



Análisis económico-financiero del esquema de biorrefinería a partir de biomasa de los principales desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi

Pico Martínez, Héctor Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Petroquímico

MSc. Luna Ortiz, Eduardo David

13 de abril del 2021



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de Unidad de Integración Curricular, “**Análisis económico-financiero del esquema de biorrefinería a partir de biomasa de los principales desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi**” fue realizado por el señor **Pico Martínez, Héctor Alexander** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 13 de abril de 2021.



Firmado electrónicamente por:

**EDUARDO
DAVID LUNA**

.....

MSc. Luna Ortíz, Eduardo David

C.C. 1802724912

Document Information

Analyzed document	Pico_Alexander_AnálisisEconómicoFinal _1 (2).pdf (D101551113)
Submitted	4/14/2021 6:33:00 AM
Submitted by	Luna Ortiz Eduardo David
Submitter email	edluna@espe.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	edluna.espe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / MANOBANDA_GEANINE_BIOCOMBUSTIBLES.pdf Document MANOBANDA_GEANINE_BIOCOMBUSTIBLES.pdf (D101550632) Submitted by: edluna@espe.edu.ec Receiver: edluna.espe@analysis.urkund.com	  4
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / MOLINA_JANINE_PRODUCTOS QUÍMICOS.pdf Document MOLINA_JANINE_PRODUCTOS QUÍMICOS.pdf (D101550716) Submitted by: edluna@espe.edu.ec Receiver: edluna.espe@analysis.urkund.com	  7
SA	LMOE_Relacion de la Economia Cirdular_Cero Desechos y Biorrefinerias.pdf Document LMOE_Relacion de la Economia Cirdular_Cero Desechos y Biorrefinerias.pdf (D48969082)	  1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Collantes_Jeslyn_Pretratamiento (1).pdf Document Collantes_Jeslyn_Pretratamiento (1).pdf (D101550677) Submitted by: edluna@espe.edu.ec Receiver: edluna.espe@analysis.urkund.com	  1
SA	TESIS URKUNG_BAILÓN Y JIMÉNEZ.docx Document TESIS URKUNG_BAILÓN Y JIMÉNEZ.docx (D97744640)	  1



Firmado electrónicamente por:

**EDUARDO
DAVID LUNA**



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Pico Martínez, Héctor Alexander**, con cédula de ciudadanía n° 1805129937 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **Análisis económico-financiero del esquema de biorrefinería a partir de biomasa de los principales desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 13 de abril de 2021.

.....

Pico Martínez, Héctor Alexander

C.C.: 1805129937



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Pico Martínez, Héctor Alexander**, con cédula de ciudadanía n° 1805129937, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **Análisis económico-financiero del esquema de biorrefinería a partir de biomasa de los principales desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 13 de abril de 2021

.....

Pico Martínez, Héctor Alexander

C.C.: 1805129937

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a Dios y a la Virgen Santísima por bendecirme y permitirme llegar tan lejos en la vida.

A mis padres, Bolívar y Lorena, que han confiado en mí desde el primer día y han sido mi más grande apoyo desde el inicio y hasta el fin de este largo camino.

A mi adorada familia, mi gran amor Carolina y mi pequeño hijo Kenneth Alexander, que son el motor de mi vida, mi luz y mi inspiración, quienes me impulsan para ser mejor persona cada día.

A mi hermano, Anthony, amigo y compañero que me ha acompañado y ayudado durante toda la vida.

A mis abuelos Salomón, María Angélica, Julio y Delia quienes desde este mundo y desde el cielo me apoyan y reconfortan con mucho cariño.

A mis suegros Raúl y Aurora, y a toda su familia que me han recibido y apoyado con los brazos abiertos.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo económico y emocional, que siempre ha sido incondicional a pesar de cualquier situación y a lo largo de los años.

A Carolina por ser la persona incondicional que ha estado a mi lado desde el día que nos conocimos, me ha dado palabras de aliento cuando pensaba en rendirme, ha estado a mi lado a pesar del ser humano tan complicado que soy y me ha complementado en este camino que lo hemos forjado y seguiremos forjando juntos.

A mi hermano Anthony, quien ha sido mi compañero de mil batallas desde que tengo uso de razón y memoria. Además, que me ha apoyado y alentado durante mi vida universitaria.

A cada uno de los profesores que han dejado por lo menos un pequeño grano de su conocimiento en mí, en especial al doctor Roman Rodríguez, al doctor Pablo Tuza, al ingeniero Guido Torres, a la ingeniera Caterine Donoso y a la ingeniera Isabel Pazmiño quienes han sido excelentes docentes y me han otorgado grandes conocimientos.

Al ingeniero David Luna, por sus enseñanzas, su conocimiento, sus palabras de aliento, su guía durante este trabajo de titulación y durante mi vida universitaria le quedo infinitamente agradecido.

A cada uno de los compañeros que con el tiempo se han convertido en amigos, con los que compartí tantas clases en los salones de Petroquímica les quedo gratamente agradecido por las experiencias vividas y los conocimientos adquiridos.

Tabla de Contenidos

Caratula	1
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Tabla de Contenidos	8
Resumen	14
Abstract	15
Generalidades	16
Antecedentes	16
Planteamiento del problema	18
Justificación e importancia	20
Objetivos	21
<i>Objetivo general</i>	21
<i>Objetivos específicos</i>	21
Hipótesis	21
Variables dependientes e independientes	22
<i>Variables dependientes</i>	22
<i>Variables independientes</i>	22
Biomasa	23
Lignocelulosa	23
<i>Celulosa</i>	24

<i>Hemicelulosa</i>	24
<i>Lignina</i>	25
Bioeconomía	25
<i>Elementos de la bioeconomía</i>	26
Recursos biológicos.....	26
Procesos y principios biológicos.	26
<i>Biomimetismo</i>	26
Nuevos conocimientos y nuevas tecnologías.	26
<i>Biotecnología</i>	26
<i>Biorrefinería</i>	27
Análisis financiero	27
indicadores financieros	28
<i>Retorno sobre el patrimonio (roe)</i>	28
<i>Valor actual neto (van) o valor presente neto (vpn)</i>	29
<i>Tasa interna de retorno</i>	29
Metodología	31
Diseño de la investigación	31
Tipo de investigación.	31
Investigación documental.....	31
Investigación descriptiva	31
Método de investigación	32

<i>Método descriptivo</i>	32
Cálculo de indicadores financieros	32
<i>Cálculo del valor presente neto o valor actual neto</i>	32
<i>Cálculo de la tasa interna de rendimiento</i>	32
<i>Cálculo del retorno sobre el patrimonio</i>	33
Resultados y discusión	34
Costos para la implementación de la biorrefinería	34
<i>Infraestructura</i>	34
<i>Materia prima (biomasa)</i>	34
<i>Pretratamiento</i>	35
<i>Obtención de biocombustibles</i>	35
Producción de bioetanol	36
Producción de biodimetiléter	39
Producción de biohidrógeno.....	41
<i>Obtención de productos químicos de alto valor agregado</i>	43
Producción de etileno a partir de bioetanol	44
Producción de amoniaco.....	47
<i>Costos totales para la implementación de la biorrefinería</i>	48
Costos operativos anuales de la biorrefinería	49
<i>Infraestructura</i>	49
<i>Administración</i>	50

<i>Materia prima (biomasa)</i>	51
<i>Pretratamiento</i>	51
<i>Obtención de biocombustibles</i>	52
<i>Obtención de productos químicos de alto valor agregado</i>	52
<i>Costos operativos totales anuales de la biorrefinería</i>	53
Costo en el mercado internacional de los productos de la biorrefinería	54
Cálculo del retorno sobre el patrimonio	55
Cálculo del valor presente neto.	55
Cálculo de la tasa interna de retorno	56
Conclusiones y recomendaciones	58
Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Bibliografía	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.	36
<i>ESQUEMA PARA LA GENERACIÓN DE GAS DE SÍNTESIS.</i>	36
Figura 4.2.	37
<i>ESQUEMA PARA LA FERMENTACIÓN DE GAS DE SÍNTESIS.....</i>	37
Figura 4.3.	40
<i>ESQUEMA PARA LA OBTENCIÓN DE DME.....</i>	40
Figura 4.4.	42
<i>ESQUEMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOHIDRÓGENO.</i>	42
Figura 4.5.	45
<i>DIAGRAMA PARA LA OBTENCIÓN DE ETILENO A PARTIR DE BIOETANOL.</i>	45
Figura 4.6.	47
<i>DIAGRAMA PARA LA OBTENCIÓN DE AMONIACO A PARTIR DE BIOMASA</i>	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. <i>Costos de infraestructura.</i>	34
Tabla 4.2. <i>Costos de implementación para pretratamiento.</i>	35
Tabla 4.3. <i>Costos de implementación para la obtención de bioetanol</i>	38
Tabla 4.4. <i>Costos de implementación para la obtención de bdme.</i>	40
Tabla 4.5. <i>Costos de implementación para la obtención de biohidrógeno</i>	42
Tabla 4.6. <i>Costos de implementación para la obtención de etileno</i>	46
Tabla 4.7. <i>Costos de implementación para la obtención de amoniaco</i>	48
Tabla 4.8. <i>Costos totales para la implementación de la biorrefinería.</i>	49
Tabla 4.9. <i>Costos operativos de infraestructura</i>	50
Tabla 4.10. <i>Costos administrativos</i>	50
Tabla 4.11. <i>Costos operativos referentes a la biomasa</i>	51
Tabla 4.12. <i>Costos operativos referentes al pretratamiento</i>	51
Tabla 4.13. <i>Costos operativos referentes a la obtención de biocombustibles</i>	52
Tabla 4.14. <i>Costos operativos referentes a la obtención de etileno y amoniaco.</i>	53
Tabla 4.15. <i>Costos operativos anuales de la biorrefinería.</i>	53
Tabla 4.16. <i>Costos de los productos en el mercado internacional.</i>	54

