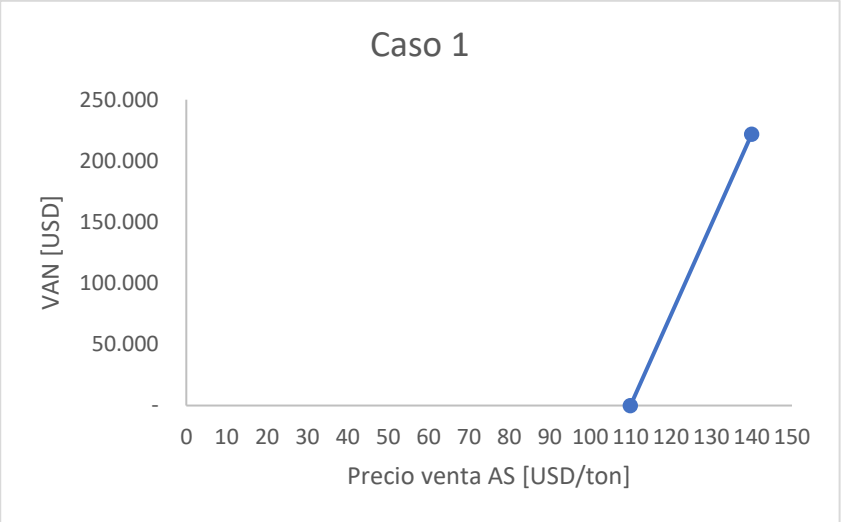


Figura 49: Comportamiento del VAN respecto a una disminución del precio de venta de AS.

Analizando la figura 49, se tiene un VAN positivo cuando el precio de venta del AS supera los 110 USD/ton, bajo este precio, manteniendo todos los otros parámetros constantes, el proyecto no es rentable a 10 años.

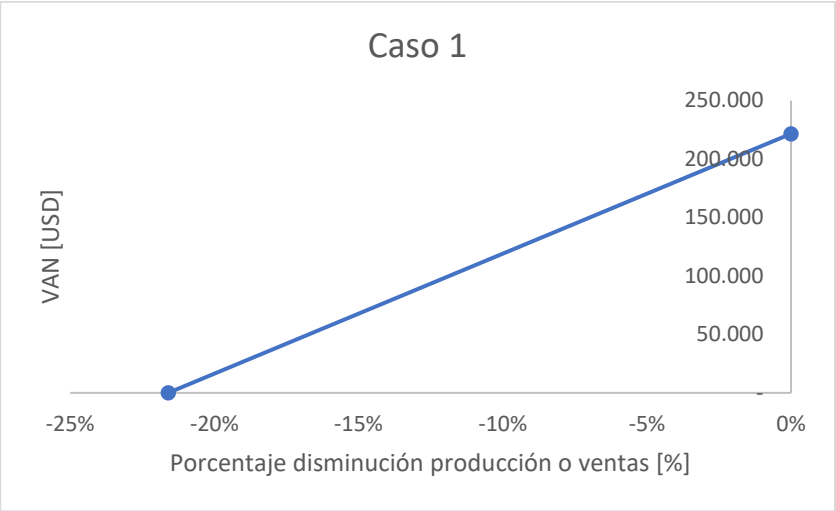


Figura 50: Comportamiento del VAN respecto a una disminución en la producción o cantidad de ventas de AS.

De la figura 50, se puede determinar que una disminución del 21% en la producción o bien en la cantidad de ventas anuales, llevaría al proyecto a calidad de no rentable a 10 años.

Caso 2:
Para el caso 2, como no es rentable en las condiciones actuales, se analizarán los siguientes parámetros:

a. Eliminación de distribución de agua caliente y por tanto no invertir en instalación de tuberías y radiadores.

Tabla 44: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-815.828	-354.547
PAYBACK [años]	>10	>10
TIR [%]	-	-10

De la tabla 44 se observa que el cambio no es significativo, eliminar esta inversión y costos asociados, no trae beneficios para el proyecto.

b. Considerar el arriendo del camión como costo de Agrochequen.

Tabla 45: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-815.828	-325.594
PAYBACK [años]	>10	>10
TIR [%]	-	-4

De la tabla 45, se observa que esta consideración trae mayor beneficio al proyecto que la condición a, sin embargo, el VAN sigue siendo negativo.

c. Buscar la condición VAN>0: Tomar las condiciones de a y b. Además, eliminar la inversión del decantador e hidrociclón, suponiendo que no se generará gran cantidad de

material particulado y que no es necesario tratar el agua. Por otro lado, eliminar al jefe de turno.

Tabla 46: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-815.828	-22.826
PAYBACK [años]	>10	>10
Tasa de descuento [%]	15	15
TIR [%]	-	14

De la tabla 46, se observa que con una tasa de descuento del 15% y tomando en cuenta las condiciones de este caso, no basta para generar un VAN>0.

Caso 3:

Para el caso 3, como no es rentable en las condiciones actuales, se analizarán los siguientes parámetros:

a. Eliminación de distribución de agua caliente y por tanto no invertir en instalación de tuberías y radiadores.

Tabla 47: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-533.752	-366.283
PAYBACK [años]	>10	>10
TIR [%]	-	-7

De la tabla 47 se observa que el cambio no es significativo, eliminar esta inversión y costos asociados, no trae beneficios para el proyecto.

b. Considerar el arriendo del camión como costo de Agrochequen.

Tabla 48: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-533.752	-296.633
PAYBACK [años]	>10	>10
TIR [%]	-	0

De la tabla 48, se observa que esta consideración trae mayor beneficio al proyecto que la condición a, sin embargo, el VAN sigue siendo negativo.

c. Buscar la condición VAN>0: Tomar las condiciones de a y b. Además, eliminar la inversión del decantador e hidrociclón, suponiendo que no se generará gran cantidad de material particulado y que no es necesario tratar el agua. Por otro lado, eliminar al jefe de turno.

Tabla 49: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-533.752	-106.887
PAYBACK [años]	>10	>10
Tasa de descuento [%]	20	20
TIR [%]	-	14

De la tabla 49, se observa que con una tasa de descuento del 20% y tomando en cuenta las condiciones de este caso, no basta para generar un VAN>0.

Caso 4:

Para el caso 4, como no es rentable en las condiciones actuales, se analizarán los siguientes parámetros:

a. Eliminación de distribución de agua caliente y por tanto no invertir en instalación de tuberías y radiadores.

Tabla 50: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-443.393	-283.520
PAYBACK [años]	>10	>10
TIR [%]	-	-

De la tabla 50 se observa que el cambio no es significativo, eliminar esta inversión y costos asociados, no trae beneficios para el proyecto.

b. Considerar el arriendo del camión como costo de Agrochequen.

Tabla 51: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo
VAN [USD]	-443.393	-219.362
PAYBACK [años]	>10	>10
TIR [%]	-	-20

De la tabla 51, se observa que esta consideración trae mayor beneficio al proyecto que la condición a, sin embargo, el VAN sigue siendo negativo.

c. Buscar la condición VAN>0: Tomar las condiciones de a y b. Además, eliminar la inversión del decantador e hidrociclón, suponiendo que no se generará gran cantidad de material particulado y que no es necesario tratar el agua. Por otro lado, se elimina el jefe de turno.

Tabla 52: Variación de parámetros financieros.

Parámetro	Valor actual	Valor nuevo 1	Valor nuevo 2*
VAN [USD]	-443.393	90.324	33.501
PAYBACK [años]	>10	5,5	8,5
Tasa de descuento [%]	17	17	17
TIR [%]	-	29	14

*Este valor considera la inversión de un hidrociclón y decantador.