RESUMEN

En esta investigación se determinó la factibilidad económica - financiera para la implementación de una biorrefinería que procese desechos agroindustriales provenientes de la provincia de Cotopaxi, de los cuales se obtendrán biocombustibles y productos químicos de alto valor agregado, mediante el uso de indicadores financieros que muestren la sostenibilidad de la biorrefinería en sus primeros 5 años de producción. En el país, la economía nacional ha dependido por décadas de los combustibles procedentes de fuentes fósiles, y, además, se han desperdiciado toneladas de desechos agroindustriales. A nivel mundial, las potencias han buscado desarrollar tecnologías que generen biocombustibles que reemplacen a los combustibles tradicionales, en donde, primero utilizaron como materia prima a cultivos alimentarios sin tomar en cuenta la crisis alimentaria mundial existente, por lo que se vieron obligados a buscar tratamientos para fuentes de desechos agroindustriales lignocelulósicos. Lo que esta investigación busca es proponer una biorrefinería económicamente sustentable que opere en la provincia de Cotopaxi y aplique estas tecnologías de conversión de material agroindustrial. Se aplicaron indicadores financieros como el Retorno Sobre el Patrimonio, Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno, los mismos que otorgaron datos para la evaluación de viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

Palabras claves:

- **BIORREFINERÍA**
- **DESECHOS AGROINDUSTRIALES**
- **ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO**
- **BIOECONOMÍA**

ABSTRACT

This research determined the economic and financial feasibility for the implementation of a biorefinery that processes agro-industrial waste from the province of Cotopaxi, from which biofuels and high value-added chemical products will be obtained, using financial indicators that show the sustainability of the biorefinery in its first 5 years of production. The country's economy has depended for decades on fossil fuels, and hundreds of millions of tons of agro-industrial waste have not been used, which has contributed to increased environmental pollution. Globally, the world powers have sought to develop technologies to generate biofuels to replace traditional fuels, where they first used food crops as feedstock without considering the fact of the existing global food crisis, so they were forced to seek treatments for feedstock sources related to lignocellulosic agro-industrial waste. This research seeks to propose an economically sustainable biorefinery that operates in the province of Cotopaxi and applies these technologies for the conversion of agro-industrial material into biofuels and high value-added chemical products. Financial indicators such as Return on Equity (ROE), Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) were applied to the biorefinery model, which provided data for the evaluation of the viability and sustainability of the project.

Keywords

- **BIORREFINEY**
- **AGROINDUSTRIAL DESIRES**
- **ECONOMIC-FINANCIAL ANALYSIS**
- **BIOECONOMY**

CAPÍTULO I

1. Generalidades

1.1. Antecedentes

A partir del incremento del costo de los combustibles convencionales, se ha buscado generar nuevas energías a partir de fuentes más limpias y sobre todo renovables, para sustituir al petróleo y de alguna forma, disminuir sus efectos negativos. A pesar de que actualmente se habla de la producción de biocombustibles, este no es un tema totalmente actual pues, las investigaciones sobre biocombustibles han estado presentes desde hace dos siglos. En el presente siglo, países del primer mundo han insistido en que existe la necesidad de sustituir los hidrocarburos procedentes del petróleo con biocombustibles procedentes de fuentes vegetales y biomasa (Salinas Callejas & Gasca Quezada , 2009).

En este entorno cambiante, están surgiendo muchas oportunidades para la bioenergía, pues existe una aceptación relativamente alta por parte del público en general. Los gobiernos, los productores y parte de los sectores agrícolas han buscado promover la expansión de los biocombustibles en nuestra sociedad en un intento de cambiar la industria basada en los hidrocarburos de origen fósil, la cual ha sido la base principal de la síntesis de combustibles durante los últimos 50 años por una industria y una sociedad de base biológica que puedan garantizar un suministro energético más seguro. Hay varios factores importantes a tener en cuenta para una implementación exitosa de los biocombustibles en nuestra sociedad, sin embargo, desde que se empezó a subir en la escalera de los biocombustibles, se ha alcanzado un cierto nivel de desarrollo que ya está contribuyendo a demostrar el potencial real de los biocombustibles en nuestras vidas (Luque, y otros, 2008).

El conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma (Toscano Morales, 2009). Por lo que históricamente, la biomasa puede ser considerada como la materia prima renovable más abundante en el planeta, la misma que con un adecuado proceso de conversión puede generar productos químicos y combustibles de alto valor económico.

Entonces, el sitio destinado a la conversión de la biomasa en biocombustibles es la biorrefinería, la cual aplica muchas tecnologías híbridas de diferentes campos, como la bioingeniería, la química de polímeros, la ciencia de los alimentos y la agricultura. Al igual que en las refinerías de petróleo, donde se producen muchos productos petroquímicos a partir de petróleo crudo, las biorrefinerías producirán muchos bioproductos diferentes a partir de biomasa (Ohara, Biorefinery, 2003).

La biomasa utilizada en las biorrefinerías se puede clasificar en dos tipos: producción de biomasa y utilización de material de desecho. En Brasil, Estados Unidos, China, Sudeste Asiático y Australia, biomasa como caña de azúcar, maíz, remolacha azucarera, mandioca, sagú y patatas se utilizan en biorrefinerías. Estos países van a dar vida a una nueva industria, utilizando productos agrícolas. En estos países, la política agrícola y la política industrial se relacionan con la biorrefinería. Por el contrario, Japón y algunos países europeos carecen de espacio para el vertedero de basura, tienen campos insuficientes para el abono y tienen pocos productos agrícolas. En estos condados, la biorrefinería cumple la función dual de eliminación de desechos y producción de productos útiles. En estos países, las políticas de eliminación denegada y contaminación ambiental están conectadas (Ohara, Development of producing poly-L-lactic acid as biodegradable plastics from kitchen refuse, 2000).

Por otro lado, en el ámbito financiero, la gestión empresarial engloba la capacidad de organizar, controlar y dirigir el accionar del conjunto de personas que conforman un proyecto y/o una empresa. Por lo que, la complejidad creciente de la gestión empresarial necesariamente exige que esta sea evaluada a partir del análisis económico – financiero de un determinado sistema de variables, en donde, cuyo vínculo es el que directamente determina el éxito del proyecto y la eficacia de sus regentes, al mismo tiempo que da una noción del futuro valor de este en el mercado y de sus ganancias (Cuervo & Rivero, 1986).

1.2. Planteamiento del problema

Este siglo enfrenta problemas ambientales, una crisis alimentaria y el desafío de la próxima “era cósmica”. Las tecnologías para abordar estos problemas están interrelacionadas. Entre los problemas ambientales, el efecto invernadero causado por el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera es un problema grave el efecto invernadero se atribuye principalmente al hecho de que el petróleo, un combustible fósil, se utiliza como fuente de energía. La incineración de residuos plásticos derivados del petróleo también libera dióxido de carbono a la atmósfera. La reducción del uso de petróleo disminuye directamente la cantidad de dióxido de carbono liberado y, por lo tanto, contribuye a aliviar el efecto invernadero (Ohara, Biorefinery, 2003).

El petróleo y otros combustibles fósiles son la principal fuente de energía para las actividades humanas. Su utilización como fuente de energía y materia prima para la producción de diversos compuestos genera uno de los mayores problemas ambientales que debe enfrentar el mundo actual. Por ello, el conocimiento de los problemas derivados de la contaminación y la búsqueda de nuevas alternativas que contribuyan a la optimización en el uso de estos compuestos preservando el medio ambiente, así como el desarrollo de nuevas metodologías para la depuración de ambientes

contaminados constituyen un objetivo ecológico prioritario (Raiger Lutsman & López, 2009).

La adecuada disposición de los residuos del sector agroindustrial ecuatoriano se ha convertido en una gran problemática; no es nada extraño observar en las carreteras de nuestro país cómo los residuos agroindustriales son absurdamente desperdiciados inmediatamente después de su extracción primaria, ejemplos claros de esta mala administración del suelo son las cascarillas de arroz, el coco y la palma africana (Tapia, Paredes, & Correa, 2009). En general, la mayoría de los desechos agroindustriales en el Ecuador no tienen ninguna utilidad y representan gran cantidad de materia prima (biomasa) vanamente desperdiciada.

Durante muchos años, ha existido el interés por parte del gobierno norteamericano y de países europeos en la necesidad de generar biocombustibles como una fuente de energía alternativa, de tal forma que puedan ir sustituyendo el empleo de los hidrocarburos. Simultáneamente, en los foros mundiales se levantaron voces de protesta en virtud de que la rigidez en la oferta de alimentos por su uso alternativo en biocombustibles estaba encareciendo los alimentos y podría conducir a hacer más severa el hambre en regiones de África, América Latina y Asia. No solamente los recursos contra el hambre en el mundo eran insuficientes, ahora también la generación de alimentos lo iba a ser, esto como consecuencia del aumento en la producción de biocombustibles por parte de países desarrollados para así alcanzar sus objetivos en el consumo interno de este tipo de combustible alternativo (Salinas Callejas & Gasca Quezada , 2009).

1.3. Justificación e Importancia

Cuando se produce biocombustible a partir de plantas o de desechos orgánicos se ayuda a reducir la dependencia de las reservas de combustibles fósiles que ya se están agotando y evita la producción de gases de efecto invernadero, además ayuda a mitigar el calentamiento global. Comparando el ciclo del carbono de los combustibles fósiles y la biomasa, se puede observar que la producción de biocombustible es sostenible y, por lo tanto, sigue un ciclo cerrado, mientras que la producción y el uso de combustibles fósiles conduce a la acumulación de dióxido de carbono en el medio ambiente, que es una de las principales causas del calentamiento global (Kumar Maurya, Patel, Sharkar, Singh, & Tyagi, 2018)

El surgimiento del concepto de biorrefinería como solución para la reducción de la utilización materia prima a partir de combustibles fósiles propone la utilización de cada componente de la biomasa agroforestal para combustibles y subproductos de valor agregado. Al igual que las refinerías de petróleo, las biorrefinerías implican la producción de combustibles, calor, energía y productos químicos de valor agregado a partir de biomasa agroforestal cruda (Dheeran & Reddy, 2018).

La biorrefinería está diseñada para construir un ecosistema que incluya a los seres humanos, utilizando la luz solar como fuente de energía última en el espacio limitado de la Tierra. La producción de biomasa depende en última instancia de la fotosíntesis. La biorrefinería tiene el potencial de resolver los problemas ambientales y la crisis alimentaria (Ohara, Biorefinery, 2003).

El Ecuador por ser un país eminentemente agrícola posee grandes extensiones de cultivos, para el año 2014, la producción de residuos agrícolas superó los 10 millones de toneladas. La elevada cantidad de residuos producidos permite la apertura de un

campo interesante de explotación de estos a través de su conversión energética a electricidad, calor y producción de biocombustibles de elevado valor agregado. En este caso los residuos agroindustriales serán aprovechados presentando una alternativa menos contaminante de generación de energía (Palacios, Romero, Rosero, & Latorre, 2019).

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Realizar un análisis económico-financiero del esquema de biorrefinería a partir de biomasa de los principales desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Detallar los flujos económicos necesarios para la inversión total del proyecto, así como los indicadores financieros de Retorno Sobre Capital, TIR, VAN, etc.
- Estimar los beneficios a partir de un análisis económico del esquema de biorrefinería.
- Evaluar la sostenibilidad del proyecto de biorrefinería a partir de biomasa de los principales desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi en un determinado período de tiempo.

1.5. Hipótesis

Al realizar un análisis económico – financiero al modelo de biorrefinería, este será factible, viable y ejecutable.

1.6. Variables dependientes e independientes

1.6.1. Variables dependientes

Punto de equilibrio, TIR, VAN.

1.6.2. Variables Independientes

Ingresos, egresos, costos de materia prima, costo de producción, precios de los mercados nacionales e internacionales.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación Teórica

2.1. Biomasa

Biomasa es un término para todo material orgánico que proviene de plantas (incluidas algas, árboles y cultivos). La biomasa es producida por plantas que convierten la luz solar en material vegetal a través de la fotosíntesis e incluye toda la vegetación terrestre y acuática, así como todos los desechos orgánicos. El recurso de biomasa puede considerarse como materia orgánica, en la que la energía de la luz solar se almacena en enlaces químicos. Cuando los enlaces entre las moléculas adyacentes de carbono, hidrógeno y oxígeno se rompen por digestión, combustión o descomposición, estas sustancias liberan su energía química almacenada (McKendry, 2002).

La biomasa es la más antigua y, hasta la fecha, una fuente importante de energía renovable. Es la única alternativa de energía renovable que tiene la capacidad de absorber el carbono del medio ambiente. La biomasa ha sido un recurso importante de bioenergía que puede compensar el consumo económico de combustibles fósiles y mitigar el medio ambiente de la crisis del calentamiento global. Actualmente, la biomasa es la cuarta fuente de energía más grande después del carbón, el petróleo y el gas natural (Ladaina & Vinterbäck, 2009).

2.2. Lignocelulosa

La lignocelulosa es el material que forma las paredes celulares de plantas leñosas como árboles, arbustos y pastos. Es un material compuesto, con tres biopolímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina, que componen aprox. 90% de la materia seca. Contiene hasta 60-70% en peso de azúcares/carbohidratos, pero no se utiliza para la producción de alimentos. La biomasa lignocelulósica para uso industrial puede provenir de diversas fuentes: residuos agrícolas y forestales, residuos municipales como

residuos orgánicos y de papel y cultivos específicamente cultivados para este fin (cultivos dedicados a biocombustibles). El uso de residuos agrícolas, por ejemplo: pajillas de cereales y mazorcas de maíz, como materia prima de la biorrefinería, permite producir alimentos y combustibles utilizando la misma tierra (Brandt, Gräsvik, Halle, & Welton, 2013).

2.2.1. Celulosa

La celulosa es el componente individual más grande de la lignocelulosa. Aunque el contenido de celulosa de diferentes materias primas de biomasa varía significativamente, típicamente se encuentra en el rango de 35 a 50% en peso. La celulosa es un polímero lineal que consta únicamente de unidades de glucosa (Fig. 3a). Los monómeros de glucopiranosilo están unidos por enlaces glicosídicos 1-4- β . La configuración β en los carbonos anoméricos da lugar a una conformación de cadena estirada, con enlaces de hidrógeno que unen estas cadenas en láminas planas. Esto contrasta con el almidón, que tiene una forma helicoidal debido a la configuración α en el carbono anomérico (Brandt, Gräsvik, Halle, & Welton, 2013).

2.2.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa es un grupo de polisacáridos y constituye alrededor del 25% en peso de la biomasa. Estos polímeros de carbohidratos tienen un peso molecular más bajo que la celulosa (grado de polimerización alrededor de 100-200). La hemicelulosa se compone de azúcares de hexosa y pentosa; los azúcares C6 glucosa, manosa, galactosa y los azúcares C5 xilosa y arabinosa. Los polímeros de hemicelulosa pueden estar ramificados y tal vez decorados con funcionalidades tales como grupos acetilo y metilo, ácidos cinámico, glucurónico y galacturónico. Por ejemplo, la cadena principal de galactoglucomano, una hemicelulosa ramificada que se encuentra en la madera blanda se construye a partir de unidades de β -D-glucopiranosilo enlazadas (1 \rightarrow 4) y de β -D-

manopiranosilo enlazadas (1 → 4). Las unidades manosilo también están sustituidas en cierta medida por ambos grupos acetilo en la posición C-2 y C-3 y por unidades α-D-galactopiranosilo enlazadas (1 → 6) (Brandt, Gräsvik, Halle, & Welton, 2013).

2.2.3. Lignina

La lignina es un polímero aromático insoluble en agua y se convierte en parte del compuesto una vez que ha cesado el crecimiento de la planta. Proporciona refuerzo estructural a prueba de agua y resistencia al ataque biológico y físico en comparación con las paredes celulares de todos los carbohidratos de los tejidos vegetales inmaduros. Se biosintetiza a partir de hasta tres monómeros: alcoholes de coniferilo, sinapilo y p-cumarilo, en orden de abundancia. Una vez incorporadas al polímero de lignina, las subunidades se identifican por su estructura de anillo aromático y, por lo tanto, se denominan subunidades de guaiacilo, siringilo y p-hidroxifenilo, respectivamente (Brandt, Gräsvik, Halle, & Welton, 2013).

2.3. Bioeconomía

Se percibe a la bioeconomía como la producción basada en el conocimiento y la utilización de recursos, principios y procesos biológicos, para proveer productos y servicios a todos los sectores del comercio y la industria dentro del contexto de un sistema económico adecuado para el futuro (Consejo Alemán para la Bioeconomía, 2017).

Las acepciones modernas del concepto han evolucionado desde un enfoque muy centrado en el desarrollo del conocimiento en las ciencias biológicas, en particular la biotecnología (knowledge-based bio-economy), hacia un enfoque que rescata la importancia de recuperar la base biológica de la actividad económica (bio-based economy), así como la relevancia del —conocimiento de los procesos biológicos que

se han desarrollado durante la evolución de la vida en el planeta. La conceptualización actual que consideramos más integral es la que hace el Consejo Alemán para la Bioeconomía (Rodríguez, Mondaini, & Hitschfeld, 2017).

2.3.1. Elementos de la bioeconomía

2.3.1.a. Recursos biológicos.

Los recursos biológicos son todo el conjunto de formas de vida y la información genética que portan. Ello incluye virus, bacterias y microorganismos en general, y todas las formas de biomasa, incluyendo la biomasa de desecho derivada de los procesos de producción y consumo (Rodríguez, Mondaini, & Hitschfeld, 2017).

2.3.1.b. Procesos y Principios Biológicos.

2.3.1.b.1. Biomimetismo.

La biomimética, la cual es sinónimo de 'biomimesis', 'biomimetismo', 'biónica', 'biognosis', 'diseño inspirado biológicamente' y similares que implican copia, adaptación o derivación de la biología. Por lo tanto, es un estudio relativamente joven que abarca el uso práctico de los mecanismos y funciones de las ciencias biológicas en ingeniería, diseño, química, electrónica, etc. No se ha desarrollado un enfoque general para la biomimética, aunque varias personas están desarrollando actualmente métodos para buscar en la literatura biológica, analogías funcionales para implementarlas (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer , & Pahl, 2016).

2.3.1.c. Nuevos conocimientos y nuevas tecnologías.

2.3.1.c.1. Biotecnología.