De la tabla 52, se observa que con una tasa de descuento del 17% y con las condiciones de este caso (valor nuevo 1), es posible lograr un VAN>0. Ahora, en el valor nuevo 2,

se analiza la opción de invertir en un hidrociclón y decantador para el tratamiento de los RILES, dando un VAN>0.

5.3.7 Matriz de riesgos

Se realiza una matriz de riesgo sólo para el caso 1 (deshidratación y secado de GAP) con el objetivo de identificar la probabilidad de que un evento riesgoso para el proyecto ocurra. La figura 51 entrega una pauta para armar la matriz y la figura 52 muestra la matriz de riesgo.

Probabilidad	Valor Numérico	Impacto	Valor Numérico
Muy importante	0.1	Muy bajo	0.05
Relativamente probable	0.3	Bajo	0.10
Probable	0.5	Moderado	0.20
Muy probable	0.7	Alto	0.40
Casi certeza	0.9	Muy alto	0.80

Tipo de riesgo	Probabilidad x Impacto
Muy alto	Mayor a 0.50
Alto	Menor a 0.50
Moderado	Menor a 0.30
Bajo	Menor a 0.10
Muy Bajo	Menor a 0.05

Figura 51: Pauta matriz de riesgo.

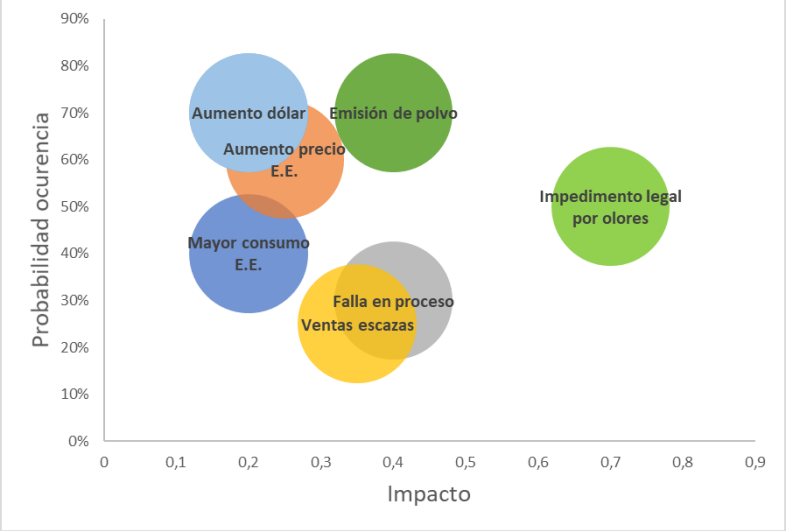


Figura 52: Matriz de riesgo.

De la figura 52 se puede analizar lo siguiente:

a. **Impedimento legal por olores:** Es probable que exista emisión de malos olores en el proceso de secado, lo que traería un impacto alto al proyecto por el riesgo de ser negado por la institución medio ambiental.
b. **Emisión de polvo:** Es probable que en el proceso de secado se emita cierta cantidad de material particulado, el impacto sería alto por el hecho de contaminar la zona con MP perjudicial para la salud.
c. **Mayor consumo de E.E:** Es relativamente probable que la estimación del consumo de los equipos no sea la correcta, esto traería un impacto moderado por el aumento en los gastos por consumo eléctrico.
d. **Falla en proceso:** Es relativamente probable que fallen los equipos, por ser equipos no muy complejos. Esto traería un impacto alto por no cumplimiento de la demanda.

e. **Ventas escazas:** Es relativamente probable que las ventas sean escazas, por ser un producto bien demandado en una zona agrícola. El impacto sería alto porque impactaría directamente en los ingresos.
f. **Aumento valor dólar:** Es muy probable que aumente el valor del dólar por la situación actual del país. Esto implica un impacto moderado para el proyecto, ya que se estima que si el dólar supera los $1.300\,CLP/USD$, el proyecto llega a VAN=0, hecho que es poco probable.
g. **Aumento precio energía eléctrica:** Debido a la contingencia nacional es probable que los proyectos eléctricos disminuyan y por ende suba el precio de la energía eléctrica. Esto tendría un impacto moderado ya que el consumo eléctrico representa el 7% del gasto operacional anual.

6. Conclusiones y recomendaciones

Existe una oportunidad para Agrochequen, aprovechar sus desperdicios avícolas para generar productos de valor agregado y lograr mitigar el impacto ambiental resultante del mal manejo del guano de ave de postura (GAP).

A partir del análisis FODA y de 5 fuerzas de Porter, fue posible plantear estrategias para mitigar las amenazas, convertir las debilidades en oportunidades y aprovechar las fortalezas de la empresa para el proyecto. Se prefirió tomar el mercado interno por sobre el externo, se puso énfasis en no generar mayor impacto ambiental con las soluciones recomendadas y, por último, limitar los gastos del proyecto.

En primera instancia se presentan 4 posibles productos (fertilizante, acondicionador de suelo, electricidad y calor) resultantes de los requerimientos de la empresa y se estudia su mercado tanto interno como externo. Se concluye, del mercado interno, que la demanda de fertilizante se mantendrá constante en $100\,ton/año$. La demanda de acondicionador de suelo disminuirá en el futuro a $825\,ton/año$ y la de electricidad aumentará en $43MWh$ al año 2025. Por parte del calor, también habrá un aumento de $21MWh$ al año 2025 debido a la instalación de nuevos galpones de postura y recría, con mejor tecnología.

Del párrafo anterior se concluye que es posible utilizar el GAP para otros fines sin dejar a la empresa exenta de acondicionador de suelo para sus cultivos. También se determina que existe una necesidad de energía eléctrica y térmica en el futuro cercano. Por parte del fertilizante, existe la posibilidad de suplir una parte o toda la demanda de este si el GAP cumpliera con las mismas características. Sin embargo, se concluye del estudio de mercado, que el GAP no posee las características de un fertilizante comercial, por tanto, se estudia la posibilidad de ocupar este desecho avícola como acondicionador de suelo y no como fertilizante.

Por parte del mercado externo, la demanda de fertilizante y acondicionador de suelo están sujetas al crecimiento en las hectáreas cultivadas en Chile, teniendo estos dos productos incremento a una tasa anual del 2%. Respecto a la electricidad, el consumo crece tanto por la participación de la industria como por el incremento de la población, logrando un aumento del 0,95% anual.

De acuerdo con el precio del fertilizante ocupado por Agrochequen, este tiende a la baja en un 6% anual en el futuro, por tanto, será mas conveniente comprarlo que producirlo. Los precios del acondicionador de suelo también tienden a la baja en un 7% anual, por tanto, será más conveniente comprarlo que producirlo. Respecto al precio de la energía eléctrica, su precio nudo tiende a la baja con los años, es decir, no será conveniente producir energía eléctrica en el futuro. Ahora bien, del análisis, se determina que no es conveniente acoplarse al Net Billing debido a que el precio de venta de electricidad al sistema interconectado es menor que el precio que paga el cliente por consumir energía eléctrica. Por tanto, es más conveniente buscar aumentar el consumo interno que vender a la empresa distribuidora. Por último, el precio del GNL tenderá a subir en el futuro, por lo que se recomienda suplir esta fuente de energía por una de menor costo.

Del estudio técnico, en primera instancia se presentan 3 posibles soluciones: 1. Generar acondicionador de suelo a partir del deshidratado y secado del GAP, 2. A partir de digestión

anaerobia con GAP, generar biogás y con ello electricidad y calor, además de biofertilizante, y 3. Generar energía eléctrica a partir de la combustión de GAP en una caldera de biomasa.

Sin embargo, luego de un análisis, se elimina la opción de instalar una caldera de biomasa por el hecho de generar un impacto ambiental imposible de mitigar. No cumple con las estrategias planteadas en el estudio de mercado. Por tanto, se siguen estudiando las otras 2 opciones.