La biotecnología es un amplio campo de la ciencia que incluye muchas disciplinas diferentes diseñadas para utilizar organismos vivos o sus productos para

realizar valiosos procesos industriales o de fabricación o aplicaciones que resolverán problemas. Además, la biotecnología agroindustrial es la disciplina de la biotecnología que se ocupa de las plantas y de sus aplicaciones, incluyendo la ingeniería genética de las plantas con propósitos agrícolas (Thieman & Palladino, 2010)

La biotecnología en general y la convergencia tecnológica son centrales para potenciar el desarrollo de la bioeconomía, pues permiten aumentar las fronteras para la utilización sostenible de toda la gama de recursos biológicos disponibles. También son esenciales para entender y replicar los comportamientos y procesos desarrollados por organismos a lo largo de miles de millones de años de evolución, por ejemplo, para adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Rodríguez, Mondaini, & Hitschfeld, 2017)).

2.3.2 Biorrefinería

El concepto de biorrefinería abarca una amplia gama de tecnologías capaces de separar los recursos de biomasa (madera, pastos, maíz ...) en sus componentes básicos (carbohidratos, proteínas, triglicéridos ...) que pueden convertirse en productos de valor agregado, biocombustibles y químicos. Una biorrefinería es una instalación (o red de instalaciones) que integra procesos y equipos de conversión de biomasa para producir biocombustibles de transporte, energía y productos químicos a partir de biomasa. Este concepto es análogo a la refinería de petróleo actual, que produce múltiples combustibles y productos a partir del petróleo (Cherubini, 2010).

2.4. Análisis Financiero

El análisis financiero radica su importancia en que es la única forma de saber cómo se encuentra una organización o empresa, en aras de tomar decisiones para lograr los objetivos de generar utilidades y ganancias. De igual forma es útil para evaluar

decisiones tomadas por los directivos de una empresa. En consecuencia, con lo anterior, el análisis financiero tiene como función básica convertir los datos en información útil, por lo que este análisis es básicamente decisional (Morelos Gómez, Fontalvo Herrera, & de la Hoz Granadillo , 2012)

2.5. Indicadores Financieros

Los indicadores financieros son una herramienta para la evaluación financiera de una empresa y para aproximar el valor de esta y sus perspectivas económicas. Estos son índices estadísticos de dos o más cifras, que muestran la evolución de las magnitudes de las empresas a través del tiempo. La evaluación financiera con los indicadores financieros se puede hacer de forma vertical y de forma horizontal. La primera es elaborada relacionando varios indicadores financieros de la misma empresa o de varias empresas en un año determinado. El análisis horizontal es el realizado con un indicador financiero en varios años anteriores (Morelos Gómez, Fontalvo Herrera, & de la Hoz Granadillo , 2012).

2.5.1. Retorno Sobre el Patrimonio (ROE)

Proviene de sus siglas en inglés, Return On Equity, lo que es el rendimiento sobre el patrimonio. El ROE es un indicador de rentabilidad que muestra el nivel de eficiencia con el cual se han manejado los recursos propios que componen el patrimonio de la empresa, pues compara el nivel de utilidad obtenido por la empresa en el ejercicio contra el patrimonio de la empresa. Dicho de otra manera, muestra que tan rentable es la empresa respecto a su capital o patrimonio (Andrade Pinelo, 2011)

La fórmula para el cálculo del ROE se puede evidenciar en la ecuación 2.1.

$$ROE = Utilidad Neta/Patrimonio Promedio \quad (Ecuación 2.1)$$

2.5.2. Valor Actual Neto (VAN) o Valor Presente Neto (VPN)

El valor presente simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se expresan cantidades del futuro en el presente, como en el cálculo del VPN, se dice que se utiliza una tasa de descuento; por ello, a los flujos de efectivo ya trasladados al presente se les llama flujos descontados (Baca Urbina, 2010).

Para saber si un proyecto es elegible para inversión se puede tomar como referencia el VPN. La fórmula para su cálculo se puede evidenciar en la Ecuación 1:

$$VPN = -P + \frac{FNE}{(1+i)} + \frac{FNE}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

En donde,

FNE_n = flujo neto de efectivo del año n, que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n

P = inversión inicial en el año cero

i = tasa de referencia que corresponde a la Tasa Mínima Captable de Rendimiento

2.5.3. Tasa Interna de Retorno

Es aquel valor relativo que iguala el valor actual de la corriente de ingresos con el valor actual de la corriente de egresos estimados. Es decir, este concepto envuelve criterios de matemáticas financieras al referirse a valores actuales, y criterios contables al mencionar o incluir corrientes de ingresos y egresos. Efectivamente, se trata de actualizar una corriente de ingresos (flujos netos esperados) al momento cero o inicial de la inversión, y compararla con el valor actual de una corriente de egresos (volumen

de inversión en ese momento) a una tasa K o i denominada costo de capital o costo de oportunidad de la empresa, enmarcada en una estructura adecuada, previamente determinada (Altuve G, 2004)

Matemáticamente, la Tasa Interna de Retorno viene representada por la Ecuación 2 (Baca Urbina, 2010):

$$P(1+i)^5 = FNE_1(1+i)^4 + FNE_2(1+i)^3 + FNE_3(1+i)^2 + FNE_4(1+i)^1 + FNE_5 \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Diseño de la Investigación

El diseño de esta investigación está basado en la recopilación de datos de diferentes autores, los mismos que serán utilizados para realizar un análisis económico - financiero en el que se evalúe la factibilidad de la construcción de una biorrefinería en la provincia de Cotopaxi.

3.2 Tipo de Investigación.

A continuación, se detallarán los tipos de investigación que se adapten al caso de estudio presentado, con un enfoque cuantitativo directamente relacionado con una análisis económico – financiero.

3.2.1. Investigación Documental

La investigación documental es una serie de métodos y técnicas de búsqueda, procesamiento y almacenamiento de la información contenida en los documentos, en primera instancia, y la presentación sistemática, coherente y suficientemente argumentada de nueva información en un documento científico, en segunda instancia (Tancara, 1993). Se realizará una recopilación de datos de diferentes fuentes de información bibliográficas, con las que se realizará el análisis económico – financiero.

3.2.2. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva es el tipo de investigación que tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información

sistemática y comparable con la de otras fuentes (Sabino, 1992). Se evaluará, describirá y detallará la factibilidad económica para la construcción de la biorrefinería para procesamiento de biomasa lignocelulósica.

3.3 Método de Investigación

3.3.1. Método Descriptivo

El método descriptivo busca un conocimiento inicial de la realidad que se produce de la observación directa del investigador y del conocimiento que se obtiene mediante la lectura o estudio de las informaciones aportadas por otros autores. Se refiere a un método cuyo objetivo es exponer con el mayor rigor metodológico, información significativa sobre la realidad en estudio con los criterios establecidos por la academia (Abreu, 2015).

3.4. Cálculo de Indicadores Financieros

Después del cálculo de todos los flujos económicos presentes en el proceso, se procede a realizar el cálculo de los valores de los indicadores financieros.

3.4.1. Cálculo del Valor Presente Neto o Valor Actual Neto

Se aplicará la Ecuación 2.2, para conseguir un valor diferente de cero con el que se podrá determinar si un inversionista se ve beneficiado o afectado por el proyecto. A la vez que se determinará una Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) con el que se pretenda encontrar valores del VPN mayores a cero.

3.4.2. Cálculo de la Tasa Interna de Rendimiento

Se aplicará la Ecuación 2.3, con la que se conseguirá un valor estimado de las ganancias anuales del inversionista, y, por ende, mostrará una rentabilidad anual del proyecto.

3.4.3. Cálculo del Retorno Sobre el Patrimonio

Se aplicará la ecuación 2.1. para calcular el valor estimado del ROE, con lo que se conseguirá mostrar la rentabilidad y el rendimiento que el inversionista recibirá anualmente con el proyecto.

CAPÍTULO IV

4. Resultados y Discusión

4.1 Costos para la implementación de la biorrefinería

A continuación, se detallan los costos aproximados para la implementación de la biorrefinería para procesamiento de biomasa en la provincia de Cotopaxi, divididos por áreas. La alimentación de materia prima considerada es de 100 lb/h.

4.1.1. Infraestructura

En la Tabla 4.1. se detallan los valores aproximados para la construcción de la infraestructura de la biorrefinería. Se toman en cuenta costos como la compra de un terreno de aproximadamente 3 000 metros cuadrados y los respectivos gastos de construcción de la infraestructura.

Tabla 4.1.

Costos de infraestructura.

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Terreno	100 000
Construcción y equipamiento	900 000
Total	1 000 000

4.1.2. Materia Prima (Biomasa)

No se considera ningún valor para la implementación correspondiente a la materia prima, pues cualquier gasto relacionado ha sido considerado en la infraestructura.

4.1.3. Pretratamiento

Para la preparación de las muestras, se consideran dos procesos, el triturado o molienda y el secado (Collantes Orbea, 2021). Para el triturado el molino seleccionado es el SEREN ZC-55, mientras que para el secado el horno seleccionado es el prototipo de horno rotatorio secador. (Romero Alarcón & Zárata Salinas, 2016). En la Tabla 4.2 se detallan los respectivos costos referentes a los procesos de pretratamiento para la biomasa.

Tabla 4.2.

Costos de implementación para pretratamiento

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Molino Triturador	1 200
Horno rotatorio secador	6 382, 23
Tuberías, válvulas y accesorios	2 000
Bombas y compresores	2 000
Total	11 582, 23

El total a considerar en esta área es de USD \$ 11 582, 23.

4.1.4. Obtención de biocombustibles

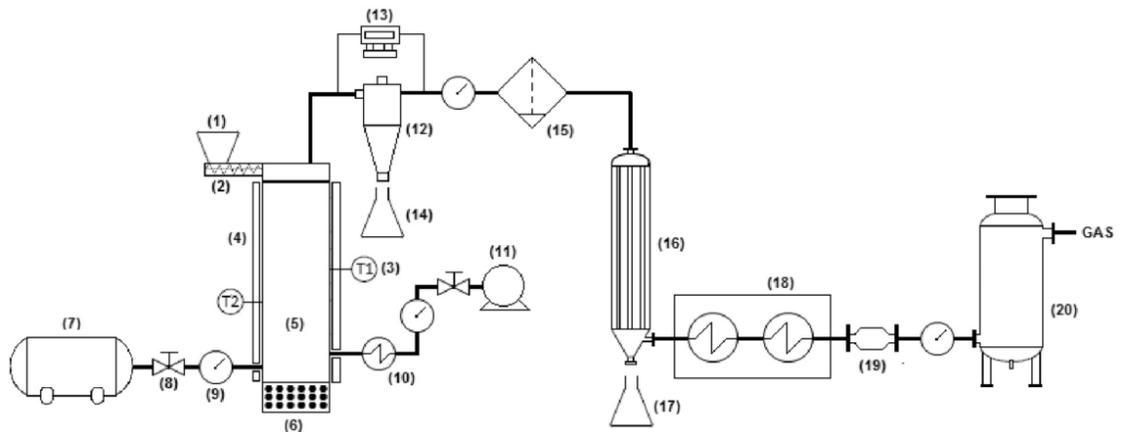
Las rutas de conversión se han elegido en función de tres biocombustibles que son: bioetanol, biodimetiléter y biohidrógeno (Manobanda Navas, 2021). Por lo que a continuación, se muestra el costo del equipamiento requerido para la obtención de dichos combustibles.

4.1.4.a. Producción de Bioetanol

Los procesos necesarios para la producción de bioetanol son: generación de gas de síntesis (gasificación) y fermentación de gas de síntesis. El esquema de la Figura 4.1 muestra el proceso de Generación de Gas de Síntesis y la Figura 4.2. muestra el esquema de la fermentación de gas de síntesis. La Tabla 4.3. muestra los costos para la implementación de estos sistemas.

Figura 4.1.

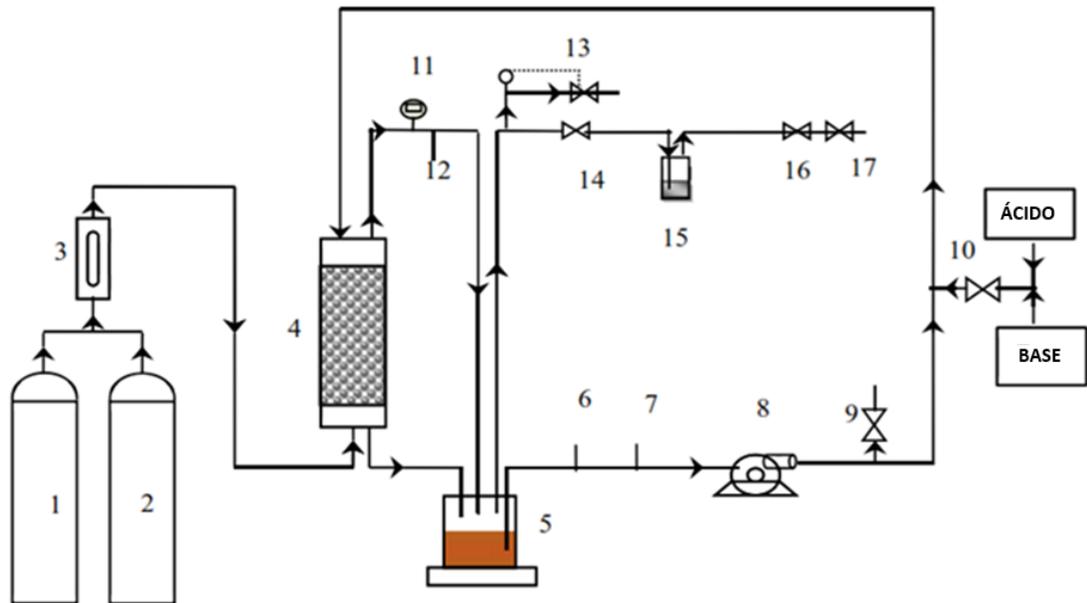
Esquema para la generación de gas de síntesis.



Nota: (1) Entrada de alimentación, (2) Alimentador de tornillo, (3) Termopar, (4) Calentador, (5) Gasificador, (6) Arena de sílice, (7) Generador de vapor, (8) Válvula, (9) Caudalímetro, (10) Intercambiador de calor, (11) Compresor de aire, (12) Ciclón, (13) Controlador de temperatura, (14) Tanque de almacenamiento de sólidos, (15) Sistema de filtrado, (16) Condensador, (17) Almacenamiento de alquitrán, (18) Sistema de enfriamiento, (19) Liberación de presión y (20) Recolección de muestras gaseosas. Tomado de Syngas production from air-steam gasification of biomass with natural catalysts (p.519) por Tian et al., 2018, Science of the Total Environment, 645.

Figura 4.2.

Esquema para la fermentación de gas de síntesis.



Nota: (1) Tanque de N₂, (2) Tanque de gas de síntesis, (3) Rotámetro, (4) Reactor TBR, (5) Sumidero del medio, (6) Prueba ORP, (7) Prueba pH, (8) Bomba de flexión, (9) Muestreo líquido, (10) Adición ácido-base, (11) Manómetro, (12) Muestreo de gas, (13) Línea de derivación, (14) Regulador de contrapresión, (15) Burbujeador, (16) Válvula de retención y (17) Válvula de bola. Recuperado de Ethanol production during semi-continuous syngas fermentation in a trickle bed reactor using *Clostridium ragsdalei* (p. 58), por Devarapalli et al., 2016, Bioresource Technology, 209.

Tabla 4.3.*Costos de implementación para la obtención de bioetanol*

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Alimentador de Tornillo	6 000
Termopar	50
Calentadores eléctricos	1 000
Gasificador	1 000
Dolomita Y Arena de sílice	120
Generador de Vapor	1 000
Caudalímetro	100
Intercambiador de Calor	500
Compresor de aire	1 000
Separador ciclónico	10 000
Controlador de temperatura	200
Tanque para recolección de sólidos	3 000
Sistema de filtrado	5 000
Condensador	15 000
Almacenamiento de alquitrán	3 000
Sistema de enfriamiento	5 000
Tuberías	5 000
Válvulas, conexiones y accesorios	5 000
Tanque de N2	1 000
Tanque de Gas de Síntesis	1 000
Rotámetro	500

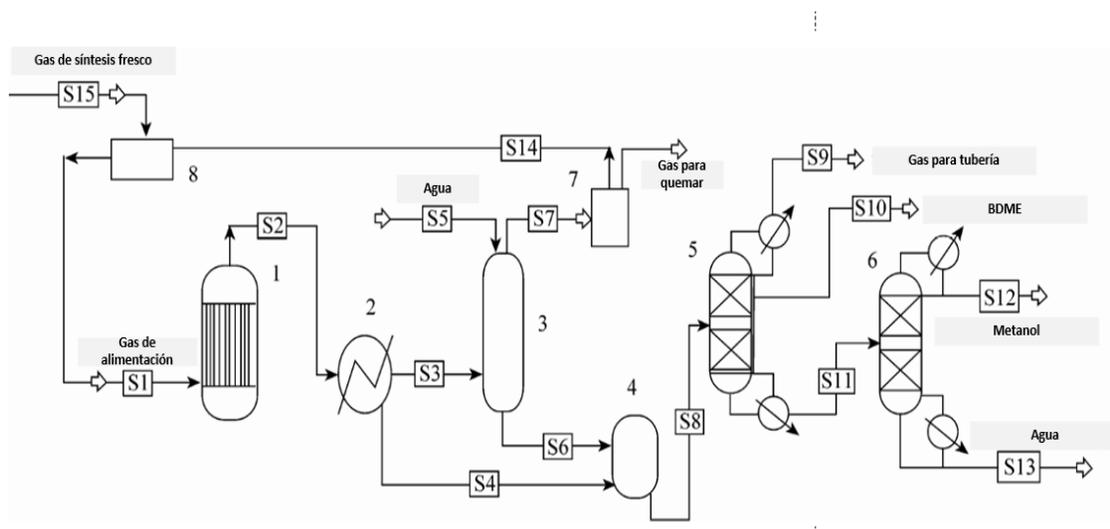
Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Reactor TBR	4 000
Cal Sodada	1 000
Medidor ORP	500
Medidor pH	500
Bomba de Flexión	2 000
Total	72 470

4.1.4.b. Producción de Biodimetiléter

Para la obtención de biodimetiléter (BDME) se utilizará el proceso directo, el cual consiste en obtener el BDME a partir de gas de síntesis (Manobanda Navas, 2021). En la Figura 4.3. se muestra el esquema del proceso para la obtención de BDME y en la Tabla 4.4. se muestran los costos necesarios para su respectiva implementación.

Figura 4.3.

Esquema para la obtención de DME



Nota: (1) Reactor de lecho fijo, (2) Condensador, (3) Absorbedor, (4) Mezclador, (5) Destilador de BDME, (6) Destilador de metanol, (7) Divisor, (8) Compresor.

Recuperado de Modeling and Simulation of Production Process on Dymethyl Ether Synthesized from Coal-based Syngas by One-step Method (p.109) por Han et al., 2009, Chinese Journal of Chemical Engineering, 17(1).

Tabla 4.4.

Costos de implementación para la obtención de bdme.