El único caso viable económicamente es el número 1, el resto, todos arrojan VAN<0, en las condiciones que se plantean los 4 casos. Por tanto, en primera instancia, se recomienda implementar este proyecto por sobre el resto.

Realizando un análisis de sensibilidad al caso 1 se tiene que el precio del acondicionador de suelo podría bajar como máximo a $110\ USD/ton$ y que el porcentaje máximo de disminución de la producción o precio de ventas podría ser del 20%.

Para el caso 2 y 3, se tendría un VAN cercano a cero si se elimina la distribución de calor como agua caliente, se considera el arriendo del camión de transporte como gasto de Agrochequen, se elimina la inversión de un decantador e hidrociclón y se elimina el puesto de jefe de turno. Aún así, estos proyectos no son económicamente viables.

Para el caso 4, se tendría un VAN>0 si se elimina la distribución de calor como agua caliente, se considera el arriendo del camión de transporte como gasto de Agrochequen, se elimina la inversión de un decantador e hidrociclón y se elimina el puesto de jefe de turno.

Se concluye finalmente que se encuentra una solución factible técnica y económicamente para darle valor agregado al guano de ave de postura. Para las condiciones de la empresa, la generación de biogás no es conveniente por los altos costos de producción que tiene esta tecnología.

Se recomienda reevaluar el caso 1, por ser el más favorable técnico y económicamente. Sería una buena práctica realizar un piloto a escala del proyecto, para estudiar todas las variables operacionales. Analizar los olores emanados y verificar si es importante la instalación de un decantador y un hidrociclón para el tratamiento de los residuos. Otro factor importante a mitigar es la generación de polvo o material particulado.

Si bien se eliminó la máquina peletizadora por aumentar los costos de producción y no ser un elemento crítico de la opción 1, la posibilidad de expandirse y ocupar el GAP de las empresas avícolas cercanas permitiría reducir los costos de producir AS por concepto de economías de escala. Producir AS en pellets mejoraría la calidad del producto, por tanto, se recomienda analizar la posibilidad de expandirse y negociar con las empresas aledañas a Agrochequen para desarrollar un proyecto integrado.

En este estudio se cotizó con un solo proveedor, por lo que se recomienda realizar una cotización con al menos 3 proveedores.

7. Bibliografía

Agricultura, E. N., & Paisajismo, V. Y. (n.d.). *USE EL COMPOST*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/Uso_Compost.pdf

Edición. (n.d.). *ÍNDICE DE ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA*. Retrieved from www.inebiobio.cl

Generación Distribuida - Instalaciones Declaradas · Comision Nacional de Energia. (n.d.). Retrieved November 5, 2018, from http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/235587/generacion-distribuida-instalaciones-declaradas/

Región del Biobío - Energía Región. (n.d.). Retrieved November 5, 2018, from http://energiaregion.cl/region/VIII

Borowski, S., & Weatherley, L. (2013). Co-digestion of solid poultry manure with municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, *142*, 345–352. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.047

Control, P. E. L., Contaminaci, D. E. L. A., & Octubre, S. (n.d.). No Title.

Dalkilic, K., & Ugurlu, A. (2015). Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermopilic two stage anaerobic system. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *120*(3), 315–322. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.021

De, R., & Araucanía, L. A. (2015). *Estadísticas Agrícolas Cultivos Anuales Esenciales Temporada Año Agrícola 2014/2015 Región de La Araucanía*. Retrieved from http://www.inearaucania.cl/archivos/files/pdf/Enfoques Regionales/2015/Cultivos Anuales.pdf

DFL-725 31-ENE-1968 MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA - Ley Chile - Biblioteca del Congreso Nacional. (n.d.). Retrieved October 7, 2018, from https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=5595

FAO et al. (2011). Manual del biogás.

ODEPA. (2010). Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile. Informe final.

8. Anexos

Anexo A:

Electricidad (Consumo histórico 2017-2019):
La compañía recibe dos facturas de electricidad al mes, una es la factura monofásica de Agrochequen y la segunda es la factura trifásica. Los detalles de la factura se muestran a continuación:

Tabla 53: Cuenta monofásica de electricidad histórica para febrero 2018 y 2019 (COPELEC, 2018 y 2019).

Cargos de energía	**Valor 2018 [USD]**	**Cargos de energía**	**Valor 2019 [USD]**
Administración del servicio	4	Administración del servicio	4
Cargo por demanda máxima contratada (25 kW)	289	Cargo por demanda máxima contratada (25 kW)	384
Total	**293**	**Total [USD/mes]**	**388**

Para esta carga de electricidad no hay más datos que los que se muestran en la tabla 53, por lo que se asume una carga monofásica constante cada mes.

Tabla 54: Cargos por cuenta trifásica histórica para mayo 2018 y 2019 (COPELEC, 2018 y 2019).

Cargos de energía	**Valor 2018 [USD]**	**Cargos de energía**	**Valor 2019 [USD]**
Administración del servicio	4	Administración del servicio	4
Transporte de electricidad	66	Transporte de electricidad	123
Cargo por demanda suministrada (39,3 kW)	190	Cargo por demanda suministrada (52,2 kW)	463
Carga de demanda máxima leída durante las horas punta	53	Carga de demanda máxima leída durante las horas punta	34
Carga de referencia de alta tensión 3,5%	20	Carga de referencia de alta tensión 3,5%	29
Carga por factor de potencia (0,88)	32	Carga por factor de potencia (0,92)	11
Arriendo de empalme	25	Arriendo de empalme	41
Total cargos fijos [USD/mes]	**390**	**Total cargos fijos**	**705**
Consumo de electricidad (3.690 kWh)	329	Consumo de electricidad (5.790 kWh)	463
Total [USD/mes]	**719**	**Total [USD/mes]**	**1.168**

Además, los últimos 13 meses de consumo trifásico se muestran en la figura 53. Esta figura presenta un valor en el eje Y, si este número se multiplica por 30, se obtiene el kWh consumido en el mes.

Figura 53: Consumo de los últimos 13 meses (kWh)(30) (COPELEC, 2018).

El consumo trifásico desde marzo de 2018 a febrero 2019 fue informado por COPELEC S.A., el cual se muestra en tabla 14 junto al consumo monofásico y el total. Por lo tanto, el cargo de consumo anual total a Agrochequen se muestra en la tabla 55:
Tabla 55: Detalles del consumo eléctrico histórico 2017-2019 (COPELEC, 2018 y 2019).

Mes	Consumo monofásico [kWh/mes]	Consumo trifásico [kWh/mes]	Consumo total [kWh/mes]
may-17	2.890	3.330	6.220
jun-17	2.890	3.330	6.331
jul-17	2.890	1.710	4.657
ago-17	2.890	1.680	4.626
sept-17	2.890	2.130	5.091
oct-17	2.890	1.710	4.657
nov-17	2.890	2.940	5.928
dic-17	2.890	2.940	5.928
ene-18	2.890	3.330	6.331
feb-18	2.890	4.140	7.168
mar-18	2.890	3.330	6.331
abr-18	2.890	3.330	6.331
Total [kWh/año] 2017-2018	**34.680**	**33.900**	**68.580**
may-18	4.266	3.690	7.956
jun-18	4.266	2.790	7.056
jul-18	4.266	2.520	6.786
ago-18	4.266	3.390	7.656
sept-18	4.266	2.730	6.996
oct-18	4.266	3.180	7.446
nov-18	4.266	4.020	8.286
dic-18	4.266	4.950	9.216
ene-19	4.266	6.330	10.596
feb-19	4.266	5.790	10.056
mar-19	4.266	4.800	9.066
abr-19	4.266	5.730	9.996
Total [kWh/año] 2018-2019	**51.192**	**49.920**	**101.112**

Anexo B: Detalle estimación consumo eléctrico galpones Zucami.