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Reactor de Lecho Fijo BORUI	5 000
Condensador	15 000

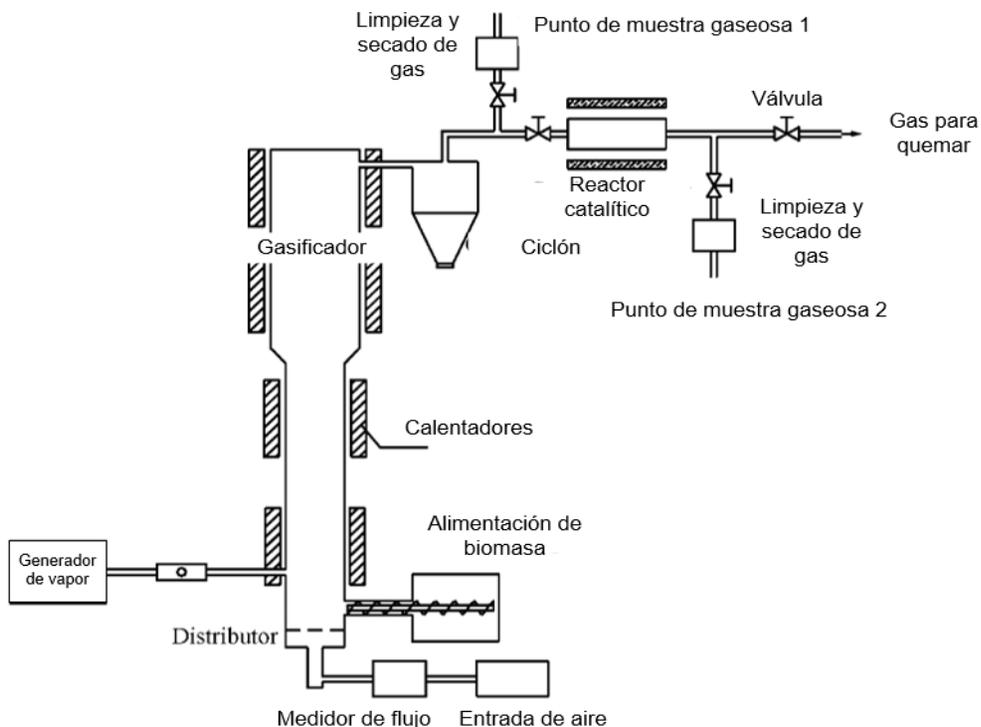
Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Absorbedor	5 000
Mezclador	3 000
Destilador de BDME	30 000
Destilador de metanol	30 000
Divisor	1 000
Compresor	1 000
Tuberías	2 000
Válvulas, conexiones y accesorios	2 000
Total	94 000

4.1.4.c. Producción de Biohidrógeno

La producción de biohidrógeno se realiza por medio de gasificación de gas de síntesis similar al proceso para la obtención de bioetanol, pero con ciertas diferencias (Manobanda Navas, 2021). El diagrama para la obtención de biohidrógeno se muestra en la Figura 4.4. y en la Tabla 4.5. se dan a conocer los costos para la implementación de esta área.

Figura 4.4.

Esquema para la obtención de biohidrógeno.



Nota: Adaptado de Hydrogen-rich gas production from biomass catalytic gasification (p. 229), por Lv et al., 2004, Energy and Fuels, 18(1),

Tabla 4.5.

Costos de implementación para la obtención de biohidrógeno

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Alimentador de Tornillo	6 000
Termopar	50
Calentadores eléctricos	1 000

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Gasificador	1 000
Arena de Sílice	20
Dolomita	100
Generador de Vapor	1 000
Catalizador de Niquel	1 000
Reactor Catalítico	2 000
Caudalímetro	100
Intercambiador de Calor	500
Compresor de aire	1 000
Separador ciclónico	10 000
Controlador de temperatura	200
Tanque para recolección de sólidos	3 000
Sistema de filtrado	5 000
Condensador	15 000
Almacenamiento de alquitrán	3 000
Sistema de enfriamiento	5 000
Tuberías	5 000
Válvulas, conexiones y accesorios	5 000
Total	64 970

4.1.5. Obtención de productos químicos de alto valor agregado

En esta etapa, los biocombustibles obtenidos anteriormente figuran como materias primas para la obtención de productos químicos de alto valor agregado.

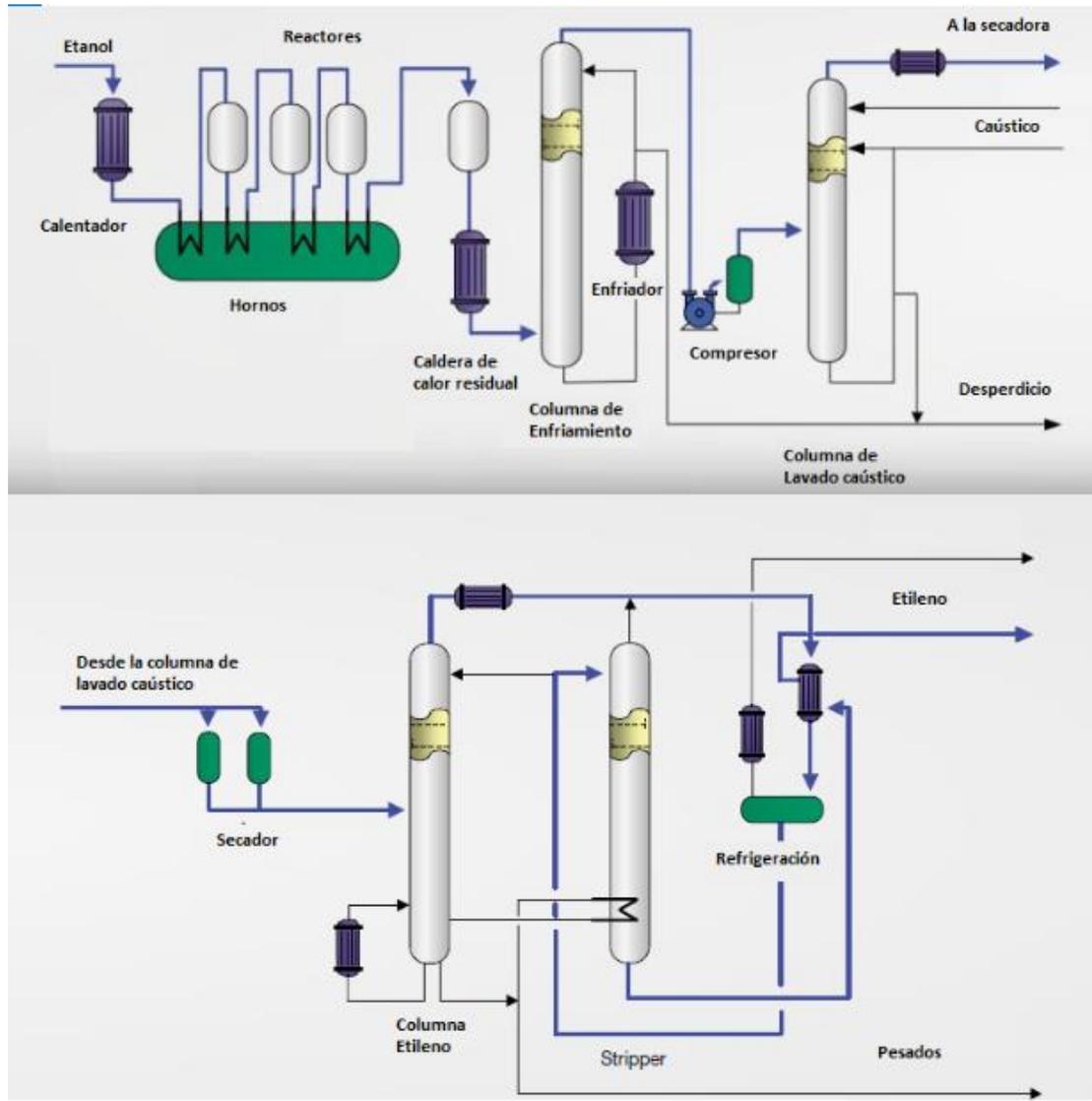
Los productos químicos seleccionados son el etileno y el amoniaco (Molina Vallejo, 2021).

4.1.5.a. Producción de etileno a partir de bioetanol

Esta ruta de conversión sugiere la utilización del etanol obtenido de biomasa lignocelulósica para ser utilizado como sustancia química plataforma para la producción de etileno (Molina Vallejo, 2021). En la Figura 4.5. se muestra el diagrama del proceso para la producción de etileno a partir de bioetanol, además, en la Tabla 4.6. se muestran los costos para la implementación de este proceso.

Figura 4.5.

Diagrama para la obtención de etileno a partir de bioetanol.



Nota: Adaptado de Ethylene from Ethanol (p.2-3), por E. Chematur, (2015),
Chematur Engineering AB.

Tabla 4.6.*Costos de implementación para la obtención de etileno*

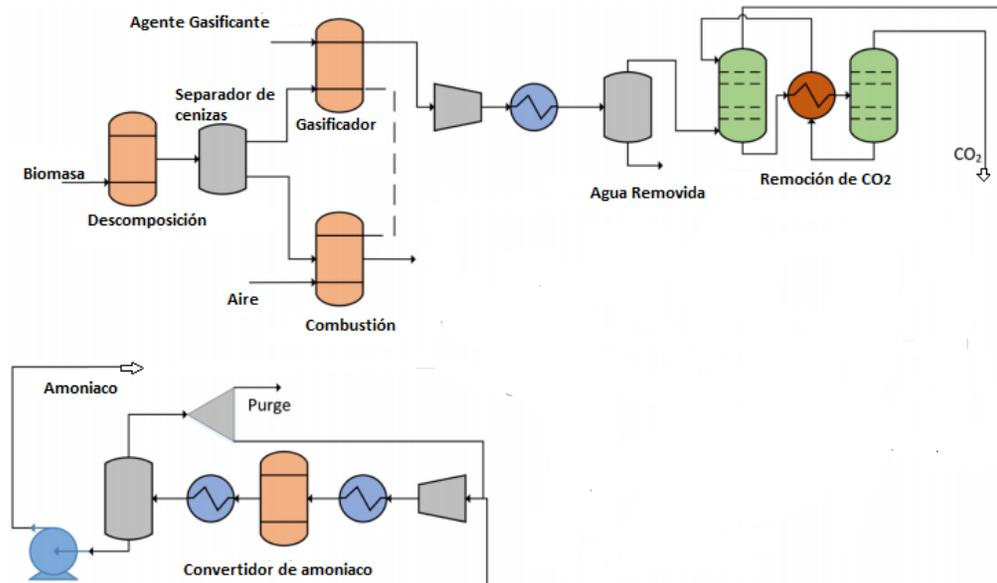
Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Calentador	2 000
Hornos	10 000
Reactores	20 000
Caldera	5 000
Enfriadores	2 000
Columna de Enfriamiento	7 000
Columna de lavado cáustico	7 000
Columna de etileno	7 000
Stripper	7 000
Secador	3 000
Refrigeración	3 000
Intercambiadores de calor	10 000
Compresor	1 000
Tuberías	5 000
Válvulas, accesorios y conexiones	3 000
Catalizador	40 000
Total	132 000

4.1.5.b. Producción de Amoniac

La ruta de conversión factible para la producción de amoniac a través del procesamiento de la biomasa lignocelulósica se basa en tres etapas. Primero se sugiere realizar la producción de gas de síntesis rico en H_2 mediante el proceso termoquímico de gasificación, luego se realiza una etapa de pretratamiento del gas para finalmente ser utilizado para la síntesis de amoniac mediante el proceso químico Haber-Bosch (Molina Vallejo, 2021). El diagrama del proceso se muestra en la Figura 4.6. y los costos de implementación del proceso se muestra en la Tabla 4.7. Cabe recalcar que los costos están tomados en cuenta después de la obtención del gas de síntesis debido a que este proceso ya se lo considera en el pretratamiento.

Figura 4.6.

Diagrama para la obtención de amoniac a partir de biomasa



Nota. Adaptado de A techno-economic-environmental study evaluating the

potential of oxygen-steam biomass gasification for the generation of value-added products. (p.668) por A. AlNouss, G. McKay, & T. Al-Ansari. (2019), Energy Conversion and Management,

Tabla 4.7.

Costos de implementación para la obtención de amoníaco

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Reactores WGSR	20 000
Absorbedor de CO ₂	7 000
Desorbedor de CO ₂	7 000
Metanador	10 000
Convertidor Haber Bosch	10 000
Ciclón	10 000
Compresores	5 000
Intercambiadores de Calor	10 000
Bombas	3 000
Calderos	10 000
Tuberías	5 000
Válvulas, accesorios y conexiones	3 000
Total	100 000

4.1.6. Costos totales para la implementación de la biorrefinería

En la Tabla 4.8. se detallan los valores de la Tabla 4.1 a la Tabla 4.7. y se obtiene un valor total aproximado para la implementación de la biorrefinería.

Tabla 4.8.

Costos totales para la implementación de la biorrefinería.

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Infraestructura	1 000 000
Pretratamiento	11 582, 23
Obtención de bioetanol	72 470
Obtención de BDME	94 000
Obtención de biohidrógeno	64 970
Obtención de Etileno	132 000
Obtención de Amoniaco	100 000
Total	1 475 023, 23

4.2. Costos operativos anuales de la biorrefinería

Se detallan los costos operativos anuales aproximados para el funcionamiento de la biorrefinería para procesamiento de biomasa en la provincia de Cotopaxi, divididos por áreas. La alimentación de materia prima considerada es de 100 lb/h.

4.2.1. Infraestructura

En la Tabla 4.9. se detallan los costos necesarios para el funcionamiento de la infraestructura de la biorrefinería.

Tabla 4.9.*Costos operativos de infraestructura*

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Energía Eléctrica	1 000
Agua Potable	500
Detergentes	200
Operarios	12 000
Limpiadores	200
Total	13 900

4.2.2. Administración

A continuación, se detallan en la Tabla 4.10. los gastos administrativos aproximados anuales de la biorrefinería.

Tabla 4.10.*Costos administrativos*

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Personal Administrativo	180 000
Artículos de Oficina	1 000
Escritorios, sillas y mesas	5 000
Computadoras	10 000
Total	196 000

4.2.3. Materia Prima (Biomasa)

En la Tabla 4.11. se muestran los gastos anuales referentes a la compra, transporte y almacenamiento de la biomasa.

Tabla 4.11.

Costos operativos referentes a la biomasa

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Transporte	48 000
Biomasa	9 000
Operarios	30 000
Total	87 000

4.2.4. Pretratamiento

Se detallan todos los gastos operativos referentes al pretratamiento de la biomasa en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12.

Costos operativos referentes al pretratamiento

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Energía Eléctrica	1 000
Combustible	2 000
Operarios	18 000

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Mantenimiento de la maquinaria	1 000
Total	93 000

4.2.5. Obtención de Biocombustibles

En la Tabla 4.13. se detallan todos los costos operativos anuales necesarios para la obtención de los biocombustibles planteados, en los que se incluyen el bioetanol, el BDME y el biohidrógeno.

Tabla 4.13.

Costos operativos referentes a la obtención de biocombustibles

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Energía Eléctrica	10 000
Combustible	3 000
Operarios	54 000
Mantenimiento de la maquinaria	5 000
Catalizadores	50 000
Agua de calentamiento/enfriamiento	5 000
Total	105 000

4.2.6. Obtención de Productos Químicos de alto valor agregado

A continuación, en la Tabla 4.14. se muestran los costos operativos anuales para la obtención de etileno y de amoníaco.

Tabla 4.14.

Costos operativos referentes a la obtención de etileno y amoniaco.

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Energía Eléctrica	12 000
Combustible	5 000
Operarios	54 000
Mantenimiento de la maquinaria	5 000
Catalizadores	50 000
Agua de calentamiento/enfriamiento	7 000
Total	111 000

4.2.7. Costos operativos totales anuales de la biorrefinería

En la Tabla 4.15. se detallan los valores de la Tabla 4.9 a la Tabla 4.14. y se obtiene un valor total aproximado para la implementación de la biorrefinería.

Tabla 4.15.

Costos operativos anuales de la biorrefinería.

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Infraestructura	13 900
Materia Prima	87 000
Pretratamiento	93 000
Obtención de biocombustibles	105 000

Detalle	Costo en dólares americanos (USD)
Obtención de productos químicos de alto valor agregado	111 000
Total	409 900

4.3. Costo en el mercado internacional de los productos de la biorrefinería

En la Tabla 4.16. se detallan los costos en el mercado internacional del bioetanol, BDME, biohidrógeno, etileno y amoniaco por tonelada métrica, además, se señalan los totales aproximados anuales de la venta de estos productos si se producen 250 kg/día de cada producto.

Tabla 4.16.

Costos de los productos en el mercado internacional

Detalle	Unidad de medida	Costo en dólares americanos (USD)	Costo en dólares americanos (USD) por año
Bioetanol	ton	130,35	47577,75
BDME	ton	532,30	53552,78
Biohidrógeno	ton	4 535	426 250
Etileno	ton	1 200	120 727, 67
Amoniaco	ton	907	91 250
Total			739 358, 20

4.4. Cálculo del Retorno Sobre el Patrimonio

Los parámetros iniciales necesarios para el cálculo del Retorno Sobre el Patrimonio son las utilidades netas, las cuales son la diferencia de las ventas anuales y los costos operativos anuales en este caso, además, el patrimonio representa los valores utilizados para la implementación de la biorrefinería. Utilizando la Ecuación 2.1, se muestra a continuación el cálculo de este indicador financiero.

$$ROE = \frac{\text{Utilidades Netas}}{\text{Patrimonio Promedio}}$$

$$ROE = \frac{739\,358,2 - 409\,900}{1\,475\,023,23}$$

$$ROE = 0,2234$$

Asumiendo un capital propio de los inversionistas, con lo cual el patrimonio del proyecto está libre de deudas, se considera un valor del Retorno Sobre el Patrimonio de 0,2243. El ROE promedio de la industria química en general es del 0,1 (Buitriago, 2020).

4.5. Cálculo del Valor Presente neto.

Para el cálculo del Valor Presente Neto se considera un período de 5 años, en donde las Utilidades Netas son las mismas cada año, y se asume un riesgo de la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento del 3%. Aplicando la Ecuación 2.2. se muestra el cálculo del indicador a continuación.

$$VPN = -P + \frac{FNE}{1+i} + \frac{FNE}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1+i)^n}$$

$$\begin{aligned}
 VPN = & -1\,475\,023,23\text{USD} + \frac{329458,2\text{USD}}{1 + 0,03} + \frac{329458,2\text{USD}}{(1 + 0,03)^2} + \frac{329458,2\text{USD}}{(1 + 0,03)^3} \\
 & + \frac{329458,2\text{USD}}{(1 + 0,03)^4} + \frac{329458,2\text{USD}}{(1 + 0,03)^5}
 \end{aligned}$$

$$VPN = 33\,798,86\text{ USD}$$

El valor de VPN obtenido indica que en el período de 5 años después de la puesta en marcha del proyecto, los inversionistas recibirán una ganancia del 3% anual, sin embargo, estos tendrán un valor de 33 798,86 USD asegurados por el riesgo asumido en el momento de la inversión.