Tabla 56: Detalle consumo eléctrico galpón Zucami.

Equipo	Potencia [kW]	Cantidad por galpón	Tiempo de uso [h/semana]	kWh/año
Motor cinta huevos	0,9	1	33	1.544
Motor elevador	1,3	1	33	2.231
Motor ventilador	0,1	6	7	218
Motor alimento	0,66	3	7	721
Motor cinta guano	1,32	4	3	824
Ampolletas	0,04	36	29,5*	2.208
			Total [kWh/año]	**7.746**

* Por año se consideran 52 semanas.

Detalle estimación de horas (detalle de horas estimado por operario):
a. Motor cinta huevos y motor elevador:
Miércoles a sábado uso de 9 hrs. a 12:30 y de 13:30 a 14:30. (4,5 horas al día, 18 horas 4 días).
Lunes y martes uso de 8:30 hrs. a 12:30 y de 13:30 a 17 hrs. (7,5 horas al día, 15 horas 2 días.)
Total: 33 horas por semana.
b. Motor ventilador y motor alimento:
Uso todos los días de la semana: Realiza 12 vueltas de 5 minutos cada una por día (1 hora por día, total 7 horas a la semana).
c. Motor cinta guano:
Trabaja lunes, miércoles y viernes, 1 hora por día, total 3 horas por semana.
d. Ampolletas:
3 corridas de 12 ampolletas cada una de 40 Watts de potencia cada ampolleta.
El uso depende de las horas de luz solar que se tenga por día:

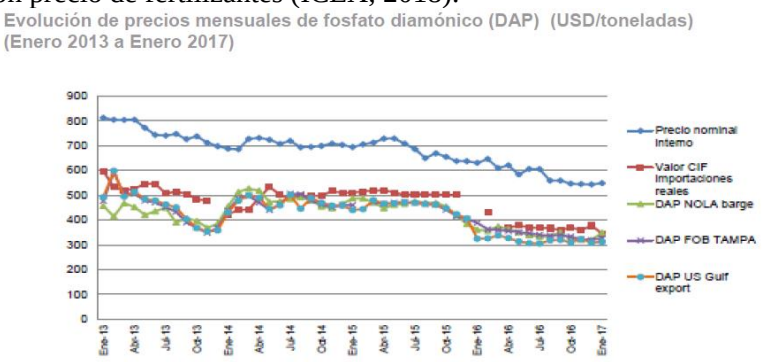
Tabla 57: Estimación horas de uso ampolletas.

Mes	Horas luz solar por día	Semanas por mes	Horas uso Ampolleta por mes
ENE	15	5	35
FEB	13	4	84
MAR	12	5	140
ABR	11	4	140
MAY	10	5	210
JUN	9	4	196
JUL	9	5	245
AGO	11	5	175
SEP	12	4	112
OCT	13	5	105
NOV	14	4	56
DIC	15	5	35
		Horas por semana uso ampolletas	**29,5**

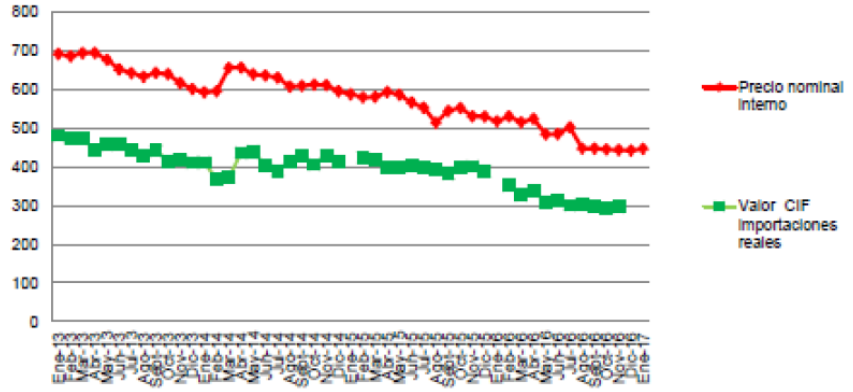
$$Horas\ uso_{ampolleta} = Semanas\ por\ mes \cdot \left(16\ \frac{horas}{día} - Horas\ luz\ solar\ día\right) \cdot 7\ días$$

Se consideran 16 horas de luz por día que deben recibir las aves.

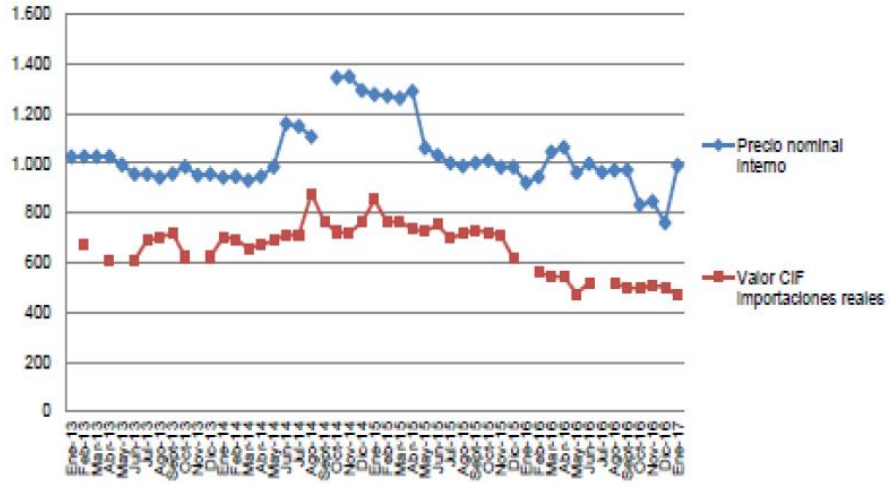
Anexo C: Evolución precio de fertilizantes (ICEX, 2018).



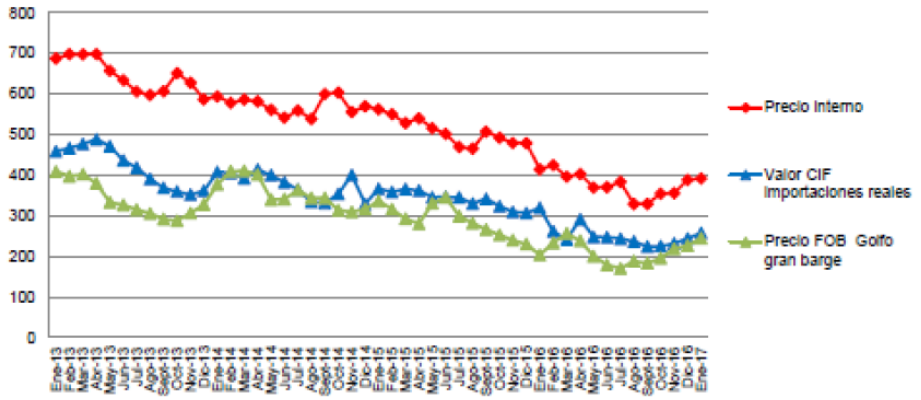
Evolución de precio promedio mensual de superfosfato triple (SFT)
(Enero de 2013 a enero de 2017)



Evolución de precio promedio mensual de superfosfato de potasio (USD/ ton)
(Enero de 2013 a enero de 2017)



Evolución de precio promedio mensuales de urea (USD/ ton)
(Enero de 2013 a enero de 2017)



Anexo D: Estudio de potencial de biometano. Extracción del paper no incluye introducción.

Co-digestión de guano de ave de postura y rastrojos de avena y trigo

Resumen

La generación de guano de ave de postura (GAP) trae consigo un impacto ambiental asociado, para solucionar esto existe la oportunidad de tratar este residuo en co-digestión anaerobia. Ésta trae un aumento en el rendimiento de biogás respecto a la digestión anaerobia. Esta investigación tiene como objetivo estudiar la co-digestión anaerobia con guano de ave de postura y rastrojos de avena y trigo, a través de un ensayo potencial de biometano (BMP). Se encontró que la co-digestión con ratio C/N de 25, durante 20 días a 30°C, arrojó un rendimiento de biogás de 330 mL/g SV y una producción estable de metano rondando el 60% en su composición respecto al biogás. También se obtuvo que la co-digestión obtiene mayores rendimientos de metano por día que la digestión anaerobia del GAP y rastrojos por separado. Se concluye con esto que es factible realizar co-digestión anaerobia con GAP y rastrojos para la obtención de biogás, a través de un ensayo BMP. La co-digestión con GAP y rastrojos incrementa el rendimiento de biogás y por tanto se recomienda este método.

Materiales y método

Co-digestión anaerobia

Se relizó la codigestión anaerobia, a través del ensayo de Potencial de Biometano (BMP) durante 20 días a 30°C, en botellas de 120 mL, dejando 60 mL como espacio de cabeza. Se prepararon 17 botellas con mezcla para co-digestión, 2 controles, uno de GAP y otro de rastrojos de avena y trigo en relación 2,9:1 respectivamente, y un blanco con el inóculo. Los valores que se calcularon para cada una de las botellas se muestran en la tabla 58:

Tabla 58: Mezcla de sustratos para ensayo BMP.

Componente	Co-digestión	Rastrojo	GAP	Inóculo
Rastrojo [g]	0,30	0,75	-	-
GAP [g]	1,75	-	2,92	-
Inóculo [g]	16,54	16,54	16,54	16,54
Agua [mL]	39,00	40,00	38,00	41,00

En total se prepararon 26 botellas. La figura 54 muestra la estrategia de diseño:

Figura 54: Esquema estrategia de diseño.

Para los rastrojos se mezcló rastrojos de avena y trigo en relación 2,9:1. Se prepararon 17 botellas de co-digestión para poder medir amonio cada 3 días en duplicado, destruyendo la muestra. La condición anaerobia se logró inyectando nitrógeno gaseoso mientras se extraía el aire de la botella.

Materia prima

Se adquirieron las siguientes materias primas:

1. Guano de ave de postura de avícola ubicada en la región metropolitana.

Figura 55: Guano de ave de postura (Fuente propia).

2. Rastrojos de avena y trigo de fundo Agrochequen.

Figura 56: a. Rastrojo de avena, b. Rastrojo de trigo (Fuente propia).

3. Inóculo de aguas residuales de Ecoriles, planta de tratamiento de aguas CCU.

Caracterización

Se realizó la caracterización de las materias primas, los resultados se observan en la tabla 59:

Tabla 59: Caracterización de materias primas.

Materia prima	ST [g/kg]	SV [g/kg]	NTK [mgN/g]	C [%]
GAP	338	208	16,7	36*
Rastrojo	862	812	5,3*	46*
Inóculo	94	73	-	-

*Obtenido de bibliografía (FAO,2011).

El análisis de los sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y cantidad de amonio en las muestras, fueron realizados de acuerdo con APHA Standard Methods (APHA, 1999). La presión en las botellas fue medida con un transductor de presión

(Marca IFM Electronic, modelo PN5027). La composición de los gases se midió con un cromatógrafo de gases (Marca Agilent Technologies, modelo 7890B).

La cantidad de sustrato agregado por botella (tabla X) fue calculada teniendo en cuenta las siguientes condiciones: 1. Ratio inóculo/sustrato (I/S) igual a 2 (SV), 2. %ST igual a 4%, 3. Volumen de reacción 60 mL y Ratio C/N igual a 25 para la co-digestión. Para obtener la cantidad de agua a agregar se utilizó la ecuación (1) (FAO, 2011):

$$\%ST_M = \frac{W_{GAP} \cdot \%ST_{GAP} + W_I \cdot \%ST_I + W_R \cdot \%ST_R}{W_{GAP} + W_I + W_R + W_{Agua}} \quad (1)$$

Donde W_i es la masa fresca en kilogramos del sustrato i, M corresponde a la mezcla, I al inóculo y R al rastrojo.

Para el cálculo del ratio 25 C/N se utilizó la ecuación (2) (Wang, 2014):

$$C/N = \frac{W_{GAP} \cdot C_{GAP} + W_R \cdot C_R}{W_{GAP} \cdot N_{GAP} + W_I + W_R \cdot N_R} \quad (2)$$

Donde C_i es el porcentaje de carbono presente en el compuesto i, N_i es el porcentaje de nitrógeno presente en el compuesto i.

Se comparó la producción diaria de metano obtenida en la co-digestión con la co-digestión ponderada (CP). Esta última se obtiene con la ecuación (3):

$$CP\left[\frac{mL_{CH_4}}{d}\right] = \sum_{i=1}^{2} masa_i \cdot SV_i \cdot Rendimiento_{d,CH_4,i} \quad (3)$$

Donde 1 es Rastrojo y 2 es GAP.

Resultados

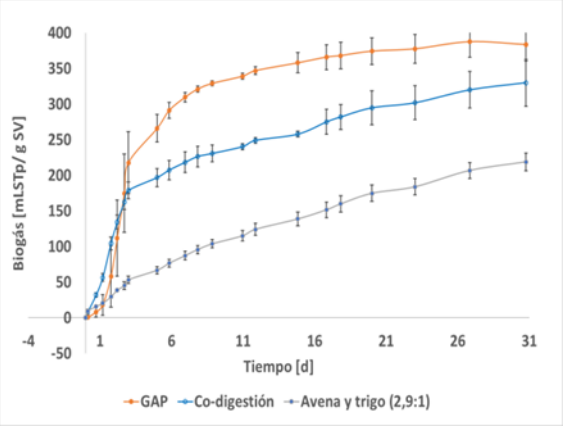


Figura 57: Resultados del ensayo BMP.

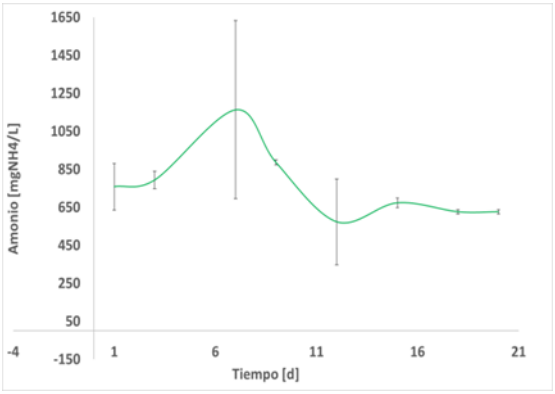


Figura 58: Concentración de amonio en muestra de co-digestión.

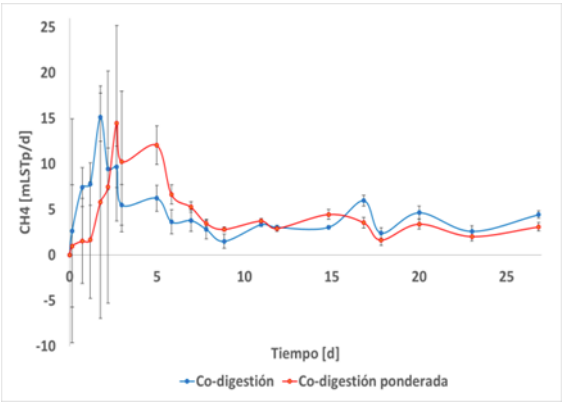


Figura 59: Co-digestión versus co-digestión ponderada.