4.6. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno

De la misma forma, para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se considera también un período de 5 años en donde las utilidades netas son las mismas, y al igual que para el Valor Presente Neto. Aplicando la Ecuación 2.3. se muestra el cálculo del indicador a continuación.

$$P(1 + i)^5 = FNE_1(1 + i)^4 + FNE_2(1 + i)^3 + FNE_3(1 + i)^2 + FNE_4(1 + i)^1 + FNE_5$$

$$1\,475\,023,23\text{USD}(1 + i)^5$$

$$= 329458,2\text{USD}(1 + i)^4 + 329458,2\text{USD}(1 + i)^3$$

$$+ 329458,2\text{USD}(1 + i)^2 + 329458,2\text{USD}(1 + i)^1 + 329458,2\text{USD}$$

$$i = 0,037986 = 3,7986\%$$

El valor calculado para la tasa de referencia i del premio al riesgo muestra que el VPN se convierte en 0 cuando se utiliza asume un riesgo del 3,7986%. El valor de VPN igual a cero no significa que exista una ganancia o una pérdida, más bien es lo contrario, esto indica que se confirma que, al invertir en el proyecto, se

puede obtener una ganancia del 3% anual además de tener un valor de 33 798,86 USD asegurados desde el inicio de la inversión.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los resultados expuestos en capítulos anteriores, es válido concluir que la implementación de la biorrefinería de desechos lignocelulósicos de la provincia de Cotopaxi es medianamente alta, pues si bien el indicador de Retorno Sobre el Patrimonio es bastante alto en comparación a la media de la industria química, indicadores como el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno muestran que el proyecto es rentable cuando se asume un máximo de 3,7986% de premio al riesgo respecto a la inversión en los primeros 5 años, que considerando el mercado estable al que se quiere acceder, este valor es aceptable.

Consecuentemente, el premio al riesgo respecto a la inversión puede ser mucho más alto aumentando la cantidad de productos provenientes de la biorrefinería disponibles para la venta, lo que, a la vez, convierten al proyecto más rentable para los inversionistas, además que se generarían más ganancias, sin embargo, hay que considerar otros aspectos como la capacidad de producción de la planta antes de realizar una modificación de tal magnitud. No obstante, si se mantiene la misma producción de diseño, el proyecto genera un mayor premio al riesgo simplemente con el paso de los años.

Así mismo, al considerar la compra de un terreno y la construcción de la infraestructura desde cero, la inversión se eleva considerablemente respecto a que se alquilaran las instalaciones para el funcionamiento de la biorrefinería; el proyecto se volvería más viable para los inversionistas a corto plazo, sin embargo, el problema con

esta opción radica en que difícilmente se encontrarán instalaciones adecuadas y funcionales que puedan contener a la biorrefinería. Además, que, en un largo período de tiempo, resultará más rentable la construcción de la infraestructura frente al alquiler de esta.

Además, es válido concluir que la mayor parte de la maquinaria necesaria para la implementación de la biorrefinería se la debería importar, pues, en el mercado nacional actualmente no están disponibles. Sin embargo, accesorios básicos, conexiones y ciertos equipos podrían ser elaborados por industrias nacionales lo que eliminaría los costos referentes a la importación de estos.

Se concluye que el éxito del proyecto es directamente dependiente de los clientes que la empresa tenga. Pues es necesario que la cartera de clientes y distribuidores sea fija y que garantice una cuota de compra/distribución mensual. Está claro que es necesario tener al Gobierno Ecuatoriano como uno de clientes principalmente para el bioetanol, pero también para los otros productos de la biorrefinería.

Es necesario tener en cuenta a la inflación, que podría o no afectar a los indicadores antes calculados, la inflación es un factor que depende directamente de las políticas internas de cada Gobierno y que difícilmente se puede predecir, pero es siempre necesario contar con su existencia. Además, se debería tomar en cuenta que los precios de los combustibles varían a diario en función de esta inflación y el cálculo de las utilidades podría o no variar.

5.2 Recomendaciones

Si bien es cierto los productos químicos de alto valor agregado tienen un mayor costo en el mercado que sus precursores, se recomendaría enfocarse en la producción de biohidrógeno, que, a pesar de ser un biocombustible, su costo por tonelada métrica

puede ser mayor que el de los productos químicos de alto valor agregado como el etileno y el amoníaco que también se producirían en la biorrefinería.

Se recomienda implementar el modelo de biorrefinería estudiado, pues además de generar una ganancia económica anual considerable se puede reducir la contaminación causada por la producción de combustibles de origen fósil y de esta forma reducir la actual huella de carbono en el planeta. Cabe recalcar, además, que este proyecto puede significar el comienzo de la implementación de la bioeconomía en el país para que así, el sector productivo merme su dependencia hacia la economía de los combustibles fósiles.

La inclusión de la bioeconomía y la economía circular en la matriz productiva del país resulta una recomendación indispensable, pues, solucionaría muchos problemas que actualmente presenta la economía del país. Disminuiría la contaminación ambiental actual que la producción de los combustibles tradicionales representa, disminuiría la dependencia de la economía nacional a estos combustibles además que se le daría uso a materia prima que está siendo innecesariamente desechada.

Bibliografía

- Abreu, J. L. (2015). Análisis al Método de la Investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 205-214.
- Altuve G, J. G. (2004). El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión. *Actualidad Contable Faces*, 7-17.
- Andrade Pinelo, A. M. (2011). Análisis del ROA, ROE y ROI. *Gaceta Jurídica*, 59-61.
- Baca Urbina, G. (2010). *Fundamentos de ingeniería económica*. McGraw Hill.
- Brandt, A., Gräsvik, J., Halle, J., & Welton, T. (2013). Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids. *Green Chem*, 550-583.
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 1412-1421.
- Collantes Orbea, J. A. (2021). Análisis de las tecnologías para la conversión selectiva de la biomasa lignocelulósica de los desechos agroindustriales existentes en la provincia de Cotopaxi. Ambato, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Consejo Alemán para la Bioeconomía. (2017). *Further Development of the National Research Strategy BioEconomy 2030*.
- Cuervo, Á., & Rivero, P. (1986). EL ANALISIS ECONOMICO-FINANCIERO DE LA EMPRESA. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 15-33.
- Dheeran, P., & Reddy, L. (2018). Biorefining of Lignocelluloses: An Opportunity for Sustainable Biofuel Production. En *Biorefining of Biomass to Biofuels. Biofuel and Biorefinery Technologies* (págs. 1-23). Springer, Cham.

- Kumar Maurya, R., Patel, A., Sharkar, P., Singh, H., & Tyagi, H. (2018). Biomass, Its Potential and Applications. En *Biorefining of Biomass to Biofuels. Biofuel and Biorefinery Technologies* (págs. 25-52). Springer, Cham.
- Ladaina, S., & Vinterbäck, J. (2009). *Global potential of sustainable biomass for energy*. Rapport / Institutionen för energi och teknik, SLU.
- Luque, R., Herrero-Davila, L., Campelo, J., Clark, J., Hidalgo, J., Luna, D., . . . Romero, A. (2008). Biofuels: a technological perspective. *Royal Society of Chemistry*, 542-564. Obtenido de <https://pubs.rsc.org/iv/content/articlehtml/2008/ee/b807094f>
- Manobanda Navas, G. (2021). Estudio para la determinación de rutas de conversión de biomasa lignocelulósica hacia la producción de biocombustibles. Latacunga, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 37-46. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Molina Vallejo, J. D. (2021). Estudio para la determinación de las rutas de conversión de la biomasa lignocelulósica. Latacunga, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Morelos Gómez, J., Fontalvo Herrera, T. J., & de la Hoz Granadillo, E. (2012). Análisis de los indicadores financieros en las sociedades portuarias de Colombia. *Entramado*, 14-26.
- Ohara, H. (2000). Development of producing poly-L-lactic acid as biodegradable plastics from kitchen refuse. *Preprints of Japanese business leaders0 conference on environment and development*, (págs. 19-23). Tokio.

- Ohara, H. (2003). Biorefinery. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 474-477.
- Palacios, K., Romero, M., Rosero, E., & Latorre, G. (2019). Estimación de las propiedades físico-químicas de residuos agroindustriales para el aprovechamiento como biocombustible. . *Revista RIEMAT*.
- Raiger Lutsman, L. J., & López, N. I. (2009). Los biosurfactantes y la industria petrolera. *Química Viva*, 146-161.
- Rodríguez, A., Mondaini, A., & Hitschfeld, M. (2017). *Bioeconomía en América Latina y el Caribe. Contexto global y regional y perspectivas*. Santiago: Naciones Unidas.
- Romero Alarcón, J. C., & Zárate Salinas, E. R. (2016). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO SECADOR DE ARENA PARA LA PRODUCCIÓN DE MORTERO. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Sabino, C. (1992). *El proceso de la investigación*. Caracas: Editorial Panapo.
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, 75-82. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>
- Tancara, C. (1993). La Investigación Documental. *Temas Sociales*.
- Tapia, C., Paredes, C., & Correa, C. (2009). Comparación de las propiedades de compuestos en base de polipropileno en mezcla con diversos residuos agroindustriales del Ecuador. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Thieman, W., & Palladino, M. (2010). *Introducción a la Biotecnología*. Madrid: Pearson Education.

Toscano Morales, L. A. (2009). Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa. (E. S. Litoral, Ed.) Guayaquil, Ecuador.

Vincent, J., Bogatyreva, O., Bogatyrev, N., Bowyer , A., & Pahl, A.-K. (2016). Biomimetics: its practice and theory. *Interface*.