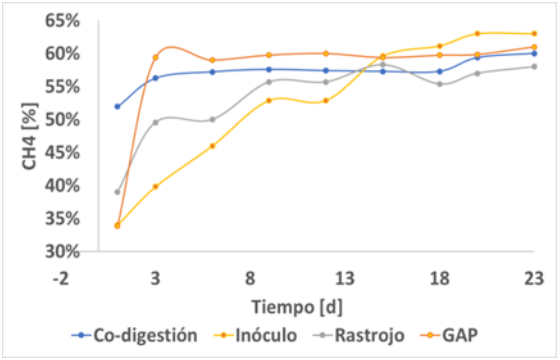


Figura 60: Composición de biogás para la co-digestión, los 2 controles y el blanco.

Análisis de resultados

De la figura 57 se tiene:

1. Para el GAP se obtuvo $333\,mL_{Biogás}/gSV$, más del doble de lo reportado por bibliografía (Esposito et al., 2012).
2. Para la co-digestión se obtuvo $330\,mL_{Biogás}/gSV$, mayor que bibliografía (Wang, 2014).
3. Para el rastrojo se obtuvo $218\,mL_{Biogás}/gSV$, menor que bibliografía (Lehtomaki, 2006).
4. El GAP obtuvo un alto rendimiento de biogás y mayor que la co-digestión. Esto puede deberse a las buenas condiciones del guano y/o a malas características de los rastrojos.

5. El Rastrojo obtuvo el menor rendimiento de todos, esto puede deberse a la dificultad de digerir compuestos lignocelulósicos por parte de los microorganismos.

De la figura 58 se obtiene que la co-digestión no generó concentraciones inhibitorias de amonio (concentración inhibitoria: $4.000\ mgNH_4/L$ (Bayrakdar, 2018)), esto se debe a las condiciones no inhibitorias que entrega la dilución en agua, propias del ensayo BMP.

De la figura 59 se obtiene que la co-digestión generó cantidades similares a la Co-digestión ponderada de metano por día. Esto indica que la cantidad de GAP agregada mezclado con la masa de rastrojos agregada, producen mayor volumen de metano por día que cada uno de los sustratos por separado. Porque, si bien en la figura 57 se obtuvo mayor rendimiento de biogás con GAP, esta mezcla tenía mayor cantidad de GAP que la mezcla de co-digestión (ver tabla 57).

De la figura 60 se obtiene la composición de metano obtenida para la co-digestión, la cual inició con 52% el día 1 y terminó con 59% el día 20. El control de GAP comenzó con 34% de metano y finiquitó con 60% el último día. El control de rastrojo arrojó un 39% de metano el día 1 y un 57% el 20vo día. Por último, el blanco inició con 34% de composición de metano y acabó con un 63%.

Del párrafo anterior se extrae que la co-digestión generó una producción más estable de metano que los controles y el blanco durante los 20 días de experimentación. También se nota que todas las muestras terminaron con un porcentaje de metano cercano al 60%. Este último porcentaje está dentro del rango teórico (FAO, 2011).

De lo anterior se puede establecer que la co- digestión en las condiciones estudiadas es recomendable a nivel industrial por tener una producción estable de metano durante el tiempo.

Conclusiones

De acuerdo con la experimentación realizada se determina que es factible realizar co-digestión anaerobia con GAP y rastrojos para la obtención de biogás, a través de un ensayo BMP. La co-digestión con GAP y rastrojos incrementa el rendimiento de biogás a composiciones estables de metano durante el tiempo, por tanto, se recomienda este método.

Anexo E: Puesta en marcha, operación y mantención digestor anaerobio. Contenido extraído del Manual del Biogás escrito por la FAO (FAO, 2011).

Puesta en marcha

En el caso de un proceso de carga continua, realizada en un solo depósito de digestión, correspondería a una fermentación de una sola etapa. La producción del biogás comienza después de cierto periodo (Tiempo de Retención Hidráulica) a partir de una carga inicial, en función del tipo de las materias primas y de la temperatura interna de funcionamiento del biodigestor. Las diferentes etapas para una correcta operación del biodigestor se pueden agrupar en:

a) Retiro del agua utilizada para la prueba de filtraciones

Una vez finalizada la prueba con agua para comprobar que existen filtraciones en el biodigestor,

se debe retirar parte del agua (Figura 61), dejando sólo 1/3 de la altura del digestor. Esta agua que se deja tiene por finalidad contribuir a diluir las materias orgánicas seleccionadas, con que se cargará el digestor en la fase de carga inicial.

b) Preparación de la Carga Inicial o primera carga.

Este proceso se caracteriza por el llenado completo del digestor, a través de la parte superior del digestor que es removible, es decir, sin el depósito de almacenamiento de biogás. En tambores limpios de cualquier producto químico o combustible, se prepara una mezcla, en partes iguales de residuos animales y/o humanos con residuos vegetales, como pajas, tallos, previamente trozados. Es necesario incorporar esta carga de materias orgánicas diluida con agua. La proporción final de sólidos totales debe estar cercana al 10% (Figura 62). El GAP y el rastrojo se añaden con el inóculo en una proporción de 1: 2 en gramos de sólidos volátiles (SV).

c) Término de la primera carga.

Antes de colocar la campana de gas, se debe remover la costra (material fluctuante) que suele formarse en la superficie (Figura 61).

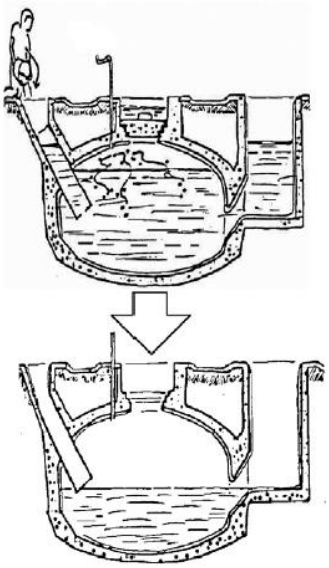


Figura 61: Prueba de filtración y preparación de nivel de agua (FAO, 2011).

Figura 62: Preparación de carga (FAO, 2011).

Dejar abierta conexión a salida de gas, durante 5 a 7 días, con el objeto de eliminar todo el oxígeno que pueda existir como producto de las primeras fases del proceso de descomposición

de las materias orgánicas. Posteriormente cerrar y dejar que se eleve la presión interna y soltar el gas. Repetir esta operación hasta completar 10 – 15 días, con lo cual se elimina todo el oxígeno remanente, junto con el anhídrido carbónico (CO_2) que se genera en las primeras fases del proceso de fermentación (Figura 64), previas a la etapa de formación de metano (CH_4).

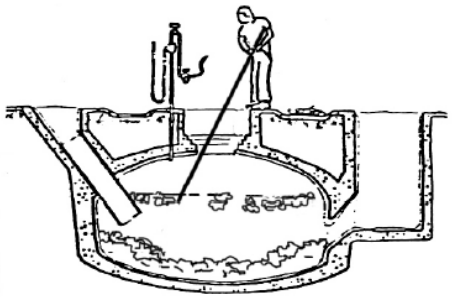


Figura 63: Destruyendo costrones de la carga (FAO, 2011).

Figura 64: Eliminación de oxígeno y otros gases (FAO, 2011).

d) Pruebas Inicio producción de biogás.

Transcurridos 15 días de la carga inicial o de arranque, se debe comenzar a verificar el inicio de producción de biogás (CO_2 y CH_4 en proporción similar), mediante la verificación de "quema de biogás". Se acopla una manguera a la salida de gas y utilizando un quemador o mechero, se prueba si el gas se enciende. Si el gas quema con una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar el uso normal del biogás (Figura 65).

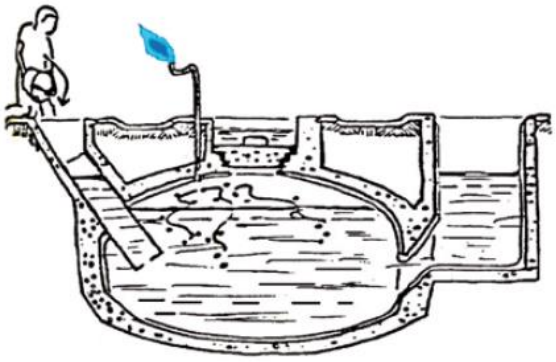


Figura 65: Quema o prueba de biogás, color de llama (FAO, 2011).

En caso contrario, si no enciende o quema mal, se debe eliminar todo el gas y repetir la prueba cada vez que se alcance una presión interna adecuada. Si después de 30 días (o 45 días, de acuerdo con la temperatura interna del digestor) de completada la carga de arranque, el gas que se genera, no se quema, podría existir algún problema en la fermentación. Se debe verificar que

no exista una acidificación excesiva de la carga (inferior a pH 6) o variaciones bruscas de la temperatura interna del digestor, materiales contaminados con productos químicos que pudieran alterar la actividad microbiana.

Etapa de operación

Carga diaria normal.

Con el tubo de entrada tapado de la caja de carga, se prepara una mezcla de residuos (animales) con agua formando un lodo, el cual, debe contener como máximo entre 8 a 12% de sólidos totales. El volumen total de esta mezcla está en función del volumen total del digestor y del Tiempo de Retención Hidráulico. Se coloca un plástico transparente encima de la caja de carga y deja reposar esta mezcla hasta el día siguiente; donde se espera la hora de mayor temperatura atmosférica, se retira el material fluctuante, se homogeniza la mezcla y se deja entrar al digestor (Figura 66). El volumen (afluente) que entra, conlleva a que salga por el tubo de la caja de descarga igual volumen (efluente).

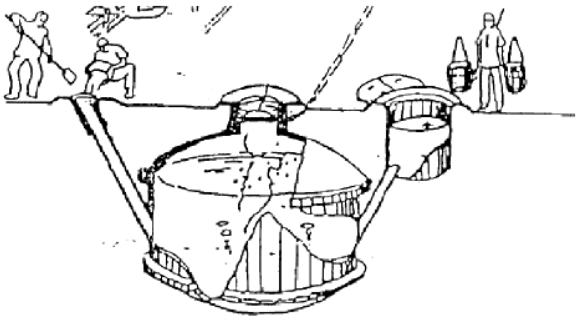


Figura 66: Esquema de carga diaria (FAO, 2011).

Mantención

Periódicamente se debe inspeccionar y verificar si existen filtraciones de agua o aire en los digestores de biogás, para proceder a su reparación. En los digestores de carga continua, por lo menos una vez al año, se debe vaciar completamente el digestor, retirando el lodo del fondo. Esto permite realizar lo siguiente:

1. Tratamiento de roturas: cincelar las roturas en forma de V, raspar la superficie circundante; posteriormente llenar ese agujero en forma de V con cemento (1:1), compactar y aplicar dos o tres veces un enlucido hecho de una pasta de cemento puro.

2. Cuando no se encuentran filtraciones, se debe lavar la cámara de fermentación y aplicar dos o tres capas de enlucido con una pasta pura de cemento.

3. Si el enlucido está deteriorado o está deformado, es necesario sacarlo y lavar las paredes; entonces volver a enlucir, aplicando una tras otra, distintas capas de enlucido muy fino con una cuidadosa compactación.

4. Cuando el agua freática penetra al biodigestor, es preciso aplicar una pasta salada con agua; se tapa el hoyo y se aprieta aplicando cemento con una cubierta de cenizas durante 20 minutos

y entonces se remueve la cubierta. El cemento del enlucido con material salado se vuelve a aplicar, se vuelve a apretar con la envoltura y se repite este proceso tres veces.

5. Cuando se produce una combinación de filtraciones en caños (tubos de entrada y salida) y cúpula, se cincela alrededor de la filtración y se saca el caño; entonces se vuelve a colocar cemento u hormigón de gravilla, haciendo fraguar localmente para que se fije el caño.

6. Si el fondo se hunde o la pared se separa, se agrandará la resquebrajadura y se profundizará al máximo, rellenándose con una mezcla de hormigón con grava fina.

7. Se debe revisar frecuentemente las junturas de la manguera para asegurar que no se filtre ni el agua ni el aire.

8. Después del trabajo diario, se debe lavar el depósito donde se preparan las mezclas de materia primas con agua limpia.

9. Si el depósito de descarga permanece sin uso por un período largo, se debe exponer al ambiente para evitar su corrosión interna.

Anexo F: Método estimación CAPEX (Pitter & Timmerhaus, 1991)

Concepto	Tanto por ciento valor del equipo		
	Planta de sólidos	Planta de sólidos/fluidos	Planta de fluidos
COSTES DIRECTOS			
Valor del equipo DEL	100	100	100
Instalación del equipo	45	39	47
Instrumentación(instalada)	9	13	18
Tubería(instalada)	16	31	66
Electricidad(instalada)	10	10	11
Edificios(incluidos servicios)	25	29	18
Mejoras en el terreno	13	10	10
Servicios instalados	40	55	70
Terreno (si se requiere su compra)	6	6	6
TOTAL Costes Directos	264	293	346
COSTES INDIRECTOS			
Ingeniería y Supervisión	33	32	33
Gastos de Construcción	39	34	41
TOTAL gastos DIRECTOS E INDIRECTOS	336	359	420
Tasas del contratista (sobre un 5% de los costes directo e indirectos)	17	18	21
Contingencia (alrededor de un 10% de los coste directos e indirectos)	34	36	42
CAPITAL FIJO	387	413	483
CAPITAL CIRCULANTE alrededor de un 15% del capital total	68	74	86
CAPITAL TOTAL	455	487	569

20

Anexo G: Estimación tasa de descuento.

Nivel de Riesgo	Prima por riesgo	Ejemplos
Alto	Sobre 20%	Desarrollo de nuevos productos
		Proyectos que usan conceptos muy novedosos
		Contratos internacionales
Medio	Entre 10% y 20%	Proyectos algo fuera del giro de la empresa
		Procesos nuevos que no han sido completamente investigados
Promedio	entre 5% y 10%	Incremento de la capacidad de producción
		Implementación de una nueva tecnología conocidad
		Proyectos con información de mercado incompleta
Bajo	entre 1% y 5%	Majoramiento de la productividad
		Expansiones en un mercado en donde se es lider y se tiene un buen conocimiento del mismo
Muy Bajo	entre 0% y 1%	Reducción de costos
		Proyectos relativos de seguridad

Anexo H: Flujos de caja financiero

USD	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		**141.071**	**141.071**	**141.071**	**141.071**	**141.071**	**225.159**	**225.159**	**225.159**	**225.159**	**225.159**
		141.071	141.071	141.071	141.071	141.071	225.159	225.159	225.159	225.159	225.159
Costos		**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**	**-101.510**
Costos Antecedentes		-81.021	-81.021	-81.021	-81.021	-81.021	-96.489	-96.489	-96.489	-96.489	-96.489
Depreciación financiera		-20.489	-20.489	-20.489	-20.489	-20.489	-20.489	-20.489	-20.489	-20.489	-20.489
Resultado Operacional		**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**	**39.561**
Impuesto a la Renta		-10.682	-10.682	-10.682	-10.682	-10.682	-10.682	-10.682	-10.682	-10.682	-10.682
Utilidad del Ejercicio		**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**	**28.880**
+ Depreciación Financiera		20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489	20.489
+ Beneficio Tributario		12.908	12.908	12.908	-5.532	-5.532	-5.532	-5.532	-5.532	-5.532	-5.532
- Inversión Proyecto	-204.891										
	-204.891	62.277	62.277	62.277	43.837	43.837	43.837	43.837	43.837	43.837	43.837
+ Flujo Perpetuo											288.798
Flujo de caja libre	**-204.891**	**62.277**	**62.277**	**62.277**	**43.837**	**43.837**	**43.837**	**43.837**	**43.837**	**43.837**	**332.634**

Figura 67: Flujo de caja puro para caso 1.

USD	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		**96.657**	**100.328**	**172.196**	**172.196**	**184.215**	**184.215**	**200.282**	**200.282**	**200.282**	**200.282**
		96.657	100.328	172.196	172.196	184.215	184.215	200.282	200.282	200.282	200.282
Costos		**-182.873**	**-182.873**	**-211.783**	**-211.783**	**-216.416**	**-216.416**	**-216.416**	**-216.416**	**-216.416**	**-216.416**
Costos Antecedentes		-130.348	-130.348	-159.258	-159.258	-163.891	-163.891	-163.891	-163.891	-163.891	-163.891
Depreciación financiera		-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525
Resultado Operacional		**-86.216**	**-82.545**	**-39.587**	**-39.587**	**-32.202**	**-32.202**	**-16.134**	**-16.134**	**-16.134**	**-16.134**
Impuesto a la Renta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad del Ejercicio		**-86.216**	**-82.545**	**-39.587**	**-39.587**	**-32.202**	**-32.202**	**-16.134**	**-16.134**	**-16.134**	**-16.134**
+ Depreciación Financiera		52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525
+ Beneficio Tributario		56.369	55.378	43.779	-3.493	-5.487	-5.487	-9.826	-9.826	-9.826	-9.826
- Inversión Proyecto	-525.251										
	-525.251	22.678	25.358	56.717	9.445	14.836	14.836	26.565	26.565	26.565	26.565
+ Flujo Perpetuo											
Flujo de caja libre	**-525.251**	**22.678**	**25.358**	**56.717**	**9.445**	**14.836**	**14.836**	**26.565**	**26.565**	**26.565**	**26.565**

Figura 68: Flujo de caja puro para caso 2.

USD	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		**98.692**	**117.084**	**166.911**	**166.911**	**176.353**	**176.353**	**188.984**	**188.984**	**188.984**	**188.984**
		98.692	117.084	166.911	166.911	176.353	176.353	188.984	188.984	188.984	188.984
Costos		**-167.266**	**-167.266**	**-193.084**	**-193.084**	**-197.718**	**-197.718**	**-197.718**	**-197.718**	**-197.718**	**-197.718**
Costos Antecedentes		-114.741	-114.741	-140.559	-140.559	-145.193	-145.193	-145.193	-145.193	-145.193	-145.193
Depreciación financiera		-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525	-52.525
Resultado Operacional		**-68.574**	**-50.182**	**-26.173**	**-26.173**	**-21.364**	**-21.364**	**-8.734**	**-8.734**	**-8.734**	**-8.734**
Impuesto a la Renta		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad del Ejercicio		**-68.574**	**-50.182**	**-26.173**	**-26.173**	**-21.364**	**-21.364**	**-8.734**	**-8.734**	**-8.734**	**-8.734**
+ Depreciación Financiera		52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525	52.525
+ Beneficio Tributario		51.606	46.640	40.158	-7.115	-8.413	-8.413	-11.824	-11.824	-11.824	-11.824
- Inversión Proyecto	-525.251										
	-525.251	35.557	48.983	66.509	19.237	22.747	22.747	31.967	31.967	31.967	31.967
+ Flujo Perpetuo											
Flujo de caja libre	**-525.251**	**35.557**	**48.983**	**66.509**	**19.237**	**22.747**	**22.747**	**31.967**	**31.967**	**31.967**	**31.967**

Figura 69: Flujo de caja puro para caso 3.

USD	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		**141.071**	**141.071**	**155.253**	**155.253**	**129.470**	**129.470**	**141.400**	**141.400**	**141.400**	**141.400**
		141.071	141.071	155.253	155.253	129.470	129.470	141.400	141.400	141.400	141.400
Costos		**-101.510**	**-101.510**	**-211.783**	**-211.783**	**-203.265**	**-203.265**	**-203.265**	**-203.265**	**-203.265**	**-203.265**
Costos Antecedentes		-81.021	-81.021	-159.258	-159.258	-145.193	-145.193	-145.193	-145.193	-145.193	-145.193
Depreciación financiera		-20.489	-20.489	-52.525	-52.525	-58.072	-58.072	-58.072	-58.072	-58.072	-58.072
Resultado Operacional		**39.561**	**39.561**	**-56.529**	**-56.529**	**-73.795**	**-73.795**	**-61.865**	**-61.865**	**-61.865**	**-61.865**
Impuesto a la Renta		-10.682	-10.682	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad del Ejercicio		**28.880**	**28.880**	**-56.529**	**-56.529**	**-73.795**	**-73.795**	**-61.865**	**-61.865**	**-61.865**	**-61.865**
+ Depreciación Financiera		20.489	20.489	52.525	52.525	58.072	58.072	58.072	58.072	58.072	58.072
+ Beneficio Tributario		12.908	12.908	48.354	29.914	38.070	9.238	6.017	1.024	1.024	1.024
- Inversión Proyecto	-204.891			-320.360		-55.472					
	-204.891	**62.277**	**62.277**	**-276.010**	**25.909**	**-33.125**	**-6.485**	**2.224**	**-2.769**	**-2.769**	**-2.769**
+ Flujo Perpetuo											
Flujo de caja libre	**-204.891**	**62.277**	**62.277**	**-276.010**	**25.909**	**-33.125**	**-6.485**	**2.224**	**-2.769**	**-2.769**	**-2.769**

Figura 70: Flujo de caja puro caso 4.

US$ / año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS		$ 141.071	$ 141.071	$ 141.071	$ 141.071	$ 141.071	$ 225.159	$ 225.159	$ 225.159	$ 225.159	$ 225.159
OPEX		$ -81.021	$ -81.021	$ -81.021	$ -81.021	$ -81.021	$ -96.489	$ -96.489	$ -96.489	$ -96.489	$ -96.489
MARGEN		$ 60.050	$ 60.050	$ 60.050	$ 60.050	$ 60.050	$ 128.670	$ 128.670	$ 128.670	$ 128.670	$ 128.670
DEPRECIACIÓN		$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489	$ -20.489
PÉRDIDA DEL EJERCICIO ANTERIOR		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
INTERÉS		$ -10.245	$ -9.602	$ -8.895	$ -8.117	$ -7.261	$ -6.320	$ -5.285	$ -4.146	$ -2.894	$ -1.516
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		$ 29.316	$ 29.959	$ 30.666	$ 31.444	$ 32.300	$ 101.861	$ 102.896	$ 104.035	$ 105.287	$ 106.665
IMPUESTO (27%)		$ 7.915	$ 8.089	$ 8.280	$ 8.490	$ 8.721	$ 27.502	$ 27.782	$ 28.089	$ 28.428	$ 28.800
UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS		$ 37.232	$ 38.048	$ 38.946	$ 39.934	$ 41.021	$ 129.363	$ 130.678	$ 132.124	$ 133.715	$ 135.465
PÉRDIDA DEL EJERCICIO ANTERIOR		$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
PRÉSTAMO	102.446										
CAPITAL											
DEPRECIACIÓN		$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489	$ 20.489
AMORTIZACIÓN		$ -6.428	$ -7.071	$ -7.778	$ -8.556	$ -9.411	$ -10.352	$ -11.388	$ -12.526	$ -13.779	$ -15.157
INVERSIÓN	- 204.891										
FLUJO NETO	- 102.446	$ 51.293	$ 51.466	$ 51.657	$ 51.867	$ 52.098	$ 139.500	$ 139.779	$ 140.087	$ 140.425	$ 140.797

Figura 71: Flujo de caja financiado para caso 1 (50% de préstamo).